Archived at http://orgprints.org/22420

ALEKSANDRO STULGINSKIO UNIVERSITETAS

Povilas Algimantas Sirvydas
Paulius Kerpauskas

TERMINIS PIKTŽOLIŲ NAIKINIMAS

Monografija

KAUNAS, AKADEMIJA, 2012

UDK 620.9:631.3

Recenzentai:
Prof. habil. dr. *Vida Stravinskienė*
(Vytauto Didžiojo universitetas)

Prof. habil. dr. *Albina Birutė Rašinskienė*
(LAMMC, Sodininkystės ir daržininkystės institutas)

Prof. habil. dr. *Alfonsas Skrinska*
(Vilniaus Gedimino technikos universitetas)

Redaktorė Dalia Lapinskienė
Viršelio dizainerė Danguolė Raudonienė
Maketavo Aldona Bagdonienė

ISBN 978-609-449-014-9

© P. A. Sirvydas, 2012
© P. Kerpauskas, 2012

ALEKSANDRAS STULGINSKIS UNIVERSITY
АЛЕКСАНДРАС СТУЛГИНСКИС УНИВЕРСИТЕТ

Povilas Algimantas Sirvydas
Paulius Kerpauskas

THERMAL WEED CONTROL

Monograph

П. А.Сирвидас
П. Керпаускас

ТЕРМИЧЕСКОЕ УНИЧТОЖЕНИЕ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Монография

KAUNAS, AKADEMIJA, 2012
КАУНАС, АКАДЕМИЯ, 2012

UDK 620.9:631.3

Reviewers:

Prof. habil. dr. *Vida Stravinskienė*
(Vytautas Magnus University)

Prof. habil. dr. *Albina Birutė Rašinskienė*
(Institute of Horticulture, LRCAF)

Prof. habil. dr. *Alfonsas Skrinska*
(Vilnius Gediminas Technical University)

ISBN 978-609-449-014-9

© P. A. Sirvydas, 2012
© P. Kerpauskas, 2012

UDK 620.9:631.3

P. A. Sirvydas, P. Kerpauskas. **Terminis piktžolių naikinimas**. Aleksandro Stulginskio universitetas. Kaunas, Akademija, 2012. ISBN 978-609-449-014-9

Monografijoje nagrinėjami augalų energinės apykaitos procesai aukštatemperatūrėje aplinkoje. Jie yra teorinis pagrindas kuriant naujas termines technologijas ir įrangą piktžolėms naikinti. Pateikiama augalus termiškai naikinančių aplinkų ir technologinio proceso poveikio augalo audiniams analizė. Nagrinėjami biologiniai, technologiniai ir terminiai veiksniai, jų suderinamumas ir įtaka terminio piktžolių naikinimo procesui. Pateikti naujų, patentuotų terminės piktžolių kontrolės technologijų ir įrangos parametrai, teoriniai pagrindai, bandymų ir vertinimo rezultatai. Visa tai sudaro prielaidas Lietuvoje gaminti visiškai naują įrangą ir taikyti naujas termines piktžolių naikinimo technologijas ekologinėje ir tradicinėje žemdirbystėje, siekiant mažinti cheminę aplinkos taršą.

Monografija skiriama agronomijos, ekologijos, žemės ūkio ir aplinkos inžinerijos mokslų srityse dirbantiems mokslininkams ir doktorantams, kurie domisi terminėmis, ekologiškomis piktžolių naikinimo technologijomis.

Monografijos apimtis – 328 puslapiai, 174 paveikslai ir 26 lentelės.

UDK 620.9:631.3

P. A. Sirvydas, P. Kerpauskas. **Thermal weed control.**
Aleksandras Stulginskis University. Kaunas, Akademija, 2012.
ISBN 978-609-449-014-9

The presented analysis of plant energy exchange in high temperature environment is intended for the development of new technologies and equipment for thermal weed control. The issues of compatibility and efficiency of the biological, technological and thermal factors are addressed. The results of theoretical justification and testing of new patented technologies and equipment of thermal weed control are presented. All of the above create preconditions for the application of new thermal technologies in organic and usual farming with the aim to reduce environment pollution with herbicides.

The monograph is intended for the scientists working in the areas of the agronomy, biology, agricultural and environmental engineering sciences as well as and doctoral students who show interest in the problems of plant energy exchange and application thereof for vegetation and in the area of agro-energy.

The size of monograph - 328 p. with 174 pic. and 26 tables.

УДК 620.9:631.3

Сирвидас, П. А., Керпаускас, П. **Термическое уничтожение сорной растительности** Александрас Стулгинскис университет. Каунас, Академия, 2012
ISBN 978-609-449-014-9

В монографии представлен анализ процессов энергетического обмена растений в высокотемпературной среде. Эти процессы являются основой для создания новых технологий и оборудования для уничтожения сорной растительности термическим способом. Приведены данные термического воздействия технологических процессов на ткани растений в высокотемпературной среде. Проанализированы биологические, термические и технологические факторы, их взаимодействие, и влияние на эффективность уничтожения сорных растений термическим способом. Приведены данные теоретического и экспериментального обоснования, параметры новой термической технологии и оборудования для борьбы с сорными растениями в экологической и обычной системах земледелия.

Монография предназначена для научных работников и специалистов сельскохозяйственного производства (агрономов, экологов, инженеров), которые занимаются экологическими методами уничтожения сорной растительности.

Обьем монографии – 328 с., 174 рис., 26 табл.

Simboliniai žymenys

c_p – savitoji oro ar kitų dujų šiluma, kai slėgis pastovus J/(kg·K);

c – augalo sulčių, augalo audinių, dirvos, vandens ir kitų medžiagų savitoji šiluma J/(kg·K);

F – augalo, dirvos ir kitų paviršių plotas m^2;

h_1 – oro entalpija augalo lapo (dalies) paviršiuje J/kg;

h_0 – aplinkos oro entalpija J/kg;

$h_{miš}$ – oro mišinio entalpija J/kg;

Q – augalo energijų balanso narys, apibūdinantis tam tikro augale vykstančio proceso šilumos (energijos) srautą J/s;

q – augalo energijų balanso narys, apibūdinantis tam tikro augale vykstančio proceso šilumos (energijos) srauto tankį J/(s.m^2);

r – vandens garavimo šiluma J/kg;

t – augalo audinių, aplinkos oro, dirvos ir kita temperatūra °C;

T – absoliučioji temperatūra K;

w – transpiracijos intensyvumas kg/(m^2.s), g/(cm^2·s);

x – oro drėgnis $kg/kg_{s.o.}$;

$x_{miš}$ – oro mišinio drėgnis kg/kg;

$\alpha = \lambda/c\rho$ – augalo audinių, dirvos temperatūros laidžio koeficientas m^2/s;

α – šilumos atidavimo koeficientas W/(m^2·K);

ρ – dirvos, augalo audinių, oro vandens garo ir kt. tankis kg/m^3;

δ –dirvos, augalo audinių ir kito sluoksnio storis m;

Δt – temperatūrų skirtumas augalo audiniuose, dirvos sluoksnyje °C

λ – augalo audinių, vandens, dujų, dirvos šilumos laidžio koeficientas W/(m·K);

τ – laikas s, min., h;

φ – santykinis aplinkos oro drėgnis %;

Pr_p, $Pr_f = \frac{\mu c_p}{\lambda}$ – Prandtlio kriterijus, paskaičiuotas dujų srauto parametrams (f), augalo paviršiaus parametrams (p);

Re – Reinoldso kriterijus (Re = w·d/v);

Nu – Nuselto kriterijus (Nu = α d/λ);

s – entropija kJ/(kg K);

η – naudingumo koeficientas.

Įvadas

Augalai, kaip ir visi gyvieji organizmai, gamtoje egzistuoja kaip atviros energijų sistemos. Augalų energijų ir medžiagų apykaita natūralios aplinkos sąlygomis tiesiogiai priklauso nuo terminių aplinkos parametrų (temperatūros, drėgnio, slėgio). Jie apibūdina termines aplinkos sąlygas, būtinas augalijai vykdyti savo gyvybines funkcijas. Augalas per ilgą savo evoliucijos kelią prisitaikė prie augavietės fizinės aplinkos sąlygų. Kaip ir visos kitos gyvybės formos, vykdydamas energijų ir medžiagų apykaitą su aplinka, augalas yra labiausiai jautrus terminiam poveikiui, kurio galutinis rezultatas pasireiškia per augalo audinių temperatūrą. Todėl terminio piktžolių naikinimo metu kaitinami augalo audiniai iki letalios temperatūros, teikiant augalui šilumą laidžiu, konvekcija, spinduliavimu arba keliais iš šių šilumos perdavimo būdų.

Naudojant mechanines priemones piktžolėms naikinti, poveikis augalui lengvai suprantamas, matomas ir reguliuojamas. Naudojant termines priemones šilumos apykaitos procesai tarp augalo ir aplinkos, taip pat ir augalo audiniuose, yra nematomi. Pagrindinis rodiklis, kuriuo įvertinamas terminio piktžolių naikinimo technologinis procesas, yra augalo audinių temperatūra. Tačiau šios temperatūros matavimas kintamų procesų sąlygomis metodiškai labai sudėtingas ir sunkiai įgyvendinamas. Be to, procesai, vykstantys augalų pasaulyje, yra sudėtingesni negu technologijos moksluose. Jie lydimi nuolat kintančių gyvybinių procesų, vykstančių augalo audiniuose. Todėl augalo energinės apykaitos procesams, vykstantiems aukštatemperatūrėje aplinkoje, vertinti ir juos valdyti tenka naudoti augalų energinę apykaitą apibūdinančių procesų modeliavimo ir teorinio sprendimo metodus.

Monografijoje pateikiama augalų energinės apykaitos procesų analizė aukštatemperatūrėje aplinkoje yra teorinis pagrindas kuriant iš esmės naują technologiją ir įrangą piktžolėms termiškai naikinti. Išnagrinėti augale ir aplink jį aukštatemperatūrėje aplinkoje vykstantys augalų energinės apykaitos procesai. Teoriškai ir eksperimentais pagrįstas terminio piktžolių naikinimo technologinis procesas. Analizuojami biologinių, technologinių ir terminių veiksnių suderinamumo ir efektyvumo klausimai. Pateikiami naujų patentuotų terminio piktžolių naikinimo technologijų ir įrangos teorinio pagrindimo ir bandymų rezultatai. Visa tai sudaro prielaidas kurti ir naudoti visiškai naujais principais

veikiančią terminę pasėlių priežiūros technologiją ir įrangą ekologinėje ir tradicinėje žemdirbystėje, kartu mažinant aplinkos cheminę taršą.

Čia pateikiama informacija yra susijusi su keletu mokslo krypčių. Ja naudojantis reikia papildomų kitų mokslo sričių žinių. Terminis piktžolių naikinimas turėtų priklausyti agronomams, nes tai yra priemonė piktžolėms pasėlyje kontroliuoti. Energinės apykaitos procesus nagrinėja technologijos ir energetikos mokslų srities atstovai, neturintys biologijos krypties išsimokslinimo. Todėl sėkmingas terminis piktžolių naikinimas yra sudėtinga agrotechnikos priemonių sistemos dalis, kurios tyrimai, efektyvumas ir rezultatas priklauso nuo keleto mokslo krypčių sandūroje vykstančių procesų valdymo. Be to, dar reikia daug mokslo ir visuomenės pastangų, kad šiandieniniame tradiciniame žemės ūkyje, naudojančiame herbicidus piktžolėms naikinti pasėliuose, galėtume plačiai taikyti ekologišką, efektyvų ir visiškai mechanizuotą terminį piktžolių naikinimą.

Monografijos pagrindas yra ilgamečio mokslinio darbo augalų energinės apykaitos natūralioje ir aukštatemperatūrėje aplinkoje tyrimo rezultatų ir mokslinių publikacijų (100 straipsnių ir 10 disertacijų) apibendrinimas. Monografijos autorių mokslo darbai tekste necituojami, jų sąrašas pateikiamas atskirai.

Šis darbas atliktas Lietuvos žemės ūkio universitete ir yra anksčiau skelbtos monografijos *Augalų energinė apykaita* (2011) tęsinys. Esame ypač dėkingi šio universiteto Žemdirbystės katedros prof. habil. dr. *P. Lazauskui*, prof. dr. *V. Pilipavičiui* ir mūsų mokslinės grupės bendradarbiams, buvusiems (ir esamiems) doktorantams dr. *A. Stepanui*, dr. *J. Čėsnai*, dr. *R. Vasinauskienei*, dr. *R. Čingienei,* dr. *J. Nadzeikienei*, dr. *S. Čekanauskui*, dr. *R. Staniulienei*, doktorantui *T. Ūksui* ir kitiems, dirbusiems ir dirbantiems augalų energinės apykaitos tyrimo srityje. Visa tai sudarė prielaidas parengti šį mokslo darbų apie augalų energinę apykaitą aukštatemperatūrėje aplinkoje apibendrinimą, pateikti iš esmės naują terminio piktžolių naikinimo technologiją ir pristatyti įrangą, kurioje šilumnešis yra drėgnasis vandens garas.

Autoriai dėkingi biomedicinos ir technologijos mokslo sričių atstovams recenzentams prof. habil. dr. *V. Stravinskienei,* prof. habil. dr. *A. Rašinskienei,* prof. habil. dr. *A. Skrinskai* už geranorišką kritiką ir vertingus patarimus tobulinant šioje monografijoje pateikiamų klausimų prieinamumą.

1 TERMINĖ PIKTŽOLIŲ KONTROLĖ

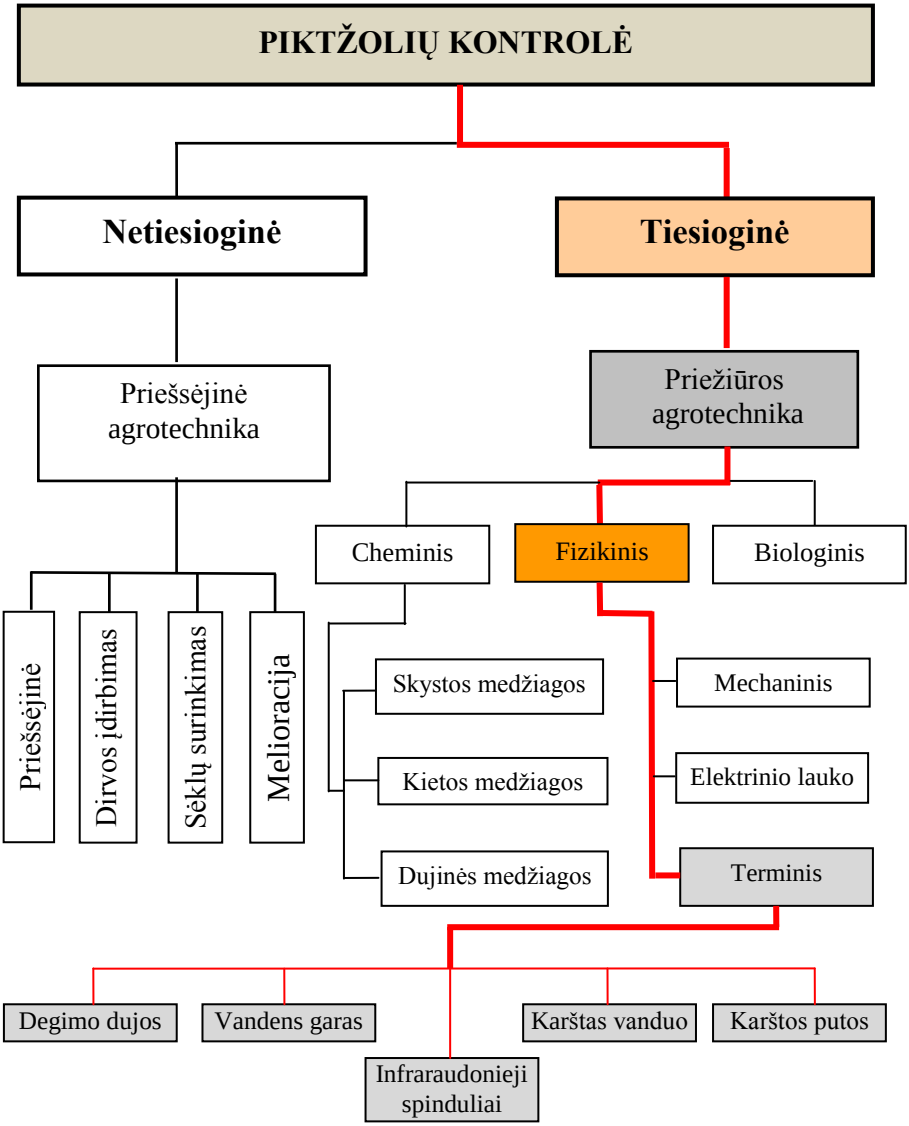
Labai svarbi agrotechnikos sudedamoji dalis yra piktžolių kontrolė, kuri tiesiogiai siejasi su pasėlio derlingumu. Intensyvinant žemės ūkio gamybą didėja prieštaravimai tarp priemonių, skirtų žemės ūkio produktyvumui didinti ir jų naudojimo pasekmių gamtinei aplinkai ir gaminamai produkcijai. „Geros augalų apsaugos praktikos taisyklės“ (GAAP, 2004) toleruoja vadinamąją „leistinų likučių“ formą, pesticidais užterštos žemės ūkio produkcijos vartojimą. Tradicinę žemės ūkio gamybą, naudojančią chemines medžiagas, skatinama keisti ekologiška. Pasaulyje yra kelios alternatyviosios žemdirbystės kryptys, tai: organinė, biologinė, biodinaminė, bioorganinė, ekologinė, gamtinė ir kt. (Lazauskas ir kt., 2008).

Ekologinėje žemdirbystėje turi būti naudojama ekologiška piktžolių kontrolė. Terminis piktžolių naikinimas, kaip ir elektrinio lauko bei mechaninis, priklauso priemonių grupei, kurių veikimas pagrįstas fizikinio poveikio principais. Naudojant mechanines priemones piktžolėms naikinti, šio poveikio augalui principas lengvai suprantamas, matomas ir reguliuojamas. Naudojant terminės priemones piktžolėms naikinti, šilumos pernašos procesai tarp augalo ir aplinkos, taip pat ir augalo audiniuose, yra nematomi. Terminio poveikio augalui procesų dėsningumai paremti energijos pernešimo principais, kurių nežinojimas apsunkina terminio piktžolių naikinimo priemonių ir naikinimo metu vykstančių procesų vertinimą. Terminis piktžolių naikinimas yra pagrindinė terminės piktžolių kontrolės dalis.

1.1. Piktžolių kontrolės problema

Siekiant žemės ūkio augalų derliaus, piktžolių kiekį pasėlyje reikia kontroliuoti. Piktžolių kontrolei naudojamų priemonių schema pateikta 1.1 pav. Piktžolių kontrolė pasėliuose – vienas iš pagrindinių darbų auginant daugelį žemės ūkio augalų. Pasėliuose tarp sėjamų žemės ūkio augalų ir nesėjamų piktžolių susidaro panašūs tarpusavio santykiai kaip ir natūraliose augalų bendrijose (Spitters, Aerts, 1983; Wilkerson et al., 1990; Monsvilaitė, 1996). Dėl piktžolių sumažėja žemės ūkio augalų derlius, pablogėja jo kokybė (Čiuberkis, 2002, 2003; Velička, 2002; Auškalnienė, Auškalnis, 2007). Piktžolėtą lauką daug sunkiau įdirbti (Vasinauskas, 1989), todėl labai svarbu sukurti kuo palankesnes sąlygas žemės ūkio augalams, kad jie galėtų geriau vystytis ir būtų gaunamas geresnis ir gausesnis derlius. Remiantis pasėlių produktyvumo dėsniu galima nustatyti piktžolių žalą pasėliui, pagrįsti perspektyvias žemės ūkio augalų augimo technologijų tobulinimo kryptis ir būdus, nes šiuo dėsniu paremtas daugumos žemdirbystės priemonių efektyvumo vertinimas (Lazauskas, 1990, 2010; Lazauskas ir kt., 2008).

Vegetacijos metu piktžolių dygimo intensyvumas yra nevienodas. Paprastai jų galima rasti bet kurio žemės ūkio augalų augimo tarpsnio pasėlyje (Stancevičius, Špokienė, 1972). Teigiama, kad daugiausia piktžolių išdygsta pavasarį ir rudenį (Roberts, Dawkins, 1967; Stancevičius, Špokienė, 1972; Špokienė, 1995; Pilipavičius, 2007). Pavasarinis piktžolių dygimas prasideda nuo gegužės vidurio ir trunka iki birželio pradžios, o rudeninis prasideda rugpjūčio pabaigoje ir trunka iki rugsėjo trečiosios dekados. Pavasarinis piktžolių dygimas būna gausesnis nei rudeninis (Roberts, Potter, 1980). Piktžolių skaičius pasėlyje yra gana nepastovus dydis, kintantis priklausomai nuo pasėlio sudėties, žemės ūkio augalų rūšies ir išsivystymo tarpsnio, meteorologinių sąlygų, taikomos žemdirbystės sistemos, agrotechninių priemonių ir kitų veiksnių (Pilipavičius, 2007; Pilipavičius et al., 2006). Piktžolių dygimo dėsningumai aktualūs ekologinei žemdirbystei dėl jai būdingos piktžolių sėklų kiekio dirvožemyje didėjimo tendencijos (Pupalienė, 2004; Pilipavičius, 2007).



1.1 pav. Piktžolių kontrolei naudojamų priemonių schema (terminio metodo vietos paryškintos)

Žemės dirbimas yra pats sunkiausias darbas, kuriam reikia daugiausia laiko, energijos išteklių (kuro) ir sudėtingos technikos. Todėl jo veiksmų paskirtis ir uždaviniai turi būti visiškai pagrįsti, tiksliai apibrėžti, pagal juos
parenkamos technologinės operacijos ir tam pritaikyta technika. Iki šiol neturime visuotinai pripažinto, teoriškai pagrįsto žemės dirbimo uždavinių suskirstymo pagal svarbą, o nežinodami svarbiausio žemės dirbimo uždavinio negalime tinkamai pritaikyti žemės ūkio technikos. Galima teigti, kad beveik visas žemės dirbimas ir pasėlių priežiūra yra skirta apsaugai nuo piktžolių (Lazauskas, 1990, 2010).

Žmonija sukūrė daug ir įvairios technikos piktžolėms naikinti. Sukurta ir efektyvių cheminių augalų apsaugos priemonių – herbicidų. Tačiau nepaisant naudojamų priemonių tobulumo, apsauga nuo piktžolių vis dar problemiška. Šiandieniniame tradiciniame žemės ūkyje vis daugiau chemizuojant ir industrializuojant prekinės žemės ūkio produkcijos gamybą, naikinant piktžoles herbicidais, sėkmingai sprendžiama piktžolių kontrolės problema pasėliuose (Lietuvos žemdirbystės institutas, 2007). Tačiau dėl intensyvaus žemės ūkio chemizavimo atsirado ekologinės taršos problemų, darančių įtaką dirvos gyvūnijai ir augalų įvairovei (Stravinskienė, 2001,2009; Europos aplinka, 2010). Be to, chemizuotame ūkyje užaugintoje produkcijoje randama cheminių medžiagų likučių. Tai pablogina produkcijos kokybę, sukelia specifinius susirgimus (Urbienė, 2010; Brazauskienė, 2004; Lazauskas ir kt., 2008).

Visi piktžolių kontrolės būdai, kuriais galima sumažinti pasėlio piktžolėtumą, yra svarbūs, todėl juos būtina naudoti derinant su tam tikro žemės ūkio augalo auginimo technologijomis. Sumažinę dirvos paviršiaus užterštumą piktžolių dauginimosi pradais, sumažinsime posėlio piktžolėtumą (piktžolių skaičių ir masę), kartu padidinsime žemės ūkio augalų derlių.

Didėjant ekologiškai švarių produktų paklausai, didesnę reikšmę įgauna ir ekologiški piktžolių naikinimo būdai. Piktžolių kontrolės sunkumai ekologinėje žemdirbystėje yra viena iš pagrindinių priežasčių, lėtinančių ekologinių ūkių plėtrą. Ekologiniame ūkyje piktžolių kontrolė pagrįsta tik necheminėmis priemonėmis, todėl tradicinės žemės ūkio mašinos yra nepakankamai efektyvios. Kalbama apie tradicinės žemdirbystės daromą žalą gamtai ir aplinkai, tačiau pritrūkstama praktinių patarimų, technikos ir mechanizuotų technologijų ekologiškai piktžolių kontrolei.

Priešsėjinis mechaninis žemės dirbimas išdygusias piktžoles sunaikina, bet kartu iš gilesnių dirvos sluoksnių į paviršių iškeliamos naujos piktžolių sėklos, o tai sudaro palankesnes sąlygas šioms sėkloms dygti. Po sėjos pradeda dygti naujos piktžolės, todėl reikalinga ekologinė pasėlio piktžolėtumo kontrolė. Mechaninė ir terminė piktžolių kontrolė yra ekologiškos, tačiau jos iš esmės skiriasi piktžolių naikinimo principais.

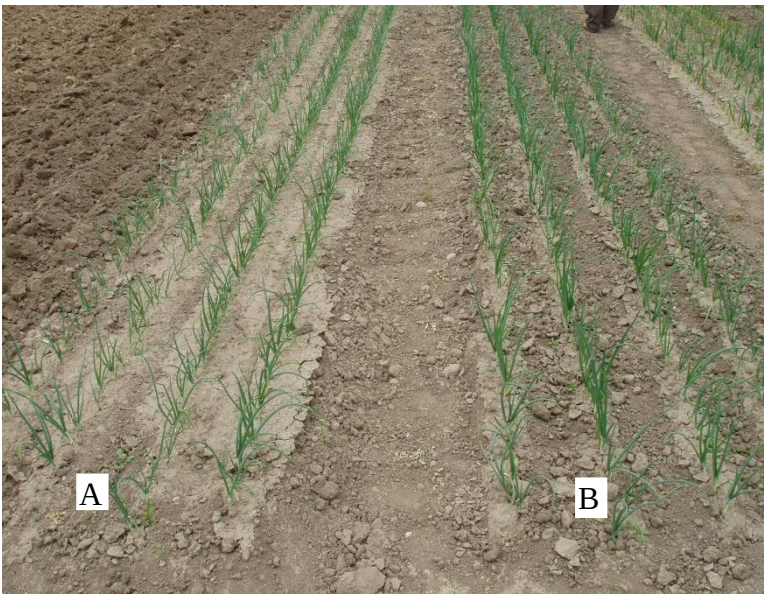
Mechaninė piktžolių kontrolė. Piktžolėms naikinti naudojamos visos galimos mechaninės priemonės dirvos paviršiui purenti, siekiant sunaikinti piktžolių šaknų sistemą ir antžeminę augalų dalį. Nors mokslinėje literatūroje rekomenduojama mechaninę piktžolių kontrolę naudoti kaip antraeilę priemonę apsaugai nuo piktžolių, tačiau pasaulyje naudojama technika yra nuolat tobulinama, automatizuojama, kad kuo efektyviau mechaniniu būdu būtų sunaikinamos piktžolės nenaudojant cheminių medžiagų ir gaunamas didesnis derlius (Bonstema et al., 1998; Meyer, 2002; Astrand et al., 2003; Åstrand, 2005; Gobor et al., 2005, 2006; Fontanelli et al., 2009; Peruzzi et al., 2007; Slaughter et al., 2008, Mirsa et al., 1999; Pupalienė, 2004; Lichtenhahn et al., 2005; Marcinkevičienė, Bogužas, 2006; Žekonienė ir kt., 2006; Pilipavičius, 2007, 2009; Jodaugienė ir kt., 2008; Lazauskas ir kt., 2008; Van der Weide et al., 2008; Fontanelli et al., 2009; Lazauskas, 2010).

Terminė piktžolių kontrolė. Piktžolėms naikinti taikomi termoinžinerijos metodai. Naudojamas šilumos šaltinis aplink augalą sukuria aukštatemperatūrę aplinką, kuri kaitindama augalo audinius juos termiškai sunaikina. Be to, aukštatemperatūrė aplinka kartu kaitina dirvos paviršių ir termiškai sunaikina jame dygstančius augalo daigus, žūva kai kurios gyvybės formos, vyksta dirvos paviršiaus terminio sterilizavimo procesas. Dirvos paviršius išlieka mechaniškai nesujudintas.

Manome, kad tikslinga parodyti ekologiško piktžolių naikinimo išorinius požymius (1.2 pav.) jas naikinant mechaniškai ir termiškai drėgnuoju vandens garu, taip pat įrodyti terminio piktžolių naikinimo drėgnuoju vandens garu technologijos privalumus:

- vandens garo aplinka yra ekologiška, dirva ir užauginta žemės ūkio produkcija neužteršiama cheminėmis medžiagomis – herbicidų likučiais;
- vandens garu sunaikintos piktžolės lieka dirvos paviršiuje kaip trąša;

- vandens garu naikinant piktžoles augalams sukeliamas terminis stresas, kuris skatina derlingumo didėjimą;
- vandens garas nepažeidžia žemės ūkio augalo šaknų sistemos, tai daro teigiamą įtaką derlingumui;
- derliaus didėjimas sumažina piktžolių kontrolės pasėlyje išlaidas;
- vandens garas yra efektyvi ir ekologiška priemonė nuo kenkėjų, kuri gali būti taikoma atskirai arba kartu su piktžolių kontrolės priemonėmis.



1.2 pav. Bandymų laukeliai svogūnų pasėlyje. Išoriniai požymiai naudojant A terminę piktžolių kontrolę drėgnuoju vandens garu ir B mechaninę

Naudojant mechanines priemones piktžolėms naikinti, jų naikinimo proceso vyksmas yra matomas ir reguliuojamas. Šilumos plitimas augalo audiniais ir augalui teikiamas terminis poveikis yra nematomas. Tai iš esmės naujas piktžolių naikinimo būdas, paremtas šilumos plitimo dėsniais – naudojant termoinžinerijos metodus ir įrangą.

Terminio piktžolių naikinimo įrangos išorinis vaizdas yra pakankamai efektyvus. Didžiulis liepsnos fakelas naudojant karštų dujų įrenginius ir didžiulis vandens garo srautas naudojant vandens garo įrengi-

nius sudaro klaidingą nuomonę, tai daugiau komercinis požiūris, negalvojant apie būsimo terminio poveikio augalui rezultatą. Teminis poveikis pasėliui ir termiškai naikinamoms piktžolėms pastebimas vėliau. Termiškai sunaikinti piktžoles ar bet kokią kitą gyvybę nesunku. Gerokai sunkiau apsaugoti žemės ūkio augalus nuo terminio sunaikinimo ir pasiekti norimą rezultatą.

Terminis piktžolių naikinimas pasėlyje yra sėkmingas tik tuomet, kada auginamo žemės ūkio augalo agrotechnika yra visapusiškai suderinta su terminio piktžolių naikinimo technologiniais procesais ir paremta augalų energinės apykaitos terminių procesų teorine (termodinamine) analize. Teorinio pagrindo stoka šiandieninius terminio piktžolių naikinimo tyrimus dažnai paverčia empiriniais, atsitiktiniais, kartais net klaidinančiais. Suprantama, kad augalijos mokslų srities atstovams nepriimtinas terminio piktžolių naikinimo technologinių procesų ir sprendimų pagrindimas procesą aprašančiomis lygtimis. Vykstantys augalo šilumos apykaitos procesai yra nematomi (priešingai negu mechaniniai), todėl augalo energinės apykaitos procesų dėsningumams aukštatemperatūrėje aplinkoje nustatyti ir valdyti naudojami augalų energinę apykaitą apibūdinančių procesų modeliavimo ir teorinio sprendimo metodai. Čia ir glūdi nepagrįstų, neveiksmingų agrotechninių sprendimų taikymo problema.

Europos herbologų draugija, kurioje veikia Fizinių metodų piktžolėms naikinti sekcija (Konferencijų leidiniai: 2000; 2002; 2004; 2007; 2009; 2011) savo darbais stengiasi įrodyti ekologinės žemdirbystės plėtros būtinumą ir jos ateities perspektyvas, įtikinti, kad herbicidai žemės ūkyje – laikina priemonė. Terminis piktžolių naikinimas yra nauja, ekologiška ir efektyvi priemonė piktžolėms kontroliuoti pasėlyje. Turime pripažinti Lietuvos žemės ūkio universiteto Žemdirbystės katedros prof. Petro Lazausko nuopelną, nes jo iniciatyva terminio piktžolių naikinimo tyrimai universitete pradėti per skirtingų mokslo krypčių sandūros prizmę. Apskritai terminis piktžolių naikinimas yra gana sudėtinga agrotechnikos priemonių sistemos dalis, kurios efektyvumas ir rezultatas glūdi keleto mokslo krypčių sandūroje vykstančių procesų valdyme. Todėl reikia dar daug mokslo ir visuomenės pastangų, kad šiandieniniame tradiciniame žemės ūkyje, naudojančiame herbicidus piktžolėms naikinti pasėliuose, galėtume plačiai taikyti ekologiškai švarų, visiškai mechanizuotą terminį piktžolių naikinimą.

1.2. Terminio piktžolių naikinimo procesų teorinis pagrindas

Augalas per ilgą savo evoliucijos laikotarpį prisitaikė prie augavietės fizinės aplinkos veiksnių. Energijų tvermės dėsnio požiūriu, tik ką išlindęs iš žemės daigas, sąveikaudamas su aplinka (dirva, oru, saule), pradeda egzistuoti kaip atvira energijų apykaitos sistema, išlaikanti nuolatinę dinaminę energijų pusiausvyrą. Tai patvirtina natūraliomis ir dirbtinio klimato sąlygomis augančių augalų energinės apykaitos tyrimai. Šie tyrimai rodo didžiules augalo kaip organizmo galimybes prisitaikyti prie nepalankių aplinkos veiksnių, jos termodinaminių savybių, kurias sugeba maksimaliai panaudoti savo gyvybiniams poreikiams.

Augalų energinei apykaitai energijos šaltinis yra saulė, teikianti žemei energiją spindulių pavidalu. Fotosintezės procese augalas panaudoja tiktai 1–2 % į augalą krentančių saulės spindulių dalį. Likusią didžiąją dalį (99–98 %) absorbuotos saulės energijos augalas paverčia paprasčiausia energijos rūšimi – šiluma. Augalo lapo išskirtos šilumos atidavimo procesas aplinkai (vandens garų ir šilumos pavidalo) vyksta augalo apykaitos su aplinka sluoksnyje. Analogiškas sluoksnis taip pat yra ir paviršiuje bet kokio fizikinio kūno, kuris vykdo medžiagų ar energijų apykaitą su dujine aplinka (Schlichting, Gersten, 2000; Baranova et all., 2010; Incropera, DeWitt, 1981; Liutikas, Gudzinskas, 2001; Vaitiekūnas, 1998; Žukauskas, 1989; Жукаускас, Мартиненко, 1988).

Augalų energijų ir medžiagų apykaita natūralios aplinkos sąlygomis yra būtina sąlyga augalijai vykdyti savo gyvybines funkcijas. Augalija – žaliasis Žemės apdaras, gyvybės šaltinis heterotrofiniams organizmams mūsų planetoje. Ji sugeba kaupti nekoncentruotą saulės energiją ir sukurti didžiausią Žemės turtą – organinę medžiagą. Asimiliacijos procese augalija sunaudoja didžiąją dalį šiuolaikines technologijas naudojančio žmogaus į aplinką išmetamų teršalų (apie 640 mlrd. tonų anglies dioksido), tiekia deguonį (apie 500 mlrd. tonų laisvo deguonies) ir taip mažina aplinkos taršą, sukuria sąlygas gyvybei Žemėje. Be to, augalų energinė apykaita transpiracijos pavidalu yra viena iš pagrindinių vandens apykaitos ekosferos sudedamųjų dalių, išgarinanti į aplinką 65200 km^3

(93 %) vandens per metus. Žemės sausumos paviršius išgarina apie 70 250 km^3 (Lietuvoje – 32 km^3) vandens per metus (Илькун, 1967; Guo et al., 1999; 2002; Herve et al., 2002; Brazauskienė, 2006; Šlapakauskas, 2006; Baltrėnas ir kt., 2008).

Augalo energijų ir masės (dujinės mitybos ir metabolitų) apykaita kartu su kitomis agrotechninėmis priemonėmis (dirvos dirbimu, dirvos paviršiaus paruošimu sėjai, žemės ūkio augalų priežiūra, žemės ūkio augalų bendrijos (agrofitocenozės) sudarymu ir kt.) dalyvauja sudarant lokalų mikroklimatą ir tampa sudedamąja agrotechnikos dalimi.

Augale vykstantys biologiniai procesai ir jo energijų ir masės apykaitos su aplinka procesai sudaro vientisą biomasės kūrimo grandinę. Augalo lape vykstančių biologinių, energijų ir masės (esant dujinei būsenai) apykaitos su aplinka procesų dalyvavimas biomasės kūrimo procese yra lygiavertis ir nė vienas iš jų negali būti užmirštas. Augalo energijų ir masės apykaitos procesai fizinėje augalo aplinkoje vyksta pagal tam tikrus dėsnius ribotame augalo apykaitos su aplinka oro sluoksnyje. Biologiniai procesai augalo lape ir kitose dalyse negalimi be fizinių procesų, vykstančių augalo apykaitos su aplinka sluoksnyje. Biologijos moksluose biomasės kūrimo augalo lape procesų grandinė nutrūksta tada, kai jie pereina į fizinę aplinką, į augalo apykaitos su aplinka procesus (dujinės mitybos, metabolitų ir energijų apykaitos), vykstančius augalo lapo apykaitos su aplinka sluoksnyje. Suprantama, augalijos ir šilumos mokslų sandūroje nagrinėti labai sudėtingus fizinius procesus augalo apykaitos su aplinka sluoksnyje reikia tam tikro pasirengimo ir žinių. Procesai, vykstantys augalo paviršiaus apykaitos su aplinka sluoksnyje, gali skatinti arba slopinti augale vykstančius biologinius procesus, todėl jie yra biologinių ir energinių procesų, vykstančių augale, pasekmės tąsa.

Procesai, vykstantys augalų pasaulyje, yra daug sudėtingesni negu technologijos moksluose. Jie susiję su augalo audiniuose nuolat kintančiais gyvybiniais procesais.

Energijų balanso metodika, pritaikyta gyvūnui, augalui arba jo daliai, padeda suprasti pagrindinius veiksnius, turinčius įtakos nagrinėjamo proceso vyksmui, nurodo būdus ir veiksnius, kuriais galima pakreipti vykstantį procesą norima linkme. Pavyzdžiui, siekiant reguliuoti augalo audinių temperatūrą, augale vykstančių procesų intensyvumą, siekti maksimalaus terminio efekto terminio piktžolių naikinimo

technologijoje. Todėl išsamiai išanalizavus augalo energijų balanso narius, paaiškėja augale vykstančių fiziologinių procesų kryptingo valdymo galimybės. Remiantis augalo energijų balansu galima įvertinti visus energijų apykaitos pokyčius natūralioje ir žmogaus sukurtoje aplinkoje, nagrinėti augalo ir jo aplinkos energinius procesus, pvz., transpiracijos proceso, lapų vytimo, rasos iškritimo, radiacinės šalnos, augalo energijų mainų šiltnamio sąlygomis, energinius procesus terminio piktžolių naikinimo metu, augalo terminio žuvimo, augalo dalinio terminio pažeidimo ir kitus augalo energijų apykaitos procesus.

Augalas su aplinka sudaro vientisą nedalomą sistemą, kurioje vyksta augalų energinė apykaita. Aplinkos poveikio augalui numatymo ir vertinimo pagrindiniai veiksniai yra šviesa (saulės energija), temperatūra (šiluma) ir drėgmė (vanduo). Šiuos tris aplinkos veiksnius, lemiančius augalo produktyvumo, minimalios egzistencijos ir žūties sąlygas, kaip termoenerginius procesus galima nagrinėti naudojant termodinamikos dėsnius augalo energijų balanso metodu. Pagal pirmąjį termodinamikos dėsnį viena energijos rūšis gali virsti kita (pavyzdžiui, cheminė energija – šiluma). Šiame virsme energija neišnyksta ir neatsiranda, todėl bet kurį augalo kaip gyvo organizmo gyvavimo momentą galima išreikšti energijų balanso lygtimi:

$$\sum Q = 0. \qquad (1.1)$$

Ši lygtis rodo, kad augalo gaunamos, sukauptos, sunaudotos ar atiduotos aplinkai energijų suma lygi nuliui. Išskleidę šią lygtį (žr. 3 skyrių) gauname augalo energijų balanso lygtis apibūdinančias procesus, kurie vyksta augalo terminio naikinimo metu. Augalo energijų balanso lygties analizė išryškina žmogaus galimybes valdyti jo energinę apykaitą žmogui pageidaujama kryptimi. Nagrinėjamuoju atveju augalo energijų balanso lygties analizė suteikė mums galimybę augalo energinės apykaitos procesų, vykstančių tarp augalo ir aplinkos, termodinaminės analizės pagrindu nustatyti optimalų terminio piktžolių naikinimo būdą ir tam tikslui kurti teoriškai pagrįstą technologiją ir įrangą. Tai mes atlikome 1996 metais nustatę, kad galima sukurti efektyvią piktžolėms termiškai naikinti priemonę šilumos nešėju naudojant drėgnąjį vandens garą.

Augalų fiziologiniuose tyrimuose natūraliomis aplinkos sąlygomis augalo energijų balanso metodą pirmieji panaudojo H. T. Browh ir

F. Escombe 1905 m. Vėliau šis metodas naudotas daugelyje mokslo darbų. Augalo energijų balansas nagrinėtas siekiant įvertinti jo ryšį su augale vykstančiais fiziologiniais (transpiracija, fotosinteze, konvekciniais šilumos mainais) procesais (Клешнин, 1960; Ількун, 1967) ir su žolės džiovinimo ir kitais technologiniais procesais (Драганов и др., 1990; Драганов, 2006; Kajalavičius, 1992; 2010; Raila, 1995; Petruševićius, Raila, 2009). Augalo energijų balanso metodą daugelį metų naudojome darydami tyrimus natūralios aplinkos sąlygomis. Šį metodą, kaip teorinį pagrindą, pradėjome taikyti ir terminio piktžolių naikinimo technologijose. Tyrimai parodė, kad augalo energinės apykaitos su aplinka termodinaminių procesų valdymas yra terminio piktžolių naikinimo technologijos ir įrangos kūrimo teorinis pagrindas.

1.3. Piktžolių jautrumas aukštatemperatūrei aplinkai

Lietuvos žemės ūkio universiteto Bandymų stotyje atliekant terminę piktžolių kontrolę drėgnuoju vandens garu buvo pastebėta, kad ne visos piktžolės vienodai reaguoja į aukštatemperatūrę aplinką. Vienos piktžolės dėl terminio poveikio sunaikinamos visiškai, o kitos po tam tikro laiko atželia. Terminiam piktžolių naikinimui naudojamas aukštatemperatūres aplinkas pagal terminį poveikį augalui (tai lemia aplinkų termodinaminės savybės) galima skirstyti į dujų ir vandens garo aplinkas.

Remiantis J Ascard (1995) duomenimis, galima pateikti tokią piktžolių jautrumo ir aukštatemperatūrės karštų dujų aplinkos toleravimo klasifikaciją, piktžoles skirstant į keturias grupes. *Pirmoji grupė* – jautrios temperatūrai piktžolės: baltoji balanda (*Chenopodium album* L.), vaistinė žvirbliarūtė (*Fumaria officinalis* L.), gailioji dilgėlė (*Urtica urens* L.), daržinė žliūgė (*Stellaria media* L.). *Antroji grupė* – vidutiniškai jautrios aukštatemperatūrei aplinkai piktžolės: dėmėtoji rūgtis (*Polygonum persicaria* L.), paprastoji žilė (*Senecio vulgaris* L.). *Trečioji grupė* – atsparios aukštatemperatūrei aplinkai piktžolės: trikertė žvaginė (*Capsella bursa-pastoris* L. Medik), vaistinė ramunėlė (*Chamomilla suaveolens* L.). *Ketvirtoji grupė* – atsparios aukštatemperatūrei aplinkai piktžolės: vienmetė miglė (*Poa annua* L.).

Pagal piktžolių jautrumą aukštatemperatūrei drėgnojo vandens garo aplinkai jas galima suskirstyti į tris grupes: *lengvai, sunkiai ir labai sunkiai (arba nesunaikinamos) termiškai sunaikinamos piktžolės*. Pateikiama piktžolių jautrumo aukštatemperatūrei drėgnojo vandens

garo aplinkai klasifikacija yra tikslesnė, nes piktžolės suskirstytos pagal jautrumą aukštatemperatūrei aplinkai ir pagal jų morfologinę sandarą, parodytos piktžolių dalys, kurias būtina termiškai pažeisti norint piktžoles termiškai sunaikinti.

Lengvai termiškai sunaikinamos piktžolės (baltoji balanda (*Chenopodium album* L.), plačioji balandūnė (*Atriplex patula* L.), daržinė žliūgė (*Stellaria media* L.), paprastoji veronika (*Veronica chamaedrys* L.), galinsoga (*Galinsoga parviflora* Cav.), bekvapė ramunė (*Matricaria inodora* L.), dirvinė aklė (*Common Hemp-nettle*) ir kt.). Prie šios grupės priklauso piktžolės, kurios turi gerai išsivysčiusį stiebą ir silpną šaknų sistemą.

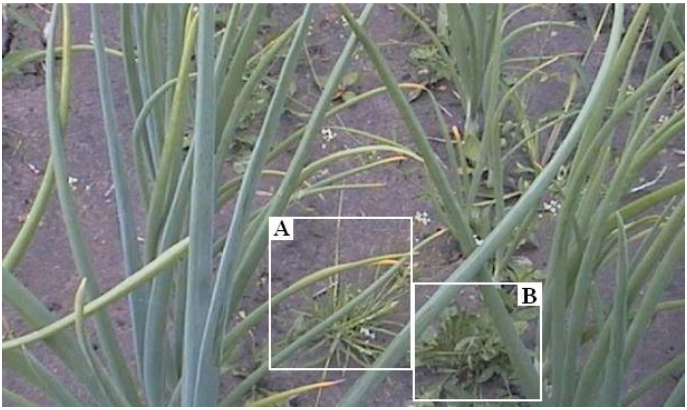
Lengvai termiškai sunaikinamos piktžolės yra dviskiltės. Dviskilčių piktžolių dygimo tarpsnis prasideda, kai šaknelė prasikala pati augdama arba dar ir stumiama augančio hipokotilio. Piktžolių sėklų dygimas skirstomas į požeminį ir antžeminį. Pirminė šaknelė auga lėtai ir storėja. Hipokotilis auga netolygiai, todėl yra išlinkęs. Lankelio formos stiebelis lengviau prasiskverbia į paviršių ir jo augimo kūgelis išvengia pažeidimo.

Kai hipokotilis iškelia į paviršių susiformavusį pumpurą su skilčialapiais, baigiasi požeminis dygimas. Šviesoje skilčialapiai pažaliuoja, prasideda fotosintezė, o hipokotilio augimas darosi vis lėtesnis, pradeda augti epikotilis su pirmaisiais tikraisiais lapeliais (Mader, 1999). Piktžolių ir žemės ūkio augalų stiebas arba hipokotilis yra jautrus aukštatemperatūrei aplinkai dygimo tarpsnyje. Kai stiebas patenka į aukštatemperatūrę aplinką, jis yra lengvai sunaikinamas. Taip pat aukštatemperatūrei aplinkai yra jautrus augimo kūgelis, esantis viršūnėje. Jį termiškai pažeidus, augalas sunyksta. Piktžolių jautrumas aukštatemperatūrei aplinkai kinta priklausomai nuo jų vystymosi tarpsnio (Ascard, 1995; Wszelaki *et al*., 2007; Sivesind *et al*., 2009).

Nustatyta, kad naudojant piktžolių kontrolei drėgnojo vandens garo aukštatemperatūrę aplinką, piktžolės stiebas pažeidžiamas žiedeliu 5–10 mm pločio juosta. Termiškai pažeistoje vietoje vyksta intensyvus garavimo procesas, audiniai paruduoja, tampa neelastingi – taip sutrikdomas maisto medžiagų ir vandens judėjimas iš šaknų į lapus ir vainiką, ir asimiliatų judėjimas į šaknis. Termiškai pažeistų piktžolių fiziologinį būvį galima prilyginti nupjautų, džiūstančių piktžolių būviui.

Sunkiai termiškai sunaikinamos piktžolės (1.3 pav.). Šios grupės piktžoles galima suskirstyti į du pogrupius: miglines ir skrotelines. Tyrimai

rodo, kad šių piktžolių terminis naikinimas yra ypatingas tuo, kad nepakanka sunaikinti jų antžeminę dalį. Suvėlinus terminę piktžolių kontrolę dygimo tarpsnyje šias piktžoles termiškai sunaikinti tampa sunku.



1.3 pav. Svogūnų pasėlyje po terminės piktžolių kontrolės likusios sunkiai termiškai sunaikinamos piktžolės: A – miglinės piktžolės; B – skrotelinės piktžolės

I. Miglinės piktžolės (vienmetė miglė (*Poa annua* L.), paprastoji rietmenė (*Echinochloa crus-galli* L.), šėrytė (*Setaria viridis* P. B.) ir kt.) Šios grupės piktžolės vystosi dirvos paviršiuje. Todėl šiuo dygimo laikotarpiu varpiniai augalai (miežiai, rugiai ir kt., taip pat ir piktžolės: vienmetės miglės, paprastosios rietmenės ir kt.) yra atsparūs terminiam poveikiui.

Miežių pasėlyje atlikti tyrimai naudojant drėgnojo vandens garo aplinką parodė, kad miežiai buvo atspariausi aukštatemperatūrei aplinkai tik pradėję dygti. Miežių šiame variante išliko net 91,0 %. Kai miežiai buvo 2 lapelių augimo tarpsnyje, jų išliko vos 3,53 %.

Yra nustatyta, kad sunkiai termiškai sunaikinamų (miglinių) piktžolių (vienmečių miglių, paprastųjų rietmenių ir kt.) efektyviausia terminė kontrolė vandens garu yra neprasidėjus krūmijimosi tarpsniui (Ascard, 1995; Vasinauskienė, 2004; Melander, Hanson, 2007).

Miglinių piktžolių krūmijimasis prasideda tuomet, kai dirvoje pasirodo pirmosios šoninės atžalos. Augalai pradeda krūmytis iš pagrindinio ūglio apačioje esančio krūmijimosi mazgo. Intensyviai vystosi miegantieji pumpurai ir šoniniai ūgliai, sparčiai didėja augalo masė, vystosi

šaknų sistema, kaupiamos maisto medžiagos. Krūmijimosi mazgas pasižymi intensyviu meristemiškumu ir per trumpą laiką išaugina daug naujų ūglių. Todėl suvėlinus terminę piktžolių kontrolę žemės ūkio augalų pasėlyje, kuriame vyrauja miglinės piktžolės, ir jų nesunaikinus, kenčia žemės ūkio augalai, patiriama derliaus nuostolių.

II. Skrotelinės piktžolės (trikertė žvaginė (*Capsella bursa-pastoris* L. Medik), plačialapis gyslotis (*Plantago major* L.), paprastoji kiaulpienė (*Taraxacum officinale* L.) ir kt.). Skrotelinių augalų tarpubambliai per visą amžių lieka neišsivystę. Jų visi lapai būna susitelkę prie pat žemės, sudarydami skrotelę. Po to išauga belapis stiebas, ant kurio sukraunamas žiedas. Dėl savo morfologinės sandaros šios grupės piktžolės apsunkina terminę piktžolių kontrolę.

Sunkiai termiškai sunaikinamų piktžolių grupė (miglinės ir skrotelinės) yra svarbiausia terminės piktžolių kontrolės problema.

Labai sunkiai termiškai sunaikinamos piktžolės. Prie šios piktžolių grupės priskiriamos daugiametės vegetatyviai plintančios (šakniastiebinės) piktžolės (paprastasis varputis (*Elytrigia repens* L.), dirvinis asiūklis (*Equisetum arvense* L.); dirvinė usnis (*Cirsium arvense* L.) ir kt.). Šios piktžolės dauginasi požeminiais stiebais – šakniastiebiais su pumpurais, iš kurių leidžiamos šaknys ir formuojasi nauji augalai. Paprastųjų varpučių daigai pasirodo rudenį arba pavasarį ir auga gana greitai. Kai augalas turi 3–5 lapus, pradeda augti šakniastiebiai. Ant jų atsiranda pumpurai, o iš šių – atžalos, kurios, turėdamos 3–4 lapus, leidžia naujus šakniastiebius ir atžalas (Lazauskas, 1999). Todėl termiškai sunaikinti šių piktžolių antžeminę dalį nepakanka. Reikalinga dirvos sluoksnio terminė sterilizacija, kuri ji yra labai brangi dėl didelių energijos sąnaudų. Tai rodo, kad terminę piktžolių kontrolės technologiją reikia derinti ne tik prie auginamų žemės ūkio augalų, bet ir prie pasėlyje vyraujančios piktžolių grupės.

1.4. Terminio piktžolių naikinimo istorija ir šiandieninė patirtis

Žmogus, išmokęs auginti naudinguosius augalus ir nuimti jų derlių, sąmoningai ar nesąmoningai naudojo terminį būdą nepageidaujamiems augalams naikinti. Ruošiamus sėjai laukus nudegindavo, po to

sėdavo ir sodindavo naudinguosius augalus. Žemdirbystėje miškų nudeginimo metu dirvos paviršius sterilizuodavosi, išnykdavo ten augę augalai, dirva pasitręšdavo pelenais. Vėliau piktžolėms naikinti imta naudoti ugnį. Išsamią terminio piktžolių naikinimo istoriją pateikė M. Hofmanas (Hoffmann, 1989). Jis teigė, kad John A. Graig iš Kolumbijos 1852 m. pirmasis užpatentavo piktžolių naikinimo ugnimi įrenginį. Šis patentas yra pirmasis rašytinis šaltinis apie terminio piktžolių naikinimo metodo panaudojimą. Kaip nurodė M Hofmanas, po ketverių (1856) metų Šlothauberis (Schlotthauber) aprašė terminio piktžolių naikinimo būdo panaudojimo galimybes. Miuncheno botanikos sodo direktorius Mayr 1908 m. aprašė karšto vandens (50 °C) panaudojimą. Günther (1913) aprašė piktžolių nudeginimą benzino lempos liepsna. 1929 m. Šmidt (Schmidt) spaudoje pateikė šveicarų aparatą, veikiantį benzinu, kurio liepsna nudegina piktžoles (Hoffmann, 1975, 1989).

Pradėjus naudoti herbicidus, didesnio susidomėjimo terminiu piktžolių naikinimo būdu nebuvo. Atrodė, kad „herbicidų žydėjimo amžius“ visam laikui išsprendė piktžolių naikinimo problemą. Platus cheminių medžiagų naudojimas pažeidė gamtos pusiausvyrą, sukėlė daug ekologinių problemų. Apsauga nuo piktžolių ir atsiradusios ekologinės žemės ūkio problemos paskatino atkreipti dėmesį į fizinių metodų naudojimo piktžolių kontrolei svarbą. Reikia atkreipti dėmesį, kad prie Europos piktžolininkų asociacijos (European Weed Research Society) susikūrė Fizinių metodų piktžolėms naikinti sekcija, kuri reguliariai rengia konferencijas (EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, 1998, 2000, 2002, 2004, 2007, 2009, 2011). Ši tarptautinė sekcija yra pagrindinė šios krypties tyrimus pasaulyje vienijanti organizacija.

Remiantis pasaulyje išspausdintais mokslo darbais galima teigti, kad šiuo metu atliekami tyrimai ir kuriama įranga dviem terminės piktžolių kontrolės kryptimis:

1) terminis piktžolių pradų naikinimas prieš sėją kaitinant – termiškai sterilizuojant dirvos paviršių;

2) terminis dygstančių ar išdygusių piktžolių naikinimas pasėlyje.

Dirvos paviršiaus terminė sterilizacija. Dirvos paviršius kaitinamas siekiant termiškai sunaikinti piktžolių sėklas. Tai aktualus klausimas galvojant, kad nuėmus derlių kombainais ir pabirus piktžolių sėkloms dirvos paviršiuje, jas galima termiškai sunaikinti. Naudojami įvai-

rūs stendai, kurie padeda atlikti gana tikslius tyrimus nustatant terminį poveikį dirvoje esančių piktžolių sėklų daigumui (Ruth 2007; Orsolya 2007; http://www.soil-steaming-steam-boiler-blog.com/category/weed-control). Tyrimai įdomūs, tačiau juose neįvertinta gausi mokslinė ankstesnių metų informacija (1960–1970) apie dirvos terminę dezinfekciją uždaro grunto sąlygomis. Tai to laikotarpio (Sonneveld and Voogt, 1973; Dawson et al., 1965) tyrimai, kai stokota efektyvios dirvos dezinfekcijos, o hidroponika dar nebuvo paplitusi. Šiltadaržių ir laikinų sintetinių plėvelių priedangos tuo metu buvo plačiai naudojamos daržininkystėje.

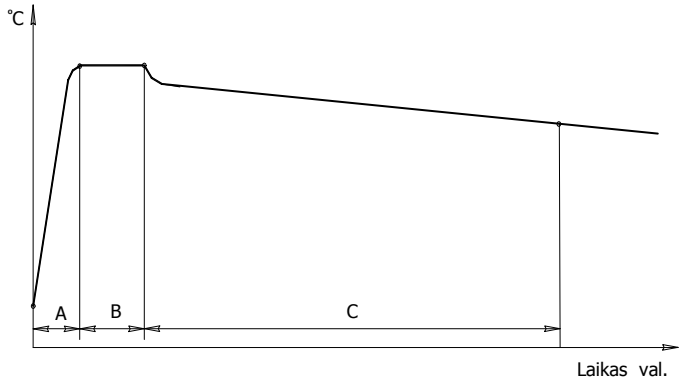
Dirvos paviršiaus kaitinimo tyrimai, siekiant sunaikinti piktžolių pradus dirvoje, tapatūs dirvos terminės dezinfekcijos tyrimams, kurių tikslas – naikinti piktžolių sėklas, patogeninius mikroorganizmus ir kenkėjus, plintančius per dirvą. Naudojant terminius dezinfekcijos metodus panaudojama bendra visoms gyvybės formoms savybė – žema mirties taško temperatūra.

Šia kryptimi didelės apimties tyrimus (termoinžinerinius, agronominius – dirvos gyvūnų ir mikroorganizmų) gruntiniuose šiltnamiuose 1968–1971 m. laikotarpiu Žemės ūkio ministerijos užsakymu vykdė Lietuvos žemės ūkio akademijos, Zoologijos ir parazitologijos instituto ir Botanikos instituto darbuotojai (temos vadovas P. A. Sirvydas). Atlikti dirvos kaitinimo procesų tyrimai yra analogiški dirvos paviršiaus kaitinimui, siekiant jame termiškai sunaikinti piktžolių sėklas. Be to, jie artimi ir šioje monografijoje nagrinėjamam piktžolių terminio naikinimo procesui. Todėl manome, kad siekiant įvertinti dirvoje esančių piktžolių sėklų terminio naikinimo galimybes, reikia aptarti dirvos kaitinimo procesą.

Tyrimai parodė, kad pagal naudojamą įrangą ir dirvos kaitinimo būdą dirvos kaitinimo įrenginius reikia skirstyti į dvi grupes: įrenginius, kurie veikia sausojo kaitinimo būdu, ir įrenginius, kurie dirvos paviršių kaitina vandens garu, kuriam kondensuojantis dirva drėkinama. Bet kuriuo dirvos kaitinimo atveju temperatūros kitimo dirvoje procesas susideda iš trijų skirtingos paskirties periodų (1.4 pav.).

Dirvos pašildymo iki dezinfekcijos temperatūros periodo (A) trukmė priklauso nuo kaitinti naudojamos aplinkos fizikinių savybių ir naudojamo įrenginio tobulumo. Temperatūros išlaikymo periodo (B) trukmė priklauso nuo norimų gauti rezultatų. Norint termiškai sunaikinti sėklas, patogeninius mikroorganizmus ar dirva plintančius augalų

kenkėjus, taikytinas skirtingas temperatūrinis režimas. Temperatūros išlaikymo periodo trukmę lemia dirvos biologinių tyrimų duomenys, gauti po dirvos kaitinimo.



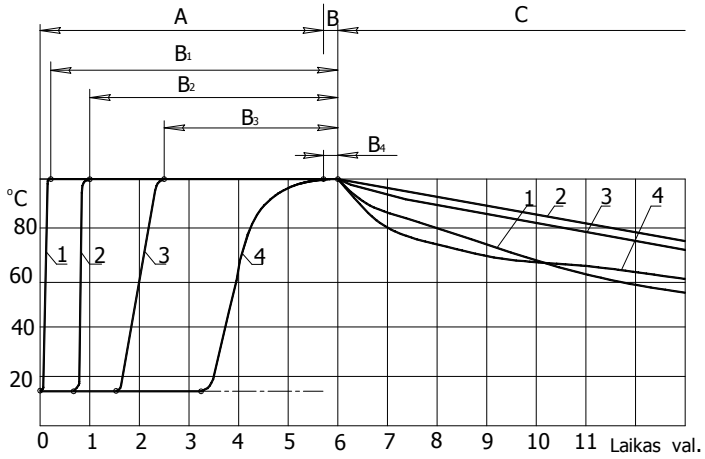
1.4 pav. Dirvos temperatūros kitimo kaitinimo metu teorinė schema: A – dirvos pašildymo iki dezinfekcijos temperatūros periodas; B – temperatūros išlaikymo periodas; C – dirvos aušimo natūralioje aplinkoje periodas

Termiškai paveiktos dirvos tyrimai parodė, kad 100 ºC temperatūros drėgnasis vandens garas sėklas sunaikina, jei temperatūros išlaikymo periodo trukmė yra 1 min. Kai šio periodo trukmė – 10 min., gauti visiškai sterilios dirvos negalima. Sporinių bakterijų lieka 0,86 %, bakterijų, augančių MPA (mėsos peptono agaro) terpėje – 0,23 %, KAA (krakmolo amoniakinio agaro) terpėje – 0,54 %. Aktinomicetai ir grybai sunaikinami. Absoliučiai sterilios dirvos po kaitinimo gauti nebūtina, nes dirva bus užkrėsta iš gilesnių nekaitintos dirvos sluoksnių.

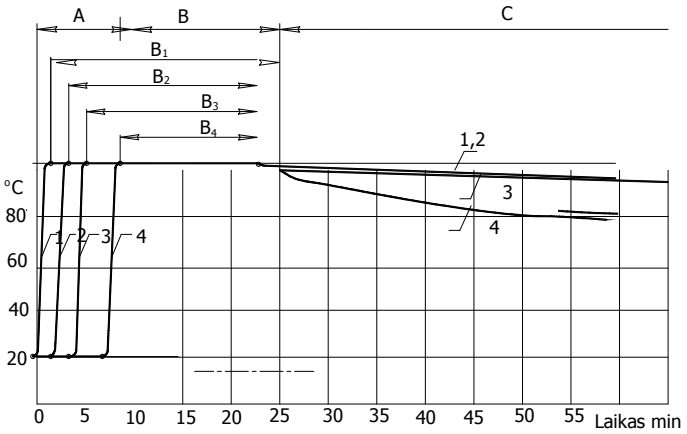
Atskiri dirvos sluoksniai dezinfekcijos temperatūrą pasiekia nevienodu greičiu. Tyrimai rodo, kad dirvos pašildymo iki dezinfekcijos temperatūros periodo trukmė ir temperatūros išlaikymo periodo trukmė atskiruose dirvos sluoksniuose nevienoda. Tai priklauso nuo naudojamo įrenginio tobulumo ir vandens garo padavimo vietos. Prieš kaitinimą dirva turi būti gerai supurenta. Dirvai kaitinti naudojant gaubtus bendra A ir B periodų trukmė yra 6 valandos (1.5 pav.). Dirvai kaitinti naudoti specialios konstrukcijos vamzdžiai, įmontuoti kaitinamos dirvos sluoksnio žemutiniame trečdalyje. Šiuo atveju bendra A ir B periodų trukmė – tik 25 min. (1.6 pav.). Atlikus ilgalaikius tyrimus sukurtas

originalus patentuotas pusiau mobilus dirvos kaitinimo įrenginys (1.7 pav.).

Dirvos paviršiaus terminės sterilizacijos įranga ištirta, dirvos kaitinimo technologija aiški. Pasaulyje dirvos terminės sterilizacijos tyrimai (Moonen et al., 2002; Peruzzi et al., 2004; Melander et al., 2002; Sjursen, Netland, 2004; Hansson, Svensson, 2004, 2007; Raffaelli et al., 2007; Melander, Jørgensen, 2005; Czern 2007; Vidotto, 2009, Vidotto et al., 2011) šiuo metu toliau vykdomi, tačiau terminį piktžolių pradų naikinimą dirvoje riboja labai didelės energijos sąnaudos (Hansson, Svensson, 2007). Garų sunaudojimas 1 m^2 dirvos paviršiaus sterilizuoti priklauso nuo sterilizuojamo dirvos sluoksnio storio, ypač jos drėgmės, dirvos sudėties ir sterilizavimo trukmės. Orientacines energijos sąnaudas galime rasti įvertinę kaitinamojo sluoksnio storį, žinodami, kad 1 m^2 dirvos paviršiaus 1 cm storio sluoksniui pašildyti iki 100 ºC temperatūros reikia sunaudoti daugiau kaip 1 kWh energijos (1,6 kg vandens garo, maždaug 100 g skystojo kuro). Mūsų manymu, vykdomi tyrimai termiškai naikinti piktžolių sėklas kaitinant dirvos paviršių neturi prasmės dėl labai didelių energijos sąnaudų. (1 ha 5 cm storio dirvos sluoksniui kaitinti sunaudojama 5000 kg skystojo kuro).



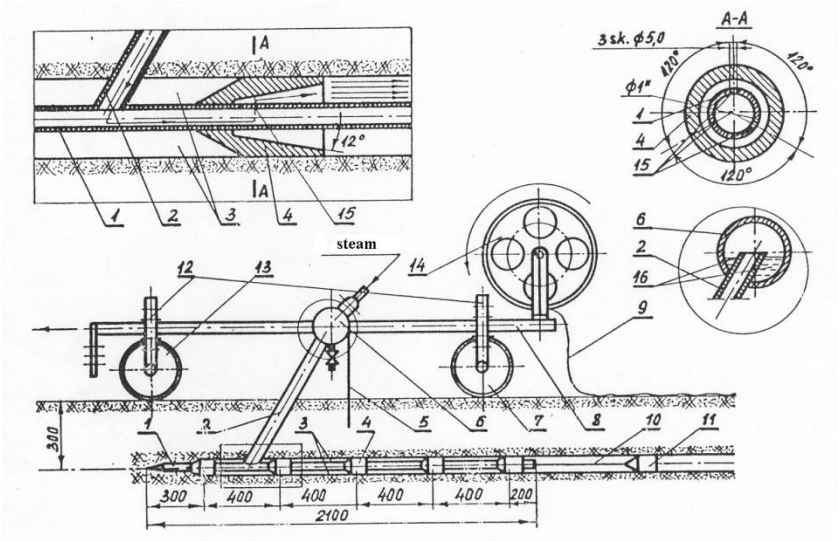
1.5 pav. Temperatūrinis režimas įvairiuose dirvos sluoksniuose, kaitinant dirvą vandens garu, kurio slėgis po plėveliniu gaubtu 40 Pa: 1 – temperatūros kitimas 1 cm gylyje nuo dirvos paviršiaus; 2–10 cm; 3–20 cm; 4–30 cm. A, B, C – atitinkamai dirvos pašildymo, išlaikymo ir aušimo periodai



1.6 pav. Temperatūrinis režimas įvairiuose dirvos sluoksniuose, kaitinant dirvą vandens garu, kurio slėgis perforuotų vamzdžių sistemoje 40 kPa: 1 – temperatūros kitimas 30 cm gylyje nuo dirvos paviršiaus; 2–20 cm; 3–10 cm; 4 – uždengtos dirvos paviršiuje. A, B, C – atitinkamai dirvos pašildymo, išlaikymo ir aušimo periodai

Terminis dygstančių ar išdygusių piktžolių naikinimas pasėlyje. Pastaruoju metu atlikta daug mokslinių tyrimų. Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad mechaninę piktžolių kontrolę galima pakeisti termine. Terminis piktžolių naikinimo metodas yra perspektyvus, nes piktžoles galima sunaikinti sėklaskilčių tarpsnyje, neskatinant naujų piktžolių dygimo.

Terminės piktžolių kontrolės tyrimus, kaip svarbius ekologinių ūkių plėtrai, paskatino Europos herbologų draugija įsteigdama Fizinių metodų piktžolėms naikinti sekciją. Pasaulyje didžiausias susidomėjimas ir daugiausia mokslinių tyrimų paskutiniųjų dviejų dešimtmečių laikotarpiu atlikta terminei piktžolių kontrolei naudojant karštas dujas – liepsną (Casini, Calamai, 1992; Ascard, 1988–1998; Valde, 1998; Vanhala, 2000; Holmoy et al., 2000; Vincent et al., 2001; Leroux et al., 2001; Lague et al., 2001; Rifai et al., 2003; Rasmussen, 2003; Peruzzi et al.,1998–2011; Raffaelli et al., 2004; Vanhala et al., 2004; Knezevic et al., 2009, 2011; Fontanelli et al., 2009; Hanson, Svensson 2011 Rask et al., 2011).



1.7 pav. Pusiau mobilaus dirvos kaitinimo įrenginio schema.**:** 1 – dirvos katinimui garo tiekimo vamzdis; 2 – garo tiekimo iš kolektoriaus vamzdis; 3 – įrenginio suformuotas kanalas dirvoje; 4 – garo tiekimo skylučių ir kanalo formavimo dirvoje apsaugos; 5 – dirvos paviršiuje susidarančio plyšio panaikinimo priemonė; 6 – garo paskirstymo kolektorius; 7 – galinis ratas; 8 – įrenginio rėmas; 9 – audinys įkaitinto dirvos paviršiaus dengimui; 10 – metalinis trosas kaitinimo kanalo ilgiui formuoti; 11 – kaitinimo kanalo kaištis; 12 – dirvos kaitinamo sloksnio storio reguliavimo mechanizmas; 13 – priekiniai ratai; 14 – įkaitinto dirvos paviršiaus dengimo audiniu mechanizmas; 15 – skylutės garo tiekimo vamzdyje; 16 – garo kondensato išleidimo vamzdis

Pirmą daktaro disertaciją piktžolių terminio naikinimo klausimais 1995 m. apgynė Johan Ascard (Švedijos žemės ūkio universitetas). Jis kūrė vadinamuosius liepsnos įrenginius, šilumos gamybai naudojančius suskystintąsias dujas. Ištyrė optimalią karštų dujų srauto padavimo (67º kampu) kryptį, kuria geriausiai termiškai naikinami augalai. Šiuose įrenginiuose dujų deginimo temperatūra reguliuojama keičiant oro pertekliaus koeficientą. Naudojamuose įrenginiuose maksimali temperatūra siekia iki 1000 °C. Juose, šalia šilumos, perduodamos konvekcija, aiškiai pasireiškia šiluminis spinduliavimas nuo įkaitusių įrenginio sienelių. Techniniu požiūriu tai labai paprasti lengvai aptarnaujami įrenginiai. Šiuo metu gaminami analogiški žemės ūkio paskirties įrenginiai (Flame Engineering *Red Dragon,* http://www.flameengineering.com).

Piktžolėms termiškai naikinti naudojant degimo dujų ir oro mišinį įrenginys yra sudėtingesnis. Čia, siekiant ekonomiškumo, įvesta panaudoto šilumos srauto regeneracija. Apginta daktaro disertacija (Bertram, 1996). Hohenheimo žemės ūkio universitete tiriami įrenginiai, piktžolėms naikinti naudojantys karštą vandenį. Apginta disertacija (Kurfess, 2000).

4-oje EWRS konferencijoje (1998) Australijos mokslininkas R. M. Collins netikėtai pademonstravo naują originalų rankinį terminio piktžolių naikinimo gyvenamojo namo aplinkoje įrenginį, dirbantį karštu vandeniu. Jo galingumas – 2 kW. Įrenginys primena rankinį cheminių medžiagų purkštuką.

Italijoje (Universita di Pisa) daug dirbama su doktorantais ekologiško piktžolių naikinimo (mechaninio ir terminio) klausimais, vadovaujant prof. Andrea Peruzzi (Peruzzi et al., 1998–2009).

Terminio piktžolių naikinimo būdas naudojant karštas putas palyginti mažai tyrinėtas. (Collins, et al.,2003; Freize, Heitland, 2003; Bridge, 2005). Plačiau taikytas nebuvo. Pateikiami mažo galingumo nešiojamieji karštų putų įrenginiai termiškai naikinti piktžolėms tik nedideliuose, sunkiai prieinamuose dirvos plotuose.

Karštos putos, pagamintos iš natūralių medžiagų, kurias sudaro cukringos ištraukos iš kukurūzų ir kokoso riešutų, yra įdomi alternatyva herbicidams. Tokiu būdu paruoštos karštos putos yra 100 % natūralios ir visiškai suskaidomos mikroorganizmų. Teigiama, kad jos naudojamos augalams, turintiems vaškinį paviršiaus sluoksnį, naikinti. Putų temperatūra liečiantis su augalu yra artima vandens virimo temperatūrai. Augalo vaškinis sluoksnis suardomas, tai tampa pagrindine augalo dehidratacijos ir žūties priežastimi (Rajamannan, 1996). Dažnai visa tai užpatentuojama, tačiau yra sunkiai įgyvendinama (Tindall, Reid, 2003; Rajamannan, 1996; Thompson et al., 1995; Harry et al., 2005).

Karštų putų panaudojimo galimybes piktžolėms termiškai naikinti reikia vertinti kritiškai. Putas tiriantys Kauno technologijos universiteto mokslininkai yra žinomi pasaulyje (Gylys ir kt., 1998–2007). Remdamiesi savo atliktais ir kitų skelbtais putų tyrimo darbais technologijos srityje, naudojant stabilias šaltas putas augalų apsaugai nuo terminio sunaikinimo, teigiame, kad fiziniai ir cheminiai putų susidarymo ir irimo procesų veiksniai riboja putų, kaip šilumos nešėjo galimybes ir naudojimą piktžolėms naikinti. Perspektyvu putas kaip priemonę naudoti herbicidams skleisti. Pavyzdžiui, pavertus tos pačios koncentraci-

jos raundapo skiedinį (300 kg/l ha ploto) stabiliomis putomis, pasėlio plotą galima padengti 3 cm putų sluoksniu.

Lietuvos žemės ūkio universitete terminio piktžolių naikinimo tyrimai vykdomi nuo 1996 m. Šia tema jau apgintos 7 daktaro disertacijos (lit. sąrašas). Terminio piktžolių naikinimo klausimai tiesiogiai siejasi su augalų energinės apykaitos procesų natūralioje aplinkoje tyrimais, kurie universitete buvo atliekami nuo 1960 m. Turima patirtis ir augalų energinės apykaitos natūralioje aplinkoje procesų analogija su aukštatemperatūrėje aplinkoje vykstančiais procesais mūsų tyrimus pakreipė kita linkme. Augalų energinės apykaitos teorijos pagrindu įvertinus terminio piktžolių naikinimo procesą aukštatemperatūrėje aplinkoje tapo aišku, kad galima sukurti efektyvią terminio piktžolių naikinimo technologiją ir įrenginį naudojant tik drėgnąjį vandens garą. Terminio piktžolių naikinimo procesas ir agrotechnologija yra sudėtingi, tačiau labai efektyvūs. Iškilo ne tik terminio piktžolių sunaikinimo, bet ir pasėlio apsaugos nuo šio sunaikinimo problema. Šilumą termiškai naikinant piktžoles teikia drėgnasis vandens garas vykstant garo kondensacijos procesui.

Nors terminio piktžolių naikinimo klausimus tiriame daugiau kaip 15 metų, neradome nė vienos publikacijos, kurioje piktžolėms naikinti būtų siūloma naudoti drėgnąjį vandens garą. Tyrimus pradėjome nuo eksperimentinio ir teorinio termodinaminio piktžoles naikinančios aplinkos pagrindimo. Augalams termiškai sunaikinti turi būti taikoma aukštatemperatūrė aplinka, kuri gali augalui suteikti didžiausią terminį impulsą. Taigi augalus termiškai naikinanti aukštatemperatūrė aplinka yra ne tik biologinių, bet ir termodinaminių procesų tyrimo objektas. Suprantama, kad atsitiktinis aukštatemperatūrės aplinkos parinkimas, termodinamiškai neparemtas augalo energine apykaita, neleis sukurti efektyvios terminio piktžolių naikinimo technologijos ir įrangos.

Šioje monografijoje aptariamos visos terminio piktžolių naikinimo problemos. Pateikiami terminio piktžolių naikinimo technologijų ir įrangos pagrindimo klausimai. Jie sprendžiami remiantis augalų energinės apykaitos su aplinka teorija (monografija *Augalų energinė apykaita*, LŽŪU, 2011) ir augalų energinės apykaitos procesais, vykstančiais augalus termiškai naikinančioje aukštatemperatūrėje aplinkoje.

2 AUGALO AUDINIŲ TERMINIO PAŽEIDIMO PROCESAS

Augalų terminiam naikinimui naudojama aukštatemperatūrė aplinka. Prieš patekdami į termiškai juos naikinančią aplinką, augalai auga ir vystosi natūraliomis aplinkos sąlygomis. Augalo energijų apykaitą šiomis sąlygomis nagrinėjome monografijoje *Augalų energinė apykaita,* 2011. Augalus termiškai naikinant iš normalių vystymosi sąlygų jie akimirksniu patenka į žmogaus sukurtą aukštatemperatūrę aplinką. Šios aplinkos terminis poveikis naudojant drėgnąjį vandens garą trunka vos keletą sekundžių (1–3 s), tačiau jos yra lemtingos augalo gyvenime.

Šiame skyriuje aptarsime terminius procesus, kuriuos patiria augalas 10 s laikotarpiu prieš terminio impulso paleidimą ir po jo. Panagrinėsime augalo stiebo ir kitų jo dalių, taip pat dirvos paviršiaus sąlyčio su aplinka temperatūrinius sluoksnius, šilumos mainų procesą tarp augalo ir jo aplinkos. Taip pat augalo dalių paviršinių audinių šilimo, šilumos plitimo audiniuose ir augalo terminio pažeidimo metu vykstančius temperatūros kitimo procesus. Nagrinėsime termiškai pažeisto augalo energijų balansus ir procesus, vykstančius augale po terminio impulso paleidimo natūraliomis aplinkos sąlygomis.

2.1. Augalo dalių temperatūrinis apykaitos su aplinka sluoksnis

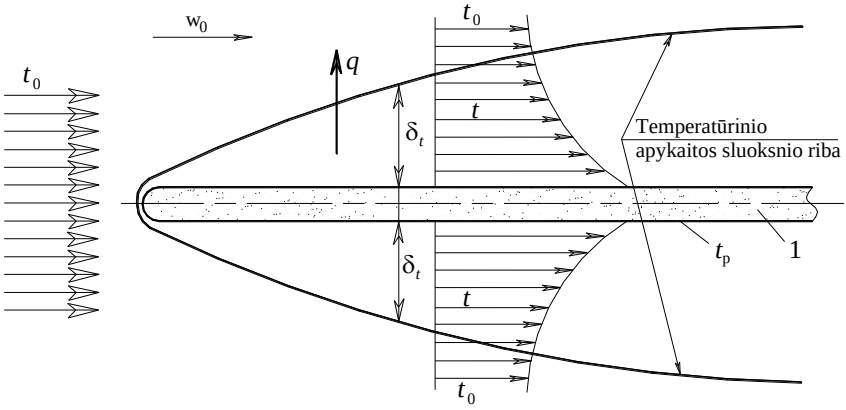
Augalo lapo (ir kitų dalių) paviršiuje tarp lapo ir aplinkos vyksta sudėtingi apykaitos procesai. Lapą supančio oro sluoksnyje iš aplinkos augalo lapo paviršiaus kryptimi juda CO_2 dujų masė. Tame pačiame augalo lapo paviršiniame oro sluoksnyje, vyksta H_2O garų, O_2 ir šilumos Q judėjimas. Taigi, natūralioje aplinkoje augalo lapo paviršiuje

susidaro labai sudėtingi energijų ar masių apykaitos su aplinka srautai. Jie sudaro augalo dalių paviršiuose, atitinkamai, hidrodinaminį, koncentracijų ir temperatūrinį augalo apykaitos su aplinka sluoksnius. Šių sluoksnių susidarymas dėsningas, apykaita tarp augalo ir aplinkos vyksta ribotame augalo dalies apsupties tūryje. Taigi, augalo apykaitos su aplinka sluoksniuose vykstantys procesai yra labai sudėtingi. Jie yra augale vykstančių biologinių ir energinių procesų pasekmės tąsa fizinėje aplinkoje. Augalo apykaitos su aplinka sluoksniuose vykstantys procesai įtakoja ne tik biologinius procesus vykstančius augale, bet lemia ir piktžolių terminio naikinimo proceso efektyvumą.

Nagrinėjant augalo audinių terminio pažeidimo procesą ypač svarbus augalo dalies temperatūrinis apykaitos su aplinka sluoksnis. Toks sluoksnis egzistuoja paviršiuje bet kokio fizikinio kūno, kurio temperatūra skiriasi nuo jį supančio fluido (takaus kūno) temperatūros (Schlichting, Gersten; 2000, Incropera, DeWitt, 1981, Čėsna, 2005, Liutikas, Gudzinskas 2001, Šinkūnas, 2007; Vaitiekūnas, 1998; Žukauskas, 1989; Жукаускас, Мартиненко, 1988). Augalo lapo (ar kitos augalo dalies) paviršiuje oro temperatūra kinta dėsningai, nuosekliai, be jokių šuolių: nuo augalo lapo paviršiaus iki aplink augalą esančio fluido (oro) srauto temperatūros Nagrinėjant augalo dalių sąlyčio su aplinka sluoksniuose vykstančius procesus, tenka remtis termofizikinių procesų, vykstančių augalo aplinkoje, dėsningumais. Nuo augalo apykaitos su aplinka sluoksnio storio (jo suardymo) priklauso termiškai naikinamo augalo audinių terminio pažeidimo proceso efektyvumas. Augalo lapo ar kitos jo dalies paviršiaus struktūra (nelygumai, plaukuotumas, lapo plokštelės deformacijos) iškreipia 2.1 pav. pavaizduotą teorinį temperatūrinį lapo paviršiaus apykaitos su aplinka sluoksnį. Tačiau tai nekeičia temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio augalo paviršiuose egzistavimo esmės.

Piktžoles termiškai naikinant, aukštatemperatūrio srauto dalelės, kurios turi sąlytį su augalo lapo paviršiumi, pasiekia terminę pusiausvyrą, susilygina su lapo paviršiaus temperatūra. Gretimų oro sluoksnių dalelių temperatūra skiriasi. Todėl nuo augalo lapo paviršiaus nuosekliai mažėjanti temperatūra išsidėsto aplink augalo lapą.. Aplink augalo lapo paviršių esančio oro dalis, kurioje egzistuoja ši temperatūros kaita, ir yra augalo lapo temperatūrinis apykaitos su aplinka sluoksnis. Jo storis δ_t apibrėžiamas temperatūrų santykiu kaip y koordinatės vertė, kurios santykis

$[(t_p - t)/(t_p - t_0)] = 0{,}99$ (Incropera, DeWitt, l981; Pedišius, Šlančiauskas, 1995, Liutikas, Gudzinskas 2001). Augalo apykaitos su aplinka sluoksnių susidarymo teoriniai pagrindai aprašyti ankstesnėje mūsų mongrafijoje (2011), todėl čia nagrinėsime tik tuos klausimus, kurie tiesiogiai siejasi su piktžolių terminiu naikinimu.



2.1 pav. Temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio susidarymo augalo lapo paviršiuje schema, kai augalo lapo paviršiaus temperatūra t_p didesnė už aplinkos temperatūrą t_0: t_0 – oro srauto temperatūra; t – pristabdyto oro srauto temperatūra; δ_t – temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio storis; q – šilumos srauto kryptis; 1 – augalo lapo plokštelės schema (paaiškinimas tekste)

Augalo dalies paviršiaus temperatūriniame fluido (oro, dujų, vandens garo) apykaitos su aplinka sluoksnyje temperatūra kinta dėsningai, nuosekliai, be jokių šuolių nuo augalo dalies paviršiaus t_p iki augalą supančio oro srauto t_0 temperatūros. Piktžolių terminio naikinimo procese temperatūrinis apykaitos su aplinka sluoksnis kinta kintant augalo dalies paviršiaus temperatūrai. Biologiniai procesai, vykstantys augalo dalių paviršiuje (pvz., transpiracija), gali skatinti arba slopinti procesus, vykstančius augalo dalies apykaitos su aplinka sluoksnyje ir turėti įtakos piktžolių terminio naikinimo proceso efektyvumui.

Augalo dalies temperatūrinis apykaitos su aplinka sluoksnis priklauso nuo augalo dalies biologinių ir jį supančios aukštatemperatūrės, termiškai augalus naikinančios aplinkos (dujų, vandens garų, putų ir

kt.) fizikinių parametrų. Pagrindiniai parametrai yra augalo dalies geometrinė forma, biologiniai procesai vykstantys augalo dalies paviršiuje (transpiracija, metabolitai), fluido srauto tekėjimo pobūdis aplinkoje ir kiti augalo dalies aplinkos termohidromechaniniai parametrai. Neįvertinus procesų, vykstančių augalo dalies apykaitos su aplinka sluoksnyje, dažnai atsiranda neleistinų tyrimo ir matavimo metodinių klaidų, iš esmės iškreipiančių tyrimo rezultatus ir jais remiantis daromų išvadų pagrįstumą

Išsiaiškinti augalo lapo temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio kitimą ir jo susidarymą galime tik schematizuodami augalo lape (ar kitoje dalyje) vykstančius procesus. Taip priartėjame prie žinomų termofizikinių atvejų, artimiausiai atitinkančių nagrinėjamą procesą augalijoje. Laikome, kad augalo lapas yra plona šilta plokštelė oro sraute. Temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio kitimui augalo lapo paviršiuje nustatyti galime pasinaudoti (Кутателадзе, 1957) lygtimi:

$$\frac{t-t_1}{t_0-t_1}=\frac{2y}{\delta_t}-2\left(\frac{2y}{\delta_t}\right)^3+\left(\frac{2y}{\delta_t}\right)^4, \qquad (2.1)$$

čia t – apykaitos su aplinka sluoksnio temperatūra virš augalo lapo y aukštyje ^{o}C;

t_1 – augalo lapo temperatūra ^{o}C;

t_0 – augalo lapą supančio oro srauto temperatūra ^{o}C;

y – apykaitos su aplinka sluoksnio aukštis virš augalo lapo paviršiaus m;

δ_t – temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio storis m.

Laminarinį apykaitos su aplinka sluoksnio storį (Михеев, 1956) apskaičiuojame naudodamiesi lygtimi:

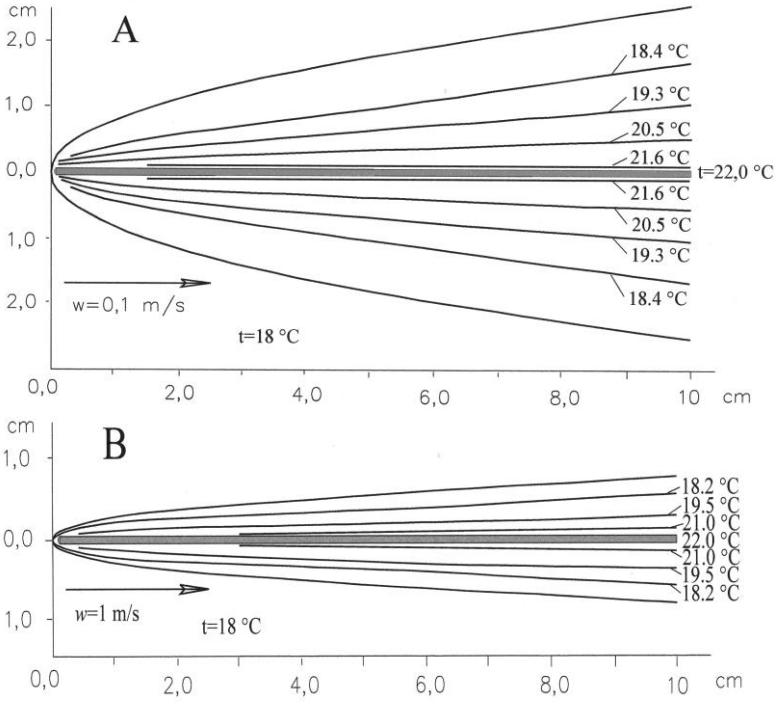
$$\delta_t = 5{,}72\left(\frac{1}{\mathrm{Pr}}\right)^{\frac{1}{3}}\frac{x}{\sqrt{\mathrm{Re}}}, \qquad (2.2)$$

čia Pr – Prandlio kriterijus;

Re – Reinoldso kriterijus;

x – atstumas nuo priekinio lapo krašto m.

Remdamiesi lygtimis (2.1) ir (2.2) apskaičiuojame augalo lapo paviršiuje esančius temperatūrinius laukus natūraliomis aplinkos sąlygomis, kai augalo lapo temperatūra 22 °C, aplinkos temperatūra – 18 °C. Skaičiavimo duomenis, esant skirtingiems aplinkos oro greičiams, pateikiame 2.2 pav.

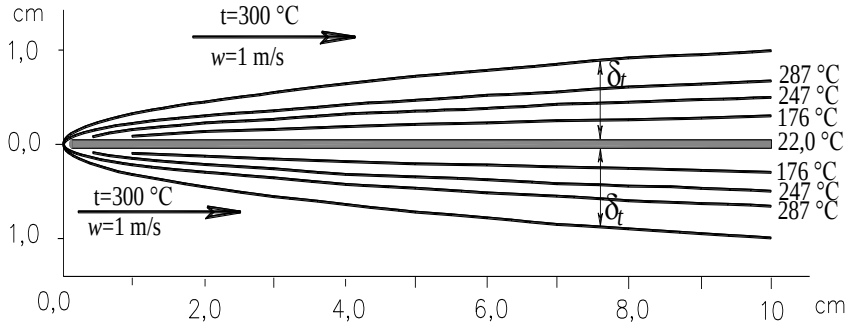


2.2 pav. Temperatūros pasiskirstymas oro srauto sluoksnyje virš augalo lapo paviršiaus: δ_t – temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio storis, m. A – oro srauto temperatūra už apykaitos su aplinka sluoksnio δ_t ribos t_0 = 18 °C; oro srauto greitis w = 0,1 m/s; augalo lapo paviršiaus temperatūra t_1 = 22 °C. B – t_0 = 18 °C, w = 1,0 m/s, t_1 = 22 °C

Duomenys, pateikti 2.2 paveiksle, rodo, kad didėjant oro judėjimo greičiui temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio storis δ_t mažėja. Jam mažėjant (vėjo greičiui didėjant) visuomet didėja šilumos atidavimo koeficientas α W/(m^2·K), intensyvėja augalo dalies konvek-

ciniai šilumos mainai su aplinka. Lokalūs šilumos mainai augalo lapo paviršiuje bus nevienodi dėl nevienodo temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio storio δ_t. Priekinėje lapo dalyje (iš vėjo pusės) šilumos atidavimo koeficientas α bus didesnis. Todėl, teoriškai lokali augalo dalies dalelių temperatūra (lapo plokštelėje) yra skirtinga. Ją lemia lokalus lapo dalelės energijų balansas. Nagrinėdami augalo dalies energinę apykaitą jos konvekcinius šilumos mainus vertiname pagal vidutines reikšmes, kaip tai daroma sprendžiant analogiškus termofizikos uždavinius.

Termiškai naikinant piktžoles naudojame aukštas, augalus naikinančios aplinkos temperatūras. Susidaro labai dideli temperatūrų skirtumai augalo dalių paviršiuose, ko augalas nepatiria natūraliomis aplinkos sąlygomis. Remdamiesi aukščiau pateikta metodika apskaičiuojame augalo lapo paviršiuje esantį temperatūrinį lauką pradiniu piktžolių terminio naikinimo momentu, kai augalo lapo temperatūra 22 °C, piktžoles naikinančios aplinkos oro temperatūra 300 °C. Skaičiavimo duomenis, kai aplinkos oro greitis w = 1,0 m/s, pateikiame 2.3 pav.



2.3 pav. Temperatūros pasiskirstymas oro srauto sluoksnyje virš augalo lapo paviršiaus: δ_t – temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio storis, m. Oro srauto temperatūra už apykaitos su aplinka sluoksnio δ_t ribos t_0 = 300 °C, oro srauto greitis w = 1 m/s, augalo lapo paviršiaus temperatūra pradiniu terminio naikinimo momentu t_1 = 22 °C

Tenka dar kartą atkreipti dėmesį, kad temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio storis δ_t priklauso nuo augalo dalies anatominio paviršiaus ypatumų. Augalo dalies paviršiaus nelygumai, plaukuotumas, lapo orientacija vėjo atžvilgiu ir kita daro įtaką temperatūrinio apykai-

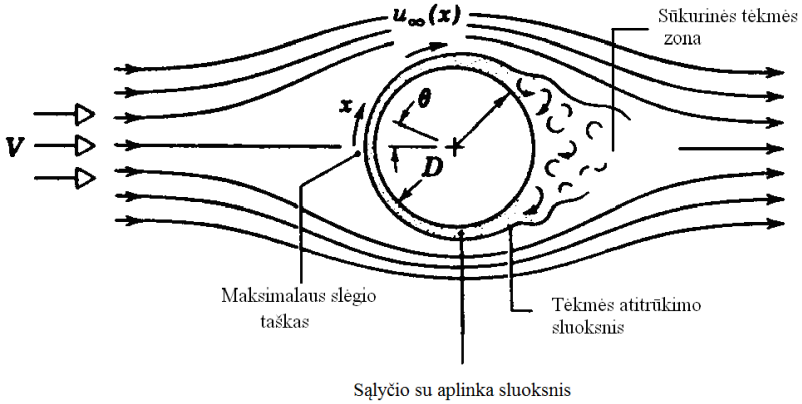
tos su aplinka sluoksnio storiui δ_t, kuris yra lemiantis veiksnys piktžolių terminio naikinimo technologijoje. Įsidėmėkime (2.3 pav.**),** koks didelis temperaturos kritimas augalo lapo sąlyčio su aplinka paviršiuje. Kuo plonesnis temperatūrinis apykaitos su aplinka sluoksnio storis δ_t, tuo arčiau prie augalo paviršių priartėja aukštatemperatūris srautas, tuo efektyvesnis piktžolės terminio naikinimo procesas.

Lygindami temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio skaičiavimo duomenis natūralioje ir augalą termiškai naikinančioje aplinkoje (2.2B ir 2.3 pav.), esant vienodam aplinkos oro greičiui, matome, kad skiriasi tik šilumos srauto kryptis ir temperatūrų gradientai (izotermų kitimo intensyvumas) apykaitos su aplinka sluoksnyje. Temperatūrinis apykaitos su aplinka sluoksnis susidaro aplink visas augalo dalis, esant temperatūrų skirtumui tarp augalo dalies paviršiaus ir aplinkos. Temperatūrinio lauko forma, kuri susidaro aplink augalo dalį, labiausiai priklauso nuo jos geometrinės formos ir oro srauto judėjimo greičio. Taigi kiekvienu atveju turime savitą temperatūrinį apykaitos su aplinka sluoksnį ir savitą temperatūros pasiskirstymą oro sraute virš kiekvienos augalo dalies paviršiaus. Dirvos paviršiaus ir augalo dalių temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio ardymas yra labai svarbus piktžolių terminio naikinimo technologinio proceso veiksnys. Šio sluoksnio formą ir jo susidarymą aplink augalą, termiškai naikinant piktžoles, reikia žinoti ir visuomet vertinti kartu su augalo dalies anatomine forma, jo vystymosi ypatumais, augimo centrų išsidėstymu augale ir kitais biologiniais ir aplinkos ypatumais. Kompleksiškai neištyrus ar neįvertinus šių klausimų terminio piktžolių naikinimo technologija visuomet kels problemų.

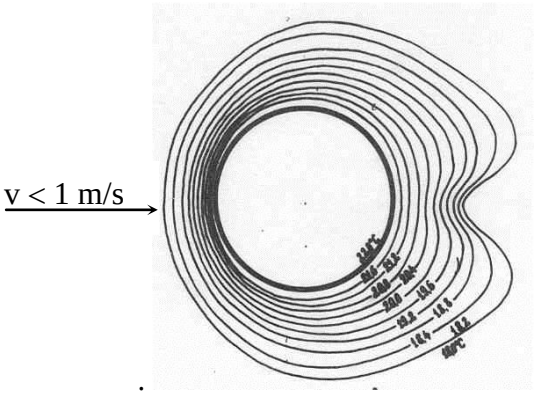
Panagrinėkime temperatūrinius apykaitos su aplinka sluoksnius, kurie susidaro aplink augalo dalis, turinčias kitokią anatominę formą nei augalo lapo plokštelė.

Aplink augalo stiebą ar kitą cilindrinės formos augalo dalį iš oro srauto pusės temperatūrinis apykaitos su aplinka sluoksnio storis yra mažiausias (Incropera, 1981; Liutikas, Gudzinskas, 2001; Žukauskas, 1989). Iš priešingos pusės galimas oro srauto sūkuriavimas (3.3 pav.), kai $Re > 5$. Jei Reinoldso kriterijus mažesnis nei 5 ($Re < 5$), oro srauto sūkuriavimo nebūna. Tokį oro tekėjimo atvejį pateikėme 3.4 paveiksle. Tai mūsų apskaičiuotas temperatūrinio sąlyčio su aplinka sluoksnio atvejis aplink augalo stiebą, augantį natūraliomis aplinkos sąlygomis, kai stiebo temperatūra 22 ^{o}C, o aplinkos temperatūra 18 ^{o}C. Šis tempe-

ratūrinis apykaitos su aplinka sluoksnis aplink augalo stiebą pavaizduotas remiantis teoriniais skaičiavimais. Tokiu būdu galime nustatyti temperatūrinį apykaitos su aplinka sluoksnį ir aplink kitas augalo dalis esant mus dominančioms sąlygoms.



2.4 pav. Temperatūros laukas oro sraute aplink cilindrinį kūną, kai Re > 5 (Incropera, 1981).

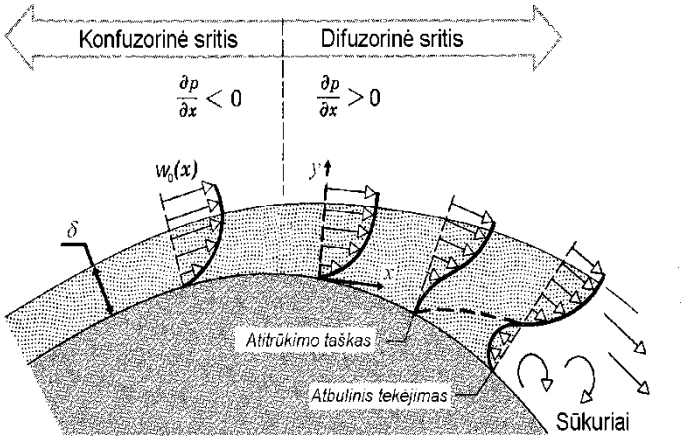


2.5 pav. Temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio izotermos aplink augalo stiebą, kurio skersmuo 2 cm. Stiebo paviršiaus temperatūra t_1 = 22 ^oC, aplinkos tempertūra t_0 = 18 ^oC. Vėjo greitis w = 1,0 m/s

Temperatūrinis apykaitos su aplinka sluoksnis daro įtaką piktžolių terminio naikinimo procesui. Šio sluoksnio storis ir forma priklauso nuo naudojamos aukštatemperatūrės aplinkos fizikinių savybių, šilum-

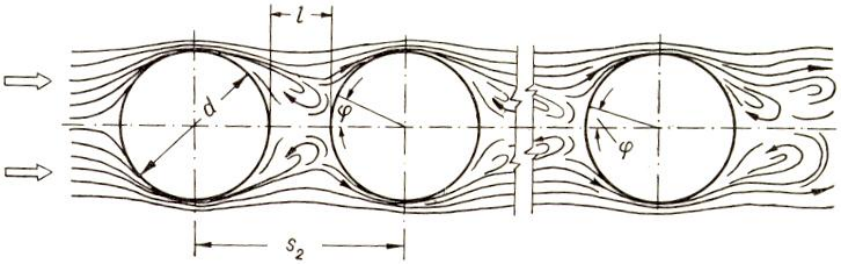
nešio judėjimo greičio, augalo (daigo) dalių formos ir kitų veiksnių. Susidaręs temperatūrinis apykaitos su aplinka sluoksnis augalo dalių paviršiuje neleidžia tiesiogiai augalo audinius veikti aukšta naikinančio srauto temperatūra. Piktžolių terminio naikinimo metu augalo dalių paviršiuje susidaro didžiulis temperatūrų (2.3 pav**)** skirtumas. Temperatūra augalo dalies apykaitos su aplinka sluoksnyje kinta nuosekliai. Piktžolių terminio naikinimo metu dažniausiai pastebimas laminarus aukštatemperatūrio oro srauto judėjimas Re < 2000 (w < 10 m/s).

Naudojant karštas dujas temperatūrinį lauką aplink augalo stiebą galima pavaizduoti panašiai, kaip nurodoma literatūroje (Incropera et. al., 2001; Skrinska, 2006). Augalo stiebo apsupties dujomis atveju oro tėkmės su aplinka sluoksnis gali būti storesnis dėl stiebo paviršiaus nelygumų ir jo plaukuotumo keliamo pasipriešinimo. Kaip matyti iš 3.4 paveikslo, apsuptas dujų augalo stiebas gaus nevienodą terminį poveikį. Jis bus didesnis ten, kur susidarys plonesnis apykaitos su aplinka sluoksnis. Matome, kad augalo stiebas didžiausią terminį poveikį gaus iš aukštatemperatūrio srauto judėjimo pusės (2.6 pav.). Sūkurinės tėkmės zona pasireiškia priešingoje srauto judėjimo pusėje. Ją sukelia cilindro paviršiuje susidariusios priešingos bendrojo srauto tėkmei srovės. Tai priklauso nuo srauto tekėjimo greičio. Sūkurinės tėkmės zonos susidarymas akivaizdžiai matomas 2.6 paveiksle.



2.6 pav. Srauto greičio kitimo profilis apsupus cilindrinį kūną ir sukėlus srauto sūkuriavimą (Жукаускас, Жюгжда, 1979, Incropera et al., 2001)

Iš to, ką aptarėme, matyti, kad natūraliomis oro aplinkos sąlygomis augalo dalis apiplaus laminarus oro srautas. Naikinant piktžoles karštu oru, kai grupė dygstančių augalo stiebų apipučiama aukštos temperatūros srautu, augalai stabdo ir ardo apykaitos su aplinka oro srautą. Šis srautas slenka stiebo paviršiumi sudarydamas laminarinį apykaitos su aplinka sluoksnį. Priešingoje stiebo pusėje pasireiškia sūkuriavimas – maišymasis (turbulencija). Augalų stiebų grupės apsupties oru vaizdas, esant laminariniam tekėjimui, pavaizduotas 2.7 pav. Iš jo akivaizdžiai matyti, kad išorės karštas oro srautas negalės tiesiogiai prieiti prie augalo stiebo, nes tam trukdys apykaitos su aplinka sluoksnis, kurį sukurs šalti augalo audiniai. Taigi šilumos srautas, susidaręs nuo karšto oro, naudojant trumpalaikį kaitinimą, nesunaikins stiebo audinių. Be to, 2.6 pav. leidžia teigti, kad tėkmės sūkuriavimas priešingoje stiebo pusėje sukels nevienodą aukštatemperatūrės aplinkos terminį poveikį augalo stiebo atskiroms dalims. Esant keliems gretimai išdygusiems daigams, jų stiebai sukuria savitą, priklausomai nuo stiebų išsidėstymo ir tankio, aukštatemperatūrį oro tėkmės lauką (2.7 pav.). Todėl atskiri gretimai augančių augalų stiebai gali gauti nevienodą aštatemperatūrio srauto terminį poveikį.



2.7 pav. Srauto sūkuriavimas, esant keliems augalo stiebams (Жукаускас, и др.1988)

Temperatūrinį lauką sukuria ir dirvos paviršius. Jo formavimuisi labai didelę įtaką turi dirvos paviršiaus nelygumai. Susidarantieji temperatūriniai laukai aplink dygstančių augalų stiebus yra dar sudėtingesni, kai tenka įvertinti ir žemės paviršiaus temperatūrinius laukus. Pavyzdžiui, jei augalas išdygęs dirvos iškilioje vietoje, tai sukuriami laukai bus artimi 2.6 ir 2.7 pav. pateiktiems vaizdams. Tačiau augalas dygsta mažiausio dirvos pasipriešinimo kryptimi, dažnai – dirvos duo-

butėje. Taigi šiais atvejais jis patenka į dviejų veikiančių laukų sąlyčio su aplinka sluoksnių sąveiką. Jie neleis augalą naikinančiam aukštatemperatūriam oro srautui priartėti prie žemės paviršiaus duobutėje.

Vandens garo technologijoje išleistas į aplinką garo srautas juda šaltų augalo ir dirvos paviršių kryptimi. Jo judėjimo kryptį aplinkoje suformuoja garo kondensacijos procesas. Garo kondensacijos metu įvyksta labai didelis garo tūrio sumažėjimas (maždaug 1700 kartų). Temperatūrinis sąlyčio su aplinka sluoksnis drėgnojo garo kondensacijos proceso metu aplink vertikalų termiškai naikinamą augalo stiebą yra koncentriškas, nėra garo srauto sūkuriavimo. Todėl drėgnojo garo srautas nukreipiamas augalo stiebo kryptimi iš visų pusių, t. y. kondensacija vyksta visame augalo stiebo paviršiuje. Esant labai dideliam šilumos atidavimo koeficientui (α = 50000–100000 W/(m^2·K), aukštatemperatūris sąlyčio su aplinka sluoksnis augalo dalies paviršiuje (kurį apsupa drėgnasis vandens garas), labai greitai sumažėja ir praktiškai išnyksta, nes augalo audinių paviršiaus temperatūra labai greitai pasiekia drėgnojo vandens garo temperatūrą.

Taigi labai mažas apykaitos su aplinka sluoksnio storis ir garo judėjimo kryptis kondensacijos paviršiaus kryptimi (iš jų ir daigo) nepalieka jokių galimybių naikinamam augalo daigui pasislėpti dirvos prieglobstyje, dirvos apykaitos su aplinka sluoksnyje. Naudojant karštų dujų technologiją terminiam piktžolių naikinimui, šis dirvos sluoksnis padeda išsaugoti mažus daigus nuo sunaikinimo. Taigi vandens garo aplinka, priešingai nei dujinė (oro), teoriškai yra tinkama dygstančių piktžolių terminiam naikinimui.

Nagrinėdami temperatūrinių laukų (juos sukuria augalo daigeliai, lapeliai, dirvos paviršius ir jos nelygumai, augalo plaukeliai ir t. t.) susidarymą siekėme vienintelio tikslo – tobulinti terminio piktžolių naikinimo technologinį procesą. Nuo aukštatemperatūrio srauto judėjimo greičio, temperatūros ir drėgmės laukų tiesiogiai priklauso piktžolių terminio naikinimo technologijos efektyvumas, todėl šiuos procesus reguliuodami norima linkme galime tikėtis gerų rezultatų kurdami piktžolių terminio naikinimo technologiją. Visa tai leidžia teoriškai įvertinti terminio piktžolių naikinimo technologinį procesą ir suteikia galimybę piktžoles termiškai naikinti daigo tarpsnyje. Be to, leidžia įvertinti terminės aplinkos piktžolėms naikinti veiksnius, turinčius lemiamos įtakos šio technologinio proceso efektyvumui.

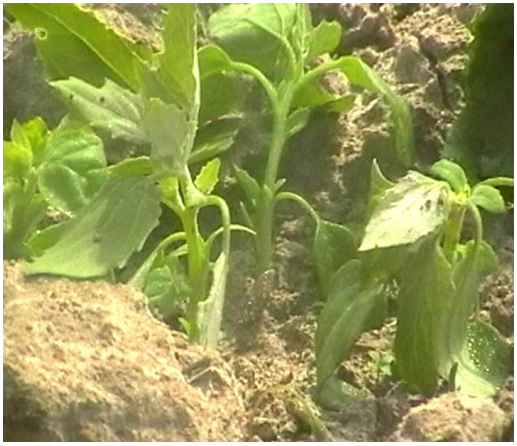
2.2. Augalo terminio pažeidimo būdai

Augalo terminio pažeidimo, siekiant jį termiškai sunaikinti, būdas priklauso nuo piktžolių terminio naikinimo technologijos. Taikant karštų dujų technologiją augalas nudeginamas. Vandens garo technologija leidžia piktžoles naikinti keletu būdų. Tai priklauso nuo naikinamų piktžolių biologinių savybių ir jų augimo tarpsnio. Manome, kad bus naudinga aptarti du augalo terminio pažeidimo, sukeliančio augale letalų procesą, būdus.

Pirmasis – tai visiškas antžeminės augalo dalies sunaikinimas 300–1000 ^{o}C temperatūra naudojant karštą orą arba karštas dujas (Ascard, 1995,1994; Engel, 1968; Holmoy 2000; Raffaelli. 2004; Rasmussen 2003; Whitney, 1968). Toks terminis piktžolių naikinimas primena žolės miltų gamybos agregatus ir juose vykstantį technologinį procesą. Žolių džiovinimo tyrimai aukštatemperatūrėse džiovyklose vykdyti Lietuvoje ir pasaulyje (Аудзевичюс, 1967, Валушис, 1977). Šie tyrimai leidžia teigti, kad smulkintos žolės džiovinimas vyksta 500–1000 ^{o}C temperatūroje. Kol žolė džiovinama, jos audinių temperatūra padidėja tik iki 40–50 ^{o}C, nepaisant aukštos aplinkos temperatūros. Tai džiovinimo proceso dėsningumas. Taigi naudojant karštų dujų technologiją piktžolėms naikinti, pirmiausia jos yra išdžiovinamos, o po to nudeginamos. Tokiu atveju termiškai pažeisto augalo energijų balanso problema savaime išnyksta. Naudojant karštas dujas piktžolių sukurta organinė masė sunaikinama – sudeginama ir nepanaudojama kaip organinė trąša.

Antrasis piktžolių terminio naikinimo būdas – tai augalų antžeminės dalies terminis naikinimas karštu vandeniu arba drėgnuoju vandens garu. Čia galimi du augalo terminio pažeidimo atvejai.

Pirmuoju atveju visas augalas, t. y. piktžolė, paveikta 1–2 s trukmės drėgnuoju 100 ^{o}C temperatūros vandens garu, yra nuplikinama. Taip termiškai pažeidžiama visa jos antžeminė dalis (2.8 pav.). Termiškai pažeistas augalas patenka į natūralią aplinką, kurioje išdžiovinamas žūsta ir lieka organinė trąša dirvos paviršiuje (2.9 pav.). Termiškai naikinant dygstančius augalus, naikinamo augalo masė yra mažesnė, todėl sumažėja terminio poveikio trukmė, kartu ir energijos sąnaudos technologiniam piktžolių naikinimo procesui. Mūsų bandymai pagrįstai leidžia teigti, kad piktžoles veiksmingiausia naikinti daigo tarpsnyje.

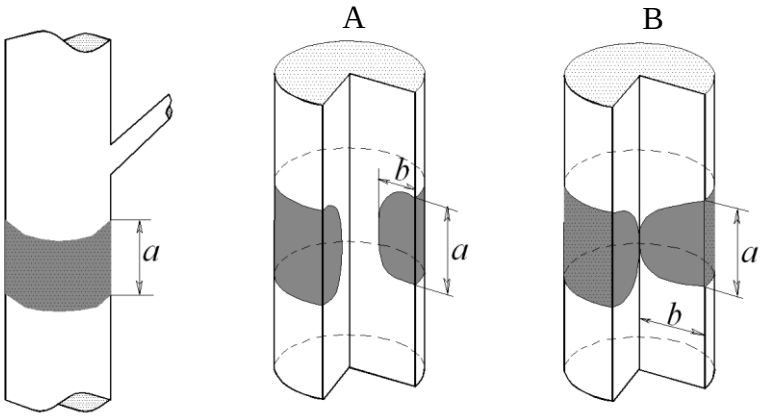


2.8 pav. Augalai, paveikti drėgnuoju vandens garu

2.9 pav. Išdžiūvę augalai dirvos paviršiuje po terminio poveikio drėgnuoju vandens garu

Vandens garo savybę judėti šaltų augalo ir dirvos paviršių kryptimi galima panaudoti augalo stiebą pažeidžiant dirvos paviršiuje „žiedu“. Šiuo atveju termiškai naikinamas ne visas augalas, o tik pažeidžiama augalo stiebo dalis (2.10 pav.). Taip sutrikdomos augalo stiebo fiziologinės funkcijos. Termiškai pažeistas augalas, negaudamas iš šak-

nų sulčių, veikiamas natūralios aplinkos sąlygų išdžiūva ir taip letaliai sunaikinamas. Siekiant augalą sunaikinti pakanka jo stiebo 5–10 mm pločio juostą paveikti aukšta temperatūra „žiedu“. Suprantama, kad naudojant tokį būdą gaunamos mažiausios šilumos sąnaudos augalui sunaikinti. Kaitinant vieną piktžolę, kurios stiebo skersmuo d = 1 mm, bus kaitinama augalo audinių masė $M_1 = 1{,}1 \cdot 10^{-6}$ kg. Atitinkamai, jei d = 2 mm, $M_2 = 2{,}58 \cdot 10^{-6}$ kg, d = 3 mm, $M_3 = 4{,}05 \cdot 10^{-6}$ kg; d = 4 mm, $M_4 = 5{,}53 \cdot 10^{-6}$ kg. Apskritai augalui kaip gyvam organizmui sunaikinti reikia sunaudoti labai nedaug šilumos. Todėl jo terminis pažeidimas „žiedu“ (2.10 pav.) energijos sąnaudų požiūriu yra ypač perspektyvus.



2.10 pav. Termiškai pažeistų „žiedu“ augalo stiebo audinių teorinis modelis: A – dalinis augalo audinių sunaikinimas. B – augalo pažeidimas per visą stiebo skerspjūvį; *a* – pažeistų audinių žiedo aukštis; *b* – pažeidimo gylis

„Žiedu“ pažeistas augalas, priklausomai nuo pažeidimo gylio, žūva arba patiria dalinį audinių sunaikinimą, kuris iš esmės pakeičia tolesnę augalo vystymosi eigą. Paprastai dygstančios piktžolės žūva. Jų stiebo storis būna mažas ir trumpalaikio 1 s kaitinimo drėgnuoju vandens garu pakanka piktžolės stiebui sunaikinti. O dygstantys ir augantys žemės ūkio augalai, kurių stiebas daug storesnis, kaitinant 1 s gali gauti dalinį terminį stiebo pažeidimą. Dėl tokio pažeidimo augalas gali ir nežūti. Tuo atveju pasireiškia ryškūs pokyčiai augalo vystymesi. Tokiu piktžolių naikinimo būdu vienu metu galima sunaikinti piktžoles, o žemės ūkio augalui suteikti terminį stresą. Abiem atvejais pažeisto augalo tolesnis gyvavimo ar žuvimo procesas yra susijęs su pakitusiais

energijų apykaitos ir masės mainais pačiame augale, taip pat tarp augalo ir jo aplinkos. Pastebėta, kad piktžolių terminio naikinimo metu sukeltas terminis stresas turi įtakos žemės ūkio ir piktžolinių augalų tolesniam vystymuisi (ankstina) ir (didina) derliui. Bet tai biologinių tyrimų objektas, kuris galutinai paaiškės įdiegus piktžolių terminę kontrolę agrotechnikoje.

2.3. Augalo paviršiaus audinių šilimo procesas

Augalo terminis naikinimas paremtas jo audinių kaitinimu aukštatemperatūrėje aplinkoje iki letalios temperatūros. Augalo audinių kaitinimą apibūdina du procesai: konvekcinis paviršinių augalo audinių šildymo procesas ir šilumos plitimo, augalo audiniais, laidžiu procesas. Juos abu apibūdina skirtingi dėsniai, o tarpusavyje sieja tik augalo dalies paviršiaus temperatūra.

Termiškai naikinant augalą aukštatemperatūrė aplinka pirmiausia šilumą atiduoda augalo dalies paviršiui pagal Niutono dėsnį. Šis procesas valdomas keičiant aukštatemperatūrę augalus kaitinančią aplinką (dujos, vandens garas, karštas vanduo) ir jos terminius parametrus. Konvekcinio šildymo proceso pagrindinis uždavinys – kuo greičiau pasiekti maksimalią naikinamos augalo dalies paviršiaus temperatūrą.

Augalo dalies paviršinių audinių konvekcinis šildymo procesas yra labai sudėtingas. Jis priklauso ne tik nuo daugelio fizikinių aplinką apibūdinančių parametrų, bet ir nuo augalo dalies anatominės formos, jo paviršiaus struktūros ir darinių. Be to, piktžolių terminio naikinimo procesas vyksta labai trumpai, kintamomis sąlygomis, suteikiant 1–3 s aukštatemperatūrį impulsą augalui. Eksperimentinį šio proceso tyrimą gyvuose augalo audiniuose sunku atlikti, o rezultatai būtų tik orientaciniai. Teorinis sprendimas, modeliuojant augalo paviršinių audinių šildymo procesą bus tikslesnis, tačiau priklausys nuo galimybių įvertinti (remiantis analogija) augalo fizikinius parametrus, kuriuose atsispindi jo gyvybiniai procesai. Manome, kad teorinis augalo dalies kaitinimo proceso nagrinėjimas pavyks, jei išsiaiškinsime temperatūros kitimo procesą augalo dalies paviršiuje ir jo dėsningumus. Todėl žemės ūkio specialistams, tiriantiems augalų terminio naikinimo problemas, supras-

tintai pateiksime šilumos apykaitos kintamomis sąlygomis procesą, vykstantį tarp augalo ir jo aplinkos, augalą termiškai naikinant.

Augalo audiniams šildyti aplink jį sukuriama aukštatemperatūrė aplinka, kuri per minimalios trukmės laiką τ turi pašildyti paviršinius augalo dalies audinius iki kuo aukštesnės temperatūros. Šiuo atveju augalo dalių paviršiaus temperatūra t_1 su aukštatemperatūre, augalą kaitinančia aplinka t_0 susieta lygtimi:

$$q = \alpha(t_0 - t_1), \tag{2.3}$$

čia q – konvekcinis šilumos srauto tankis, kurį atiduoda augalui aukštatemperatūrė aplinka J/s;

α – aukštatemperatūrės aplinkos šilumos atidavimo koeficientas W/(m^2·K);

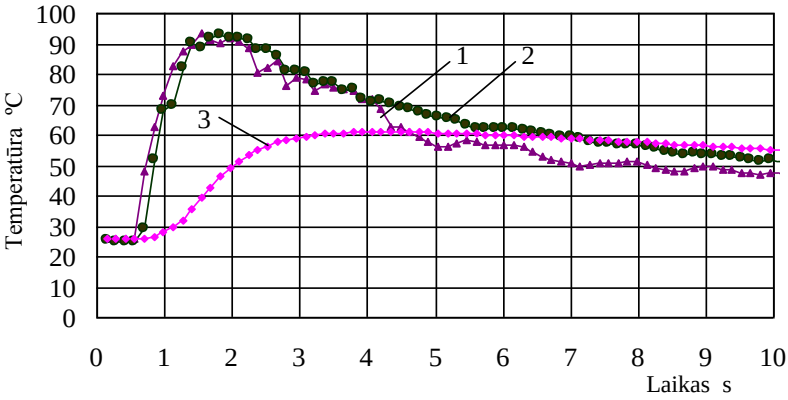
$(t_0 - t_1)$ – aukštatemperatūrės aplinkos ir augalo paviršiaus temperatūrų skirtumas K.

Augalo paviršiaus kaitinimo proceso metu, kuris trunka vos keletą sekundžių, temperatūrų skirtumas tarp augalo dalies paviršiaus ir aplinkos $(t_0 - t_1)$ sparčiai mažėja. Kaitinimo pabaigoje jis tampa minimalus. Esant kitoms vienodoms sąlygoms, kaitinamo paviršiaus temperatūrą lemia tik kaitinančios aplinkos termodinaminė savybė – gebėjimas kaitinamam augalo paviršiui atiduoti šilumą (šilumos atidavimo koeficientas) ir kaitinamų augalo audinių šilumos laidis (šilumos laidžio koeficientas λ augalo audinių $\lambda \cong 0{,}575$, vario $\lambda = 390$, sauso popieriaus $\lambda = 0{,}14$ W/(m·K).

Piktžoles naikinančią aplinką mes galime pasirinkti (dujos, vandens garas, dujų ir vandens garo mišinys). Augalo audinių fizikinių savybių keisti negalime. Visi gyvi audiniai nepriskiriami izoliacinėms medžiagoms (kurių $\lambda < 0{,}2$), tačiau jie pasižymi mažu šilumos laidžiu. Tai leidžia teigti, kad augalo dalių paviršių galima greitai įkaitinti parinkus augalams naikinti aukštatemperatūrę aplinką, turinčią didelį šilumos atidavimo koeficientą α W/(m^2·K). Kuo šis koeficientas didesnis, tuo greičiau augalo dalies paviršius temperatūra didės ir greičiau priartės prie kaitinančios aplinkos temperatūros.

Kadangi drėgnojo vandens garo šilumos atidavimo koeficientas yra labai didelis α = 50000 - 100000 W/(m^2·K), dujų mažas α = 25 - - 30 W/(m^2·K), galime palyginti šių aplinkų kaitinimo efektyvumą. Ver-

tinant augalui atiduodamą konvekcinį šilumos srauto tankį tik pagal šilumos atidavimo koeficientą α, garas turėtų termiškai naikinamą augalą kaitinti 2000–3000 kartų efektyviau negu dujos. Be to, piktžolių terminiam naikinimui naudojant vandens garą, transpiracija nevyksta, nes aplinka būna visiškai prisotinta vandens garo. Nutraukus garavimą augalo dalių paviršius akimirksniu pasiekia temperatūrą, artimą vandens garo temperatūrai (2.11 pav.). Iš paveiksle pateiktų duomenų matome, kad temperatūros kilimo kreivės augalą kaitinančioje aplinkoje ir augalo paviršiuje kinta vienodu greičiu ir yra artimos absoliučia reikšme.

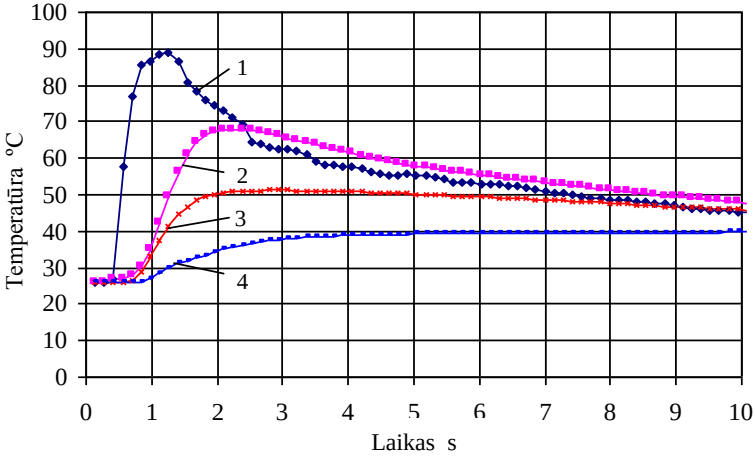


2.11 pav. Augalo *Galinsoga parviflora cav.* stiebo ir aplinkos temperatūros kitimas piktžolių terminės kontrolės metu naudojant drėgnąjį vandens garą. Terminio poveikio trukmė – 2,4 s. Tirtų augalų stiebo skersmuo 2,9 ± 0,1 mm. Temperatūros kitimas: 1 – augalo aplinkoje; 2 – augalo stiebo paviršiuje; 3 – augalo stiebo centrinėje dalyje

Temperatūros kitimas augalo audiniuose priklauso nuo augalo stiebo biometrinių rodiklių arba (pavyzdžiui, *Echinochloa crus-galli* (*L.*)) krūmijimosi mazgo dydžio skirtingais augimo tarpsniais. Ši temperatūros kitimo augalo audiniuose priklausomybė akivaizdžiai matoma (2.12 pav.).

Stebėdami temperatūros kitimą pradiniu momentu aplinkoje ir augalo stiebo paviršiuje (2.12 pav.) matome, kad jis yra nuosekliai didėjantis. Tai yra todėl, kad kaitinantis augalą garas yra išleidžiamas iš tiksliai fiksuotu greičiu judančio garo sklaidiklio stende, kurio veikimas

panašus į piktžolių terminio naikinimo agregato. Kuo didesnis sklaidiklio judėjimo greitis, tuo staigesnis temperatūros kilimas ir trumpesnė augalo gaunamo terminio impulso trukmė. Tai reikia prisiminti ir nagrinėjant analogiškus paveikslus tolesniame tekste.



2.12 pav. Temperatūros kitimas *Echinochloa crus-galli* (*L.*) krūmijimosi mazge skirtingais augimo tarpsniais. Terminio vandens garo poveikio trukmė augale – 1,2 s. 1 – augalo paviršiuje; 2 – dviejų lapelių augimo tarpsnyje krūmijimosi mazgo centre, kai d_{min} = 2,1 ± 0,1 mm; 3 – keturių lapelių augimo tarpsnyje krūmijimosi mazgo centre, kai d_{min} = 3,1 ± 0,1 mm; 4 – trijų šalutinių stiebelių krūmijimosi mazgo centre, kai d_{min} = 5,9 ± 0,1 mm

Paviršiniam augalo audinių temperatūros kitimo procesui, be šilumos atidavimo koeficiento α, daro įtaką dar du veiksniai: termofizikinis – kaitinančios aplinkos temperatūra, biologinis – transpiracija.

Aplinkas, kurios gali augalui suteikti aukštatemperatūrį impulsą terminio naikinimo proceso metu, nagrinėsime 4 skyriuje. Tam šiuolaikiniuose įrenginiuose dažniausiai naudojama vandens garo arba dujų aplinka. Šių aplinkų termodinaminės savybės, jas naudojant piktžolių terminiam naikinimui, iš esmės skiriasi.

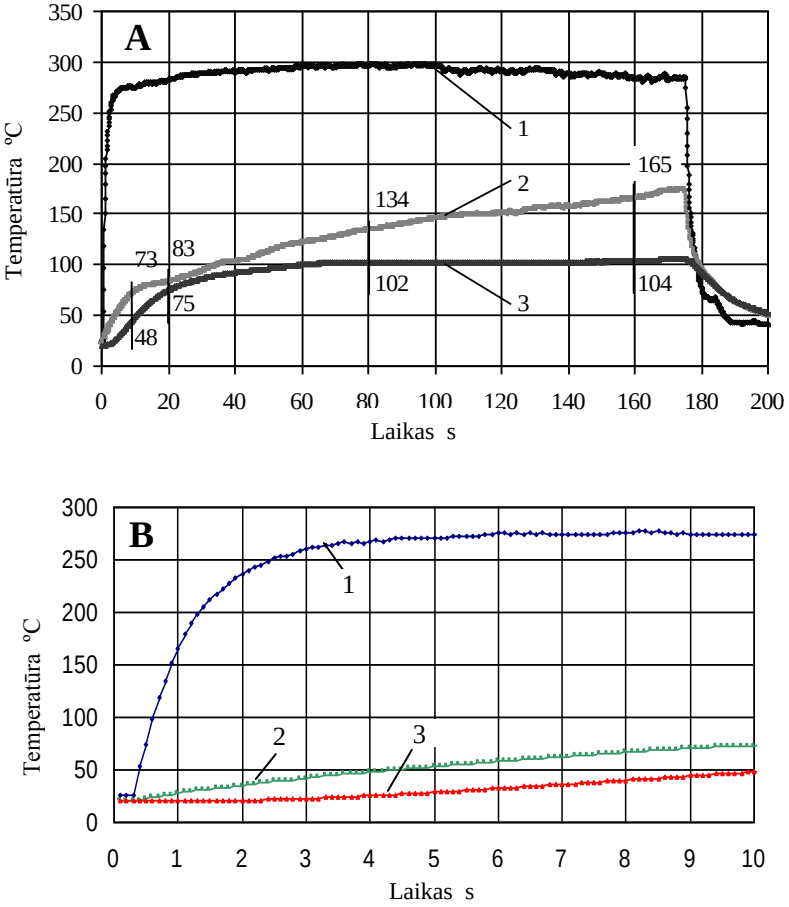
Vandens garo temperatūra priklauso nuo slėgio augalo aplinkoje. Esant normalioms aplinkos sąlygoms (101325 Pa) vandens garo temperatūra augalo aplinkoje yra 100 ^{o}C. Degimo dujų temperatūra yra lengvai reguliuojama ir priklauso tiktai nuo piktžolių naikinimo technologinio proceso užduoties. Piktžolių terminio naikinimo įrenginiuose ji kar-

tais siekia iki 1000 °C. Kaip matome iš (2.3) lygties, piktžolių terminiam naikinimui naudodami dujinę aplinką, augalo dalių paviršiaus kaitinimo intensyvumą galime didinti keldami aukštatemperatūrio srauto temperatūrą t_1. Vandens garo atveju piktžoles naikinančios aplinkos temperatūra yra 100 °C ir jos keisti negalima. Tai termodinaminis parametras, kuris prikauso nuo slėgio aplinkoje ir yra lygus verdančio vandens temperatūrai. Aukštatemperatūrio impulso požiūriu dujinė piktžoles naikinanti aplinka yra iki 10 kartų veiksmingesnė už vandens garo aplinką.

Vertinant biologinį veiksnį (transpiraciją) – garavimą – tenka konstatuoti, kad augalas ilgame savo vystymosi kelyje maksimaliai prisitaikė prie dujinės aplinkos. Bet jis yra visiškai neprisitaikęs išgyventi nepalankioje, drėgmės prisotintoje aukštatemperatūrėje aplinkoje. Garuojančio paviršiaus temperatūra (taip pat ir augalo) priklauso tik nuo piktžoles termiškai naikinančios aplinkos prisotinimo drėgme. Vadinasi, naudojant piktžolėms naikinti 300 ar 1000 °C temperatūros dujas (kai oro drėgnis d = 52 gr/kg$_{s.o.}$), garuojančio paviršiaus (augalo dalis garins drėgmę) temperatūra bus apie 40 °C. Seka, kad augalą kaitinant 300 ar 1000 °C temperatūros dujomis, kol augalo audiniai turi pakankamai drėgmės, augalas fiziologiškai sugeba pasipriešinti aukštatemperatūrei aplinkai. Garinančios drėgmę augalo dalies temperatūrą sąlygoja mažas aukštatemperatūrės aplinkos santykinis drėgnis. Drėgno oro termodinamika leidžia teigti, kad aukštatemperatūrės aplinkos santykinio drėgnio didinimas yra neefektyvus veiksmas siekiant didinti garuojančio paviršiaus (augalo) temperatūrą.

Temperatūros kitimas augalo audiniuose ir aplinkoje, piktžolių terminio naikinimo metu naudojant 300 °C aukštatemperatūrę dujų aplinką, pateiktas 2.13 pav. Kaip matome iš šio paveikslo, temperatūrų skirtumas augalo stiebe tarp paviršinių ir vidinių audinių didėjant terminio poveikio laikui, auga. Po 160 s augalo *Galinsoga parviflora* Cav. stiebo, kurio skersmuo 2,9 ± 0,1 mm, kaitinimo temperatūrų skirtumas (165–104) yra 61 °C. Toks didelis temperatūrų skirtumas augalo stiebo audiniuose 1,5 mm atstumu paaiškinamas tuo, kad augalo paviršiniai audiniai yra džiovinami dujinės aplinkos. Džiūstant augalo paviršiniams audiniams, mažėja jų drėgnis, kartu ir šilumos laidžio koeficientas λ = 0,575 $\rightarrow$ 0,18 W/(m·K). Taip sudaromos sąlygos didėti temperatūrų skirtumui augalo audiniuose. Nors augalas termiškai buvo sunaikintas pasiekus audinių temperatūrą daugiau kaip 58 °C (po 7–8 s),

tačiau pateikti tyrimų duomenys (2.13 pav.) leidžia paaiškinti tolesnį fizinį procesą, vykstantį augalo audiniuose (stiebe) piktžolių terminio naikinimo metu, kaitinant stiebą aukštos temperatūros dujų srautu.



2.13 pav. Augalo audinių ir aplinkos temperatūrų kitimas piktžolių terminio naikinimo metu naudojant aukštatemperatūrę dujų aplinką. A – ilgalaikis temperatūrų kitimas piktžolių terminio naikinimo metu; B – temperatūrų kitimas pirmųjų 10 s piktžolių terminio naikinimo metu. Augalo *Galinsoga parviflora* Cav. stiebo skersmuo 2,9 ± 0,1 mm. Temperatūros kitimas: 1 – augalą naikinančioje aplinkoje; 2 – augalo stiebo paviršiuje; 3 – augalo stiebo centre

Temperatūros kitimas augalo audiniuose ir aplinkoje piktžolių terminio naikinimo metu naudojant aukštatemperatūrę dujų aplinką (2.13 pav. A) nepaaiškina augalo stiebo kaitimo proceso, kuris vyksta pirmosiomis stiebo kaitinimo sekundėmis. Pasinaudoję šiuolaikinės matavimo (100 matavimų per sekundę) ir kompiuterinės technikos galimybėmis, išryškinę proceso dalį pirmųjų 10 s laikotarpiu (2.13 pav. B) matome, kad paviršinių augalo audinių temperatūra didėja lėtai.

Apibendrindami paviršinių augalo audinių kaitinimo procesą matome, kad mažas audinių laidis yra teigiamas piktžolių terminio naikinimo proceso rodiklis. Aukštatemperatūrė aplinka, veikdama išorinius augalo audinius, gali sukelti didelį temperatūrų skirtumą augalo audiniuose (2.13 pav.) Šis veiksnys piktžolių terminio naikinimo technologijose yra svarbus dviem požiūriais:

1. Kaip rodo tyrimai, esant didelėms šilumos atidavimo koeficiento α reikšmėms, temperatūros lauko plitimas augalo audiniuose priklauso tik nuo augalo audinių šilumos laidžio λ koeficiento.
2. Piktžolių terminio naikinimo metu naudojant augalo terminį pažeidimą „žiedu“, blogas augalo audinių šilumos laidis stabdo šilumos nutekėjimą stiebo audiniais iš terminio poveikio vietos. Tai daro teigiamą poveikį piktžolių terminio naikinimo procesui.:
   1) sukelia temperatūros didėjimą terminio pažeidimo vietoje;
   2) mažina šilumos poreikį augalo terminiam pažeidimui atlikti.

2.4. Augalo audinių terminio pažeidimo procesas

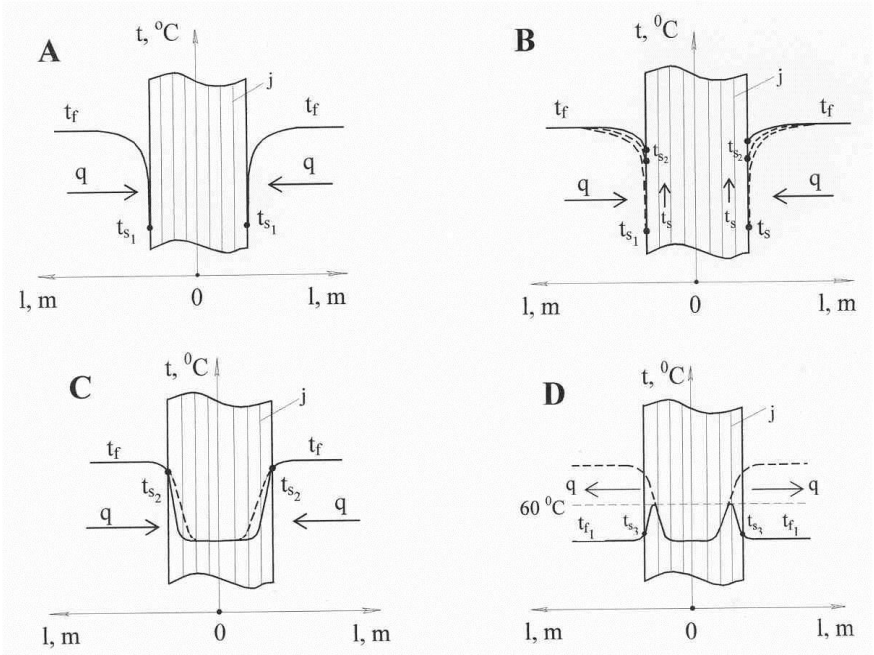
Norint termiškai sunaikinti augalą, reikia jo audinių temperatūrą pakelti iki 58 ^{o}C, kuriai esant audiniuose vyksta negrįžtami pokyčiai. Augalo audinių terminio pažeidimo procesas tuo efektyvesnis, kuo trumpesniu laiku ši temperatūra pasiekiama. Deja, gamtos dėsnių pakeisti negalime. Augalo paviršinių audinių, turinčių sąlytį su aukštatemperatūre aplinka, kaitinimo procesas paklūsta Niutono dėsniui. Augalo dalių paviršiai, veikiami aplinkos oro, yra gaubiami temperatūrinio apykaitos su aplinka sluoksnio, kuris gali trukdyti aukštatemperatūrei aplinkai staigiai priartėti prie augalo paviršiaus. Piktžolių terminio naikinimo metu, pakilus augalo paviršinių audinių temperatūrai, šiluma laidžiu perduodama giliau nuo augalo paviršiaus esantiems audiniams. Šilumos plitimo procesas augalo dalių audiniuose dėl laidžio paklūsta

Furje dėsniui. Apskritai kintamomis sąlygomis (termiškai naikinamame augale ir aplink jį), augalo terminio pažeidimo – naikinimo procesas tampa sudėtingas.

Augalo terminio naikinimo procesas trunka vos keletą sekundžių, kintančių šiluminių procesų sąlygomis. Taigi susiduriame su labai sudėtingu atveju, kai augalai veikiami trumpalaikiais (vos keletą sekundžių) terminiais impulsais, ir augalo audinių kaitinimo procesas yra nepastovus. Be to, nutraukus išorinių augalo audinių kaitinimą, audiniuose vykstantis šilumos mainų procesas laidžiu nenutrūksta, toliau vyksta temperatūros išsilyginimo procesas audiniuose. Kartu vyksta ir augalo išorinių audinių aušimo procesas. Schematiškai temperatūros kitimo procesas augalo stiebe pavaizduotas 2.14 pav. ir aiškinamas taip.

Augalo stiebas, kurio paviršiaus pradinė temperatūra t_{s_1}, patenka į aukštatemperatūrę aplinką, kurios temperatūra t_f = const. (2.14 pav. A). Aukštatemperatūrės aplinkos perduodamo šilumos srauto tankis q J/(s·m^2) atiduoda šilumą paviršiniams augalo audiniams. Šilumos atidavimo procesą nusako Niutono (2.3) dėsnis, iš kurio matome, kad aukštatemperatūrės aplinkos teikiamas augalo dalies paviršiui specifinis konvekcinis šilumos srautas priklauso nuo dviejų dydžių sandaugos: α – aukštatemperatūrės aplinkos šilumos atidavimo koeficiento ir kintančio temperatūrų skirtumo Δt, tarp augalo dalies paviršiaus t_{s_1} ir jį supančios aukštatemperatūrės aplinkos t_f. Pradiniu momentu konvekcinis šilumos srautas q bus pats didžiausias. Toliau mažės, nes didėjant augalo stiebo paviršiaus temperatūrai iki t_{s_2} mažės temperatūrų skirtumas Δt (2.14 pav. B). Šilumos atidavimo koeficientą tenka įvertinti atskirai vandens garo ir oro srautų atvejams.

Didėjant augalo stiebo ar kitos dalies paviršiaus temperatūrai, šiluma plis į vidinius stiebo audinius, didės jų temperatūra. Stiebo audinių šilimo procesas, jo audinių temperatūros kitimas laikui bėgant labiausiai priklauso nuo augalo audinių tankio ρ (kg/m^3), savitosios augalo audinių šilumos c_a = 4,0 kJ/(kg·K), augalo audinių šilumos laidžio koeficiento λ W/(mK), šilumos mainų su aukštatemperatūre aplinka intensyvumo, t. y. šilumos atidavimo koeficiento α (vandens garo aplinkos α = 50 000–100 000 W/(m^2·K), dujinės aplinkos α = 25–30 W/(m^2·K)).



2.14 pav. Augalo stiebo temperatūros kitimo, terminio naikinimo metu schema: t_f – aplinkos temperatūra, t_s – audinių temperatūra, q – konvekcinis šilumos srauto tankis; A, B, C, D – būdingi temperatūros kitimo momentai augalo stiebe (paaiškinimas tekste)

Piktžolių terminio naikinimo metu suteikus augalo stiebui terminį impulsą, paviršiniai audiniai būna pasiekę šiam atvejui būdingą aukščiausią temperatūrą (2.14 pav. C). Nutraukus augalo stiebo šildymą, įkaitinti stiebo audiniai sukauptą šilumą perduos laidžiu kitiems augalo audiniams, vyks savaiminis temperatūros išsilyginimas augalo stiebo audiniuose. Todėl tam tikroje vidinėje augalo stiebo dalyje pradiniu po kaitinimo momentu toliau didės temperatūra, augalo audiniuose vyks temperatūros išsilyginimo procesas. Maksimali temperatūra augalo audiniuose mažės, atiduodama šilumą vidiniams stiebo audiniams. Be to, paviršiniai augalo audiniai šilumą atiduos jį supančios aplinkos orui. Augalo audinių momentinė didžiausia temperatūra pereis į stiebo vidinius audinius (2.14 pav. D).

Matome, kad nutraukus aukštatemperatūrės aplinkos terminį poveikį augalui, augale tebevyksta audinių terminis naikinimas dėl šilumos, gaunamos iš audinių, kurių temperatūra didesnė nei 58 ^{o}C. Be to, šiam šilumos (temperatūros) augalo audiniais plitimo procesui yra teigiama tai, kad augalo paviršiniai audiniai po kaitinimo yra dujinėje aplinkoje. Oro aplinka pasižymi ypač geromis termoizoliacinėmis savybėmis ir mažu šilumos atidavimo koeficientu α, o tai sumažina augalo stiebo išorinio paviršiaus aušinimą.

Nagrinėjamas temperatūros impulso plitimas augalo audiniuose yra šilumos mainų laidžiu kintamo proceso rezultatas. Eksperimentinį tyrimą esant kintamiems šilumos laidžio atvejams gyvuose augalo audiniuose sunku atlikti. Nagrinėjamą temperatūros pasiskirstymą augalo stiebo paviršiniuose audiniuose tiksliai galima sumodeliuoti naudojantis diferencialinėmis lygtimis su pradinėmis ir kraštinėmis sąlygomis. Pagal terminio poveikio augalo audiniuose modeliavimo rezultatus įvertinome augalo stiebo temperatūros režimą ploname paviršiniame sluoksnelyje.

Aptardami terminio poveikio augalo audiniuose modeliavimo rezultatus pirmiausia turime palyginti naudojamų aukštatemperatūrių aplinkų (vandens garo ir oro) terminio poveikio efektyvumą augalo audiniams.

Tirdami temperatūros pasiskirstymą augalo audiniuose, matematiniam modeliavimui supaprastinti atmetėme transpiraciją $w = 0$. Ši prielaida leidžia teigti, kad 2.1 ir 2.2 lentelėse pateiktos temperatūrų reikšmės yra pernelyg didelės. Jas labai sumažintų transpiracija. 2.1 ir 2.2 lentelių duomenys rodo, kad esant augalo dalies paviršiaus tempera-

tūrai 20 ^{o}C, supančio oro temperatūrai 100 ^{o}C augalo stiebo paviršiuje ir 0,001 mm gylyje, tik po 10 s trukmės kaitimo aukštatemperatūrėje aplinkoje (be transpiracijos) audinių temperatūra tepasiekia 58 ^{o}C. Realiai piktžolės termiškai naikinamos 500–700 ^{o}C aukštatemperatūrėje aplinkoje. Suprantama, kad transpiracija yra viena iš augalo gyvybinių funkcijų, skirta kovoti su augalo audinių perkaitimu. Pradiniu terminio poveikio momentu augalo audiniai turi pakankamai vandens ir jie pajėgūs kovoti su nepalankiu trumpalaikiu terminiu aukštatemperatūrės aplinkos poveikiu. Galutinio aukštatemperatūrės dujinės aplinkos vertinimo čia nepateikiame. Atsakymą turėsime atlikę augalo audinių temperatūros tyrimus piktžolių terminės kontrolės proceso metu. Tačiau galima nurodyti (remiantis analogiškais šilumos taikymo atvejais), kad naudoti karštą orą arba degimo produktų dujas augalų kaitinimui yra neefektyvu dėl blogų šiluminių dujų savybių.

2.1 lentelė. Temperatūros pasiskirstymas augalo stiebo paviršiniame sluoksnyje ^{o}C, kai $\alpha_{(oro)}$ = 50 W/(m^2·K), t = 100 ^{o}C.

Gylis nuo paviršiaus mm	Laikas nuo kaitinimo pradžios s					
	0,1	0,5	1	5	8	10
paviršiuje	24,1	29,1	32,7	47,6	54,3	58,1
0,001	24,1	29,0	32,7	47,5	54,3	58,0
0,01	23,8	28,8	32,4	47,3	54,1	57,8
0,1	21,7	26,3	29,9	44,7	51,5	55,3
1	20,0	20,0	20,3	27,4	32,7	35,9
1,5	20,0	20,0	20,0	23,2	26,9	29,3
2,0	20,0	20,0	20,0	21,2	23,4	25,1
4,9	20,0	20,0	20,0	20,00	20,01	20,03

Terminio poveikio augalo audiniuose modeliavimo rezultatai (naudojant drėgnojo vandens garo aplinką), esant šilumos atidavimo koeficientui α = 50000 W/(m^2·K), pateikti 2.3 lentelėje. Kai šilumos atidavimo koeficientas α = 100000 W/(m^2·K), rezultatai pateikti 2.4 lentelėje.

2.2. lentelė. Temperatūros pasiskirstymas augalo stiebo paviršiniame sluoksnyje ^{o}C, kai $\alpha_{(oro)}$ = 30 W/(m^2·K), t = 100 ^{o}C.

Gylis nuo paviršiaus mm	Laikas nuo kaitinimo pradžios s					
	0,1	0,5	1	5	8	10
paviršiuje	22,5	25,5	27,7	36,9	41,2	43,6
0,001	22,4	25,5	27,7	36,9	41,2	43,6
0,01	22,3	25,3	27,5	36,7	41,0	43,4
0,1	21,0	23,8	26,0	35,2	39,5	41,8
1	20,0	20,0	20,2	24,5	27,8	29,8
1,5	20,0	20,0	20,0	21,9	24,2	25,7
2,0	20,0	20,0	20,0	20,7	22,1	23,1
4,9	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,02

2.3 lentelė. Temperatūros pasiskirstymas augalo stiebo paviršiniame sluoksnyje ^{o}C, kai $\alpha_{(garo)}$ = 50000W/(m^2·K), t = 100 ^{o}C.

Gylis nuo paviršiaus mm	Laikas nuo kaitinimo pradžios s					
	0,1	0,5	1	5	8	10
paviršiuje	99,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
0,001	99,0	99,8	99,9	99,9	100,0	100,0
0,01	95,5	98,2	98,8	99,4	99,6	99,6
0,1	62,6	82,6	87,6	94,4	95,6	96,1
1	20,0	20,5	24,1	50,6	59,2	63,0
1,5	20,0	20,0	20,3	35,3	44,1	48,4
2,0	20,0	20,0	20,0	26,5	33,4	37,4
4,9	20,0	20,0	20,0	20,0	20,06	20,2

2.3 ir 2.4 lentelių duomenys leidžia įvertinti šilumos atidavimo koeficiento įtaką kaitinamų augalo audinių temperatūrai. Iš terminio poveikio augalo audiniuose modeliavimo duomenų matome, kad šilumos atidavimo koeficiento įtaka minimali ir neverta dėti pastangų jam gerinti. Duomenys rodo, kad besikondensuojančio vandens garo aplinkoje paviršinių audinių pašildymo pradiniame etape, kol šiluma nepasiekė gilesnių

augalo stiebo audinių, augalo dalies paviršinė temperatūra 0,001 mm gylyje (99,0, 99,6 ^{o}C) jau priartėjo prie garo srauto aplinkos temperatūros – 100 ^{o}C per 0,1 s dalį. Tuo tarpu dujinės aplinkos atveju tomis pačiomis sąlygomis temperatūra tepasiekė tik 22,4, 24,1 ^{o}C. Įvertinus transpiraciją paviršinių sluoksnių temperatūra būtų dar mažesnė.

2.4 lentelė. Temperatūros pasiskirstymas augalo stiebo paviršiniame sluoksnyje ^{o}C, kai $\alpha_{(garo)}$ = 100000W/(m^2·K), t = 100 ^{o}C.

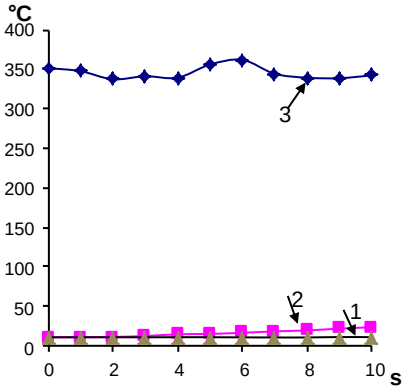
Gylis nuo paviršiaus mm	Laikas nuo kaitinimo pradžios s					
	0,1	0,5	1	5	8	10
paviršiuje	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
0,001	99,6	99,8	99,9	99,9	100,0	100,0
0,01	96,1	98,2	98,8	99,4	99,6	99,6
0,1	63,0	82,6	87,6	94,4	95,6	96,1
1	20,0	20,5	24,1	50,6	59,2	63,0
1,5	20,0	20,0	20,3	35,3	44,1	48,4
2,0	20,0	20,0	20,0	26,5	33,4	37,4
4,9	20,0	20,0	20,0	20,0	20,06	20,2

Dėl labai didelio vandens garo šilumos atidavimo koeficiento, apie 2000 kartų didesnio už oro šilumos atidavimo koeficientą, labai greitai (per 0,1 s) stiebo paviršiaus temperatūra priartėja prie garo srauto temperatūros ir skiriasi nuo jos apie 1 %. Šilumos atidavimo koeficientas pradinėje pašildymo fazėje yra pats didžiausias, o vėliau tik mažėja. Stiebo paviršiaus temperatūrai priartėjus prie garo temperatūros, augalo dalies paviršiuje ypatingai sumažėja (artėja prie nulio) temperatūrų skirtumas. Tai iš esmės keičia terminio režimo pobūdį augalo aplinkoje ir pačiame stiebe. Vadinasi, esant dideliems šilumos atidavimo koeficientams α = 50 000, α = 100 0000 W/(m^2·K), terminis režimas augalo stiebo (paviršiniuose) audiniuose jau tik nedaug priklauso nuo šilumos atidavimo koeficiento (2.3 ir 2.4 lentelės). Šių lentelių rezultatai patvirtina, kad šilumos atidavimo koeficiento nemaži pokyčiai tada neturi adekvačios įtakos vėlesnio etapo terminiam režimui. Tai reiškia, kad šiuo atveju, kai šildomo augalo stiebo paviršiaus temperatūra mažai skiriasi nuo pašildančio srauto temperatū-

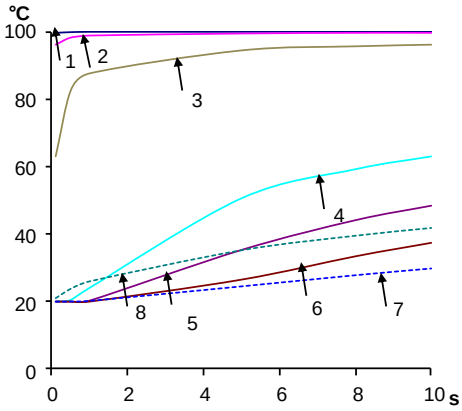
ros, terminio režimo pokyčius – šilumos srautus – lemia ne paviršinis šilumos atidavimo koeficientas α, bet augalo stiebo gyvų audinių šilumos laidžio koeficientas λ. Šiuo atveju augalo audinių šilumos laidžio koeficientas λ W/(m·K) atlieka šiluminės varžos vaidmenį.

Aukštatemperatūrės drėgno vandens garo aplinkos terminio poveikio augalui audiniuose modeliavimo ir eksperimento rezultatai atskleidžia temperatūros kitimo procesą augalo audiniuose. Tiksliai dozuodami terminį impulsą augalui, dėka įrangos, leidžiančios stebėti augalo audinių ir jo aplinkos temperatūrą 0,1 ^{o}C tikslumu, registruodami 100 matavimų per sekundę, gauname eksperimentinį temperatūros augalo audiniuose kitimo vaizdą (2.11 ir 2.12 pav.). Matome, kad temperatūros kitimas augalo stiebo paviršiuje ir jo aplinkoje (naudojant drėgnąjį vandens garą) vyksta tuo pačiu metu (2.11 pav.). Vidiniuose augalo stiebo audiniuose maksimali temperatūra vėluoja ir yra stabilesnė nei išoriniuose paviršiuose. Kuo storesnis augalas, vidinių augalo audinių maksimali temperatūra yra mažesnė ir jos pokytis labiau vėluoja (2.12 pav.). Naudojant vandens garo aplinką piktžolėms naikinti augalas neturi jokių fiziologinių galimybių sumažinti šilumos pertekliui, kuris susidaro augalo dalių paviršiuje iš besikondensuojančio vandens garo. *Todėl 100 ^{o}C besikondensuojantis vandens garas termiškai paveikia augalo dalių paviršinius audinius staigiai ir žudančiai.*

Terminio poveikio augalo audiniuose eksperimentiniai tyrimai (2.15 pav.) ir modeliavimo rezultatai (2.16 pav.) leidžia teigti, kad trumpalaikiai dujinės aplinkos temperatūros impulsai augalo audinių sunaikinti negali.

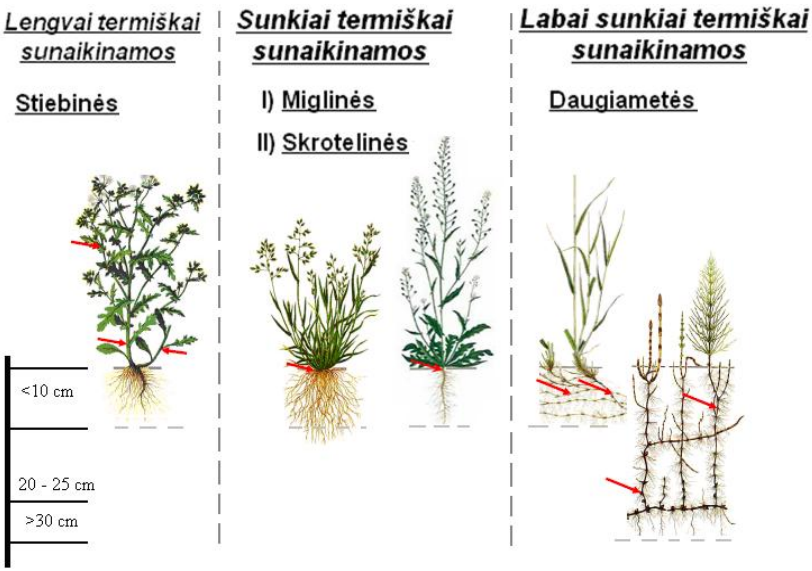


2.15 pav. Temperatūros kitimas augalo stiebe ir jo aplinkoje eksperimento duomenimis: 1 – augalo stiebo centre (stiebo skersmuo 3,1 mm); 2 – augalo stiebo išoriniuose audiniuose; 3 – augalą supančio aukštatemperatūrinio srauto



2.16 pav. Temperatūros kitimas augalo stiebo paviršiniame sluoksnyje teorinio nagrinėjimo duomenimis, kai $\alpha_{(garo)} = 50\ 000$ W/(m^2·K) (ištisinės linijos) ir $\alpha_{(oro)} = 30$ W/(m^2·K), $w = 0$, (punktyrinės linijos). Vykstant garo kondensacijai: 1 kreivė – 0,001 mm gylyje nuo paviršiaus; 2 – 0,01 mm; 3 – 0,1 mm; 4 – 1 mm; 5 – 1,5 mm; 6 – 2 mm gylyje. Kaitinant oru: kreivė 7 – 1,5 mm; 8 – 0,1 mm gylyje

Remdamiesi šiais rezultatais priėjome prie išvados, kad bet kokie tolesni tyrimai ir bandymai panaudoti piktžolėms naikinti karštą orą arba degimo produktų dujas praranda prasmę dėl dujų (kaip darbo agento) blogų šiluminių savybių. Vandens garo panaudojimas sudaro žymiai daugiau agrotechnologinių ir techninių problemų. Jos visos susijusios su garo gamyba ir mobiliojo įrenginio sukūrimu, taip pat augale ir jo aplinkoje vykstančiais terminiais procesais. Tačiau vandens garo naudojimas suteikia galimybę sukurti efektyvią, teoriškai pagrįstą, ekologišką, iš esmės naują piktžolių terminio naikinimo technologiją ir tam pritaikytą mobilią įrangą.



Piktžolių jautrumo aukštatemperatūrei drėgnojo vandens garo aplinkai klasifikacijos schema

3 AUGALO ENERGIJŲ BALANSAS TERMIŠKAI NAIKINANČIOJE APLINKOJE

3.1. Augalo energijų balansas

Augalo energijų balansas natūralios aplinkos sąlygomis apibūdina augalo maksimalaus produktyvumo, minimalios egzistencijos, žūties ir kitas sąlygas, kurias tenka augalui patirti per vegetacijos laikotarpį. Augalo energijų balanso nagrinėjimas juos termiškai naikinančioje aplinkoje turi kitą tikslą – aptarti augalo energijų balanso narius, kuriuos gali žmogus keisti ar daryti įtaką siekiant augalą (piktžolę) termiškai sunaikinti. Terminė piktžolių naikinimo technologija pagrista augalo termoenergine apykaita aukštatemperatūrėje aplinkoje. Todėl ypač svarbu išsiaiškinti žmogaus galimybes, kaip termofizikiniais metodais galima veikti augalo energijų balansą, kad augalo audinių temperatūra kuo greičiau pasiektų juos termiškai naikinančią temperatūrą.. Taip pat reikia išsiaiškinti augalo biologines galimybes pasipriešinti nepalankiai žmogaus sukurtai aukštatemperatūrei aplinkai. Augalo energijų balanso nagrinėjimas juos termiškai naikinančioje aplinkoje leidžia teoriškai įvertinti ir pagrįsti technologinius sprendimus, taip pat optimalią piktžolių terminio naikinimo technologiją. Todėl iškyla būtinumas augalo energijų balansus vertinti natūralios ir aukštatemperatūrės, augalus termiškai naikinančios aplinkos sąlygomis.

Visas augalas, taip pat ir kiekviena jo dalis ar dalelė su aplinka vykdo energijų apykaitą atskirai. Todėl kiekvienos iš jų energijų balansas tiriamuoju momentu gali būti skirtingas. Atskirų augalo energijų balanso narių įtaka augalui nevienoda. Tai lemia ne tik augale (daige) vykstantys fiziologiniai procesai, bet ir savitosios aplinkos sąlygos. Daigo ar atskiros jo dalies energijų balanso lygtį (1.1) natūralios aplinkos sąlygomis galime išreikšti taip:

$$\sum Q = \pm Q_1 \pm Q_2 - Q_3 \pm Q_4 \pm Q_5 \pm Q_6 \pm Q_7 \pm Q_8 = 0 \quad (3.1)$$

arba

$$\sum q = \pm q_1 \pm q_2 - q_3 \pm q_4 \pm q_5 \pm q_6 \pm q_7 \pm q_8 = 1 \text{ arba } 100\ \%. \quad (3.2)$$

čia Q_1, q_1 – efektyvus augalo ir jo aplinkos saulės energijos srautas J/s arba šilumos srauto tankis J/(s·m^2). Atskirais atvejais Q_1, q_1 – atitinkamai – augalo absorbuojamas saulės energijos srautas J/s arba šio srauto tankis J/(s·m^2));

Q_2, q_2 – atitinkamai – šilumos srautas, atiduodamas arba gaunamas iš aplinkos konvekciniais šilumos mainais J/s arba konvekcinis šilumos srauto tankis J/(s·m^2);

Q_3, q_3 – atitinkamai – šilumos srautas, sunaudotas transpiracijai ir atiduodamas aplinkai vandens garo pavidalo J/s arba srauto tankis J/(s·m^2);

Q_4, q_4 – atitinkamai – šilumos srautas augalo audiniais per laidumą, kurį sukelia temperatūrų skirtumas augalo audiniuose J/s, arba srauto tankis J/(s·m^2);

Q_5, q_5 – atitinkamai – šilumos srautas, energijos pavidalo fotocheminėms reakcijoms ir kitiems augale vykstantiems egzo- ir endoterminiams procesams J/s arba srauto tankis J/(s·m^2);

Q_6 , q_6 – atitinkamai – šilumos srautas, dalyvaujantis augalo audinių termoakumuliacijos procese J/s, arba srauto tankis J/(s·m^2);

Q_7, q_7 – atitinkamai – šilumos srautas, dalyvaujantis iš šaknų kylančioms augalo sultims pašildyti arba aušinti J/s arba srauto tankis J/(s·m^2);

Q_8, q_8 – atitinkamai – šilumos srautas, gaunamas iš aplinkos arba jai atiduodamas kondensuojantis vandens garams augalo paviršiuje (rasos iškritimo ir išnykimo procesas) J/s arba srauto tankis J/(s·m^2).

Piktžolių terminio naikinimo atveju daigo energijų balanso lygčių (3.1) ir (3.2) nagrinėjimas yra vienašalis, tendencingas – siekiama augalą termiškai sunaikinti. Aptarus konkrečias augalų energijų apykaitos sąlygas aukštatempertūrėje, augalus termiškai naikinančioje aplinkoje, anksčiau pateiktos energijų balanso lygtys (3.1) ir (3.2) gali būti suprastintos. Tam būtina išryškinti dygstančio augalo biologinį atsaką į ekstremalias termines jo aplinkos sąlygas. Svarbiausia išsiaiškinti augalo ir aplinkos savybes, kurios neleistų augalui biologiškai pasipriešinti aukštatemperatūrei aplinkai ir taip padėtų jį termiškai sunaikinti. Šiuo po-

žiūriu visus energijų balanso narius galime skirstyti į 2 grupes: į neturinčius lemiamos įtakos terminiam daigo naikinimui ir į turinčius lemiamą įtaką terminiam daigo naikinimui.

Taip vertinant augalo energijų balanso narius tenka atskirai nagrinėti kiekvieno nario įtaką, įvertinant piktžolių terminio naikinimo priemonių sukuriamą aukštatemperatūrę aplinką. Šia analize siekiama išaiškinti atskirų balanso narių įtaką technologiniam piktžolių terminio naikinimo procesui ir taip sumažinti energijų balanso lygties narių skaičių. Tai leis toliau nagrinėti tik augalo energijų balanso narius, turinčius esminės įtakos terminiam piktžolių naikinimo procesui.

Augalo atžvilgiu žmogaus sukurta aukštatemperatūrė aplinka yra nevienareikšmė. Piktžolių terminei kontrolei galima panaudoti karštų dujų, dujų ir vandens garo mišinio, vandens garo, putų ir kitas aukštatemperatūres aplinkas. Šios augalus termiškai naikinančios aplinkos daro augalams skirtingą poveikį, todėl į jų terminį poveikį jie reaguoja nevienodai.

Piktžolių ar dygstančių jų daigų terminio naikinimo įrenginys, sukurdamas aukštatemperatūrę aplinką, iš esmės pakeičia augalo arba jo dalies (lapelio, stiebelio) energijų ir masės mainus su aplinka. Termiškai naikinant augalus, nepriklausomai nuo naudojamo šilumnešio (degimo dujų, oro, vandens garo), termiškai naikinamas augalas bendriausiu atveju patenka į tam tikrą aukštatemperatūrę aplinką, kurią galime įsivaizduoti kaip specialią „dėžę“. Ši uždara aplinka – „dėžė“ – lokalizuoja aukštatemperatūrį lauką augalo aplinkoje, padidindama terminio poveikio efektyvumą ir proceso ekonomiškumą, neleisdama šilumai pasklisti aplinkoje. Ilgas augalo evoliucijos kelias daigui užkodavo jo energijų apykaitos procesų su aplinka visumą veikiant nepalankiam aplinkos veiksniui (karščiui, šalčiui). Žmogaus sukurta aukštatemperatūrė aplinka iš esmės pakeičia natūralioje aplinkoje dalyvaujančių atskirų augalo energijų balanso narių įtaką dygstančiam augalui. Augalas patenka į ekstremalias terminės aplinkos sąlygas, prie kurių nėra prisitaikęs. Terminio naikinimo metu jis kovoja su evoliucijos kelyje nesutiktais, iš esmės pakitusiais energiniais veiksniais.

Terminiam poveikiui ypač jautrūs dygstančio augalo daigai. Jie lengviau termiškai pažeidžiami. Brandaus amžiaus augalai, turintys išsivysčiusius atraminius audinius, gerai išvystytą šaknų sistemą, termiškai pažeidžiami sunkiau. Tai gerai matyti 3.1 ir 3.2 paveiksluose.

3.1 pav. Piktžolės, naikintos ūgtelėjusios, naudojant atvirą vandens garo sklaidiklį

3.2 pav. Piktžolės, naikintos ūgtelėjusios, naudojant uždarą vandens garo sklaidiklį. Gretimame tarplysvyje piktžolės nenaikintos

Mūsų ilgamečiai bandymai leidžia pagrįstai teigti, kad piktžoles veiksmingiausia naikinti daigo tarpsnyje. Pastebėti šie privalumai:

• dygstantis piktžolės daigas iš dirvos dar nebūna pasisavinęs daug maisto medžiagų, reikalingų žemės ūkio augalui augti ir vystytis;

• daigai yra gležni, termiškai pažeidus jie greitai sunyksta ir tampa papildoma trąša žemės ūkio augalams;

• gležno daigo audinių masė maža, todėl jų terminiam naikinimui sunaudojama mažai šilumos;

• daigui sunaikinti reikia trumpai jį išlaikyti aukštatemperatūrėje aplinkoje, tai sumažina šilumos sąnaudas ir padidina piktžolių terminės kontrolės proceso ekonomiškumą;

• agrotechnologiniu požiūriu daigai neardo skleidžiamo aukštatemperatūrio srauto, būdingas tolygesnis šio srauto pasiskirstymas ir kokybiškas piktžolių terminės kontrolės procesas;

• agrotechnologiniu požiūriu daigai dengia mažą dirvos plotą, tai sudaro palankias sąlygas aukštatemperatūrio srauto judėjimui pažeme ir termiškai „žiedu“ pažeisti piktžolių stiebus arba dygimo kūgelį.

Literatūroje neradome duomenų apie augalo energijų balansą aukštatemperatūrėje aplinkoje ir terminį piktžolių naikinimą daigo tarpsniu.

3.2. Augalo energijų balanso nariai aukštatemperatūrėje aplinkoje

Daigo energijų balanso narys Q_1 (q_1) apibūdina daigo energinius mainus spinduliavimu. Natūralios aplinkos sąlygomis tai efektyvus saulės energijos srautas tarp augalo ir jo aplinkos J/s arba šilumos srauto tankis J/(s·m^2). Aukštatemperatūrės aplinkos salygomis tai efektyvus spindulių pavidalo energijos srautas, kurį teikia augalui aukštatemperatūrė aplinka siekiant jį sunaikinti. Piktžolių terminio naikinimo proceso trukmė 1–6 s, priklausomai nuo naudojamos aukštatemperatūrės aplinkos. Daigo energijų mainai spinduliavimo būdu dažniausiai vyksta uždaroje aplinkoje „dėžėje“, kuri sukuria energijų mainus lokalizuotoje, specialiai sukurtoje aukštatemperatūrėje aplinkoje. Energijų mainai spinduliavimu tarp dygstančio daigo ir aplinkos, kurią riboja „dėžės“ sienelės, bendru atveju vyks pagal Stefano-Bolcmano dėsnį, kuris teigia, kad kiekvienas kūnas išspinduliuoja energiją, kurios intensyvumas proporcingas ketvirto laipsnio absoliutinei temperatūrai:

$$q_1 = \varepsilon\sigma\, T^4 = \varepsilon\, C_o \left(\frac{T}{100}\right)^4, \qquad (3.3)$$

čia q_1 – paviršiaus efektyvus spinduliuojamos energijos srauto tankis W/m^2;

$C_o = \sigma \cdot 10^8 = 5{,}67$ – absoliučiai juodo kūno spinduliavimo konstanta W/(m^2·K^4);

ε – pilko kūno juodumo laipsnis.

Piktžolių terminio naikinimo metu spinduliuoja plieninės įrenginio konstrukcijos. Jų juodumo laipsnis ε = 0,8 (Drobavičius ir kt., 1974); padengtų suodžiais naudojant degimo produktus ε = 0,945 (Drobavičius ir kt., 1974, Блох, 1962) augalo dalių ε = 0,97 (Bertram, 1996, Илькун, 1967), ε karštų degimo produktų randamas iš lygčių, pateiktų literatūroje (Drobavičius ir kt., 1974).

Piktžolėms naikinti naudojant vandens garus uždaroje daigo aplinkoje sukuriama drėgno vandens garo aplinka. Daigas yra rūke prie pat žemės. Augalo paviršiuje vyksta garo kondensacijos procesas. Drėgnų garų, išleidžiamų daigo srityje, temperatūra priklauso tik nuo barometrinio slėgio aplinkoje ir visais atvejais yra artima 100 °C. Vykstant garo kondensacijai augalo audinių paviršius labai greitai pasiekia aplinkos temperatūrą. Mažėjant temperatūros skirtumui Q_1 taps visai mažas. Todėl šilumos mainus spinduliavimo būdu tarp daigo ir vandens garo aplinkos galima paneigti, $Q_1 = 0$.

Dygstančio augalo energijų balanso narys Q_2 (q_2) apibūdina daigo konvekcinius šilumos mainus su aplinka. Tai šilumos srautas, kurį aukštatemperatūrė aplinka piktžolių terminio naikinimo metu konvekcijos būdu atiduoda augalui J/s arba konvekcinis šilumos srauto tankis J/(s·m^2). Q_2 – tai labai svarbus augalo energijų balanso narys, kurį galima keisti keičiant piktžoles naikinančią aplinką ir jos temperatūrą. Aukštatemperatūrės aplinkos termodinamines savybes (4 skyrius) būtina įvertinti, nes nuo jų priklauso piktžolių terminio naikinimo įrenginio konstrukcija ir technologinis procesas. Konvekcinius šilumos mainus tarp aukštatemperatūrės, augalus naikinančios aplinkos ir augalo nusako Niutono dėsnis.

$$Q_2 = \alpha \Delta t F \quad \text{arba} \quad q_2 = \alpha \Delta t, \tag{3.4}$$

čia q_2 – specifinis konvekcinis šilumos srautas daigo paviršiuje W/m^2;

Δt – teigiamas daigo audinių ir jo aplinkos temperatūrų skirtumas °C.

Natūraliomis augalo gyvenimo sąlygomis šis temperatūrų skirtumas Δt būna teigiamas arba neigiamas. Jis paprastai būna nedidelis, nes augalo audinių perkaitinimą reguliuoja transpiracija (kai kuriais atvejais šis temperatūrų skirtumas pasiekia 5 ^{o}C). Toks temperatūrų skirtumas augalo dalies sąlyčio su aplinka sluoksnyje yra pakankamas sukurti varomąsias jėgas metabolinių produktų judėjimui. Apie daigo temperatūras natūraliomis augimo sąlygomis duomenų nėra.,

Termiškai naikinant piktžoles, daigas dar yra dirvos sąlyčio su aplinka sluoksnio prieglobstyje, tai turi lemiamos reikšmės piktžolių daigų terminio naikinimo technologijai. Daigo stiebo paviršius glotnus, todėl šilumos atidavimas prilygsta apvalių, plonų strypelių šilumos mainų atvejui.

Augalo lapų, kaip vieno iš svarbiausių augalo asimiliacinių dalių, šilumos atidavimo koeficiento α reikšmes nustatinėjo keletas autorių (Илькун, 1967; Raschke, 1965). Įvertinant šilumos atidavimo koeficiento α svarbą piktžolių terminio naikinimo procesui, jo nustatymo klausimus reikia aiškintis kiekvienam augalo šilumos mainų atvejui. Čia reikėtų paminėti, kad šilumos atidavimo koeficientas priklauso nuo daugybės kintamųjų. Šiluminėje fizikoje jis randamas naudojantis kriterinėmis lygtimis. Tai vienas iš sunkiausiai surandamų rodiklių skaičiuojant konvekcinius šilumos mainus technikos objektuose. Mūsų nuomone, bet kokios pastangos nustatyti šilumos atidavimo koeficientą α skirtingoms augalo dalims yra beprasmis. Reikia naudotis šilumos fizikos lygtimis konvekciniam šilumos mainų koeficientui α skaičiuoti, įvedant pataisas, įvertinančias augalo aplinkos sąlygas.

Mūsų atveju augalo stiebą veikia dujų (degimo produktų, perkaitinto garo ir oro), drėgno vandens garo arba oro ir garo mišinio aukštatemperatūrės aplinkos. Aukštatemperatūris srautas veikia augalo stiebą arba daigelį. Augalo stiebo paviršius gali būti padengtas plaukeliais. Esant normalioms augalo augimo sąlygoms, šie plaukeliai sudarys augalui būdingą apykaitos su aplinka sluoksnį, kuris sumažins tiesioginį aukštatemperatūrės aplinkos poveikį augalo stiebui.

Paveikus augalo daigą 90–100 ºC temperatūros srautu augalo stiebo paviršių dengiantys plaukeliai sunaikinami. Pagrįstai galime teigti, kad augalo daigelis, veikiamas aukštatemperatūrio srauto, visiškai atitinka inžinerinį plonų strypelių šilumos mainų atvejį. Todėl gali būti taikomos kriterinės lygtys, skirtos plonų strypelių (stiebelio atveju)

šilumos atidavimo koeficientui skaičiuoti. Šis koeficientas turi lemiamos įtakos piktžolių naikinimo technologiniam procesui.

Šilumos atidavimo procesas, esant cilindro skersiniam aptekėjimui, technikoje yra išnagrinėtas. Nagrinėjamuoju atveju yra laminarus tekėjimas, todėl Re mažas. Šiuo atveju šilumos atidavimo koeficientą galima išreikšti priklausomybe (Žukauskas, Žiugžda, 1979; Справочник, 1987):

$$Nu = 0{,}35 + 0{,}5 \cdot \mathrm{Re}^{0{,}5}, \tag{3.5}$$

čia w – oro greitis m/s;

λ – oro šilumos laidžio koeficientas (λ = 0,03 W/(m·K)).

Kaip matyti iš (3.5) lygties, šilumos atidavimas, kartu ir α, priklauso nuo Reinoldso skaičiaus, t. y. nuo cilindrą aptekančio srauto greičio ir cilindro spindulio. Nagrinėjamuoju piktžolių terminio naikinimo atveju, kai augalą veikia perkaitinto garo ir oro mišinys, α = 25–30 W/(m^2·K)

Piktžolių terminio naikinimo procese naudojant drėgnąjį vandens garą augalo stiebo audiniai, veikiami drėgno garo ir oro mišinio srauto (bent pradiniu trumpu laiko tarpsniu), intensyviai šaldo srautą, liečiantį jų paviršių. Ant išorinių augalo stiebo audinių vyksta kondensacijos procesas, susidaro kondensatas. Augalo paviršiuje susidariusi kondensato plėvelė atskiria garą nuo paviršiaus ir sudaro savotišką kliūtį šilumos mainams tarp jų.

Žinoma, pradiniu trumpu laiko tarpsniu išsiskyręs kondensatas atiduos šilumą augalo stiebo audiniams. Atiduodamas šilumą jis padidins augalo stiebo paviršiaus šildymą ir kartu didins šilumos atidavimo koeficientą. Vietinį šilumos atidavimo koeficientą (Drobavičius ir kt., 1974) augalo stiebui galime apskaičiuoti naudodamiesi lygtimi:

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{r\rho g\lambda^3}{4\nu\left(T_s - T_p\right)x}}, \tag{3.6}$$

čia ν – kondensato kinematinio klampumo koeficientas m^2/s;

r – vandens garavimo šiluma J/kg;

ρ – kondensato tankis kg/m^3;

g – žemės traukos pagreitis m/s^2;

x – atstumas nuo termiškai pažeistų augalo audinių, ant kurių iškrinta kondensatas, pradžios m;

λ – kondensato šilumos laidžio koeficientas W/(m·K).

Tačiau (3.6) lygtis nurodo šilumos atidavimo pobūdį procesui nusistovėjus. Ją pritaikyti piktžolių terminio naikinimo atvejui trukdo ne vien tik proceso pobūdžio neatitikimas. Aptariama (3.6) lygtis nusako garo srauto šilumos atidavimą vertikaliajam cilindriniam paviršiui, kai šiuo paviršiumi plonu sluoksniu teka kondensatas, kaip šilumos izoliatorius, sumažinantis šilumos atidavimo koeficientą. Kuo plonesnis kondensato, tekančio cilindro sienele, sluoksnelis, tuo didesnis šilumos atidavimo koeficientas. Pradiniu šilumos mainų momentu (pačioje kondensato sluoksnelio susidarymo pradžioje) šilumos atidavimo koeficientas didžiausias ir daug didesnis už nuostoviojo šilumos mainų proceso koeficientą, gaunamą naudojant (3.6) lygtį. Pastarasis, kaip artimiausias iš žinomų teorinių dydžių, mūsų atveju gali būti panaudojamas kaip ribinis mažiausias orientacinis dydis. Vykstant kondensacijai šilumos atidavimo koeficientas yra 5000–100000 W/(m^2·K) (Drobavičius ir kt., 1974). Mūsų atveju, kai kondensato plėvelė yra labai plona, ne didesnė kaip 0,1 mm, skaičiavimuose galime laikyti, kad α = (50000 – 100000) W/(m^2·K).

Dygstančio augalo energijų balanso narys Q_3 (q_3) apibūdina specifines energijos sąnaudas transpiracijai. Tai šilumos srautas, sunaudotas transpiracijai ir atiduodamas aplinkai vandens garo pavidalo J/s arba srauto tankis J/(s·m^2), išreiškiamas lygtimi:

$$Q_3 = r \cdot w, \tag{3.7}$$

čia r – vandens garavimo šiluma kJ/kg (r = 2465 kJ/kg, esant 15 ^{o}C);

w – transpiracijos intensyvumas kg/(m^2·s).

Aukštatemperatūrėje dujų aplinkoje vyksta intensyvi transpiracija. Nepriklausomai nuo jos intensyvumo karštų dujų aplinkoje, vandens garavimo šiluma (r = 2394 kJ/kg, esant 45 ^{o}C) kinta nedaug. Transpiracija yra energinis veiksnys, suteikiantis galimybę augalo daliai pasipriešinti nepalankiai aukštatemperatūrei aplinkai.

Augalo transpiracija nagrinėjama plačiai, aptariant šiam procesui įtaką darančius veiksnius: augalo lapo žiotelėse vykstančius procesus (Nobel, 1991;2005, Larcher, 1995, Lambers, 2006), fotosintezę, vandens patekimo į augalą procesus (Larcher, 1995, Schopfer, 2006

Веретенников, 2006.), vandens režimo fiziologiją, dirvą ir mineralinę mitybą (Šlapakauskas, 2006, Алексина, 2006). Tai labai svarbūs veiksniai, darantys įtaką augalo gyvybinėms funkcijoms ir jo produktyvumui. Šie veiksniai svarbūs augalo transpiracijos procesui, tačiau ne jie yra lemiantys. Vandens garinimo procesas – transpiracija – nevyks be energijos. Transpiracijai turi įtakos daugelis veiksnių. Tačiau kaip bevertintume transpiraciją, ji yra energinis veiksnys, suteikiantis galimybę reguliuoti augalo dalies temperatūrą garinant vandenį.

Taigi piktžolėms naikinti naudojant karštą orą, degimo produktus ar perkaitintą garą, transpiracija virsta paprastu garinimo procesu dujinės aplinkos sąlygomis, prie kurių augalas yra prisitaikęs ir trumpalaikiai gali biologiškai pasipriešinti aplinkos terminiam poveikiui kovojant su teikamos šilumos pertekliumi. Termodinaminiu požiūriu tai atitinka natūralias augalo augimo sąlygas. Šiam nepalankiam teigiamam energijų balansui, kuris būna piktžolių terminio naikinimo metu, augalas fiziologiškai pasipriešina didindamas garavimo intensyvumą. Taip sunaudoja šilumos perteklių, gaunamą iš aplinkos (perkaitinto garo ir oro mišinio), mažindamas savo audinių temperatūrą. Todėl šio Q_3 energijos balanso nario, skaičiuojamo pagal (3.7) lygtį, nepaisyti negalime. Jis yra vienas svarbiausių energiją vartojančių balanso narių. Kai techninėmis piktžolių terminio naikinimo priemonėmis augalo aplinkoje sukuriamos ekstremalios sąlygos, kurios viršija augalo galimybes, jis žūva, nes augalai prie tokių aplinkos sąlygų nėra prisitaikę.

Kitokia situacija, kai daigas termiškai naikinamas drėgnuoju vandens garu. Šiuo atveju daigą supanti aplinka visiškai prisotinta drėgnojo vandens garo, kurio temperatūra 100 ^{o}C. Augalo transpiracija negalima, nes jį supanti aplinka negali priimti vandens garų, kurių temperatūra mažesnė negu aplinkos. Daigas fiziologiškai negali priešintis vandens garo aplinkos teikiamai šilumai. Vandens drėgnojo garo kondensacijos procesas, esant šaltiems daigo paviršiaus audiniams, juos veikia 100 ^{o}C temperatūros lauku ir akimirksniu pažeidžia daigo gyvybines funkcijas. Kondensacijos proceso metu vandens garas 100 ^{o}C temperatūros aplinkoje išskiria 2256 kJ/kg šilumos. Taigi naudojant drėgnojo vandens garo aplinką transpiracija nevyksta, daigo energijų balanso narys $Q_3 = 0$.

Dygstančio augalo energijų balanso narys Q_4 (q_4) apibūdina daigo audinių šilumos laidį. Tai šilumos srautas augalo audiniais, kurį sukelia augalo audinių temperatūrų skirtumas J/s arba srauto tankis

J/(s·m^2). Šilumos mainus laidžiu nusako Furje dėsnis, išreiškiamas (3.8) ir (3.9) lygtimis.

$$Q_4 = \lambda \frac{t_2 - t_1}{l} F\,, \tag{3.8}$$

$$q_4 = q_{laid} = \lambda \frac{t_2 - t_1}{l}\,, \tag{3.9}$$

čia λ – augalo daigo audinių šilumos laidžio koeficientas (fizikinė daigo audinių charakteristika) W/(m·K);

$t_2 - t_1$ – teigiamas temperatūrų skirtumas tarp laisvai pasirinktų 1 ir 2 taškų daigo audiniuose ^{o}C;

l – atstumas tarp laisvai pasirinktų 1 ir 2 taškų m;

F – paviršiaus plotas, dalyvaujantis energinėje apykaitoje m^2.

Kadangi daigų pagrindinė sudedamoji dalis yra vanduo, tai augalo audinių šilumos laidžio koeficientas yra artimas vandens laidžiui ir lygus $\lambda \cong$ 0,575 W/(m·K). Blogu šilumos laidumu pasižymi visi gyvi audiniai, tarp jų ir augalas. Be to, terminis piktžolių daigų naikinimo procesas labai trumpas – 1 s, todėl energijų balanso narys Q_4 bus labai mažas dydis. Remdamiesi literatūroje pateiktais teiginiais ir mūsų patikrinamaisiais skaičiavimais laikome, kad termiškai naikinant piktžoles šilumos balanso narys $Q_4 = 0$.

Visi kūnai, kurių mažas šilumos laidžio koeficientas, turi savybę sukelti audiniuose lokalias aukštatemperatūres zonas. Pasinaudoję šia augalo audinių savybe, t. y. blogu šilumos laidžiu, galime naudoti lokalų augalo audinių terminį naikinimą. Vadinasi, galime termiškai sunaikinti augalą lokaliai padidinę jo gyvybiškai svarbios dalies audinių temperatūrą. Pavyzdžiui, lokalios zonos sudarymas dviskilčių augalų stiebe, vienaskilčių augalų augimo kūgelyje, kuris yra dirvos paviršiuje. Nėra būtinybės kaitinti visą augalą. Pasinaudojus šia augalo savybe galima pritaikyti termiškai naikinamoms piktžolėms stiebo pažeidimą „žiedu“ (2.2 skyrius).

Augalo energijų balanso narys Q_5 (q_5) apibūdina sunaudojamą energiją augalo gyvybinėms funkcijoms – fotocheminėms reakcijoms ir endoterminiams procesams. Tai šilumos srautas J/s arba srauto tankis J/(s·m^2) energijos pavidalo fotocheminėms reakcijoms ir kitiems augale vykstantiems egzo- ir endoterminiams procesams. Augalai normaliomis aplinkos sąlygomis fotosintezei sunaudoja 0,5–2 % aktyvios absorbuo-

tos saulės energijos, endoterminiams procesams ir augalų fluorescencijai – 0,3 % (Илькун, 1967; Kleschnin,1960; Šlapakauskas, 2006).

Tai suaugusio augalo duomenys. Apie mažą, dygstantį augalą duomenų nėra. Tai paaiškinama tuo, kad botanikai, fiziologai domėjosi suaugusių augalų energijų apykaita, augalų produktyvumu, o daigų tarpsnyje energijos apykaitos problema nebuvo nagrinėjama. Manome, kad daug nesuklysime pasirinkdami suaugusių augalų duomenis apibūdinantį energijų balanso narį Q_5. Tai leidžia teigti, kad terminio piktžolių naikinimo procese, kuris trunka labai trumpai, šis augalo daigo energijų balanso narys Q_5 neturės didesnės įtakos piktžolių naikinimo procesui daigų tarpsnyje. Todėl galima laikyti, kad:

$$Q_5 = 0. \tag{3.10}$$

Dygstančio augalo energijų balanso narys Q_6, (q_6) *apibūdina jo termoakumuliacines savybes.* Tai šilumos srautas J/s arba srauto tankis J/(s·m^2), dalyvaujantis augalo audinių termoakumuliacijos procese. Augalo arba jo dalies audinių akumuliuotą šilumą galima išreikšti lygtimi:

$$Q_6 = mc(t_2 - t_1) = 0, \tag{3.11}$$

čia m – dygstančio augalo antžeminės dalies (termiškai pažeidžiamų augalo audinių) masė kg;

c – augalo audinių savitoji šiluma kJ/(kg·K);

$t_2 - t_1$ – galinės ir pradinės šildomų augalo audinių temperatūrų skirtumas t ^{o}C.

Daigo audinių savitoji masinė šiluma, atsižvelgiant į labai didelį vandens kiekį juose $c = 4{,}0$ kJ/(kg·K) (Илькун, 1967; Drobavičius ir kt.1974: Радченко,1966; Драганов, 2006). Eksperimentais nustatyta augalo audinių savitoji šiluma c = 3,58 kJ/(kg·K) (Клешнин и др.1958) Termiškai piktžolės naikinamos daigo tarpsnyje. Mūsų nuomone, sprendžiant piktžolių terminės kontrolės technologinius klausimus reikėtų laikyti, kad c = 4,0 kJ/(kg·K) dėl mažo sausųjų medžiagų kiekio dygstančiose piktžolėse. Dygstančio augalo antžeminė masė labai maža, todėl pagrįstai teigiama, kad sukaupiamas labai mažas šilumos kiekis Q_6 praktiškai neturės įtakos augalo energijų balansui terminio naikinimo metu. Todėl, kai nagrinėjamas augalo energijų balansas kaupiamos šilumos sąnaudų požiūriu, galima laikyti, kad:

$$Q_6 = 0. \tag{3.11}$$

Kitu požiūriu dygstančio augalo energijų balanso narys Q_6 yra ypatingai svarbus. Šio nario Q_6 mažas dydis parodo, kad dygstančiam augalui kaitinti reikės sunaudoti labai mažai šilumos. Augalo audinių kaitinimo efektas bus pasiektas greitai, kadangi dygstančio augalo antžeminė masė yra maža. Termoakumuliacija yra labai svarbus augalo energijų balanso narys. Kuo didesnė termiškai naikinamo augalo dalies masė, tuo mažesnis aukštatemperatūrės aplinkos terminis poveikis, tuo daugiau reikia šilumos audinių kaitinimui ir sunkiau augalui sukelti terminį letalų poveikį.

Skaičiavimo duomenys rodo, kad aptartomis sąlygomis termoakumuliacijos procese dalyvaus labai maža augalo dalies audinių masė. Kaitinant vieną piktžolę, kurios stiebo skersmuo $d = 1$ mm, bus kaitinama augalo audinių masė $M_1 = 1{,}1 \cdot 10^{-6}$ kg. Atitinkamai, jei $d = 2$ mm, $M_2 = 2{,}58 \cdot 10^{-6}$ kg; $d = 3$ mm, $M_3 = 4{,}05 \cdot 10^{-6}$ kg; $d = 4$ mm, $M_4 = 5{,}53 \cdot 10^{-6}$ kg. Apskritai augalui kaip gyvam organizmui sunaikinti reikia sunaudoti labai nedaug šilumos. Todėl augalo terminis pažeidimas „žiedu“ (2.10 pav.) energijos sąnaudų požiūriu ypač perspektyvus. Tai yra todėl, kad piktžolės termiškai naikinamos dygimo tarpsnyje. Visa tai leidžia teigti, kad augalo energijų balanso narys Q_6 piktžolių terminės kontrolės technologijoje yra vienas iš svarbiausių ir kad energijos sąnaudų požiūriu dygstančias piktžoles naikinti reikia kai jų masė mažiausia.

Dygstančio augalo energijų balanso narys Q_7 (q_7) *apibūdina šilumos nuostolius augale judančioms sultims sušildyti*. Tai transpiracijos procese sunaudojamas šilumos srautas J/s arba srauto tankis J/(s·m^2), dalyvaujantis iš šaknų kylančioms augalo sultims pašildyti arba aušinti. Šiuos šilumos nuostolius galima nustatyti naudojantis lygtimi:

$$Q_7 = cw(t_2 - t_1), \tag{3.12}$$

čia c – augalo sulčių savitoji masinė šiluma (c = 4,19) W/(kg·K);

w – transpiracijos intensyvumas, kuris aukštatemperatūrės aplinkos atveju sunkiai apibūdinimas g/(m^2·h);

$t_2 - t_1$ – teigiamas temperatūrų skirtumas ^{o}C.

Augalo termoenergetinių procesų teorija ir tyrimai (Вукалович,. 1968; Драганов, 2006) leidžia teigti, kad transpiracija vyks augalo audinių temperatūrai esant maždaug 40 ^{o}C. Taigi vandeniui šildyti pakeliant jo temperatūrą (40–15 ^{o}C) $\Delta t = 25$ ^{o}C bus sunaudota:

$$Q_7 = 105w. \tag{3.13}$$

Ši lygtis taikytina naikinant piktžoles karštu oru arba karštomis dujomis.

Naudojant drėgnojo vandens garo aplinką, transpiracijos nebus (w = 0). Augalą termiškai naikinančios aplinkos oro santykinis drėgnis $\varphi = 100$ %. Lygtis (3.13) įgauna tokią išraišką:

$$Q_7 = 105w = 0. \tag{3.14}$$

Lygtis (3.14) rodo, kad piktžoles naikinant aukštatemperatūre drėgnojo vandens garo aplinka, visiškai prisotinta vandens garų, transpiracija nevyks (w = 0), sultys augalo audiniais netekės, jų šildyti nereikės, todėl Q_7 = 0. Taigi augalo sulčių srautui augale pašildyti šiluma nebus naudojama.

Augalo energijų balanso narys Q_8 (q_8) *apibūdina šilumos srautą, gaunamą natūralioje aplinkoje kondensuojantis ore esantiems vandens garams augalo paviršiuje.* Tai rasos iškritimo procesas J/s arba šilumos srauto tankis J/(s·m^2), apibūdinamas šilumos srautu. Šio augalo energijų balanso nario piktžolių terminio naikinimo procese nėra. Q_8 = 0.

3.3. Augalo energijų balansas karštų dujų aplinkoje

Augalo energijų balanso lygtis (3.1) ir (3.2), taikant augalus termiškai naikinančiai karštų dujų (*flaming by gas*) aplinkai, galima suprastinti. Tai galima daryti remiantis 3.2 skyriuje pateiktu augalo energijų balanso narių vertinimu. Matome, kad energijų balanso nariai karštų dujų aplinkoje Q_4, Q_5 ir Q_8 neturės didesnės įtakos terminiam daigo naikinimui. Todėl augalo daigo energijų balanso lygtį (3.1) galima pateikti tokia išraiška:

$$\Sigma Q = +Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_6 - Q_7 = 0. \tag{3.15}$$

Iš (3.15) lygties matome, kad nagrinėjamuoju atveju šilumos balansui, kartu ir augalo audinių įkaitinimui, siekiant nutraukti jų gyvybinę funkciją, lemiamos įtakos turi energija, gaunama spinduliavimo (Q_1) ir konvekcinių šilumos mainų su aplinka (Q_2) būdais. Gaunama šiluma

bus naudojama transpiracijai (Q_3), augalo audiniams pašildyti (Q_6) ir augalo audiniais judančioms sultims pašildyti (Q_7).

Išskleidę augalo daigo energijų balanso lygtį (3.15) gauname:

$$\sum Q = Q_1 + \alpha(t_0 - t_1) - rw - mc(t_2 - t_1) - 105w = 0, \tag{3.16}$$

$$Q_1 = \varepsilon_t C_o \left[\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 \right], \tag{3.17}$$

čia ε_t – augalo ir piktžolių naikinimo įrenginio sistemos tariamas juodumo laipsnis;

T_1, t_1 – augalo dalies paviršiaus temperatūra K ^oC;

T_0, t_0 – piktžolių naikinimo įrenginio paviršiaus arba piktžoles naikinančios aplinkos temperatūra K ^oC;

t_2 – piktžolių terminio naikinimo procese pašilusių augalo dalies audinių temperatūra ^oC.

Iš (3.16) lygties matome, kad augalo dalies paviršius gaus šilumos spinduliavimo ir konvekcijos būdais. Jei pagrindiniu šilumos mainų būdu laikysime konvekciją, tai bendras augalui suteikiamas šilumos srautas bus išreikštas taip:

$$Q_1 + Q_2 = (\alpha_K + \alpha_{sp})(t_0 - t_1), \tag{3.18}$$

$$\alpha_{sp} = \varepsilon_t C_o \frac{\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1}{100} \right)^4}{t_0 - t_1}, \tag{3.19}$$

čia α_{sp} – šilumos atidavimo spinduliavimo būdu koeficientas W/(m^2·K);

α_K – šilumos atidavimo konvekcijos būdu koeficientas W/(m^2·K).

Jei pažymėsime $\alpha_K + \alpha_{sp} = \alpha_1$ (čia α_1 bendras šilumos atidavimo koeficientas), tai (3.16) lygtis įgaus tokį pavidalą:

$$\sum Q = \alpha_1(t_0 - t_1) - rw - mc(t_2 - t_1) - 105w = 0, \tag{3.20}$$

arba

$$\alpha_1(t_0 - t_1) = w(r + 105) + mc(t_2 - t_1). \tag{3.21}$$

Iš lygties (3.21) matyti, kad šiluma, augalo gaunama iš jį kaitinančios aplinkos, sunaudojama transpiracijai ir augalo audiniams kaitinti. Prisimenant aptartą termiškai naikinamų augalų procesą karštų dujų aplinkoje ir energijų mainus transpiracijos procese, dygstančio augalo terminį sunaikinimo procesą sąlygiškai galime padalyti į 2 fazes. Pirmoje fazėje augalas išdžiovinamas, antroje – nudeginamas. Augalo išdžiovinimo procesas vyksta esant maždaug 40 ^{o}C audinių temperatūrai. Tai leidžia teigti, kad augalas, būdamas labai plonas, labai mažos masės (labai maža išdžiūvusio augalo audinių savitoji šiluma), augalo audiniams pašildyti sunaudoja labai mažai šilumos. Todėl augalo energijų balanso narys Q_6, apibūdinantis išdžiūvusio augalo termoakumuliacines savybes, bus toks:

$$Q_6 = mc(t_2 - t_1) = 0. \tag{3.22}$$

Vandens garavimo šiluma normaliomis aplinkos (p = 101325 Pa) sąlygomis bus r = 2256 kJ/kg. Taigi (r + 105) ≈ 2361 kJ/kg. Tuomet *augalo (daigo) šilumos balanso lygtis aukštos temperatūros oro ar degimo produktų aplinkoje įgaus tokią galutinę išraišką:*

$$\alpha_1(t_0 - t_1) = 2361w. \tag{3.23}$$

Ši lygtis nurodo šilumos atidavimo koeficiento α, aplinkos t_0 ir augalo t_1 temperatūrų skirtumo tiesioginį ryšį su augalo transpiracijos w intensyvumu. Tai natūralu, nes augalas yra prisitaikęs prie natūralios aplinkos sąlygų. Esant augalui nepalankiam teigiamam energijų balansui, aukštatemperatūrėje aplinkoje augalas pasipriešina teikiamos šilumos pertekliui didindamas transpiracijos intensyvumą. Tai patvirtina, kaip jau minėjome, žolės miltų gamybos bandymai aukštatemperatūrėse džiovyklose (Аудзевичюс, 1967, Валушис, 1977). Akivaizdu, kad didindamas transpiraciją augalas sunaudoja šilumos perteklių iš aplinkos, tuo sumažindamas augalo audinių temperatūrą. Analogiškas žolės miltų gamybai sąlygas patiria piktžolė, kai jai sunaikinti naudojama karšto oro arba degimo produktų aukštatemperatūrė aplinka.

3.4. Augalo energijų balansas vandens garo aplinkoje

Augalo energijų balanso lygtis (3.1) ir (3.2), naudojamas augalus termiškai naikinančiai drėgnojo vandens garo aplinkai, taip pat galima suprastinti remiantis 3.2 skyriuje pateiktu augalo energijų balanso narių vertinimu. Matome, kad energijų balanso nariai drėgnojo vandens garo aplinkoje Q_4, Q_5 ir Q_8 neturės didesnės įtakos terminiam daigo naikinimui.

Piktžolių terminio naikinimo metu drėgnojo vandens garo aplinka augalui daro kitokį poveikį negu aukštatemperatūrė degimo dujų aplinka. Drėgnojo vandens garo aplinka yra visiškai prisotinta vandens garų. Augalo paviršiniai audiniai termiškai veikiami 100 ^{o}C temperatūros besikondensuojančio drėgnojo vandens garo. Augalas vandens garinti negali. Dėl šios priežasties jis negali fiziologiškai pasipriešinti aplinkos terminiam poveikiui. Šiuo atveju $Q_3 = 0$. Daigo šilumos mainai spinduliavimo būdu drėgnojo vandens garo aplinkoje, esant labai dideliam šilumos atidavimo koeficientui α = 50 000 – 80 000 W/(m^2·K), santykinai bus labai maži, taigi $Q_1 = 0$. Tuomet augalo daigo energijų balanso lygtį (3.1) drėgnojo vandens garo aplinkoje išreiškiame taip:

$$\Sigma Q = Q_2 - Q_6 = 0. \tag{3.24}$$

Vadinasi, visa teikiama drėgnojo vandens garo šiluma $Q_2 = Q_6$ sunaudojama augalo audiniams kaitinti. Šią lygtį išskleidę gauname:

$$\alpha(t_0 - t_1) = mc(t_2 - t_1), \tag{3.25}$$

čia t_0 – drėgnojo vandens garo aplinkos (t_0 = 100 ^{o}C) temperatūra ^{o}C;

t_1 – augalo dalies paviršiaus pradinė arba pasirinkto momento temperatūra ^{o}C;

t_2 – augalo audinių galinė temperatūra po kaitinimo ^{o}C.

Šios lygtys parodo, kad augalas neturi jokių fiziologinių galimybių pasipriešinti šilumai, teikiamai iš drėgnojo vandens garo (normaliomis sąlygomis t = 100 ^{o}C) aplinkos. Visa augalui teikiama šiluma skirta tik augalo audinių temperatūrai didinti. Prie tokios kaitinančios aplinkos sąlygų augalas nėra prisitaikęs. Todėl drėgnojo vandens garo aplinka gali staigiai pakelti augalo audinių temperatūrą ir augalą termiškai sunaikinti. Besikondensuojančio drėgnojo vandens garo srauto kryptis nukreipta į šaltus augalų paviršinius audinius ir labai greitai

atiduoda kondensacijos šilumą. Tai rodo labai didelis šilumos atidavimo koeficientas $\alpha \cong 50000 - 100000$ W/(m^2·K). Kondensacijos proceso metu praktiškai išnyksta temperatūros ir drėgmės sąlyčio su aplinka sluoksniai.

Taigi visa kondensacijos proceso metu išskirta šiluma augalo audinių paviršiuje atiduodama augalo audiniams kaitinti. Šilumos srautas yra statmenas augalo audinių paviršiui. Todėl šio tyrimo duomenys leidžia teigti, kad drėgnasis vandens garas yra efektyvi terminė aplinka piktžolių terminiam naikinimui.

Kalbant apie vandens garą reikia atkreipti dėmesį, kad drėgnojo vandens garo srautas judės šaltų paviršių link ir ant jų kondensuosis. Todėl *drėgnasis vandens garas, slinkdamas žemės paviršiumi, efektyviai naikina dygstančias ir sunkiai termiškai sunaikinamas piktžoles, kurių augimo kūgelis prigludęs prie pat žemės paviršiaus, kaip ir pats augalas*.

Augalas yra prisitaikęs išgyventi drėgnojo vandens garo aplinką žemų temperatūrų srityje. Tai panaudojame augalams dauginti. Augalų šakutes įšaknydinant dirbtiname rūke augalo temperatūra būna didesnė už jo aplinkos temperatūrą, Esant neigiamam temperatūrų skirtumui, augalas gali vykdyti minimaliai būtinas gyvybines funkcijas. Tuo tarpu augalas yra visiškai neprisitaikęs teigiamam temperatūrų skirtumui, kaip yra piktžolių terminio naikinimo metu. Kaip matome iš (3.25) lygties, augalas neturi jokių fiziologinių galimybių sumažinti šilumos perteklių, gaunamą augalo dalių paviršiuje iš besikondensuojančio vandens garo. *100 ^{o}C vandens garas paveikia augalo dalių paviršinius audinius staigiai ir žudančiai*. Lygtis (3.25) rodo, kad visa vandens garo teikiama šiluma skiriama augalo audinių temperatūrai didinti.

3.5. Augalo, termiškai pažeisto „žiedu“, letalaus proceso energijų balansas

Termiškai pažeidus augalo stiebą „žiedu“, žūsta tik tie stiebo audiniai, kurių temperatūra pakyla daugiau kaip 58 ^{o}C, kadangi juose įvyksta negrįžtami pokyčiai. Terminio impulso trukmė – 1–2 s. Augalo stiebo viršutinė dalis išlieka termiškai nepažeista. Termiškai pažeidus augalo stiebą „žiedu“ pradiniu momentu augalo išorinis pažeidimas būna nedidelis. Atidžiau pažiūrėjus terminio pažeidimo vietoje paste-

bimas intensyvus spalvos pakitimas. Esant didesniam pažeidimui, augalai nukrenta ant dirvos paviršiaus. Po terminio impulso termiškai pažeistas augalas vėl patenka į natūralios aplinkos sąlygas. Prasideda letalus augalo džiūvimo procesas. Jis vyksta nuo terminio pažeidimo vietos. Augalo žuvimo ir džiūvimo proceso trukmė priklauso nuo klimato sąlygų. Pirmiausia išdžiūsta termiškai pažeisti audiniai, stiebas susitraukia (3.3 pav.). Toliau pastebimas nuoseklus stiebo džiūvimas. Galiausiai išdžiūsta lapeliai (3.4 pav.)

3.3 pav. Po terminės piktžolių kontrolės vyksta letalus augalų džiūvimas. Pirmiausia išdžiūsta termiškai pažeisti audiniai, stiebas

3.4 pav. Po terminės piktžolių kontrolės išdžiūvę augalai

Taikant augalo energijų balanso (3.15) ir (3.23) lygtis išdžiūvimo (žuvimo proceso) laikotarpiui, lygtis dar supaprastėja. Augalo nepažeista viršutinė dalis, net ir negaudama maisto medžiagų ir sulčių iš šaknų, sugeba palaikyti gyvybinius procesus eikvodama augalo audinių sukauptas organines medžiagas ir drėgmę. Augalo fiziologinį būvį po terminio stiebo pažeidimo galima prilyginti džiūstančio nupjauto augalo būviui. Tuo remiantis ir įvertinant pagrindinius veiksnius, džiūstančio augalo termiškai nepažeistos viršutinės dalies energijų balanso lygtį galima užrašyti taip:

$$\Sigma Q = Q_1 \pm Q_2 - Q_3 = 0 \tag{3.26}$$

arba

$$Q_3 = \pm Q_1 \pm Q_2 . \tag{3.27}$$

Pastaroji lygtis leidžia teigti, kad vandens garavimo ir džiūvimo procesui bus sunaudota visa energija, gaunama iš aplinkos. Kaip rodo eksperimentai, *vyksta lėtas augalo žuvimo procesas, kurio trukmė priklauso nuo klimato sąlygų*. Kuo greičiau augalas žūsta, tuo mažiau sunaudojama organinių medžiagų jo gyvybiniams procesams palaikyti.

3.6. Augalo, termiškai pažeisto „žiedu“, sukeliant dalinį audinių pažeidimą, energijų balansas

Naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu pastebėta, kad dalinis terminis pažeidimas žemės ūkio augalams daro teigiamą poveikį. Todėl iškyla problema piktžolių terminio naikinimo vandens garu metu žemės ūkio augalą dozuotai termiškai pažeisti. Tai galima atlikti naudojant specialias uždangas, dozuojančias terminį vandens garo poveikį žemės ūkio augalui. Tiriant piktžolių terminio naikinimo technologijas aiškėja, kad kai kuriais atvejais galima piktžoles plikyti drėgnuoju vandens garu ir nesaugant žemės ūkio augalo. Tokiais atvejais žemės ūkio augalas nesunaikinamas, patiria terminį stresą ir dalinį audinių žuvimą.Tokie atvejai pastebimi, kai žemės ūkio augalo daigai yra stambesni už piktžolių daigus arba daigas yra apgaubtas diegamakšte. Žemės ūkio augalų dalinis terminis pažeidimas tokiu būdu naikinant piktžoles yra realus. Tai sudaro atskirą problemą, kurios biologinis vertinimas ir rea-

lizavimas priklauso ateičiai. Tiriant pastebėta, kad dalinio augalo audinių terminio pažeidimo problema opi ir piktžolei, ir žemės ūkio augalui.

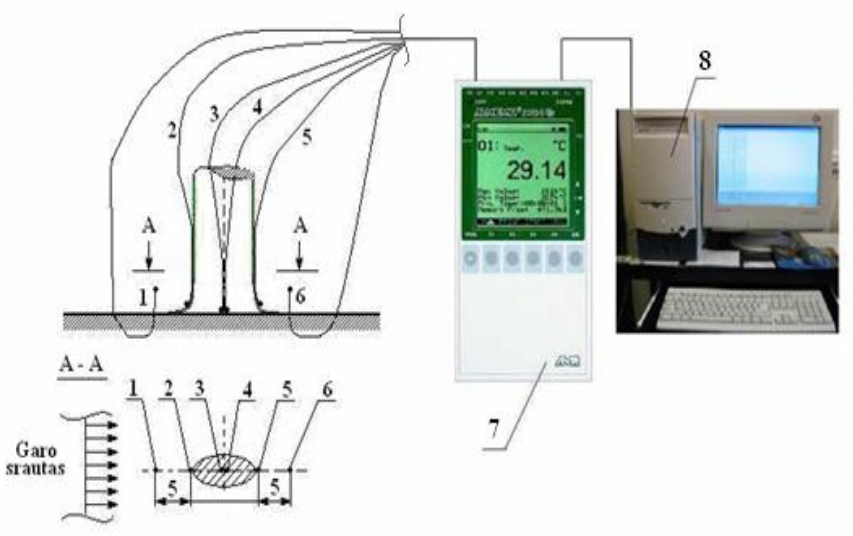
Esant daliniam stiebo audinių pažeidimui, augalas patiria terminį stresą. Termiškai pažeistoje vietoje susidaro palankios sąlygos sultims garuoti, stiebas plonėja (traukiasi). Čia vyksta intensyvus garavimas, džiūvimo procesas. Pažeisti stiebo audiniai paruduoja, tampa neelastingi. Tačiau iš dalies pažeistame kultūrinio augalo stiebe lieka nepažeistų sveikų audinių, todėl augalo vystymasis tęsiasi. Šiuo augalo gyvenimo tarpsniu galioja energijų balanso (3.15) ir (3.23) lygtys. Deja, termiškai pažeistos ir termiškai nepažeistos augalo dalių šios lygties išraiška skirsis. Pažeistosios augalo stiebo dalies energijų balanso lygties išraiška bus tokia:

$$\Sigma Q = \pm Q_1 \pm Q_2 + Q_7 = 0\,. \tag{3.28}$$

Iš dalies termiškai pažeistos žemės ūkio augalo dalies $Q_3 = 0$, $Q_4 = 0$, $Q_5 = 0$, $Q_6 = 0$. Vadinasi, visa gauta energija šviesiu paros metu iš aplinkos konvekcijos ir spinduliavimo būdais bus sunaudota stiebu kylančioms augalo sultims šildyti Q_7:

$$Q_7 = \pm Q_1 \pm Q_2\,. \tag{3.29}$$

Kaip rodo bandymai, termiškai pažeistame augale, patyrusiame terminį stresą, biologiniai ir fiziologiniai procesai įgauna kitokį pobūdį, kuris sukelia augalų vystymosi pakitimus. Po terminio poveikio augalai vystosi greičiau, lyginant su nepaveiktais ir suformuoja daug didesnę ne tik antžeminę dalį, bet ir šaknų masę. Įvertinę svogūnų technologijos tyrimų rezultatus darome prielaidą, kad dalinis augalo terminis pažeidimas skatina jo masės, t. y. derliaus padidėjimą. Tai ateities ir jau terminės biologijos problemos, kurias teks spręsti tobulinant piktžolių terminio naikinimo technologijas.



Augalus termiškai naikinančios aplinkos tyrimas. Termoporų temperatūrai matuoti (0,07 mm skersmens) sustatymo paprastojoje rietmenėje (*Echinochloa crus-galli* L.) ir jos aplinkoje schema: 1; 6 – termoporos aplinkoje; 2; 5 – termoporos augalo audinių paviršiuje; 3; 4 – termoporos augalo ūglyje; 7 – temperatūros matavimo duomenų kaupiklis ALMEMO 2590-9; 8 – kompiuteris

4 AUGALUS TERMIŠKAI NAIKINANTI APLINKA

4.1. Aukštatemperatūrė aplinka

Aplinka, sukuriama augalui termiškai naikinti, yra labai sudėtinga energiniu (šilumos nešėjo gamybos), technologiniu (augalo aukštatemperatūrės aplinkos formavimo) ir nevienareikšmė termodinaminiu (dujos, drėgnasis vandens garas) požiūriais. Aplink augalą tenka sukurti lokalizuotas, ekstremalias energinės apykaitos sąlygas, kurios augalui sukeltų termiškai letalų procesą. Augalo audiniams šildyti galima panaudoti visus galimus šilumos perdavimo būdus (spinduliavimą, konvekcinį šilumos atidavimą, šilumos laidumą), taip pat visus darbo kūnus (dujas, vandens garus, putas, dujų ir vandens garo mišinį). Remiantis literatūros ir tyrimų duomenimis, terminio piktžolių naikinimo būdų, šilumos nešėjų, darbinių aplinkų ir naudojamų įrenginių klasifikacija pateikiama 4.1 lentelėje. Terminio piktžolių naikinimo procese svarbų vaidmenį vaidina ir pats augalas, jo dalių dydis, augimo tarpsniai, fiziologinis gebėjimas pasipriešinti nepalankiam išoriniam aukštatemperatūriam poveikiui, žemės ūkio augalo rūšis, dirvos reljefas, naudojama sėjos ir pasėlio priežiūros technologija, piktžolių terminio naikinimo technologija ir kt. Vienintelis išmatuojamas nepalankios augalui energijų apykaitos su aukštatemperatūre aplinka parametras, kartu ir piktžolių terminio naikinimo proceso vertinimo parametras yra augalo audinių temperatūra. *Augalus naikinanti aukšta aplinkos temperatūra vienodai veikia tiek žemės ūkio augalus, tiek piktžoles*.

Staigus augalo audinių temperatūros pakilimas daugiau kaip 58 ^{o}C veikia juos žudančiai. Tokioje temperatūroje koaguliuoja baltymai, suyra ląstelių membranos struktūra (Daniel et al., 1969, Ellwagner et al., 1973, Levitt, 1980, Stašauskaitė, 1999). Aukšta augalo audinių temperatūra vienodai žudančiai veikia visus augalus. Todėl toliau nagrinėdami aukštatemperatūrės aplinkos poveikį augalui neišskirsime, ar termiškai naikinama piktžolė, ar žemės ūkio augalas.

Augalus termiškai naikinanti aplinka, jos sukūrimas ir energinis vertinimas yra termoinžinerijos objektas. Tačiau dažniausiai šiuos klausimus tenka spręsti žemės ūkio specialistams. Termoinžinerijos mokslo požiūriu vertinant straipsnius apie terminę piktžolių kontrolę, randama daug klaidinančios informacijos. Be to, augalų energinės apykaitos su aplinka problemos aukštų temperatūrų aplinkoje išsamiau pradėtos nagrinėti paskutiniaisiais dviem dešimtmečiais. Nepaisant trūkumų, nauja terminė pasėlių priežiūros technologija tiriama ir sėkmingai tobulinama. Ji remiasi fiziniais metodais, neteršia aplinkos, yra ekologiška.

Norint sukurti aukštatemperatūrę augalus termiškai naikinančią aplinką reikia šilumos šaltinio. Įvertinus lauko sąlygas ir terminio piktžolių naikinimo įrenginio transportabilumą, šilumos gamybai kol kas naudojamas dujinis arba skystasis kuras. Šilumos gamybai sėkmingai galima naudoti vietinį ir kitas kuro rūšis. Šiuo metu terminės piktžolių kontrolės tyrimo ir įgyvendinimo etapo svarbiausias uždavinys yra terminio piktžolių naikinimo technologijos kūrimas ir technologinio proceso teorinis ir eksperimentinis pagrindimas. Šiuo požiūriu svarbus vaidmuo tenka aukštatemperatūrės, augalus termiškai naikinančios aplinkos parinkimui. Kaip matome iš 4.1 lentelėje pateiktos informacijos, piktžolių terminei kontrolei galima panaudoti dujų, vandens garo, putų ir kitas aukštatemperatūres aplinkas. Tam, kad galėtume pagrįstai spręsti terminio piktžolių naikinimo technologines problemas, reikia šias aplinkas aptarti ir įvertinti.

4.1 lentelė. Terminio piktžolių naikinimo būdų, darbinių dalių ir įrenginių klasifikacija

Darbinės aplinkos temperatūra	Darbo agentas	Darbinė aplinka	Šiluminis efektas ir jo charakteristika	Įrenginio pavadinimas	Tyrimų autoriai
100 °C	Vanduo	Karštas vanduo	Karšto vandens aušimas	Karšto vandens įrenginys	W. Kurfess, 1999 D. Hansson, 2002 R. M. Collins, 2002
	Putos	Karštos putos	Putų aušimas	Karštų putų įrenginys	R. M Collins, 2002 Harry ir kt. 2005
	Drėgnasis vandens garas	Drėgnojo vandens garo ir oro mišinys	Garo kondensacijos procesas	Vandens garo įrenginys	A. Sirvydas P. Lazauskas P. Kerpauskas ir kt., 1997–2011
300–1000 °C	Degimo dujos, perkaitintasis garas	Dujų ir perkaitintojo vandens garo mišinys	Dujų aušimas	Dujų, ugnies įrenginiai	J. Ascard, 1995 A. Bertram, 1996 F. Tei, 2003 S.Knezevic 2009, 2011; Peruzzi ir kt. 2004–2011
1000–1400 °C	Infraraudonieji spinduliai	Šiluminis spinduliavimas	Šiluminis spinduliavimas	Infraraudonųjų spindulių įrenginys	J. Ascard, 1998 B. Geier, 1989

4.2. Karštų dujų aplinka

Terminio piktžolių naikinimo būdų, darbinių aplinkų ir įrenginių klasifikacija, pateikta 4.1 lentelėje, akivaizdžiai rodo, kad šiuose įrenginiuose naudojamos 300–1000 ^{o}C degimo dujos. Tai vadinamieji liepsnos įrenginiai, naudojantys suskystintųjų dujų degimo produktą – liepsną (Castille, Ghesquiere, 1985, Hoffmann, 1989). Karštų degimo dujų įrenginiai tiriami senokai (Whitney, 1968, Fitzgerald et al., 1964, Chappell, Daniell, 1966, Hoffmann, 1975). Jie naudojami piktžolėms naikinti ir dezinfekcijai (Holmoy, Storeheier, 1993, Peruzzi et al., 1998, Vand Rood, 1989, Vanhala, 2000). Nesigilindami į istorinius šio klausimo aspektus, aptarsime pagrindinius principinius karštų dujų (*flaming by gas)* technologijos piktžolėms termiškai naikinti sprendimus, kurie, mūsų nuomone, verti dėmesio ir vertinimo.

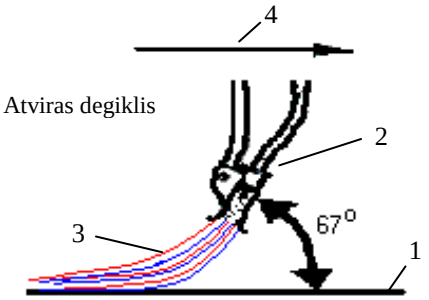
Karštų dujų technologija ir įrenginiai. Šioje piktžolių terminio naikinimo technologijoje naudojamos aukštatemperatūrės dujos, dujų degimo produktai arba perkaitintasis vandens garas. Tai labiausiai paplitęs ir daugiausia ištirtas terminis piktžolių naikinimo būdas (Casini & Calamai, 1992; Valde, 1998; Holmoy et al., 2000; Rifai et al., 2003[1]; Leroux et al. 2001; Rasmussen, 2003; Peruzzi et al., 1998–2006; Raffaelli et al., 2004). Galimi keturi įrenginių panaudojimo variantai:

1 variantas. Tai paprasčiausias piktžolių nudeginimas suskystintųjų dujų liepsna. Tokia terminė piktžolių kontrolė pasėlyje labai vaizdi, suteikia efektyvios terminio piktžolių naikinimo priemonės išorinį vaizdą. Didžiulis atviros liepsnos fakelas gaubia augalus. Stambūs, masyvūs žemės ūkio augalai šį atviros liepsnos poveikį išgyvena, smulkios piktžolės išdžiovinamos ir nudeginamos. Atvira liepsna panaudojama ir dygstančioms piktžolėms naikinti, kol žemės ūkio augalai nesudygę (Peruzzi et al., 2006).

Piktžolėms naikinti naudojami paprasčiausi liepsnos įrenginiai, naudojantys degimo proceso šilumą. Akivaizdu, kad šiuose skystojo kuro degimo procesuose vyksta intensyvus degimo produktų maišymosi su aplinkos oru procesas, įrenginys tampa neekonomiškas, susidaro dideli šilumos nuostoliai į aplinką, maža dalis degimo proceso šilumos panaudojama piktžolėms naikinti. Atviros liepsnos dujų degiklių panaudojimas piktžolių terminiam naikinimui nepasiteisina.

Degimo produktus reikia išleisti 67^{o} kampu (4.1 pav.), siekiant srautą nukreipti į piktžoles. Toks dujų išleidimas leidžia suardyti dirvos

paviršiuje esantį dirvos apykaitos su aplinka temperatūrinį sluoksnį, kuriame vystosi piktžolė. Nesuardžius šio sluoksnio aukštatemperatūris srautas gali nepaveikti termiškai naikinamų piktžolių.



4.1 pav. Atviros liepsnos dujų degiklis: 1 – žemės paviršius; 2 – dujų degiklis; 3 – liepsnos frontas; 4 – judėjimo kryptis (Ascard, 1995)

2 variantas. Naikinant piktžoles atvira liepsna pasėliuose, kuriuose žemės ūkio augalų ir piktžolių biometriniai rodikliai artimi, iškyla žemės ūkio augalų apsaugos nuo sunaikinimo problema. Mechaninę apsaugą (gaubtą) pritaikyti naudojant mechanizuotą piktžolių naikinimą problemiška. Tai riboja sėjos tikslumas ir sėją atitinkantis tikslus lokalizuoto aukštatemperatūrio srauto išleidimas. Tikslioji sėja (Åstrand, Baerveldt,2003; Åstrand, 2005; Bromet, Tullberg, 2002; Slaughter et al., 2008; Anernhammer, 2001) mažintų pasėlio augalų dalinį terminį pažeidimą piktžolių terminės kontrolės metu, pagerintų technologinio proceso tikslumo rodiklius.

Siekiant apsaugoti špinatus nuo tiesioginio liepsnos poveikio, naudotos CO_2 dujos (Tei, Stagnari, 2003). Išleistos virš špinatų vagutės, jos gesina liepsną, kad neplistų į augalų vagutę ir aušina degimo produktus. Tai pirmasis įrenginys, kuriuo bandoma vienodų biometrinių rodiklių (žemės ūkio augalų ir piktžolių) pasėlių tarpueiliuose panaudoti atviros liepsnos dujų degiklius reguliuojant liepsnos fakelo plitimą.

3 variantas. Norint sumažinti degimo dujų maišymąsi su aplinkos oru, padidinti įrenginio ekonomiškumą, daromi įvairūs gaubtai. Siekiant sumažinti šilumos nuostolius, per gaubto sieneles jie izoliuojami. Naudojami tokie pat liepsnos įrenginiai. Juose piktžoles naikinančios aplinkos temperatūra reguliuojama keičiant aplinkos oro ir degimo dujų mišinio santykį arba oro pertekliaus koeficientą (tiekiant oro daugiau

negu būtina degimo procesui). Tai daryti verčia aukšta dujų degimo temperatūra, kurios neatlaiko gaubto konstrukcijos. Dėl to reikėtų patobulinti dujų deginimo procesą ir įvesti recirkuliaciją, kaip tokiais atvejais daroma termoinžinerijoje.

4 variantas turi labai svarbų konstrukcinį pakeitimą – tai įrenginys su šiltų dujų recirkuliacija. Šiuose įrenginiuose dalis dujų iš piktžolių naikinimo gaubto neišmetamos į aplinką, bet panaudojamos vietoj aplinkos oro naujam aukštatemperatūriam mišiniui ruošti. Tai leidžia gauti šilumos ekonomijos lyginant su aukščiau aptartais karštų dujų įrenginiais (Bertram, 1996).

Mūsų nuomonė karštų dujų technologijos atžvilgiu yra kritiška (motyvai ir pagrindimas bus tolesniuose skyriuose), tačiau tenka konstatuoti, kad kaip piktžolių terminės kontrolės įrenginiai jie yra plačiausiai paplitę. Paplitimo priežastys – didžiulis matomas liepsnos efektas (reklamos veiksnys) ir įrenginio konstrukcijos paprastumas.

Karštų dujų technologijoje liepsna – tai nebaigto dujų degimo proceso rezultatas. Degimo proceso esmė glūdi ne reaguojančių medžiagų prigimtyje, bet cheminėse ir fizinėse proceso sąlygose. Šiuo atveju svarbiausia degimo proceso savybė yra ta, kad jis pats sudaro sąlygas greit vystytis oksidacijos (degimo) reakcijoms. Šių sąlygų svarbiausias veiksnys yra aukšta temperatūra. Piktžolių terminio naikinimo įrenginiuose, dar tebevykstant oksidacijos reakcijai (nebaigtam degimo procesui), karštos dujos liepsnos pavidalu nukreipiamos į šaltą dirvą ir augalus. Liesdamasi su šaltais paviršiais liepsna aušta, gęsta ir nevisiško degimo produktų pavidalu patenka į aplinką. Terminę piktžolių kontrolę naudojame siekdami mažinti aplinkos taršą cheminėmis medžiagomis, bet, kaip matome, ją teršiame kitu pavidalu ir nevisiškai panaudojame kuro šilumą. Todėl šiuose įrenginiuose būtina atskirti dujų deginimo proceso aplinką nuo piktžolių terminio naikinimo aplinkos. Liepsnos įrenginiai privalo pirma visiškai sudeginti kurą, gauti didžiausią šilumos kiekį, neteršti aplinkos nepilno degimo produktais ir tik po to degimo produktus naudoti piktžolių terminiam naikinimui. Liepsnos išorinis efektas neatspindi piktžolių terminio naikinimo efektyvumo ir yra klaidinantis (tai aptarsime kituose skyriuose).

Karštų dujų įrenginio šiluminis galingumas. Aukštos temperatūros dujos teikia šilumą piktžolių terminiam naikinimui. Dujos normaliomis aplinkos sąlygomis agregatinės būsenos nekeičia. Tai palengvina dujų, kaip aukštatemperatūrės šilumos nešėjo piktžolėms naikinti, skai-

čiavimą ir vertinimą. Šilumos srautą (įrenginio teorinį šiluminį galingumą), kurį tiekia degimo procesas karštų dujų pavidalu aukštatemperatūrei augalus termiškai naikinančiai aplinkai sukurti, skaičiuojame pagal lygtį:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad arba \quad Q = m \cdot \Delta h, \tag{4.1}$$

čia Q – šilumos srautas (įrenginio galingumas) kW arba kJ/s;
m – aukštatemperatūrių dujų debitas kg/s;
$\Delta t = t_d - t_o$;
$\Delta h = h_d - h_o$.

Dujų aukštatemperatūrė aplinka šilumą tiekia termiškai naikinamų augalų apsupčiai sukurti. Karštų dujų įrenginiuose šiluma, naudingai sunaudojama termiškai naikinamiems augalams kaitinti, sudaro tik iki 2 %. Didžioji dalis įrenginio pagamintos šilumos (apie 98 %) sudaro įvairius nuostolius. Terminio piktžolių naikinimo procese svarbiausias veiksnys yra greitas termiškai naikinamo augalo paviršinių audinių įkaitinimas. Jis lemia terminio piktžolių naikinimo proceso efektyvumą ir ekonomiškumą. Tai rodiklis, leidžiantis įvertinti naudojamo piktžolių kontrolės įrenginio tobulumą.

Šilumos plitimas augalo audiniais paklūsta Furje dėsniui ir nepriklauso nuo augalui kaitinti naudojamos aplinkos. Žmogus šilumos plitimui augalo audiniais negali daryti įtakos. Tai priklauso nuo augalo audinių šilumos laidžio koeficiento λ (W/(m·K), kuris yra augalo audinių fizikinis rodiklis. Taigi žmogus, termiškai naikindamas augalus, gali daryti įtaką tiktai paviršinių augalo audinių temperatūros didinimui, o tai yra svarbiausias šios technologijos veiksnys. Nagrinėjamuoju atveju tai priklauso nuo dujinės aplinkos šilumos atidavimo proceso augalui, kurį nusako Niutono dėsnis:

$$Q = F \cdot \alpha \, \Delta t \quad arba \quad q = \alpha \cdot \Delta t, \tag{4.2}$$

čia Q – šilumos srautas iš dujų, atiduodamas kaitinamiems augalo audiniams W arba J/s;

F – augalo audinių paviršiaus plotas, dalyvaujantis šilumos mainuose su aukštatemperatūre dujine aplinka m^2;

q – dujinės aplinkos šilumos srauto tankis W/m^2;

$\Delta t = t_d - t_a$; – augalą kaitinančios dujinės aplinkos ir augalo dalies paviršiaus temperatūrų skirtumas ^oC.

Sunkiausia įvertinti dujinės aplinkos šilumos atidavimo koeficientą α W/(m^2·K). Skirtingos augalo dalys yra nevienodos geometrinės formos, todėl dujinės aplinkos šilumos atidavimo koeficientus skirtingoms augalo dalims reikia skaičiuoti atskirai. Sunkiausiai termiškai sunaikinamos stambiausios augalo dalys. Todėl tikslinga skaičiuoti šilumos atidavimo koeficientą augalo stiebui. Jam rasti galime pasinaudoti (Drobavičius ir kt., 1974, Incropera, DeWitt, l981; Жукаускас, 1982; Žukauskas, 1989; Leskauskas ir kt. 2007). kriterinėmis lygtimis:

$$Nu_f = 0{,}5Re_f^{0,5}Pr_f^{0,38}\left(\frac{\mathrm{Pr}_f}{\mathrm{Pr}_p}\right)^{0,25}. \qquad (4.3)$$

Skaičiuojant oro srauto ar degimo produktų šilumos atidavimo koeficientą augalo stiebui galima naudojantis (3.5) lygtimi (Жукаускас, Жюгжда, 1979):

Rasti tikslų šilumos atidavimo koeficientą yra sudėtinga. Dujinės aplinkos šilumos atidavimą augalui skaičiuojame naudodami α = 25–30 W/(m^2·K) reikšmes.

Piktžoles naikinančių aukštatemperatūrių dujų parametrų skaičiavimas. Aukščiau nagrinėtuose karštų dujų technologijos įrenginiuose piktžolės naikinamos aukštatemperatūrėje dujų aplinkoje. Ją sudaro sausų degimo dujų (arba sauso oro) ir drėgmės vandens garo pavidalo aukštatemperatūris mišinys, visiškai paklūstantis mišinių teoriniams dėsningumams (Дзюбенко,и др. 2006; Драганов, 2006; Skrinska, 2006; Drobavičius, ir kt. 1974, Švenčianas, Adomavičius, 2011). Sausų dujų kiekis visuomet išlieka pastovus, kinta tik jų drėgnis. Terminio piktžolių naikinimo procesai dažniausiai skaičiuojami ir analizuojami naudojantis drėgnojo oro *h*–*x* (*h* – oro entalpija, *x* – oro drėgnis) diagrama.*

---

* *h* – oro entalpija kJ/kg. Tai energinis parametras, matuojamas kJ 1 kg drėgno oro, paskaičiuotas 1 kg absoliučiai sauso oro. Procesuose, kuriuose vyksta garavimas, nekintantis parametras yra 1 kg absoliučiai sauso oro. Jis gali turėti daugiau ar mažiau drėgmės. Todėl *h* didėja didėjant oro temperatūrai ir drėgniui.
x – oro drėgnis kg/kg. Matavimo vieneto prastinti negalima, nes jis išreiškiamas kg drėgmės 1 kg sauso oro.
h–*x* diagrama sudaroma pastoviam drėgnojo oro slėgiui (pvz., 100 kPa). Diagramos sudarymas ir pagrindinių procesų vaizdavimas aprašytas vadovėliuose nagrinėjant drėgnojo oro termodinamiką. *h*–*x* diagrama plačiai naudojama drėgnojo oro parametrams skaičiuoti. Oro kondicionavimo ir džiovinimo praktikoje žinomos kaip Molje (R. Mollier) arba Ramzino diagramos.

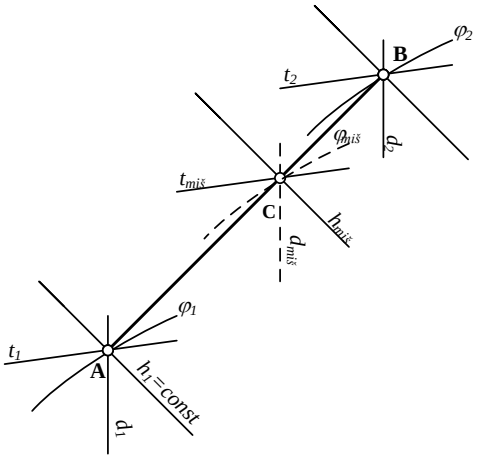
Piktžolių terminio naikinimo procese naudodami įvairias technologijas visuomet susiduriame su oro ir drėgmės mišiniu. Tai įrenginiai, kuriuose naudojami degimo produktai deginant suskystintąsias dujas (*karštų dujų technologija*), karštų dujų su recirkuliacija ir įrenginiai, naudojantys vandens garo ir aplinkos oro mišinį.

Visuose piktžolių terminio naikinimo įrenginiuose sudarant aukštatemperatūrę aplinką vyksta skirtingų parametrų dujų maišymosi procesas. Šio proceso metu gauto mišinio parametrai naudojantis *h–x* diagrama randami taip. Sakykime, kad M_1 kg aplinkos oro, kurio parametrai t_1 ir santykinis drėgnis φ_1 (A taškas, 4.2 pav.), piktžolių terminio naikinimo proceso metu maišosi su M_2 kg aukštatemperatūrės piktžolių terminio naikinimo aplinkos, kurios parametrai yra t_2 ir φ_2 (B taškas, 4.2 pav.), oru. Santykis tarp maišymosi procese dalyvaujančių oro masių yra *n*:

$$n = \frac{M_2}{M_1}, \tag{4.4}$$

čia M_1 – aplinkos oro masė, sunaudota piktžoles termiškai naikinančiam mišiniui ruošti kg;

M_2 – piktžolėms naikinti dujų degimo metu pagaminta aukštatemperatūrė aplinkos dujų masė kg.



4.2 pav. Įvairių parametrų aplinkos oro ir aukštatemperatūrės piktžoles termiškai naikinančios aplinkos maišymosi procesas *h–x* diagramoje

Kitaip tariant į n kilogramų įrenginyje pagamintos aukštatemperatūrės piktžoles naikinančios aplinkos įmaišoma 1 kg aplinkos oro. Gaunamas piktžoles termiškai naikinantis mišinys. Yra įrodoma, kad gautas C taškas, atitinkantis mišinio parametrus, bus AB tiesėje (4.2 pav.). C taškas, vaizduojantis mišinį, visada yra arčiau taško, atitinkančio dujas, kurių masė didesnė. Jį galima rasti naudojantis drėgnio balanso lygtimi:

$$n = \frac{x_{miš} - x_1}{x_2 - x_{miš}}, \tag{4.5}$$

Paskaičiuoti mišinio drėgnį ir entalpiją galima naudojantis drėgmės ir šilumos balansų lygtimis:

$$x_{miš} = \frac{x_1 + x_2 \cdot n}{1+n}; \tag{4.6}$$

$$h_{miš} = \frac{h_1 + h_2 \cdot n}{1+n}. \tag{4.7}$$

Matome, kad naudodamiesi h–x diagrama galime nagrinėti piktžoles naikinančios aukštatemperatūrės aplinkos parametrų kitimą ir rasti gauto mišinio parametrus (C taškas, 4.2 pav.), nustatyti piktžoles naikinančios aplinkos temperatūrą (garo kondensacijos temperatūrą) ir nagrinėti jos kitimą piktžolių terminio naikinimo proceso metu.

4.3. Vandens ir vandens garo aplinka

Piktžoles termiškai naikinanti dujinė aplinka agregatinės būsenos nekeičia. Vandens (garavimo proceso metu) ir vandens garo aplinka terminės piktžolių kontrolės procese gali keisti agregatinę būseną. Būsenos kitimas iš esmės keičia terminio piktžolių naikinimo proceso efektyvumą ir technologiją. Todėl naudojant karštą vandenį ar vandens garą piktžolėms naikinti būtina teisingai įvertinti vandens ir jo garo termodinamines savybes. To neįvertinus sunku išvengti klaidinančių išvadų ir netikslios informacijos mokslinėse publikacijose. Tuo įsitikinsime panagrinėję po vieną pavyzdį, kai piktžolės naikinamos verdančiu vandeniu ir vandens garu:

1 pavyzdys. Piktžolės termiškai naikintos karštu verdančiu vandeniu, kurio temperatūra 116 °C (Hanson, Ascard, 2002). Tokios temperatūros vanduo yra perkaitinto vandens būsenos. Įrenginyje, gaminančiame šios temperatūros vandenį, slėgis turėjo būti 0,18 MPa. Natūralios aplinkos sąlygomis 116 °C temperatūros vanduo negalimas. Todėl vanduo, išleistas į aplinką piktžolėms naikinti, tapo verdančiu l00 °C vandeniu. Krentant slėgiui, verdančio vandens temperatūra sumažėjo nuo 116 iki l00 °C. Mažėjant perkaitinto vandens temperatūrai, 1 kg vandens išskyrė šilumos $q = c_p \cdot \Delta t = 4{,}18 \cdot 16 = 67$ kJ/kg. Išskirta vandens šiluma $q = 67$ kJ/kg sunaudota vandeniui garinti. Rezultatas – perkaitinto vandens išleidimo į aplinką vietoje gauname vandens ir garo mišinį. Šiuo atveju piktžolės termiškai naikintos naudojant l00 °C vandens ir garo mišinio aplinką (labai didelio drėgnio vandens garą). Taigi teiginys, kad piktžolės termiškai naikintos naudojant karštą 116 °C temperatūros vandenį, yra netikslus.Nagrinėjant piktžolių terminio naikinimo procesus reikia žinoti vandens garo termodinamiką ir stebėti jo agregatinės būsenos kitimą.

2 pavyzdys. Piktžolėms termiškai naikinti panaudotas vandens garas, kurio temperatūra 150 °C (Rifai et al., 2003). Daroma išvada, kad jis nėra efektyvi priemonė. Išvada iš dalies teisinga. 150 °C vandens garas gali būti tik perkaitintojo vandens garo būsenos. Perkaitintojo vandens garo (šilumos apykaitos su augalu atveju) savybės prilygsta karštų dujų savybėms. Dujinės aplinkos šilumos atidavimo koeficientas augalui $\alpha = 25–30$ W/(m^2·K). Tuo tarpu drėgnojo vandens garo šilumos atidavimo koeficientas augalui $\alpha = 80000–100000$ W/(m^2·K). Taigi drėgnasis vandens garas apie 2000 kartų intensyviau kaitina augalo paviršinius audinius ir yra efektyvi aukštatemperatūrė aplinka piktžolėms termiškai naikinti. Perkaitintasis garas, nors jo temperatūra 150 °C (drėgnojo vandens garo – l00 °C), yra neefektyvi aplinka piktžolėms termiškai naikinti.

Piktžolių naikinimas karštu vandeniu. Šiuo metu termiškai naikinant piktžoles dažniausiai naudojamas augalų purškimas verdančiu vandeniu. Išpurškus vandenį vandens lašeliai sudaro labai didelį vandens paviršių, besiliečiantį su aplinkos oru. Vyksta išpurkštų vandens lašelių intensyvus garavimas ir aušimas. Augalo kaitinimo procese dalyvauja tik tie lašeliai, kurie turi tiesioginį sąlytį su augalo paviršiais. Augalus laistant verdančiu vandeniu taip pat ne visas vanduo apiplauna

augalą atiduodamas jam šilumą. Visa tai sudaro didelius šilumos nuostolius.

Idealiu atveju 1 kg verdančio vandens augalui atiduoda šilumos $q = c_p \cdot \Delta t$ = 4,18 (100 – 70) = 125 kJ/kg. Verdančio vandens gamybai sunaudota šiluma q = 4,18 (100 – 15) = 355 kJ/kg. Taigi idealiu šilumos panaudojimo atveju galima tikslingai panaudoti tik 35 % verdančiame vandenyje sukauptos šilumos.

Vandens šilumos atidavimo procesą augalui nusako Niutono lygtis (4.2). Sunkiausia įvertinti vandens aplinkos šilumos atidavimo koeficientą α W/(m^2·K). Jis kinta nuo 200 iki 10 000 (Drobavičius ir kt., 1974, Incropera, DeWitt, l981). Rasti tikslų šilumos atidavimo koeficientą – sudėtinga problema. Vandens šilumos atidavimą augalui mes skaičiuojame naudodami α = 800 – 1000 W/(m^2·K) reikšmes.

Drėgnasis vandens garas piktžolėms naikinti gaminamas iš verdančio vandens. Kai vanduo verda esant pastoviam slėgiui, visa vandeniui teikiama šiluma sunaudojama garinimui. Vandens temperatūra virimo procese lieka pastovi. Virimo temperatūra priklauso nuo slėgio, kuriam didėjant virimo temperatūra didėja. Vandens virimo temperatūra randama vandens garo lentelėse.

Kol gaminamas garas turi sąlytį su vandeniu, jis yra drėgnas. Drėgnasis garas – tai sauso sočiojo garo ir mažyčių vandens lašelių mišinys. Sauso sočiojo garo dalis drėgnajame gare įvertinama garų sausumo laipsniu x. Drėgno sočiojo garo būklė apibūdinama dviem parametrais – slėgiu p ir sausumo laipsniu x. Sausas sotusis garas yra momentinė būsena tarp drėgnojo ir perkaitintojo vandens garo.

Perkaitintuoju garu vadinamas garas, kurio temperatūra aukštesnė už to paties slėgio sauso sočiojo garo temperatūrą. Skirtumas tarp perkaitintojo ir sauso sočiojo garo yra tas, kad aušinant perkaitintąjį garą pirmiausia jis atiduoda perkaitinimo šilumą. Jo temperatūra iš pradžių krinta, kol pasiekia sočiojo garo temperatūrą. Krintant temperatūrai nevirsta sočiuoju garu, nesikondensuoja. Sotusis garas atvirkščiai, atimant iš jo šilumą iš karto kondensuojasi. Kondensacijos metu (piktžolių naikinimo atveju) temperatūra išlieka pastovi ir artima 100 ^{o}C. Temperatūra pradeda mažėti tik garui visiškai susikondensavus.

Vertinant vandens garo aplinkos panaudojimą terminiam piktžolių naikinimui, esminiai pokyčiai pastebimi keičiantis vandens garo būsenai. Vandens garinimui sunaudojama garinimo šiluma r = 2256 kJ/kg. Garavimo metu tūris padidėja 1673 kartus. Garas 2 kartus lengvesnis už

aplinkos orą ($\rho_{oro\ 15^oC}$ = 1,2 kg/m^3), nes jo tankis 100 ^oC temperatūroje ρ_{100^oC} = 0,598 kg/m^3.

Terminio piktžolių naikinimo metu vandens garas kondensacijos proceso metu augalui atiduoda garavimo šilumą r = 2256 kJ/kg. Atitinkamai sumažėja garo tūris aplink augalą tiek, kiek jis padidėjo garavimo metu. Vandens garo šilumos atidavimo procesą augalui nusako Niutono lygtis (4.2). Sunkiausia įvertinti vandens garo aplinkos šilumos atidavimo koeficientą α W/(m^2·K). Čia tenka įvertinti vandens garo termodinaminę būseną. Perkaitintojo garo atveju šilumos atidavimo koeficientas augalui yra nedidelis. Jis atitinka dujų šilumos atidavimo koeficientą α = 25–30 W/(m^2·K). Perkaitintasis garas, atiduodamas šilumą aplinkai, ausšta, pasiekia kondensacijos temperatūrą, tampa drėgnuoju vandens garu. Drėgnojo, besikondensuojančio vandens garo šilumos atidavimo koeficientas augalui yra labai didelis α = 80000 – 100000 W/(m^2·K). Perkaitintajam garui virstant drėgnuoju garu iš esmės pasikeičia piktžolių terminio naikinimo proceso efektyvumas, nes šilumos atidavimo koeficientas augalo audiniams padidėja apie 2000 kartų. Terminio piktžolių naikinimo procesas tampa efektyvus, trumpalaikis, perspektyvus, duodantis gerus terminės piktžolių kontrolės rezultatus. Todėl terminio piktžolių naikinimo procesą drėgnuoju vandens garu nagrinėsime išsamiai. Manome, kad čia reikia nuosekliai aptarti besikondensuojančio vandens garo šilumos atidavimo koeficiento augalui α W/(m^2·K) nustatymo klausimus.

Vandens garo šilumos atidavimas augalui vykstant garo kondensacijai jo paviršiuje. Terminiam piktžolių naikinimui naudojant vandens garo aplinką vyksta intensyvūs šilumos mainai tarp sąlygiškai šaltų augalo paviršių ir vandens garo aplinkos. Ant išorinių augalo dalių paviršių vyks kondensacijos procesas, susidarys kondensatas. Piktžolių terminio naikinimo atveju matyti paviršinė, bet ne tūrinė kondensacija. Paviršinė kondensacija neatskiriamai susieta su šilumos mainais tarp besikondensuojančio garo ir augalo dalių paviršiaus. Besikondensuojantis garas augalo audiniams atiduoda garavimo šilumą r kJ/kg. Suprantama, kad pradiniu trumpu laikotarpiu išsiskyręs kondensatas atiduos šilumą augalo paviršiniams audiniams. Atiduodamas šilumą jis (bent pradiniu trumpu laikotarpiu) padidins augalo audinių paviršiaus šildymą ir kartu padidės šilumos atidavimo koeficientas.

Terminės piktžolių kontrolės metu pasitaiko dviejų rūšių paviršinė kondensacija: lašelinė ir plėvelinė (Chen, Lin, 2009; Dengliang, et

al., 2010; Makarevičius, 2001; Revankar, 2005; Šinkūnas, Kiela, 2011; Drobavičius, 1974). Stebėdami kondensacijos procesą terminės piktžolių kontrolės metu matome, kad kondensuojantis vandens garui dažniausiai vyksta plėvelinė kondensacija.

Kadangi mūsų atveju kondensatas drėkina paviršių, o proceso trukmė 0,5–2,0 s, matoma tik plėvelinė kondensacija, todėl ją smulkiau aptarsime. Laikysime, kad garas yra vienalytis, neturi dujų priemaišų, kondensacijos metu slėgis nekinta ir yra lygus aplinkos barometriniam slėgiui. Esant tokioms sąlygoms kondensacijos proceso metu augalo paviršiaus temperatūra t_s yra pastovi.

Augalo stiebo paviršiaus dalis, su kuria liečiasi garas, pasidengs žemyn tekančio kondensato plėvele. Rasime vandens plėvelės storį, kurį išskiria garas, pašildydamas augalo paviršinį audinių sluoksnelį. Šiam sluoksneliui šildyti bus sunaudota šilumos:

$$q = m_a c_a \Delta t\,. \tag{4.8}$$

Šilumos kiekis, kurį išskiria 1 kg garo kondensacijos proceso metu yra r = 2260 kJ/kg. Augalo masę, kurią garas pašildo iki 100 °C temperatūros (iki tokios temperatūros įkaista augalo paviršiniai audiniai terminio naikinimo metu), rasime iš lygties:

$$m_a = \pi d l \cdot \delta_a\,, \tag{4.9}$$

čia m_a – paviršinių augalo audinių masė, kurią sušildome iki 100 °C temperatūros piktžolių terminio naikinimo metu kg;

l – pažeistų augalo audinių žiedelio aukštis m;

Δt – termiškai pažeistų augalo audinių temperatūros prieaugis °C.

Kondensacijos proceso metu išskirtą garų masę m_{garo} kg randame naudodamiesi lygtimi:

$$m_{garo} = \frac{q}{r}\,. \tag{4.10}$$

Tuomet kondensato sluoksnelio storį, susidariusį ant augalo stiebo paviršiaus, apskaičiuosime pagal lygtį:

$$m_{garo} = V_{vandens} = \pi d l \rho \delta_{garo}, \tag{4.11}$$

čia ρ – vandens tankis (ρ = 1000) kg/m^3.

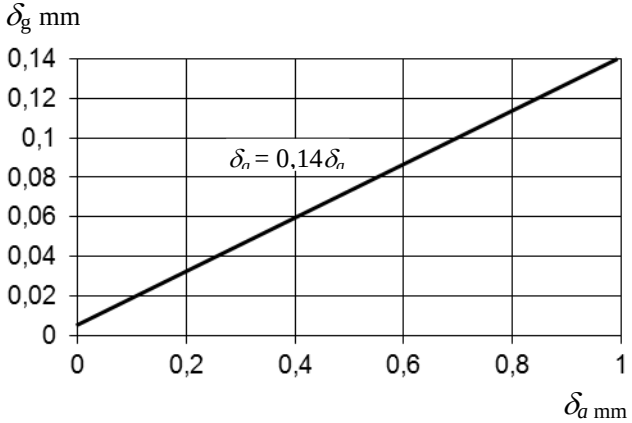
Naudodamiesi (4.9), (4.10) ir (4.11) lygtimis randame iškritusio kondensato sluoksnelio storį δ_{garo} pagal lygtį:

$$\delta_{garo} = \frac{m_{garo}}{\pi dl\rho} = \frac{q}{\pi dl\rho r} = \frac{\pi dl\delta_a c_a \Delta t}{r\pi dl\rho} = \frac{\delta_a c_a \Delta t}{r\rho}. \qquad (4.12)$$

Pasirinkę, kad augalo audinių savitoji šiluma c_a = 4,0 kJ/(kg·K), augalo audinių temperatūros prieaugis kaitinimo metu Δt = 80 °C, garavimo arba kondensacijos šiluma r = 2260 kJ/kg, kondensato tankis ρ = 1000 kg/m^3, gauname:

$$\delta_{garo} = 0{,}00014\delta_a. \qquad (4.13)$$

Lygtį (4.14) pakeitę grafiškai gauname garo kondensato sluoksnio storio priklausomybę nuo termiškai pažeistų augalo audinių sluoksnelio storio δ_a, kurią pateikiame 4.3 pav.



4.3 pav. Kondensato sluoksnio storis termiškai pažeistų augalo audinių paviršiuje δ_g, priklausomai nuo augalo terminio pažeidimo gylio, δ_a

Pasirinkę, kad termiškai pažeidžiamas augalo stiebo audinių sluoksnio storis bus ne didesnis kaip 0,3 mm, gauname, kad kondensato sluoksnio storis bus apie 0,04 mm. Todėl pagrįstai galime teigti, kad toks kondensato sluoksnio storis praktiškai neturės įtakos šilumos atidavimo koeficiento dydžiui. Vadinasi, šilumos atidavimo koeficientas kondensacijos proceso metu, termiškai naikinant piktžoles, turės didžiausią reikšmę.

Garo kondensacijos proceso metu šilumos atidavimo augalo stiebui koeficientą α W/(m^2·K), galima skaičiuoti naudojantis ir šia lygtimi (Справочник по теплообменникам, 1987):

$$\frac{\alpha}{\lambda}\left(\frac{\nu^2}{\rho_l(\rho_l-\rho_g)}\right)^{1/3} = 0{,}023\mathrm{Re}^{1/4}\,\mathrm{Pr}^{1/3}, \qquad (4.14)$$

čia ν – augalo aplinkoje esančio garo kinematinis klampumas m^2/s;
ρ_g – vandens garo tankis augalo aplinkoje kg/m^3;
ρ_l – kondensato tankis augalo paviršiuje kg/m^3;
λ – kondensato šilumos laidžio koeficientas W/(m·K);

(4.14) lygtis įvertina šilumos atidavimą nuostoviojo proceso atveju. Pritaikyti šią lygtį piktžolių terminio naikinimo atvejui trukdo ne vien tik nuostovumo neatitikimas. Aptariama (4.14) lygtis įvertina garo srauto šilumos atidavimą į vertikalų cilindrinį paviršių, kai šiuo paviršiumi teka plonas kondensato sluoksnis, kuris atlieka šiluminio izoliatoriaus vaidmenį ir kartu sumažina šilumos atidavimo koeficientą. Plonesnį kondensato sluoksnelį, tekantį augalo stiebu, atitinka didesnis šilumos atidavimo koeficientas. Pradiniu šilumos mainų momentu (pačioje kondensato sluoksnelio susidarymo pradžioje) šilumos atidavimo koeficientas bus didžiausias ir daug didesnis už nuostoviojo šilumos mainų proceso koeficientą, gaunamą iš (4.14) priklausomybės. Pastarasis, kaip artimiausias iš žinomų teorinių koeficientų, gali būti panaudojamas kaip orientacinis šilumos atidavimo koeficiento dydis.

Kaip matome, tikslaus šilumos atidavimo koeficiento radimas – sudėtinga problema. Drėgnojo vandens garo aplinkos šilumos atidavimą augalui skaičiuojame naudodami α = 80 000–100 000 W/(m^2·K) reikšmes. Tačiau, kondensuojantis vandens garui su dujų priemaišomis, dujos išsiskiria prie kondensacijos paviršiaus, todėl pablogina augalo audinių kaitinimo procesą, blogėja šilumos atidavimo sąlygos. Jei vandens gare yra 0,5 % oro, šilumos atidavimo koeficientas sumažėja 1,6 kartus, jei 1 % – 2,2 kartus, esant 2 % – 3,3 kartus ir esant 4 % – 5 kartus (Drobavičius ir kt., 1974). Todėl siekiant efektyvios terminės piktžolių kontrolės, reikia drėgnąjį vandens garą išleisti kuo arčiau dirvos paviršiaus ir dygstančių piktžolių, kad garas ir oras kuo mažiau maišytųsi.

4.4. Karštų dujų ir drėgnojo vandens garo mišinio aplinka

Piktžoles termiškai naikinanti dujinė aukštatemperatūrė aplinka pagal termodinamines ir fizines savybes sąlygiškai skirstoma į dujų ir vandens garo aplinkas. Realiai terminio piktžolių naikinimo metu nebūna absoliučiai sausų dujų ar vien tik vandens garo aukštatemperatūrės aplinkos. Visuomet būna dujų ir vandens garo mišinys. Naudojant drėgnąjį vandens garą terminio piktžolių naikinimo metu keičiasi vandens garo ir oro mišinio sudėtis. Mažėjant vandens garo kiekiui mišinyje mažėja garo kondensacijos temperatūra.

Priklausomai nuo to, kokios dujos vyrauja mišinyje piktžolėms termiškai naikinti teigiame, kad naudojame dujų arba vandens garo aplinką.

Jei termiškai piktžoles naikinančią aplinką sudaro oras arba degimo produktai, tai laikome dujine aplinka. Šioje aplinkoje vykstančius procesus nagrinėjame ir apskaičiuojame naudodamiesi drėgno oro termodinamikos dėsniais, metodais, diagramomis. Dažniausiai naudojame *h–x* arba *I–d* (entalpija *h, (I);* drėgnis *x, (d)*) diagramą drėgnam orui. *h–x* ir *I–d* diagramos yra tapačios, skiriasi tik matavimo dydžių kartotinumu. Procesus, vykstančius degimo dujų aukštatemperatūrėje aplinkoje, patogu nagrinėti *hαx (Iαd*) diagramoje, kurioje įvertinta aukšta dujų temperatūra ir degimo procese naudojamas oro pertekliaus koeficientas α. Degimo dujų drėgnį sudaro aplinkos oro drėgnis, degusis kuro elementas vandenilis H ir išgaravusi kuro drėgmė. Degimo dujose, jei jų temperatūra didesnė nei 100 ºC, esanti drėgmė visuomet bus perkaitintojo garo būsenos, o terminės savybės atitiks dujų aplinką.

Termiškai naikinant piktžoles naudojamas drėgnasis ir perkaitintasis vandens garas. Drėgnasis garas – tai sauso sočiojo garo ir mažyčių vandens lašelių mišinys. Tai aplinkoje žmogaus matomas rūkas. Jo temperatūra 0–100 ºC. Kondensacijos temperatūra priklauso nuo oro (dujų) ir vandens garo santykio mišinyje. Jei vandens garu naikinant piktžoles matomas didelis išleidžiamo vandens garo srautas, tikėtina, kad garas intensyviai maišosi su oru, sukurtos aplinkos temperatūra bus neaukšta. Vizualiai toks terminis piktžolių naikinimas atrodys efektingai bet rezultatas bus menkas arba jo visiškai nebus.

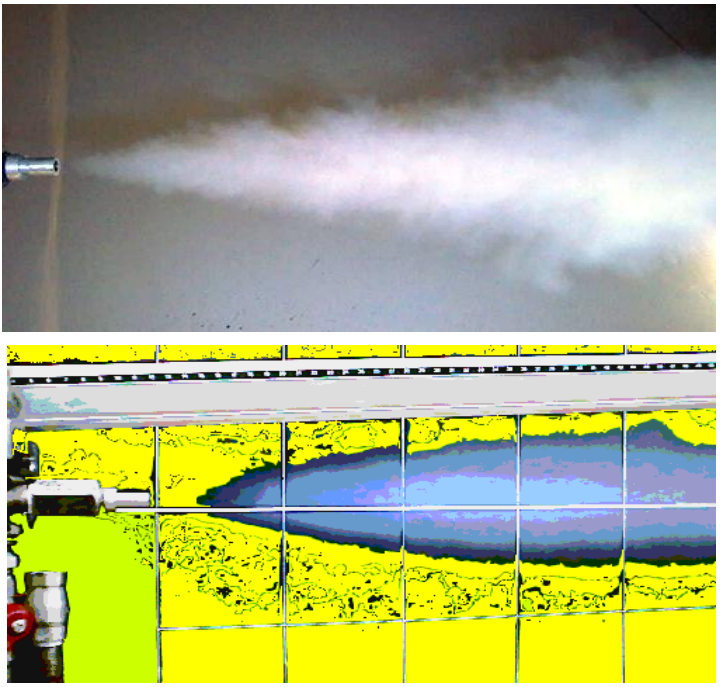
Perkaitintasis garas kaip ir oras yra žmogaus nematomos dujos. Perkaitintasis garas apibūdinamas perkaitintojo garo ir soties (vandens virimo ar garo kondensacijos esant tam tikram slėgiui) temperatūrų skirtumu. Perkaitintojo garo temperatūra termodinamikos diagramose ir lentelėse pateikiama nuo 6 iki 700 ºC. Perkaitintojo garo savybės prilygsta oro savybėms, todėl netinka piktžolėms termiškai naikinti. Jei ore (dujose) esantis vandens garas nematomas, jis yra perkaitintojo garo būsenos. Ore esantis perkaitintas vandens garas kondensuojasi ant šaltesnių paviršių, kurių temperatūra žemesnė negu rasos taško.

Remdamiesi moksline informacija ir savo patirtimi teigiame, kad oro, drėgno oro ir vandens garo termodinamikos, taip pat augalų šilumos apykaitos su aplinka žinių stoka dažnai yra pagrindinė nesėkmingo terminių metodų naudojimo piktžolėms naikinti priežastis.

Jei termiškai piktžoles naikinančios aplinkos pagrindą sudaro vandens garas, tai laikome vandens garo aplinka. Piktžolėms naikinti tinka tik drėgnasis garas. Drėgnasis vandens garas yra sauso sočiojo garo ir mažyčių vandens lašelių mišinys. Dirvos paviršiuje garą skleidžia specialus skleidiklis. Drėgnojo vandens garo išleidimo žiotyse yra mažyčių vandens lašelių, todėl iš skleidiklio išeinantis garas yra rūko pavidalo.

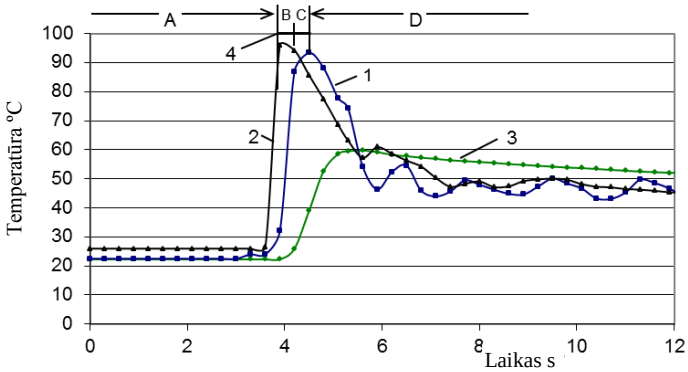
Kuriant pirmuosius terminio piktžolių naikinimo įrenginius – „terminį peilį“, garas buvo išleidžiamas iš tūtos į aplinką. Išleisto garo aplinkoje buvo matomas garo kondensacijos procesas (4.4 pav. A). Išleistame garo sraute vyko intensyvus vandens garo ir aplinkos oro maišymasis (4.4 pav. B). Išleisto garo kondensacijos proceso ir drėgno oro mišinio temperatūra lygi garo kondensacijos temperatūrai (rasos taško temperatūrai *h*–*x* diagramoje). Temperatūra garo sraute (4.4 pav.) mažėja tolstant nuo garo išleidimo žiočių.

Piktžolių terminio naikinimo procese (naudojant vandens garo technologiją) visais atvejais į aplinką išleistas vandens garas maišosi su aplinkos oru. Taigi piktžolių terminio naikinimo aplinką sudaro oro ir drėgnojo vandens garo mišinys. Oro aplinka yra neribota, o garo išleidimas iš skleidiklio koncentruotas, todėl tolstant nuo išleidimo vietos šio mišinio sudėtis keičiasi, oro drėgnumas mažėja. Proceso nestabilumas, atsiradęs dėl aplinkos oro ir garo maišymosi, iškelia technologinių klausimų, susijusių su piktžoles naikinančios aplinkos sukūrimu, jos temperatūra.



4.4 pav. Drėgnojo garo srauto ištekėjimas iš tūtos: tūtos skersmuo – 1,5 mm; garo slėgis p = 0,3 MPa; garo temperatūra katile t_s = 133 ^oC. A – išleisto garo kondensacijos procesas aplinkoje. B –vandens garo srauto ir aplinkos oro maišymasis

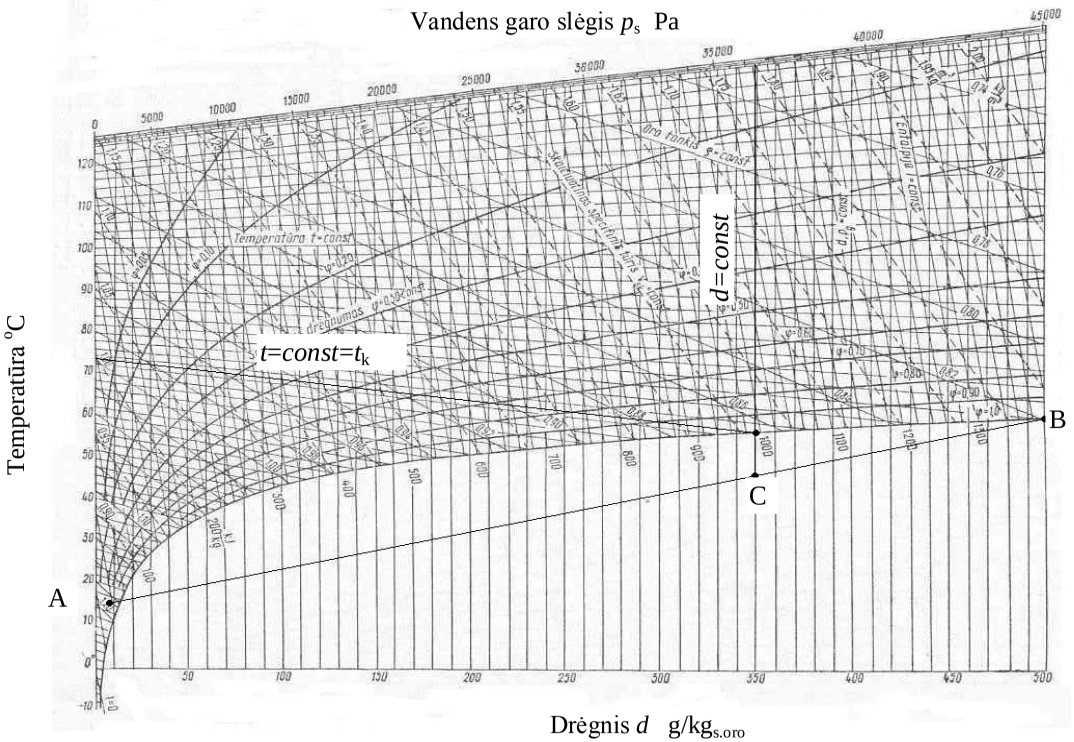
Nagrinėdami piktžolių terminio naikinimo tyrimų duomenis (4.5 pav.) matome, kad C periode piktžoles naikinančios garo aplinkos temperatūra atskiruose aplinkos taškuose yra nevienoda (1 ir 2 kreivės, 4.5 pav.), nors temperatūrą matuojančių jutiklių atstumas nuo augalo stiebo yra vienodas – 5 cm. Garo išleidimo procesas yra sąlygiškai stabilus, garo temperatūra skleidiklio žiotyse pastovi (4 kreivė). Didžiausių temperatūrų pasislinkimas aplinkoje (1 ir 2 kreivės) paaiškinamas temperatūros jutiklio pastatymo vieta ir garo skleidiklio judesiu piktžolių terminio naikinimo technologiniame procese. Tačiau didžiausių temperatūrų skirtumas yra vandens garo maišymosi su aplinkos oru rezultatas. Tai veiksnys, kurį vėliau nagrinėsime siekdami išaiškinti terminio piktžolių naikinimo technologinio proceso valdymo galimybes.



4.5 pav. Temperatūros kitimas terminio piktžolių naikinimo metu: 1 ir 2 kreivės – augalo aplinkos temperatūros kitimas; 3 – temperatūra augalo stiebo viduryje; 4 – vandens garo temperatūra išleidimo į aplinką žiotyse. A, B, C, D– terminio piktžolių naikinimo technologinio proceso periodai (žr. 7 skyrių)

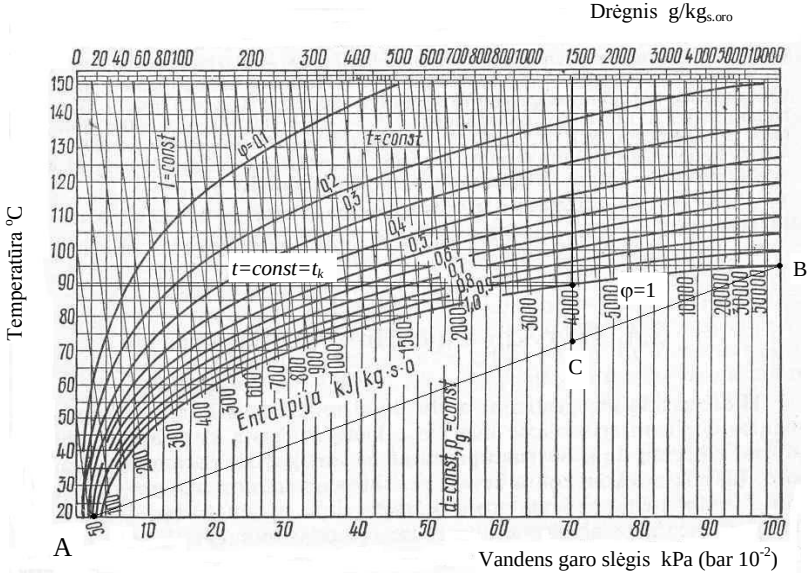
Panagrinėkime didelio drėgnio vandens garo ir aplinkos oro maišymosi procesą *h–x* diagramoje (4.6 pav.). Imkime aplinkos oro parametrus (A taške) terminio piktžolių naikinimo metu: $t = 15\ ^{o}C$, $\varphi = 80\%$ (santykinis oro drėgnis arba oro prisotinimo vandens garu laipsnis). Laikykime, kad maišymosi procesas vyksta *h–x* (*I–d*) diagramos ribose, kai antrojo taško B parametrai yra: $\varphi = 100$ %, drėgnis x = 0,5 kg/kg$_{s.o}$ (d = 500 g/kg$_{s.o}$) Suradę taškus A ir B *h–x* diagramoje ir nubrėžę tiesę tarp jų, gauname oro maišymosi procesą A–B (4.6 pav.). Matome, kad maišymosi procesas vyksta žemiau visiško prisotinimo vandens garu kreivės φ = 100 %, t. y. vandens garu prisotinto oro srityje, kurioje dalis garo yra drėgnojo garo būsenos, ore matomo rūko pavidalo. Mišinio parametrus randame aukščiau aptartu būdu. Pagrindinį piktžoles naikinančios aplinkos parametrą – garo kondensacijos temperatūrą t_k – rasime iš C taško, linijų $d = const$ ir $\varphi = 100$ % susikirtimo vietoje.

Pateikta oro drėgnumo analizė *h–x* diagramoje leidžia teigti, kad trumpalaikis 1–2 s trukmės lokalus terminis poveikis augalui yra kintantis. Drėgnasis vandens garas, išleistas iš skleidiklių augalams naikinti, dėl oro ir garo maišymosi gali įgyti skirtingas augalus termiškai naikinančio garo kondensacijos temperatūras. Remdamiesi čia pateiktais tyrimais galime teigti, kad piktžoles naikinančios aplinkos temperatūros (garo kondensacijos temperatūros) kitimas (1 ir 2 kreivės 4.5 pav.) yra aplinkos oro ir vandens garo maišymosi rezultatas.



4.6 pav. Vandens garo kondensacijos temperatūros radimas terminio piktžolių naikinimo aplinkoje *I-d* (*h-x*) diagramoje

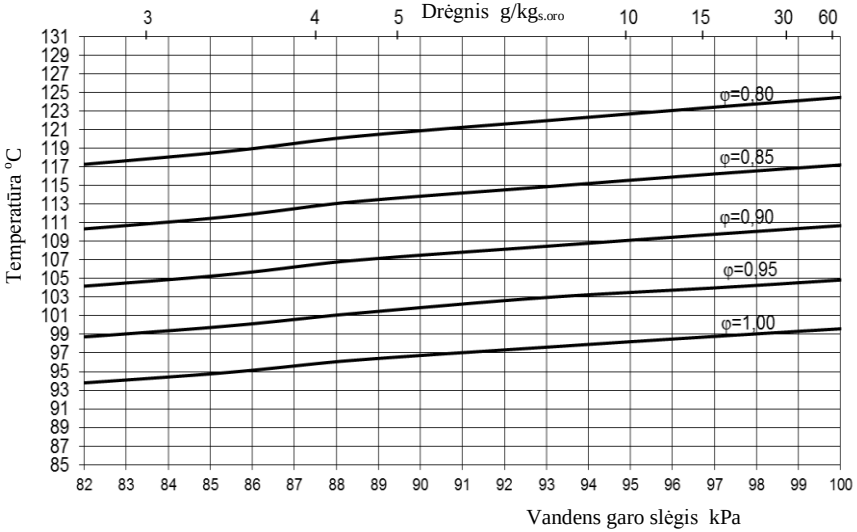
Piktžolių terminiam naikinimui naudojant drėgnąjį vandens garą, kai vandens garo išleidimo vietoje (skleidiklio aplinkoje) turime drėgnį, didesnį kaip 60000 g/kg$_{s.o}$ (kg/kg$_{s.o}$), o oro entalpiją artimą 600000 kJ/kg, *h–x* diagramos piktžoles naikinančiai garo kondensacijos temperatūrai nustatyti neturime. Tokiais atvejais galima panaudoti drėgno oro *t–p* diagramą (4.7 pav.) piktžoles termiškai naikinančios aplinkos garo kondensacijos temperatūrai nustatyti. Šios temperatūros nustatymo metodika yra analogiška aprašytai metodikai *h–x* diagramoje (4.6 pav.).



4.7 pav. Drėgno oro *t–p* diagrama. Garo kondensacijos temperatūros radimas

Deja, naudojantis pateikta (4.7 pav.) *t–p* diagrama neišryškinta drėgno oro sritis, kurios oro drėgnumas yra labai didelis, t. y. oro mišinio, kurio vandens garo dalinis slėgis yra 80–100 kPa. Tokia aplinka būna naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu. Todėl atliekame skaičiavimus siekdami išplėsti šią oro ir vandens garo mišinio sritį. Naudodami išplėstą *t–p* diagramos dalį galėsime rasti 90–100 °C garo kondensacijos temperatūrų oro mišinio parametrus. Diagrama sudaryta skaičiavimo būdu, naudojantis atitinkamomis lygtimis. Skaičiavimo

duomenis pateikiame grafiškai 4.8 pav., juos patogu naudoti garo kondensacijos temperatūrai nustatyti.



4.8 pav. Labai drėgno oro *t–p* diagrama

Naudojantis mūsų sudaryta drėgno oro *t–p* diagrama (4.8 pav.) galima paaiškinti technologinį reiškinį, pastebimą matuojant temperatūras piktžolių terminio naikinimo procese. Pamatavę temperatūrą vandens garo skleidiklio žiotyse gauname 100 °C. Tai vandens garo temperatūra esant aplinkos slėgiui. Aplink augalą temperatūra visuomet mažesnė negu 100 °C. Be abejo, tai išleisto vandens garo ir oro maišymosi rezultatas. Dėl šio maišymosi gali būti sukuriamas per žemos temperatūros, negalinčios termiškai sunaikinti augalų, laukas. Sudaryta drėgno oro *t–p* diagrama praplėtė mūsų galimybes motyvuoti terminio piktžolių naikinimo procesą ir pagrįstai jį vertinti remiantis drėgnojo vandens garo termodinaminių procesų dėsningumais. Ištyrus maišymosi proceso pasekmes galima motyvuotai pagrįsti daromus piktžolių terminio naikinimo technologinio proceso sprendimus.

4.5. Putų aplinka

Putos – tai dispersinė sistema, susidedanti iš dujų (garo) burbuliukų – gardelių, atskirtų skysčio plėvelėmis. Dujos laikomos dispersine faze, o skystis – dispersine terpe. Dujų burbuliukus skiriančios skysčio plėvelės sudaro specifinius plėvelinius griaučius, kurie ir yra putų struktūros pagrindas (Тихомиров, 1983, Sullivan, 1997, Gylys, 1998).

Putos pasižymi dideliu tarpfazinio kontakto paviršiumi, yra gera terpė įvairios paskirties šilumos ir masės mainų procesams vykdyti, o taip pat procesams kurie vyksta termiškai naikinant piktžoles. Šių procesų efektyvumas priklauso nuo to, kiek plačiai ir giliai ištirti hidrodinaminiai ir šilumos bei masės mainų procesai susiję su putų susidarymu, putų srauto judėjimu, putų irimu, putų lašelių atsiradimu, garavimu ir kt.

Skiriami du putų susidarymo būdai:

- putos gautos iš švaraus neužteršto skysčio yra labai nestabilios (taip gaunamos tik turbulizuotos dinaminės ir struktūrinės putos). Burbuliukai, susidarę plakant švarų vandenį išlieka nesuirę vos kelias sekundes (Elias et al, 1999).
- Stabilios putos gaunamos tik iš paviršiaus aktyviosiomis medžiagomis (stiprių detergentų tirpalų) užteršto skysčio. (Тихомиров, 1983; Weaire et al, 1997,2003). Tačiau putojimas intensyvėja detergento koncentracijai didėjant iki tam tikros maksimalios reikšmės. Vėliau didinant koncentraciją iki detergento tirpumo tirpale ribos (iki sočiojo tirpalo susidarymo momento) putojimo intensyvumas išlieka pastovus.

Putojimo proceso intensyvumui įtakos turi visa eilė fizinių, cheminių, techninių veiksnių bei paties technologinio proceso ar eksperimento vykdymo sąlygos (Тихомиров, 1983, Gylys, 1998, Gylys, ir kt. 2011). Pagrindiniai veiksniai, įtakojantys putų susidarymą bei putojimo intensyvumą, yra: detergentų koncentracija tirpale, putų dujingumas ir stabilumas, tirpalo temperatūra, tirpalo paviršiaus įtempimas, skysčio ištekėjimas, sienelių įtrūkimas ir kt. veiksniai.

Didinant detergentų koncentraciją iki tirpumo ribos, tirpalo putojimas intensyvėja kol pasiekia maksimalią reikšmę ir toliau nebekinta arba šiek tiek sumažėja (Тихомиров, 1983). Maksimalų putų susidarymo intensyvumą atitinkanti minimali detergentų koncentracija įvairioms medžiagoms yra skirtinga (Воюцкий, 1984, Gylys, 1998 Gylys ir

kt.2001, 2007). Anijoninės medžiagos pasižymi geresniu putojimu, nei katijoninės (Неволин, 1971). Iš išorinių veiksnių, turinčių didžiausią įtaką putų susidarymui, yra temperatūra.

Tyrinėjant statiškai stabilių putų panaudojimą terminės piktžolių kontrolės procese susidūrėme su dviem atvejais: **karštomis ir šaltomis putomis**.

- karštų stabilių putų naudojimu piktžolėms termiškai naikinti
- šaltų stabilių putų naudojimu žemė ūkio augalų apsaugai nuo terminio sunaikinimo.

Karštos putos pagamintos iš natūralių medžiagų, kurias sudaro cukringos ištraukos iš kukurūzų ir kokoso riešutų, yra įdomi alternatyva herbicidams. Tokiu būdu paruoštos karštos putos yra 100 % natūralios ir visiškai suskaidomos mikroorganizmų (http://www.waipuna.com). Putų temperatūra sąlytyje su augalu yra artima vandens virimo temperatūrai. Augalo vaškinis sluoksnis suardomas, tai tampa pagrindine augalo dehidratacijos ir žūties priežastimi (Rajamannan, 1996 Harry et al, 2005). Naudojami mažo galingumo nešiojami putų įrenginiai terminiam piktžolių naikinimui tik nedideliuose, sunkiai prieinamuose dirvos plotuose (4.9 pav.). Šis piktžolių terminio naikinimo būdas mažai paplitęs ir palyginti mažai tyrinėtas.

4.9 pav. Nešiojamas putų įrenginys terminiam piktžolių naikinimui (http://www. pan-uk.org/pestnews/Issue/pn62/pn62p11.htm)

Šaltas statiškai stabilias putas galima panaudoti žemės ūkio augalų apsaugai nuo terminio sunaikinimo. Statiškai stabilių putų generavimui yra būtinas detergento buvimas tirpale, kuris sąlygoja statiškai stabilių putų susidarymo procesą. Eksperimentų metu, statiškai stabilių šaltų putų generavimui pasirinktas detergentas – natūralus muilas, turintis būtinas savybes:

- ekologiškai švarus, neturintis sintetinių priemaišų;
- stiprus detergentas, gebantis suformuoti statiškai stabilias putas (išliekančias nesuirusias iki kelių minučių);

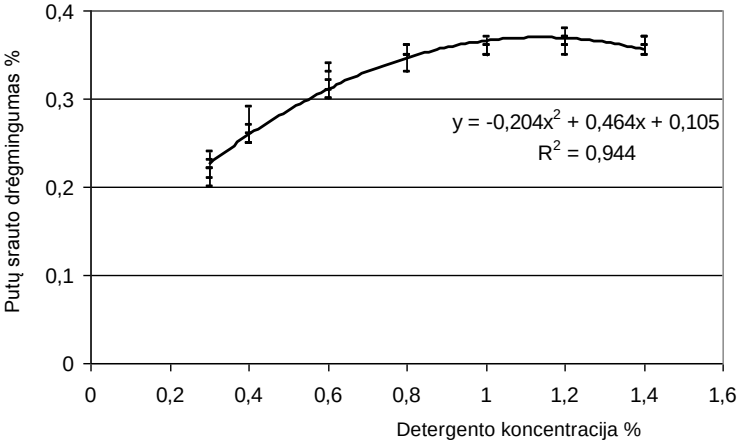
- pasižymintis insekticidiniu poveikiu augalams (skirtas minkštą kūno dangą turintiems kenkėjams naikinti, pvz. amarams, tripsams, baltasparniams).

Baziniu skysčiu naudojamas vandentiekio vanduo.

Putų generavimo procesui bei susidariusių putų savybėms detergentų tirpalų fizinių ir cheminių savybių poveikis yra nevienareikšmis ir pakankamai sudėtingas. Siekiant priartinti eksperimentinius tyrimus prie realių gamybinių sąlygų, bandymų metu naudojome įvairių koncentracijų modelinius detergentų tirpalus.

Tyrimai rodo, kad statiškai stabilių putų susidarymą sąlygoja detergentų kiekis tirpale. Detergentų koncentracijos pasikeitimas tirpale putų susidarymo intensyvumą veikia gana sudėtingai. Maksimalų putų susidarymo intensyvumą atitinkanti minimali detergentų koncentracija priklauso nuo detergentų rūšies. Pradinė detergentų koncentracija tirpale įtakoja ne tik putų stabilumą tirpale, bet ir dujingumą. Augant detergento koncentracijai vis didesnis tirpalo kiekis pereina į putas ir pastarųjų dujingumas mažėja. Esant didesnei detergento koncentracijai yra generuojamos drėgnesnės putos. Todėl reikia parinkti tokią detergentų koncentraciją, kuri ne tik užtikrintų reikiamą putų stabilumą, bet ir atitiktų statiškai stabilių putų dujingumui keliamus reikalavimus (jei putos yra pernelyg drėgnos, o putų srauto greitis kanale mažas, putų tirpalas Plato kanalais gausiai drenuosis žemyn ir pradės kauptis ant putų generavimo rietinės).

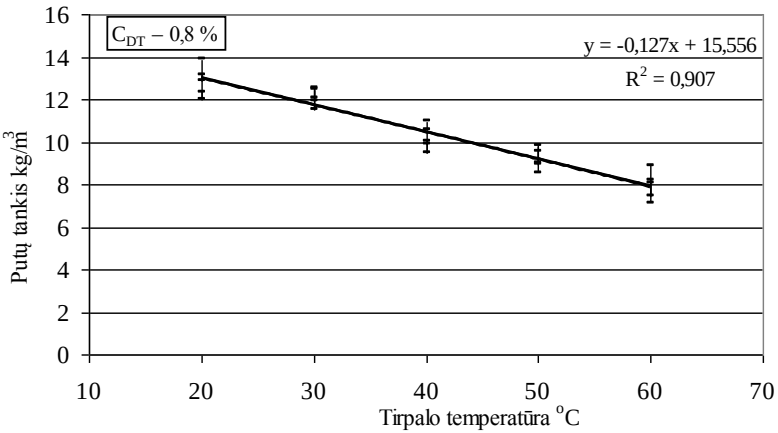
Statiškai stabilių putų susidarymui svarbią reikšmę turi detergento koncentracija tirpale. Analizuojant detergento koncentracijos poveikį tirpalų fizinėms ir cheminėms savybėms pastebime, kad putų srauto dujingumas didėja tais atvejais, kai tirpalo tankis ir tirpalo klampa mažėja. Tokiu būdu putų srauto dujingumas (arba drėgnumas tolstant putų generavimo kanalu aukštyn nuo pagrindinio tirpalo tūrio) keičiasi netolygiai. Kaip tik todėl tikslinga išskirti dvi statiškai stabilių putų zonas, išdėstytas pagal putų srautą: statiškai stabilių putų formavimo zoną ir statiškai stabilių putų zoną. Statiškai stabilių putų formavimo zona prasideda virš pagrindinio detergentų tirpalo tūrio. Šios zonos ribose dujingumas φ staiga išauga net iki $\varphi = 0{,}999$ ir viršutinė formavimo zonos dalis pereina į statiškai stabilių putų zoną. Detergento koncentracijos įtaka putų srauto drėgnumui pavaizduota 4.10 pav. Rezultatai rodo, kad didėjant detergento koncentracijai, putų srauto dujingumas kinta nežymiai.



4.10 pav. Detergento koncentracijos įtaka putų srauto drėgnumui

Sausiausios putos (φ = 0,998) susiformuoja detergento koncentracijai esant prie kritinės ribos C_{DT} – 0,3 %. Drėgniausias putų srautas (φ = 0,996*)* yra esant 1,0–1,2 % detergento koncentracijai tirpale. Koncentracijai didėjant iki 1,4 % putų srautas ima sausėti – didėja putų srauto dujingumas. Įvertinant detergentų koncentracijos poveikį tirpalų fizinėms, cheminėms savybėms, galima teigti, kad putų stabilumas bus tuo didesnis, kuo iš didesnio tankio ir mažesnio paviršiaus įtempimo tirpalo jos bus pagamintos. Tuomet skysčio drenažas bus lėtesnis, dujingumas didės nežymiai.

Ne tik detergentų koncentracija tirpale, bet ir detergento tirpalo temperatūra turi įtakos putų susidarymo intensyvumui. Eksperimentiškai nustatyta, kad teigiamų temperatūrų srityje, detergentų tirpalų putojimo intensyvumas, didėjant tirpalo temperatūrai, didėja, o putų tankis ir stabilumas – mažėja.. Paveiksle 4.11, kuriame pateikta detergento tirpalo temperatūros įtaka putų tankiui, matome, kad tirpalo temperatūrai didėjant nuo 20 ^{o}C iki 60 ^{o}C, putų susidarymo intensyvumas didėja. Tai gali būti paaiškinama dujų perteklinio slėgio burbuliuko viduje didėjimu bei paviršiaus įtempimo mažėjimu (mažėjant paviršiaus įtempimui susidaro didesni putų burbuliukai, kurie yra mažiau stabilūs, o jų sienelės plonesnės).



4.11 pav. Tirpalo temperatūros įtaka putų tankiui

Gauti rezultatai parodė, kad piktžolių terminio naikinimo metu tirpalo temperatūrai esant 20–30 ^oC putų susidarymo kiekybinės charakteristikos beveik nekinta (putų stabilumas bei tankis yra vienodi). Didinant tirpalo temperatūrą 40–60 ^oC ribose – didėja putojimo intensyvumas, tačiau putų tankis ir stabilumas – mažėja.

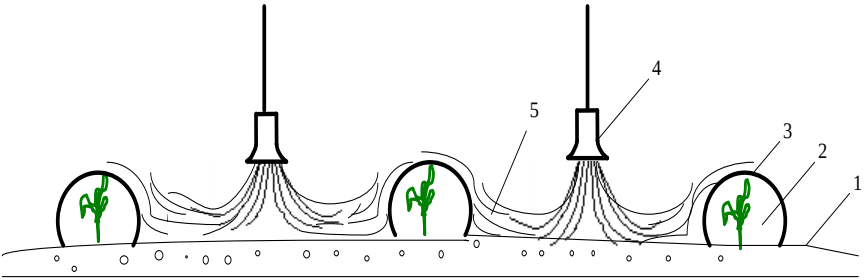
Literatūros apie statiškai stabilių (šaltų) putų panaudojimą žemės ūkio augalų apsaugai nuo terminio sunaikinimo neradome.

Nagrinėjant vandens garo ir oro mišinio kitimą piktžoles termiškai naikinančioje aplinkoje (4.4 skyrius) matėme, kad priklausomai nuo oro ir vandens garo mišinio sudėties turime atitinkamą garo esančio ore kondensacijos (piktžoles naikinančios aplinkos) temperatūrą. Kadangi aukštatemperatūrė aplinka vienodai naikina tiek žemės ūkio augalus, tiek piktžoles, naudojant stabilias putas terminį piktžolių kontrolės taikymą galime išplėsti, sukuriant dvi skirtingų temperatūrų zonas:

- aukštatemperatūrę, augalus termiškai naikinančią (su aukšta garo kondensacijos temperatūra) zoną;
- žemės ūkio augalus apsaugančią nuo terminio sunaikinimo (su sąlyginai žema garo kondensacijos temperatūra) zoną.

Dvi skirtingų temperatūrų zonas augalų apsuptyje galime sukurti naudojant aptartus vandens garo ir oro mišinio temperatūros reguliavimo principus, panaudojant nejudančio oro rankoves. Nejudančio oro rankoves sudaro stabilios putos paskleistos žemės ūkio augalo aplinko-

je. Lokalių zonų su skirtingomis garo kondensacijos temperatūromis sukūrimo schema pateikta 4.12 pav.



4.12 pav. Lokalių zonų su skirtingomis garo kondensacijos temperatūromis sukūrimo schema: 1 – dirvos paviršius; 2 – oras stabilių putų aplinkoje; 3 – tariama lokalizuotos oro zonos riba; 4 – garo skleidiklis; 5 – vandens garo ir oro mišinys

Žemės ūkio augalo augimo aplinka, padengta stabiliomis putomis. Skleidžiamas vandens garas termiškai naikina piktžoles ir putas dengiančias žemės ūkio augalą. Šio proceso trukmė 1–3 s. Statiškai stabilioms putoms kontaktuojant su garo srautu vyksta kondensacija, plonėja putų burbuliukų sienelės ir jie suyra. Putų išskirto oro ir drėgnojo vandens garo mišinys trumpam laikotarpiui sukuria pažemintos temperatūros zoną žemės ūkio augalo aplinkoje. Panaudojus žemos temperatūros zonas, saugančias augalą nuo terminio poveikio, ūgtelėjęs augalas lieka termiškai nesunaikintas (žiūr. 8.2 ir 8.3 skyriuose). Putų paskleidimo būdo tyrimai rodo, kad putas reikia skleisti ne tiesiogiai ant žemės ūkio augalų iš viršaus, o šalia (po lapeliais) iš abiejų pusių taip, kad apgaubtų augalą iš apačios. Putos paskleidžiamos 1–2 s. prieš vandens garo padavimą piktžolėms termiškai naikinti.

Laboratorinis-eksperimentinis įrenginys putų panaudojimo tyrimams

5 AUGALUS TERMIŠKAI NAIKINANČIOS APLINKOS SUDARYMAS

Nagrinėjant terminio piktžolių naikinimo procesą nustatyta, kad skirtingo augimo tarpsnio augalams termiškai sunaikinti reikalinga skirtinga aukštatemperatūrės aplinkos terminio poveikio trukmė. Ji priklauso nuo kaitinančios augalo audinius aplinkos termodinaminių savybių.

Terminei piktžolių kontrolei naudojant dujas (liepsną) ar drėgnąjį vandens garą, grynų dujų ar drėgnojo vandens garo aplinka nesusidaro, todėl piktžoles termiškai naikiname drėgnojo vandens garo ir dujų (liepsnos, degimo produktų) mišiniu. Terminio piktžolių naikinimo proceso metu aukštatemperatūrės aplinkos parametrai kinta keičiantis vandens garo ir dujų mišinio santykiui. Lemiamos įtakos terminio piktžolių naikinimo technologiniam procesui turi šilumos atidavimo koeficientas. Augalus termiškai naikinančios aplinkos šilumos atidavimą nusako Niutono dėsnis. Iš lygties (4.2) matyti, kad fiziniu požiūriu terminės, augalus naikinančios aplinkos efektyvumą apibūdina du termodinaminiai rodikliai: temperatūra ir šilumos atidavimo koeficientas. Vertinant šilumos atidavimo koeficiento teorines kitimo ribas orui $\alpha = 1{,}0 - 50$ W(m^2·K) ir kondensuojantis vandens garui $\alpha = 5000 - 100000$ W(m^2·K) (Drobavičius ir kt., 1974), matome, kad pakitus oro ir vandens garo mišinio santykiui gali iš esmės pakisti piktžolių terminio naikinimo technologinio proceso efektyvumas (100000/50 arba 5000/1), nes šilumos atidavimo koeficiento reikšmės gali kisti 2000 kartų.

Dujų aplinkos (*karštų dujų technologija*) yra palyginti aukšta temperatūra (300–1000 °C), bet mažas šilumos atidavimo koeficientas (α = 25–30 W/(m^2·K)). Drėgnojo vandens garo aplinkos, palyginti su dujomis, temperatūra žemesnė (100 °C), bet labai didelis šilumos atida-

vimo koeficientas (α = 80000–100000 W/(m^2·K)). Šių dviejų dydžių sandauga parodo šilumos srauto dydį W/m^2, kurį aukštatemperatūrė aplinka teikia termiškai naikinamam augalui.

Augalas – gyvas organizmas. Jis transpiracijos būdu kovoja su aukštatemperatūre aplinka. Todėl spręsti apie piktžoles termiškai naikinančios aplinkos efektyvumą, įvertinus tik aplinkos termofizikines savybes, negalima. Tačiau išsiaiškinti aukštatemperatūrės, augalus termiškai naikinančios aplinkos sudarymo principus ir galimybes tobulinti termofizikinius procesus, vykstančius augalus termiškai naikinančioje aplinkoje, būtina. Tik tokiu būdu galime kurti tobulus, visiškai pagrįstus terminio piktžolių naikinimo įrenginius.

Dujų (*karštų dujų technologija*) įrenginiai, kai atvira liepsna nudeginami augalai (5.1 ir 5.2 pav.), yra nesudėtingi. Augalus termiškai naikinančios aplinkos sudarymas, išskyrus gaubtus, literatūroje neaprašomas.

Terminis piktžolių naikinimas naudojant mobilų drėgnojo vandens garo įrenginį yra sudėtingas. Terminio piktžolių naikinimo drėgnuoju vandens garu procesą reikia skirti į du labai skirtingus procesus.

Pirmasis procesas vyksta garo katile. Tai specialiai terminiam piktžolių naikinimui pritaikytų parametrų vandens garo gamyba. Įvertinus mobiliojo įrenginio darbą lauko sąlygomis ir darbų saugos reikalavimus, garo gamyba terminiam piktžolių naikinimui tampa sudėtinga inžinerinė problema.

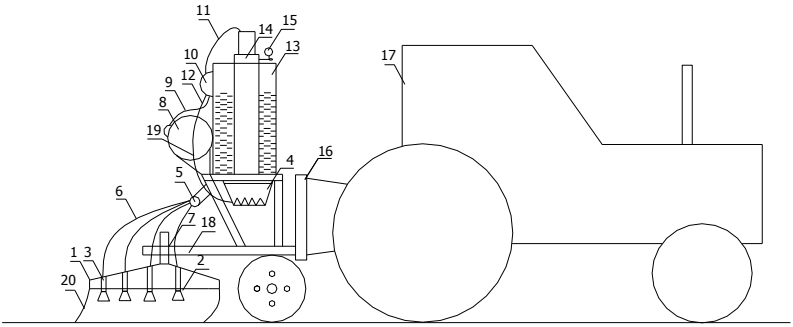
Antrasis – tai terminio piktžolių naikinimo drėgnuoju vandens garu technologinis procesas. Šiuo procesu norima pasiekti terminio piktžolių naikinimo efektyvumą ir technologijos tobulumą.

Mobilusis terminio piktžolių naikinimo drėgnuoju vandens garu įrenginys veikia taip (5.3 pav.). Suskystintosios dujos (skystasis kuras) praėjusios garintuvą 12 vamzdeliu 19 yra tiekiamos į išardomo garo katilo 13 degimo kamerą 4. Ten degdamos dujos šildo garo katile 13 esantį vandenį. Garo katile susidaręs drėgnasis vandens garas iš katilo patenka į garo separatorių, kuriame sumažinamas jo drėgnumas. Po to drėgnasis vandens garas (sausumo laipsnis $x \approx 0{,}96$), praėjęs garų sausintuvą-perkaitintuvą garas patenka į kolektorių iš kurio garotiekiais 6 patenka į garo skleidiklius 2, kurie garą paskleidžia naikinamų piktžolių aplinkoje. Reikiamas skleidiklių aukštis nustatomas skleidiklių aukščio reguliavimo mechanizmu 3. Prie traktoriaus 17 mobilusis piktžolių ter-

minio naikinimo drėgnuoju vandens garu įrenginys yra prikabinamas prikabinamuoju įrenginiu 16.

5.1 pav. Degančių atvira liepsna dujų įrenginys darbo metu (Peruzzi et al., 2006)

5.2 pav. Degančių atvira liepsna dujų įrenginys su šilumos sklaidą izoliuojančiu gaubtu (http://www.flameengineering.com)



5.3 pav. Mobiliojo terminio piktžolių naikinimo drėgnuoju vandens garu įrenginio technologinė schema: 1 – skleidiklių apsaugos; 2 – garo skleidikliai; 3 – skleidiklių aukščio reguliavimo mechanizmas; 4 – pakura; 5 – garo kolektorius; 6 – garo tiekimo žarnos; 7 – sklaidiklių tvirtinimo konstrukcija; 8 – dujų balionas; 9 – aukšto slėgio skystų dujų tiekimo vamzdis; 10 – skystų dujų garintuvas; 11 – karšto vandens tiekimas skystų dujų garinimui; 12 –dujų garintuvas; 13 – išardomas garo katilas; 14 –katilo šilumokaitis; 15 – manometras; 16 – terminio piktžolių naikinimo įrenginio prikabinimo įtaisas; 17 – traktorius; 18 – įrenginio rėmas; 19 – žemo slėgio dujų tiekimo vamzdis; 20 – apsaugos

Garotiekyje ir skleidiklyje garas patiria daug termodinaminių procesų: drėgnojo garo sausinimą, garo perkaitinimą, kondensavimąsi, plėtimąsi. Šių procesų metu kinta garo parametrų vertės, kartu ir parametrai, turintys įtakos piktžolių terminio naikinimo procesui. Juos ištyrus nustatomi optimalūs gaminamo garo parametrai.

5.1. Garo gamybos metu vykstantys termodinaminiai procesai

Energiniu ir ekonominiu (vandens ir šilumos sąnaudų) požiūriu į skleidiklį tiekiamas garas turi būti sausas arba labai mažo (1–5 ºC) perkaitinimo laipsnio. Patekęs ant šaltų termiškai naikinamų augalų paviršių garas turi iš karto kondensuotis.

Garo katilas gamina drėgnąjį garą. Po drėgnojo vandens garo separacijos garo sausumo laipsnis yra x = 0,96–0,98. Tai rodo, kad 1 kg garo, išeinančio iš katilo, yra 0,04–0,02 kg vandens, kurio soties tempe-

ratūra lygi verdančio vandens temperatūrai t_s. Sauso arba labai mažo perkaitinimo laipsnio garą galima gauti dviem būdais.

Katile gaunamą garą galima droseliuoti specialiai praleidžiant pro susiaurintas vietas ir leidžiant į skleidiklį plonu vamzdeliu. Droseliuojant garo kinetinė energija nugalėdama trintį virsta šiluma. Ši šiluma gali būti panaudota gare esančiai drėgmei garinti. Mūsų atveju droseliavimo procesas vyksta labai trumpai, todėl didesni šilumos mainai su aplinka neįvyks. Garo droseliavimo procesą galime laikyti adiabatiniu. Tuomet galime sudaryti energijos balanso lygtį prieš droseliavimą ir po jo:

$$p_1v_1 - p_2v_2 = u_2 - u_1 + \frac{w_2^2}{2} - \frac{w_1^2}{2}, \qquad (5.1)$$

čia p_1; p_2 – garo slėgis katile ir aplinkoje Pa;
v_1; v_2 – garo savitasis tūris m^3/kg;
u_1; u_2 – garo vidinė energija kJ/kg;
w_1; w_2 – garo greitis m/s.

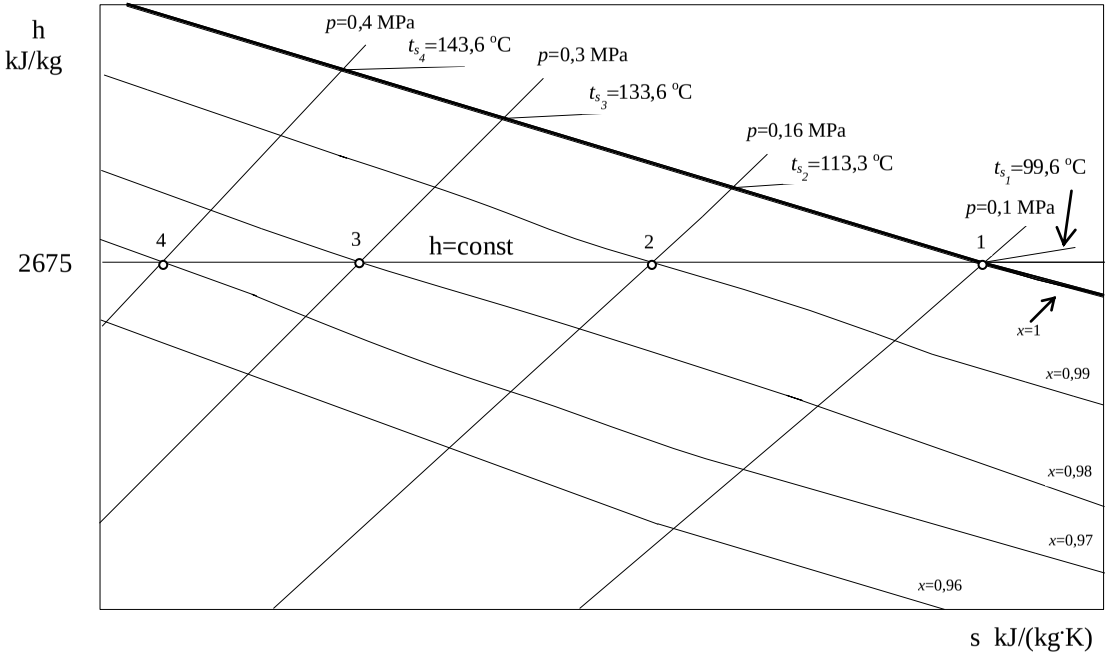
Kadangi mūsų atveju garo parametrai kis nedaug, tai nelabai skirsis ir garo greitis w_1 ir w_2. Tuomet garo kinetinės energijos pokytį galime paneigti:

$$\frac{w_2^2}{2} - \frac{w_1^2}{2} = 0. \qquad (5.2)$$

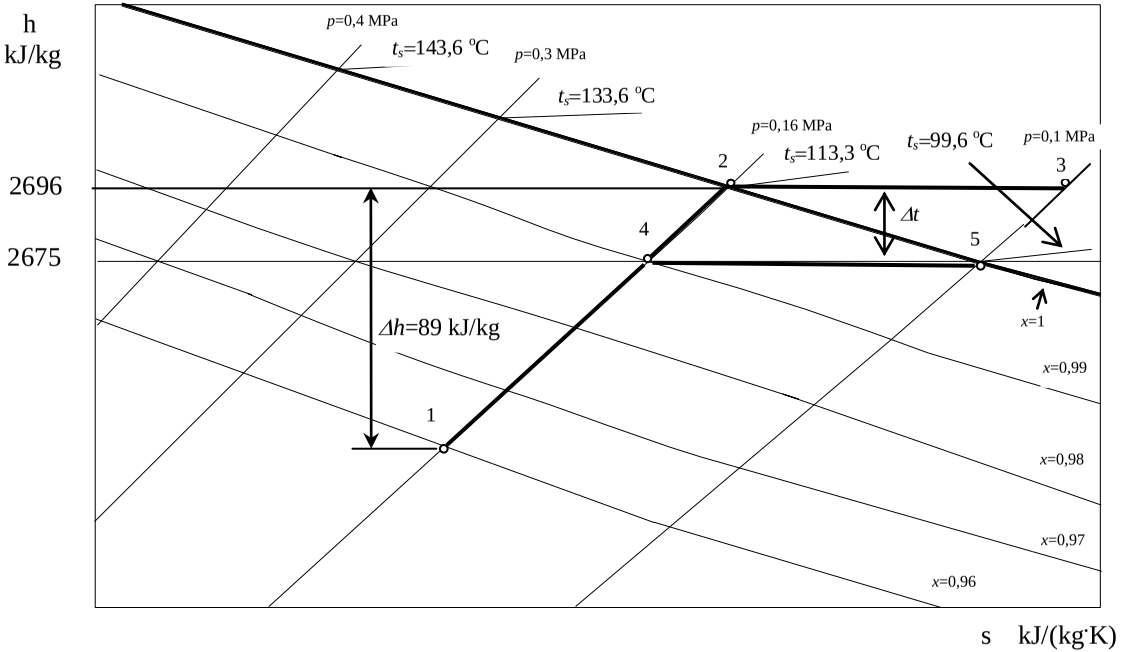
Iš (4.16 ir 4.17) lygčių gauname, kad:

$$(u_1+p_1v_1) - (u_2+p_2v_2) = h_1 - h_2 = 0, \quad h_1 = h_2. \qquad (5.3)$$

Naudodamiesi šia lygtimi galime pavaizduoti vandens garo droseliavimo procesą *h–s* diagramoje (5.4 pav.) ir jį ištirti. Garo droseliavimo proceso skaičiavimai rodo, kad esant garų sausumo laipsniui $x = 0{,}98$, ištekantį 2675 kJ/kg entalpijos sausą sotųjį garą gausime garo slėgiui esant $3 \cdot 10^5$ Pa. Esant $x = 0{,}97$, ištekantį 2675 kJ/kg entalpijos sausą sotųjį garą gausime slėgiui esant $4 \cdot 10^5$ Pa. Šie duomenys rodo, kad iš drėgnojo garo (didinant slėgį katile) droseliavimo būdu galime gauti sausą sotųjį garą. Tačiau šis būdas nepriimtinas, nes katile esant tokiam slėgiui, terminio piktžolių naikinimo įrenginys tampa pavojingas – gali sprogti. Atsižvelgiant į įrenginį prižiūrinčių žemės ūkio darbuotojų kvalifikaciją, reikia kurti įrenginį, kuris gamintų žemo slėgio garą ir būtų mažai pavojingas eksploatuojant.



5.4 pav. Drėgnojo garo droseliavimo procesų schema *h*–*s* diagramoje: 2–1, 3–1, 4–1 – skirtingų parametrų garo droseliavimas



5.5 pav. Garo sausinimo procesas *h*–*s* diagramoje, naudojant garų perkaitinimą: 1–2 ir 1–4 galimi garų sausinimo procesai

Katile gaminamą garą galima sausinti garo perkaitintuve (5.5 pav.). Šiuo atveju pagamintą garą $1{,}6 \cdot 10^5$ Pa (0,6 atm.) x = 0,96 (5.5 pav. 1 taškas) reikia nukreipti į garo perkaitintuvą. Sausinimo procesas 1–2 jame vyksta esant pastoviam slėgiui iki sočiojo garo būsenos x = 1. Iš h–s diagramos matome, kad garo sausinimo procesas baigiasi 2 taške, kurio parametrai yra h'' = 2696 kJ/kg; t_2 = 113,3 °C; p_2 = 0,16 MPa; x = 1. Garo sausinimo procese sunaudota šiluma Δh = 89 kJ/kg. Šis garas, išeidamas iš skleidiklio, turės slėgį, artimą aplinkos slėgiui p = 0,1 MPa, ir atsidurs 3 taške, kurio parametrai $h_3 = h_2$ = 2696 kJ/kg, t_s = 99,6 °C, t_3 = 110 °C. Vadinasi, iš skleidiklio išeis labai mažai (Δt = 10,4 °C) perkaitintas garas.

Kaip matyti iš pateiktų procesų h–s diagramose (5.4 ir 5.5 pav.), garų sausinimo procesą galime vykdyti iki 4 taško. Jame garas bus drėgnas. Vykstant droseliavimo procesui 4–5, krentant slėgiui nuo 0,16 iki 0,1 MPa, bus suteikta šilumos ir išeinant iš skleidiklio gausime sausą sotųjį garą (5 taškas).

Vertindami šiuos abu galimus garo, išeinančio iš skleidiklio, parametrų reguliavimo variantus, remdamiesi patirtimi, laikome lygiaverčiais. Abiem atvejais iš skleidiklio išėjęs garas – vienfazis, be vandens lašelių. Garas ant šaltų augalo paviršių kondensuosis, naikindami piktžoles gausime laukiamą terminį efektą.

5.2. Garo tiekimo sistemoje ir skleidiklyje vykstantys termodinaminiai procesai

Garo tekėjimą garotiekyje ir skleidiklyje galima laikyti vienmačiu, nes juose slėgis, tankis, temperatūra, greitis kinta viena kryptimi. Skleidiklio kanalo formą ir skerspjūvio plotą tekėjimo kryptimi laikome žinomais. Skleidiklio kanalo skerspjūvio plotas kinta švelniai, srovės linijų kreivumas mažas, todėl galima teigti, kad garo tekėjimas skleidiklyje bus tolygus.

Terminio piktžolių naikinimo technologijos įgyvendinimas tiesiogiai siejasi su garo skleidiklio konstrukcija. Skleidiklių konstrukcija lemia garo srauto valdymą sudarant lokalizuotą aukštatemperatūrę augalo apsuptį. Skleidiklių konstrukcija tiesiogiai siejasi su garo tekėjimo procesais skleidiklių kanaluose. Nagrinėdami garo parametrų kitimo dėsningumus, išskiriame du atvejus:

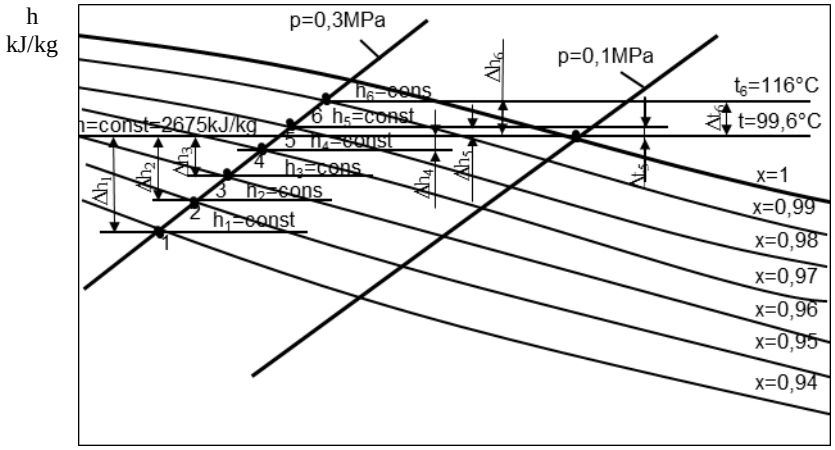
1) Garo skleidiklis vertikalus žemės paviršiui. Aukštatemperatūris laukas augalams naikinti sukuriamas pažeme mažu greičiu slenkančio garo srauto. Garo srautas, patekęs į aplinką, atsimuša į žemės paviršių, sutankėja ir pro plyšius tarp skleidiklio ir žemės nedideliu greičiu slenka pažeme, naikindamas piktžoles termiškai.

2) Garo skleidiklis pastatytas horizontaliai. Aukštatemperatūris laukas augalams naikinti sukuriamas dideliu greičiu pažeme išleidžiamo garo srauto. Šiuo atveju garo srautas išteka pro mažo skersmens skleidiklį, primenantį Lavalio kanalą. Garo slėgis prieš skleidiklį 0,25–0,3 MPa.

Nagrinėdami ištekėjimo procesus *h–s* diagramoje iš horizontaliai pastatyto skleidiklio, atliekame termoenergetinių procesų termodinaminį tyrimą ir kai kurių skleidiklio elementų pagrindimą. Tekant drėgnajam vandens garui pro garo išleidimo kanalą į atmosferinio slėgio aplinką, susidaro pavojus, kad kanalo žiotys, kurių skersmuo mažas, gali užsikimšti kondensatu. Todėl prieš patiekiant drėgnąjį vandens garą į garo išleidimo kanalą reikia jį kuo geriau nusausinti ar net šiek tiek perkaitinti. Perkaitinimo laipsnis turi būti minimalus, nes esant optimalioms piktžolių naikinimo sąlygoms vandens garas ištekėjęs iš „terminio peilio“ liesdamasis su augalu turi kondensuotis. Vandens garo perkaitinimas piktžolių naikinimo efektyvumo požiūriu žalingas, tačiau reikalingas technologiniu požiūriu tik tam, kad garo išleidimo kanalo (tūtos) žiotys darbo metu neužsikimštų kondensatu.

Šilumos kiekis, reikalingas drėgnajam garui sausinti arba jam perkaitinti, priklausys nuo garo drėgnumo laipsnio *y* arba nuo sauso sočiojo garo dalies, kuri yra drėgnajame gare, ir nuo adiabatinio plėtimosi proceso garo išleidimo (Lavalio) kanale. Literatūroje sutinkami didelių matmenų kanalų tyrimai. Juose droseliavimas nedidelis. Garas perkaitintas, plėtimosi procesas – adiabatinis. Mūsų atveju nagrinėjami kanalai, kurių skersmuo nuo 0,3 iki 2,0 mm. Tokie kanalai nepritaikomi technikoje ir yra netyrinėti. Manome, kad šiuose kanaluose vyraus droseliacija. Vadovaudamiesi pirminiais bandymais toliau nagrinėjame termoenergetinių procesų priklausomybę tik nuo droseliacijos.

Tam, kad nustatytume šią priklausomybę, panagrinėkime drėgnojo vandens garo, ištekančio pro garo išleidimo kanalą, termoenergetinius procesus *h–s* diagramoje. (žr. 5.6 pav.).



5.6 pav. Garo ištekėjimo iš „terminio peilio“ proceso pavaizdavimas h–s diagramoje (paaiškinimą žr. tekste)

5.6 paveiksle pavaizduotų linijų $x = 1$ ir $p = 0{,}1$ MPa susikirtimo vietoje esantis taškas vaizduos sauso sočiojo garo būseną atmosferinio slėgio aplinkoje. Jo parametrai bus tokie: $t = 99{,}6$ °C; $h = 2675$ kJ/kg. Pasirenkame, kad tiekiamas drėgnasis garas, kurio absoliutusis slėgis $p_{abs} = 0{,}3$ MPa, o sausumo laipsnis gali būti keičiamas, t. y. $x = 0{,}94$; $x = 0{,}95$; $x = 0{,}96$; $x = 0{,}97$; $x = 0{,}98$; $x = 0{,}99$. Tada pastovaus slėgio $p = 0{,}3$ MPa linijos (izobaros) susikirtime su atitinkamo drėgnojo vandens garo sausumo laipsnio x linijomis turėsime 1, 2, 3, 4, 5, 6 taškus, pagal kuriuos galėsime nustatyti atitinkamo sausumo laipsnio drėgnojo garo entalpijas h_1, h_2,h_3, h_4, h_5, h_6. Pagal h–s diagramą matome, kad ištekant iš garo išleidimo kanalo drėgnajam garui, kurio slėgis 0,3 MPa, o $x = 0{,}94$, nusausinti reikalingas šilumos kiekis, išreikštas per entalpijas, bus $\Delta h_1 = h - h_1$. Analogiškai esant didesniems sausumo laipsniams, x: $\Delta h_2 = h - h_2$; $\Delta h_3 = h - h_3$; $\Delta h_4 = h - h_4$. Nagrinėdami drėgnojo garo ištekėjimo iš garo išleidimo kanalo termoenergetinius procesus h–s diagramoje matome, kad didėjant drėgnojo vandens garo sausumo laipsniui iki $x = 0{,}98$ bei $x = 0{,}99$, ištekėjimo į aplinką metu jis gali transformuotis į perkaitintąjį garą. Nagrinėjamuoju atveju, kai $p = 0{,}3$ MPa, o x didesnis

kaip 0,98, *ištekėjęs iš išleidimo kanalo garas bus perkaitintas.* Šilumos kiekis, sunaudotas jo perkaitinimui, bus $\Delta h_5 = h_5 - h$, kai $x = 0{,}98$ ir $\Delta h_6 = h_6 - h$, kai $x = 0{,}99$. Atitinkami turėsime garo perkaitinimo laipsnius $\Delta t_5 = t_5 - t$ ir $\Delta t_6 = t_6 - t$.

Drėgnojo garo šilumos kiekis ir šilumos kiekis, reikalingas jame esančiai drėgmei išgarinti, priklauso ne tik nuo drėgnojo garo sausumo laipsnio x ir garo slėgio.

Šilumos kiekis, kurį turi drėgnasis garas, kai jis teka per garo išleidimo kanalą į atmosferinio slėgio aplinką, gali būti išreikštas per sauso sočiojo garo ir verdančio vandens entalpijas bei drėgnojo garo sausumo laipsnį x. Bendras šilumos kiekis, kurį turi drėgnasis garas, išreiškiamas lygtimi:

$$q_x = q_{sk} + q_g, \tag{5.4}$$

čia q_x – šilumos kiekis, kurį turi drėgnasis garas kJ/kg;

q_{sk} – drėgnajame gare esančio vandens šiluma kJ/kg;

q_g – šilumos kiekis, suteiktas drėgnajam garui nepasibaigusiame garinimo procese (kai x < 1) kJ/kg.

Drėgnajame gare esančio vandens šilumą galima nustatyti iš lygties:

$$q_{sk} = (1 - x) \cdot h', \tag{5.5}$$

čia x – drėgnojo garo sausumo laipsnis;

h' – verdančio vandens entalpija kJ/kg.

Šilumos kiekis, kurį turi sauso sočiojo garo dalis nepasibaigusiame garinimo procese, nustatomas taip:

$$q_g = h'' \cdot x, \tag{5.6}$$

čia h'' – sauso sočiojo garo entalpija kJ/kg.

Šilumos kiekis, kurį reikia suteikti drėgnajam garui, kad ištekant iš garo išleidimo kanalo gautume sausą sotųjį garą, randamas taip:

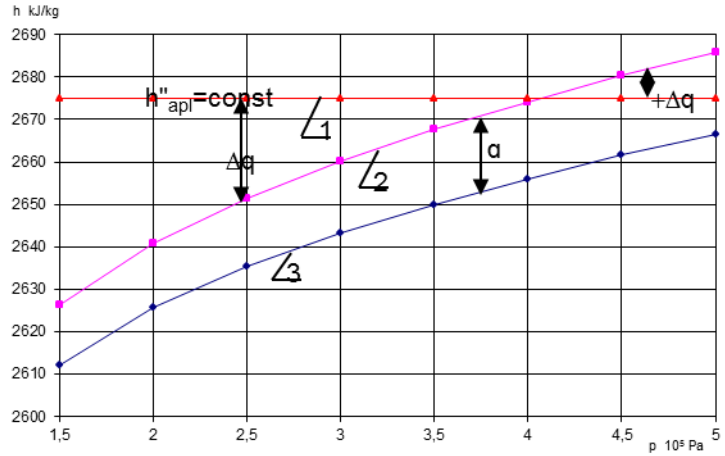
$$\Delta q = h''_{apl} - q_x, \tag{5.7}$$

čia h''_{apl} – sauso sočiojo garo entalpija atmosferinio slėgio aplinkoje kJ/kg.

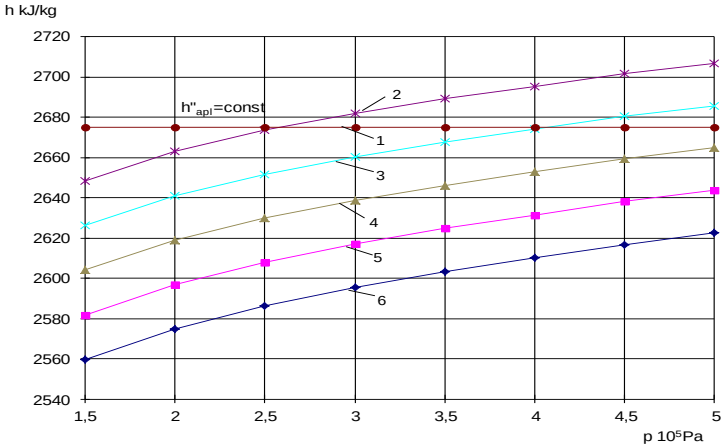
Norint terminio piktžolių naikinimo įrenginyje gauti norimų parametrų garą, naudojantis čia pateiktomis lygtimis galima atlikti garo išleidimo kanalo konstrukcinį ir šiluminį skaičiavimą. Tai leistų gauti optimalų technologiškai pagrįstą terminio piktžolių naikinimo efektą.

Tolesnis tyrimas atliktas naudojantis vandens garo lentelėmis ir (5.4), (5.5), (5.6) ir (5.7) lygtimis, siekiant gauti diagramą garo išleidimo kanalo energetiniam skaičiavimui ir parametrams nustatyti. Tyrimai atlikti esant skirtingiems drėgnojo garo sausumo laipsniams *x*: 0,94; 0,95; 0,96; 0,97, 0,98 ir slėgiams p: 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5 MPa. Kadangi bet kokio sausumo laipsnio *x* ir slėgio *p* drėgnasis garas tiekiamas į garo išleidimo kanalą ir iš jo patenka į tą pačią atmosferinio slėgio aplinką, tai toje aplinkoje sauso sočiojo garo entalpija bus lygi: h''_{apl}= 2675 kJ/kg.

Pirmiausia 5.7 pav. pateikiame vandens garo, kurio sausumo laipsnis $x = 0{,}97$, esant įvairiam drėgnojo garo slėgiui, tyrimo rezultatus. 1 kreivė rodo sauso sočiojo garo šilumos kiekį (entalpiją h''_{apl}) atmosferinio slėgio aplinkoje. Jis yra pastovus ir lygus 2675 kJ/kg. 2 kreivė rodo drėgnojo garo bendrą šilumos kiekio q_x kitimo priklausomybę nuo slėgio *p*. 3 kreivė rodo šilumos kiekio, kurį turi sausojo garo dalis nepasibaigusio garavimo proceso metu (q_g), priklausomybę nuo slėgio *p*. Kaip matyti iš 2 ir 3 kreivių kitimo pobūdžio, šilumos kiekiai q_g ir q_x didėja didėjant garo slėgiui. Atstumas pagal vertikalę tarp linijos h''_{apl} = const. ir 2 kreivės rodo šilumos kiekį, kurį reikia suteikti drėgnajam garui ($x = 0{,}97$), kad ištekant iš „terminio peilio“ (po droseliavimo) jis virstų sausu sočiuoju garu. Kaip matyti iš 5.7 pav., šis šilumos kiekis, didėjant garo slėgiui, mažėja. 1 ir 2 kreivių susikirtimo taške (esant ≈ 0,41 MPa slėgiui) pagaminto garo entalpija susilygina su entalpija h''_{apl} ir entalpijų skirtumas išnyksta.



5.7 pav. Šilumos kiekių garo fazėje (kai $x = 0{,}97$) kitimo priklausomybė nuo slėgio: 1 – sauso sočiojo garo entalpija atmosferinio slėgio aplinkoje; 2 – drėgnojo garo entalpija; 3 – sauso sočiojo garo dalies drėgnajame gare entalpija



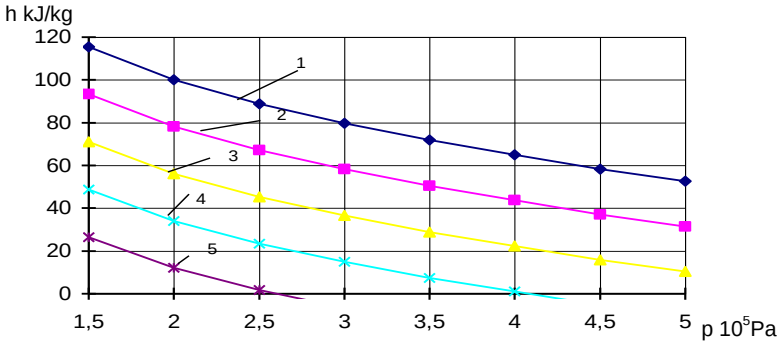
5.8 pav. Įvairių sausumo laipsnių (x) drėgnojo garo šilumos kiekio (h) priklausomybė nuo slėgio: 1 – sauso sočiojo garo šilumos kiekis (entalpija h''_{apl}) atmosferinio slėgio aplinkoje; 2 – drėgnojo garo šilumos kiekio priklausomybė nuo slėgio p, kai drėgnojo garo sausumo laipsnis $x = 0{,}98$; 3 – kai $x = 0{,}97$; 4 – kai $x = 0{,}96$; 5 – kai $x = 0{,}95$; 6 – kai $x = 0{,}94$

Toliau didinant drėgnojo garo, ištekančio „iš terminio peilio“ slėgį, jis virsta perkaitintuoju garu. Atstumas tarp 2 ir 3 kreivių rodo drėgnajame gare esančio vandens šilumą q_{sk}.

5.8 pav. pateikiame įvairių sausumo laipsnių drėgnojo garo bendro šilumos kiekio q_x priklausomybę nuo slėgio. Kreivių kitimo pobūdis rodo, kad drėgnojo garo bendras šilumos kiekis q_x, neatsižvelgiant į sausumo laipsnį x, kylant slėgiui p, didėja. Kintant sausumo laipsniams x, kreivių kitimo pobūdis analogiškas.

Kreivių išsidėstymas aiškiai rodo, kad visiškai nusausinti garą papildomai jo nepašildžius galima tik tada, kai drėgnojo garo sausumo laipsnis $x = 0{,}98$ ir 0,97, esant absoliučiajam slėgiui 0,26…0,41 MPa. Esant mažesnėms sausumo laipsnių x reikšmėms, reikia pagamintą garą papildomai pašildyti.

Šilumos kiekis, kurį reikia suteikti drėgnajam garui, kad ištekėdamas iš garo išleidimo kanalo jis virstų sausu sočiuoju garu, priklauso nuo garo slėgio p ir sausumo laipsnio x (5.9 pav.). 1 kreivė rodo šilumos kiekio kitimo priklausomybę nuo slėgio, kai $x = 0{,}94$; 2, 3, 4, 5 kreivės – minėtą kitimo priklausomybę atitinkamai, kai $x = 0{,}95$; $x = 0{,}96$; $x = 0{,}97$; $x = 0{,}98$. Kreivės rodo, kad didėjant slėgiui, šilumos kiekis, reikalingas garui sausinti, mažėja.



5.9 pav. Šilumos kiekis, kurį reikia suteikti garui, kad gautume sausą sotųjį garą, ištekantį iš tūtos

Kreivių išsidėstymas (5.9 pav.) rodo, kad didžiausi šilumos kiekiai garui sausinti turi būti panaudoti, kai drėgnojo garo sausumo laipsniai x atitinka reikšmes 0,94; 0,95; 0,96. Esant tokioms drėgnojo garo

sausumo laipsnių x reikšmėms, ištekant iš garo išleidimo kanalo savaiminis jo virtimas sausu sočiuoju garu esant 0,15–0,5 MPa slėgiui neįmanomas. Mažiausi papildomi šilumos kiekiai drėgnajam garui sausinti sunaudojami esant didesnėms garo sausumo laipsnio x reikšmėms: 0,97, 0,98. Slėgiui esant 0,15–0,5 MPa, toks garas, ištekėdamas iš „terminio peilio“ į atmosferinio slėgio aplinką, gali savaime virsti sausu sočiuoju garu. Kaip matyti 5.9 pav. iš 4 ir 5 kreivių, garas, kurio sausumo laipsnis $x = 0,97$, teoriškai gali virsti sausu sočiuoju garu, kai jo absoliutusis slėgis, įtekant į „terminį peilį“, yra 0,41 MPa. Garui, kurio sausumo laipsnis $x = 0,98$, virstant sausu sočiuoju garu, pakanka 0,26 MPa įtekėjimo slėgio. Jeigu minėtų sausumo laipsnių ($x = 0,97$, $x = 0,98$) drėgnojo garo įtekėjimo į „terminį peilį“ absoliutųjį slėgį padidinsime atitinkamai daugiau kaip 0,26 MPa ir daugiau kaip 0,41 MPa, tai jam ištekant iš garo išleidimo kanalo jis virs perkaitintuoju garu.

Termoenergetinis tyrimas rodo, kad šilumos kiekis q_g, kurį turi garas neužbaigtame garinimo procese, ir bendras šilumos kiekis, kurį turi drėgnasis garas q_x, iš esmės priklauso nuo drėgnojo garo sausumo laipsnio x ir slėgio p. Didinant šiuos parametrus, minėti šilumos kiekiai auga. Šilumos kiekis, kurį reikia suteikti drėgnajam garui, kad gautume sausą sotųjį garą, ištekant jam iš „terminio peilio“ į atmosferinio slėgio aplinką, taip pat priklauso nuo drėgnojo garo slėgio p ir sausumo laipsnio x. Didinant pastaruosius parametrus minėtas šilumos kiekis mažėja. Esant tam tikroms slėgio p ir sausumo laipsnio x reikšmėms, ištekant garui iš horizontaliai pastatyto skleidiklio įmanomas savaiminis drėgnojo garo virtimas sausu sočiuoju arba net perkaitintuoju garu. Visa tai rodo, kad terminio piktžolių naikinimo metu tikslinga naudoti aukšto sausumo laipsnio drėgnąjį garą arba papildomu kaitintuvu jį pašildyti (sausinti).

Aptarėme piktžolių terminio naikinimo drėgnuoju vandens garu technologijoje labai svarbaus veiksnio – vandens garo – reguliavimo galimybes. Nagrinėjant vandens garo gamyboje ir piktžolių terminio naikinimo aplinkoje vykstančius procesus būtina stebėti vandens garo agregatinės būsenos kitimą. Drėgnajam garui tekant garotiekiu ir garo skleidimo įrangos kanalais vyksta droseliacijos procesas, kurio metu krenta slėgis. Kintant drėgnojo vandens garo slėgiui gali kisti garo ag-

regatinė būsena. Drėgnasis vandens garas gali tapti perkaitintuoju vandens garu. Tuomet dėl pakitusių garo kaip aukštatemperatūrės terminės aplinkos savybių iš esmės pasikeičia piktžolių terminio naikinimo proceso efektyvumas. Šilumos atidavimo koeficientas sumažėja apie 2000 kartų. Perkaitintojo garo aplinka savo šiluminėmis savybėmis prilygsta dujinei aplinkai, kurios šilumos atidavimo koeficientas yra apie α = 25–30 W/(m^2·K). Todėl vandens garo aplinka piktžolėms naikinti yra daug sudėtingesnė už degimo dujų ar oro aplinką.

5.3. Terminiam piktžolių naikinimui reikalingų vandens garo parametrų termodinaminis pagrindimas

Technologiniuose procesuose naudojamas optimalus 300–400 kPa slėgio drėgnasis vandens garas. Tokio slėgio vandens garo parametrus patogu reguliuoti (Liutikas ir Gudzinskas, 2001). Tačiau terminio piktžolių naikinimo įrenginiuose, įvertinus eksploatacines lauko sąlygas ir reikalavimus slėginiams indams, tenka naudoti žemo slėgio garo katilus, kurių eksploatacija nebepriklauso slėginių indų priežiūros kontrolei. Vykdant terminio piktžolių naikinimo vandens garu tyrimus yra nustatyta, kad visus terminio piktžolių naikinimo technologinius poreikius galima patenkinti naudojant 20–40 kPa perteklinio slėgio vandens garą. Esant mažam slėgiui, mažo vandens tūrio ir mažo našumo (5–30 kg/h) garo katilus be jokios užsklandos tarp katilo ir garo tiekimo linijos naudoti nepavojinga. Tačiau esant tokiam mažam pertekliniam (20–40 kPa) slėgiui sunkiau palaikyti optimalius termodinaminius vandens garo parametrus terminio piktžolių naikinimo metu. Dėl to tenka keisti įprastą drėgnojo vandens garo gaminimo technologiją – vietoj droseliacijos proceso naudoti papildomus termodinaminius procesus siekiant gauti sausą sotųjį garą piktžolių terminio naikinimo zonoje. Ši sąlyga būtina tam, kad ištekėjusio iš skleidiklio garo šilumos atidavimo koeficientas būtų didžiausias, kad augalas gautų daugiausia šilumos ir terminiam piktžolių naikinimui sunaudotų mažiausiai vandens.

Tyrimai rodo, kad terminiam piktžolių naikinimui efektyviausia yra drėgnojo vandens garo aukštatemperatūrė aplinka. Esant tokiai aplinkai vyksta vandens garo kondensacijos procesas termiškai naikinamo

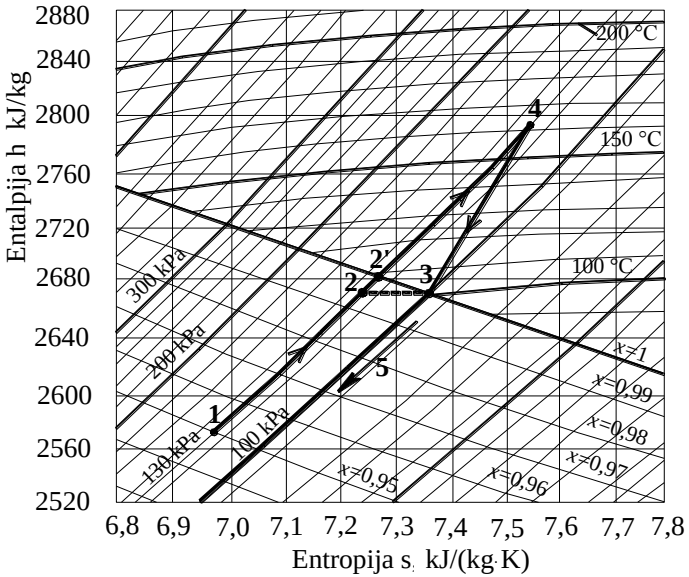
augalo audinių paviršiuje. Pagrindinis veiksnys, kuriam daro įtaką, yra šilumos atidavimo koeficientas. Vandens garo kondensacijos augalo audinių paviršiuje atveju šilumos atidavimo koeficientas α yra lygus 80000–100000 W/(m^2·K). Kaip aptarėme, netinkamai formuojant drėgnojo vandens garo aukštatemperatūrį srautą, garą droseliuojant, šilumos atidavimo koeficientas α gali sumažėti net apie 2000 kartų. (būti lygus tik 25–30 W/(m^2·K)). Sukuriama visiškai neveiksminga piktžolėms naikinti terminė aplinka, kai dėl esamų parametrų ir trumpalaikio poveikio nepajėgiama termiškai sunaikinti augalo.

Į garo skleidiklius tiekiamas garas šiluminiu ir ekonominiu požiūriu turi būti sausas arba labai mažo (1–5 ^{o}C) perkaitinimo laipsnio. Garas, patekęs ant šaltų augalų paviršių, turi iš karto kondensuotis.

Mažą garo perkaitinimo šilumą galima sunaudoti padengti šilumos nuostoliams garotiekyje, kurie sudaro apie 4,3 % šilumos, sunaudotos terminei piktžolių kontrolei.

Garo katilas gamina drėgnąjį garą. Būtinas jo mechaninis sausinimas. Po drėgnojo vandens garo separavimo garo sausumo laipsnis $x \approx 0{,}95$. Norėdami piktžoles naikinančioje aplinkoje gauti sausąjį arba labai mažo perkaitinimo laipsnio garą, turime gaminamą garą katile sausinti garo perkaitintuve. Procesus, vykstančius terminio piktžolių naikinimo įrenginyje, grafiškai galime pavaizduoti *h*–*s* diagramoje (5.10 pav.).

Katile pagamintas drėgnasis vandens garas, praėjęs garo sausintuvą-separatorių išeina p_1 = 130 kPa slėgio, garų sausumo laipsnis $x \approx 0{,}95$. Tai rodo, kad 1 kg drėgnojo vandens garo po separacijos turi ≈ 0,05 kg vandens, kurio soties temperatūra t_s = 107 ^{o}C. Pastovaus slėgio p = 130 kPa linijos (izobaros) susikirtime su drėgnojo vandens garo sausumo laipsnio x = 0,95 linijomis *h*–*s* diagramoje turėsime tašką 1 ir galėsime nustatyti katile prieš perkaitintuvą pagaminto drėgnojo garo entalpiją h_1 = 2575 kJ/kg. Garas, praėjęs sausintuvą-separatorių, patenka į garų perkaitintuvą, kuriame išgarinama drėgnajame gare esanti drėgmė. Iš perkaitintuvo garas išeina mažo perkaitinimo laipsnio $\Delta t = t_4 - t_{2'}$, kuris *h*–*s* diagramoje pažymėtas 4 tašku. Šį tašką randame žinodami gaminamo garo slėgį p = 130 kPa ir entalpiją h_4. Entalpija h_4 nustatoma skaičiavimais, žinant katile vykstantį garo gamybos termodinaminį procesą.



5.10 pav. Termodinaminiai procesai, vykstantys piktžolių terminio naikinimo įrenginyje, *h–s* diagramoje: 1–2 – garų sausinimo procesas perkaitintuve (idealiu atveju įrenginyje be šilumos nuostolių į aplinką); 2–3 – teorinis garų droseliacijos procesas; 1–4 – garų sausinimo ir perkaitinimo procesas realiame piktžolių naikinimo įrenginyje; 4–3 – realus garo droseliacijos procesas įvertinus šilumos nuostolius į aplinką garo tiekimo linijoje; 3–5 – garo kondensacijos proceso kryptis piktžolių terminio naikinimo aplinkoje; *x* – garo sausumo laipsnis

Šilumos kiekis q_x, kurį turi drėgnasis garas po separacijos 1 taške, gali būti išreikštas per sauso sočiojo garo ir verdančio vandens entalpijas bei drėgnojo garo sausumo laipsnį x. Drėgnojo vandens garo šilumos kiekis q_x nustatomas pagal lygtį:

$$q_x = q_{sk} + q_g = (1 - x) \cdot h' + h'' \cdot x\,, \qquad (5.8)$$

čia q_x – šilumos kiekis, kurį turi drėgnasis garas kJ/kg;
q_{sk} – drėgnajame gare esančio vandens (skysčio) šiluma kJ/kg;
q_g – drėgnajame gare esančio sauso sočiojo garo šiluma kJ/kg;
x – drėgnojo garo sausumo laipsnis;
h' – verdančio vandens entalpija kJ/kg;
h'' – sauso sočiojo garo entalpija kJ/kg.

Šilumos kiekį, kurį reikia suteikti drėgnajam garui katilo perkaitintuve, kad gautume sausą sotųjį garą naikinamų piktžolių aplinkoje, esant aplinkos slėgiui, randame taip:

$$\Delta h = h''_{apl} - q_x, \tag{5.9}$$

čia h''_{apl} – sauso sočiojo garo entalpija 3 taške, t. y. atmosferinio slėgio (p = 100 kPa) aplinkoje; $h''_{apl} = 2675$ kJ/kg.

Remiantis pateiktomis lygtimis galima nustatyti šilumos kiekį, kurį reikia suteikti garui katilo perkaitintuve norint sumažinti jo drėgmę iki garo sausumo laipsnio (2 taške) x_2. 2 taškas h–s diagramoje yra garo slėgio p = 130 kPa ir teorinio droseliacijos $h_2 = h_3$ proceso (be šilumos mainų su aplinka) kreivių sankirtoje. 3 taškas yra linijų x = 1 ir p = 100 kPa sankirtoje. Jis vaizduoja sauso sočiojo garo būseną atmosferinio slėgio aplinkoje (naikinamų piktžolių aplinkoje). Jo parametrai yra tokie: t = 99,6 °C ir h_3 = 2675 kJ/kg. Jei nebūtų šilumos nuostolių garo tiekimo linijoje (idealių dujų atveju), tai garų perkaitinimo procesas 2 taške būtų užbaigtas. Tačiau garui dar turi būti papildomai suteiktas 4,3 % šilumos kiekis, reikalingas nuostoliams į aplinką garotiekyje padengti. Jį randame taip:

$$q_{nuost} = 0{,}043 \cdot h''_{apl} = 0{,}043 h''_3 = 116 \text{ kJ/kg}. \tag{5.10}$$

Matome, kad 1 kg garo turi būti suteikta papildomai 116 kJ/kg šilumos. Tuomet iš perkaitintuvo išeinančio garo entalpija h_4 turi būti: h_4 = 2675 + 116 = 2791 kJ/kg. h–s diagramoje 4 tašką, kuris rodo garo parametrus išeinant iš perkaitintuvo, randame slėgio p = 130 kPa ir h_4 = 2791 kJ/kg kreivių sankirtoje. Sujungę 3–4 taškus gauname realų droseliacijos procesą, vykstantį garo tiekimo linijoje.

Faktiškai reikalingą šilumos kiekį, kurį reikia suteikti garų perkaitintuve q_{perk} kJ/kg, randame taip:

$$q_{perk} = \Delta h + 0{,}043 \cdot h''_{apl} = \Delta h + 116 \text{ kJ/kg}. \tag{5.11}$$

Žinodami šilumos kiekį, kurį reikia suteikti garui perkaitintuve q_{perk}, randame garų perkaitintuvo šildomo paviršiaus plotą F (m^2/kg) 1 kg gaminamo garo:

$$F = \frac{\Delta h + 116}{k\Delta t} = \frac{216}{k\Delta t} = \frac{8{,}6}{\Delta t}, \qquad (5.12)$$

čia: $\Delta h = h_2 - h_1$, kJ/kg, nagrinėjamuoju atveju $\Delta h = 2675 - 2575 = 100$ kJ/kg (4.17 pav.);

k – šilumos perdavimo koeficientas garo perkaitintuve, k = 25 W/(m^2·K);

Δt – vidutinis temperatūrų skirtumas perkaitintuve ^{o}C.

Garo gamybai naudojant elektros energiją, garo perkaitintuvo galia q_{el} % garo katilo galios apskaičiuojama pagal lygtį:

$$q_{el} = \frac{(\Delta h + 116)\eta}{h_1}, \qquad (5.13)$$

čia η – elektrinio garo katilo naudingumo koeficientas. Nagrinėjamuoju atveju η = 0,95.

Lygties sprendinys rodo, kad naudojant elektrinį garo katilą garų perkaitintuvo galia sudaro 8 % katilo galios.

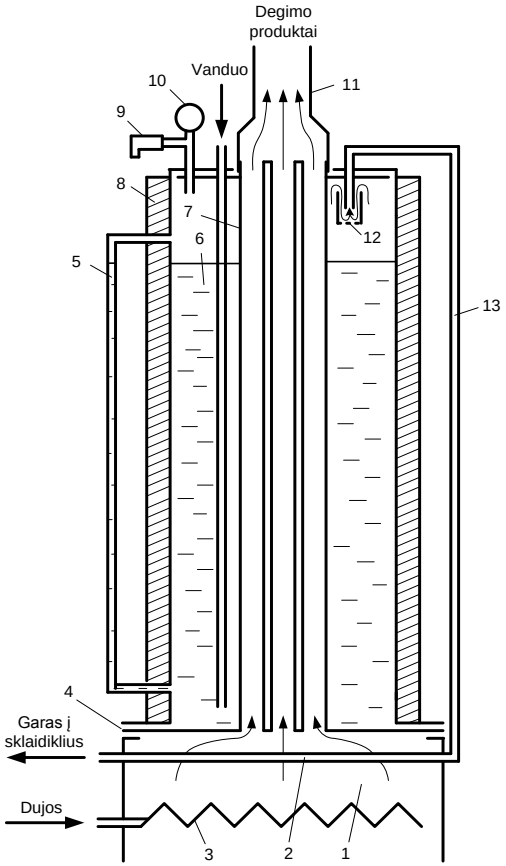
Procesų, vykstančių piktžolių terminio naikinimo įrenginyje, analizės pagrindu galima maksimaliai panaudoti vandens garo savybes terminio piktžolių naikinimo technologijoje.

Nustačius termodinaminius procesus *h–s* diagramoje, atliekamas įrenginio šiluminis skaičiavimas (Двойшников и др., 1988), t. y. tiriant termodinaminius procesus nustatomi optimalūs garo katilo parametrai. Taip pagamintas garo katilas maksimaliai tenkins technologinius piktžolių terminio naikinimo reikalavimus.

Pateikiame mūsų sukonstruoto išardomo garo katilo, kuriame gaminamas drėgnasis vandens garas yra sausinamas garo perkaitintuve, schemą (5.11 pav.).

Išardomas garo katilas veikia taip: suskystintosios dujos arba skystasis kuras patenka į suskystintųjų dujų degiklį arba skystojo kuro degiklį 3. Degimo kameroje 1 dujos arba skystasis kuras dega. Karšti degimo produktai patenka į šildomą paviršių – dūmavamzdžius 7, kurie šildo garo katilo viduje esantį vandenį 6. Ataušę degimo produktai išeina pro kaminą 11. Verdant vandeniui 6, ertmėje tarp vandens 6 ir viršutinės garo katilo dalies susidaro drėgnasis vandens garas. Jis pereina per išcentrinį drėgnojo vandens garo separatorių 12, kuris kartu saugo, kad į garotiekį 13 kartu su drėgnuoju vandens garu nepatektų ir vanduo 6.

Garotiekiu 13 drėgnasis vandens garas patenka į degimo kameroje 1 esantį garotiekį-perkaitintuvą 2, kur garas yra sausinamas ir labai nedaug perkaitinamas. Iš garotiekio-perkaitintuvo 2 vandens garas yra tiekiamas į garo skleidiklius. Kad darbo metu galėtume stebėti, kiek vandens yra garo katile, jo šone sumontuotas vandens lygio matuoklis 5. Ant jo yra pažymėtos mažiausio ir didžiausio vandens lygio žymos.



5.11 pav. Išardomo garo katilo schema: 1 – degimo kamera; 2 – garotiekis-perkaitintuvas; 3 – suskystintųjų dujų arba skystojo kuro degiklis; 4 – sujungimas; 5 – vandens lygio matuoklis; 6 – vanduo; 7 – šildomas paviršius – dūmavamzdžiai; 8 – termoizoliacija; 9 – apsauginis vožtuvas; 10 – garo slėgio manometras; 11 – kaminas; 12 – išcentrinis drėgnojo vandens garo separatorius; 13 – garotiekis

Vandens lygiui pasiekus mažiausio lygio žymą, turime papildyti vandenį garo katile. Vandens negalima pripilti daugiau nei iki didžiausios vandens lygio žymos.

Vanduo į išardomą garo katilą įpilamas pro vamzdį viršutinėje garo katilo dalyje ir pašilęs patenka į apatinę katilo dalį. Viršutinėje garo katilo dalyje taip pat yra sumontuotas apsauginis vožtuvas 9 ir garo slėgio manometras 10 (su garo slėgio manometru 10 darbo metu galima stebėti darbinį slėgį garo katile). Apsauginis vožtuvas 9 yra sureguliuotas 50 kPa slėgiui, todėl darbinis slėgis garo katile yra nedidelis ir svyruoja nuo 20 iki 40 kPa. Tai nedidelis slėgis, todėl garo katilas sprogimo atžvilgiu yra saugus, tuo labiau, kad turi išorinį izoliacinį-apsauginį metalo korpusą.

Kadangi garo katilas yra išardomas, patogu mechaniškai valyti nuoviras. Atsukus sujungimo 4 varžtus, vidinė garo katilo dalis lengvai atsiskiria nuo išorinės dalies. Išardžius galima lengvai išvalyti šildomus paviršius – dūmavamzdžius 7, nuvalyti susidariusias kalkių nuosėdas. Nėra jokių papildomų reikalavimų vandeniui, todėl galima naudoti nevalytą vandenį net iš atvirų vandens telkinių (svarbu palaikyti reikiamą vandens lygį garo katile).

Tokį garo gamybos įrenginį prižiūrėti ir eksploatuoti bus paprasta ir nesudėtinga.

6 AUGALUS TERMIŠKAI NAIKINANČIOS APLINKOS POVEIKIS DIRVAI

Terminis piktžolių naikinimas atliekamas piktžolėms sudygus. Lokali aukštatemperatūrė aplinka veikia išdygusius augalus ir augalo aplinką. Augalo aplinką sudaro oras, aukštatemperatūrį lokalų lauką ribojančios uždangos ir šaltas dirvos paviršius. Terminės piktžolių kontrolės metu augalo aplinkoje sukurta lokali aukštatemperatūrė aplinka kaitina dirvos paviršių. Nagrinėjant aukštatemperatūrės aplinkos poveikį dirvai reikia aptarti šiuos klausimus:

1. Kaip dirvos paviršiaus šilimo procesas priklauso nuo fizikinių dirvos savybių ir termodinaminių aukštatemperatūrės aplinkos parametrų?

2. Kaip dirvos kaitinimas daro įtaką šilumos energijos sąnaudoms terminio piktžolių naikinimo procese ir įrenginių energetiniam ekonomiškumui?

3. Dirvos kaitinimas yra nepageidautinas, bet neišvengiamas technologinis veiksnys, didinantis šilumos energijos sąnaudas terminės piktžolių kontrolės metu. Kaip kinta temperatūra dirvos paviršiaus sluoksnelyje ir kokį ji daro poveikį dygstančiai sėklai ir daigui?

4. Išsiaiškinti terminės piktžolių kontrolės įrenginių panaudojimo galimybes dirvos paviršiuje esantiems piktžolių pradams naikinti po derliaus nuėmimo, pailginant terminio poveikio trukmę.

Atsakymų į šiuos klausimus ieškosime modeliuodami ir skaičiuodami vykstančius procesus, taip pat atlikdami tyrimus.

6.1. Temperatūros lauko modeliavimas viršutiniame dirvos sluoksnyje

Piktžoles naikinantis aukštatemperatūrės aplinkos srautas (vandens garas, karštos dujos), judėdamas pažeme turi sąlytį su šaltesniu dirvos paviršiumi. Dujų srautas šilumą dirvos paviršiui atiduoda konvekcijos būdu, vandens garas – jam kondensuojantis. Dirvos paviršius šyla, temperatūra didėja. Šiltesnis viršutinis dirvos sluoksnis šilumą dėl laidžio atiduoda gilesniems dirvos sluoksniams. Šiuo atveju svarbiausias teorinis klausimas yra temperatūros lauko sklaida viršutiniame dirvos sluoksnyje. Todėl labai svarbu nustatyti temperatūros pasiskirstymą viršutiniame dirvos sluoksnyje priklausomai nuo aukštatemperatūrės aplinkos termodinaminių savybių ir terminio poveikio trukmės.

Aukštatemperatūrė aplinka atiduoda šilumą dirvos paviršiui, todėl temperatūros kitimas viršutiniame dirvos sluoksnyje yra sąlygojamas dirvos šilumos laidžio. Staigus temperatūros kitimas aplinkoje, priklausomai nuo augalus termiškai naikinančios aplinkos šilumos atidavimo koeficiento, dirvos ir termodinaminės aplinkos sąlyčio paviršiuje sąlygoja nepastovų temperatūrinį režimą. Šiuo atveju dirvos viršutinio sluoksnio temperatūrinį lauką išreiškiame Furje diferencialine šilumos laidumo lygtimi:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho}\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right), \qquad (6.1)$$

čia t – taško, apibūdinamo x, y, z koordinatėmis, temperatūra ^{o}C;

τ – laikas s.

Temperatūros pokytis pagal laiką $\partial t/\partial \tau$ bet kuriame dirvos sluoksnio taške yra proporcingas temperatūros laidžio koeficientui $a = \lambda/c\rho$. Šis koeficientas apibūdina kintamuosius šiluminius procesus ir temperatūros kitimo greitį labai mažame dirvos tūryje. Temperatūrinis laukas viršutiniame dirvos sluoksnyje priklauso nuo sluoksnio storio δ, tačiau lemiamą įtaką temperatūros pokyčiams dirvoje turi jos šilumos laidis λ, dirvos savitoji šiluma c, dirvos tankis ρ.

Nagrinėdami 1–6 s (terminės piktžolių kontrolės 0,8–2,0 s, dirvos paviršiuje pabirusių sėklų naikinimo iki 6 s) trukmės terminį povei-

kį viršutiniam dirvos sluoksniui (sukuriančiam temperatūrinį lauką dirvos viršutiniame 1–2 mm sluoksnyje), lygtį (6.1) supaprastiname apsiribodami vienmačiu dirvos temperatūriniu lauku, nes tiriame temperatūros kitimą gilyn į dirvą, todėl:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0 \quad , \quad \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0 \quad . \tag{6.2}$$

Tuomet lygtis (6.1) išreiškiama taip:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho}\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}\right) . \tag{6.3}$$

Diferencialinės šilumos laidžio lygties (6.3) sprendimui būtina nustatyti kraštines sąlygas, t. y. vieną pradinę ir dvi ribines. Tam dirvos sluoksnį imame kaip vienasluoksnę begalinio storio sienelę, per kurią atiduota aukštatemperatūrės aplinkos šiluma perduodama šilumos laidžiu į gilesnius dirvos sluoksnius. Išorinės aplinkos parametrus, t. y. aukštatemperatūrės aplinkos ir jos pokyčius (kuriuos sukelia slenkantis aukštatemperatūrės aplinkos srautas) laikome žinomais. Bet kurio dirvos taško temperatūrą *t(x, τ)* pradiniu laiko momentu *(*$\tau = 0$*)* pažymėję t_{pr}, turime, kad pradinė bet kurio dirvos taško temperatūra lygi temperatūros pasiskirstymo dėsniui pastoviomis sąlygomis. Todėl uždavinio pradinę sąlygą apibūdina lygtis:

$$t(x,0) = t_{pr} = f(x_i) . \tag{6.4}$$

Iš lygties (6.4) matyti, kad pradiniu laiko momentu ($\tau = 0$) dirvos bet kurio storio x_i viršutinio dirvos sluoksnio temperatūra nepriklauso nuo laiko.

Dirvos paviršiaus sąlyčio su aukštatemperatūre aplinka taškuose (kai $\tau \neq 0$) turime pirmąją ribinę sąlygą, kuri nusakoma lygtimi:

$$\frac{\partial t(0,\tau)}{\partial x} = -\frac{\alpha}{\lambda}\left[t_g - t(0,\tau)\right] . \tag{6.5}$$

(6.5) lygtis nusako temperatūros kitimą dirvos paviršiuje, turinčiame sąlytį su aplinka, kai jį veikia aukštatemperatūrė vandens garo aplinka, kurios temperatūra t_g arba karštos dujos, kurių temperatūra t_d.

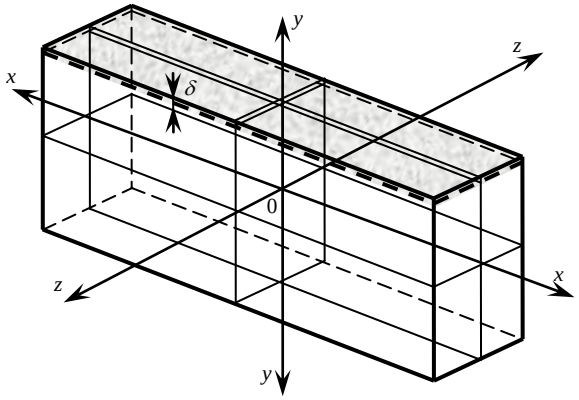
Šioje lygtyje vidutinis šilumos atidavimo koeficientas drėgnajam vandens garui α yra 50000–100000 W/(m^2·K) ribose. Aukštatemperatūrės aplinkos dujoms vidutinis šilumos atidavimo koeficientas α yra 25–30 W/(m^2·K) ribose.

Nagrinėjamojo kintamojo temperatūrinio režimo viršutiniame dirvos sluoksnyje atveju būtina žinoti, kaip ir po kurio laiko pasikeičia tam tikrame dirvos gylyje jos sluoksnio temperatūra, kuri yra laiko τ funkcija. Ši temperatūra yra sąlygojama dirvos termoizoliacinių savybių. Darome prielaidą, kad begalinio storio dirvos sluoksnyje ji, nepriklausomai nuo aplinkos temperatūros pokyčių ir laiko, išlieka pastovi. Todėl antrąją ribinę sąlygą užrašome begalinio storio dirvos sluoksniui:

$$t(\infty,\tau) = f_1(\delta_i) = const \quad \text{arba} \quad \frac{\partial t(\infty,\tau)}{\partial \delta} = 0. \tag{6.6}$$

Šilumos laidžio diferencialinei lygčiai užrašyti ir temperatūriniam laukui viršutiniame dirvos sluoksnyje nustatyti remtasi baigtinių skirtumų metodu. Modeliuojant proceso šilumos laidžio diferencialinė lygtis buvo keičiama baigtinių skirtumų lygtimi.

Atsižvelgdami į aukščiau aptartas matematinio terminio modelio prielaidas dirvoje išskiriame tam tikrą erdvinį elementą (6.1 pav.).



6.1 pav. Dirvos erdvinio elemento schema

Trumpalaikis drėgnojo vandens garo poveikis dirvos temperatūriniam laukui pasireiškia *y* kryptimi paviršiniame dirvos sluoksnyje, gylyje δ. Terminio piktžolių naikinimo įrenginys juda garu veikiama *x*

kryptimi. Bendru atveju temperatūros pokyčiai dirvoje pasireikš *xy* plokštumoje. Tuomet viduriniam sluoksniui:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0 \quad . \tag{6.7}$$

Tokiu atveju taikant baigtinių skirtumų metodą, dirvos pjūvio plokštumą turėtume padengti stačiakampiu tinklu ir šio tinklo mazginiam taškui ($t_{i,j}$) priskirti gardelę (6.1 pav.). Laiko intervalo $\Delta\tau$ numerį žymime *n*.

Pagal baigtinių skirtumų metodo dėsningumus interpretuojant (6.3) šilumos laidžio lygtį kiekvienai gardelei būtų sudaroma šilumos balanso lygtis:

$$\lambda \frac{t_{i,j}^{n+1} - t_{i,j}^{n}}{\Delta\tau} S_{i,j} = c\rho \left(\frac{t_{i+1,j}^{n+1} - t_{i,j}^{n+1}}{\Delta x_i} - \frac{t_{i,j}^{n+1} - t_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x_{i-1}} \right) \frac{\Delta y_j + \Delta y_{j-1}}{2} +$$

$$+ c\rho \left(\frac{t_{i,j+1}^{n+1} - t_{i,j}^{n+1}}{\Delta y_i} - \frac{t_{i,j}^{n+1} - t_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y_{j-1}} \right) \frac{\Delta x_i + \Delta x_{i-1}}{2} \quad . \tag{6.8}$$

Jeigu įvertinsime tai, kad temperatūros pokyčiai y kryptimi tam tikrais vienodais laiko intervalais $\Delta\tau$ viršutinio dirvos sluoksnio storyje δ (pokyčiai Δy) yra apie 50 kartų mažesni, nei per tą patį laiko intervalą pokyčiai x kryptimi Δx, turėsime vienmatį temperatūrinį lauką, aprašomą (6.3) lygtimi, kurioje *x* dydžio vietoje turime viso sluoksnio (storio δ) pokyčius. Šios lygties sprendimui taikome baigtinių skirtumų metodą.

Pagal baigtinių skirtumų metodo dėsningumus interpretuojant (6.8) lygtį kiekvienam dirvos pjūvio plokštumos taškui sudaroma šilumos balanso lygtis:

$$\frac{t_i^{n+1} - t_i^{n}}{\Delta\tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{t_{i+1}^{n+1} - t_i^{n+1}}{\Delta\delta_i} - \frac{t_i^{n+1} - t_{i-1}^{n+1}}{\Delta\delta_{i-1}} \right). \tag{6.9}$$

Lygtis (6.9) sprendžiama skaitmeniniu būdu taikant iteracijų metodą visuose taškuose, kad būtų išlaikytos dirvos paviršiaus sąlyčio su aplinka taško ir dirvos vidinio sluoksnio ribinės sąlygos, taip pat būtų tenkinama šiluminės energijos tvarumo lygtis. Kiekviename taške iteracija *s* tęsiama tol, kol patenkinama sąlyga: $\max_{i,j}\{|t_{i,j}^{n+1,s+1} - t_{i,j}^{n+1,s}|\} < \Delta_t$.

Pažymėtina, kad nagrinėjamuoju atveju temperatūros t pokytis Δt paskutiniame iteracijų cikle buvo 0,01 ^{o}C. Skaičiavimams buvo pasirinkti tokie intervalai: $\Delta\tau = 1$ s, $\Delta\delta_i = 0{,}5$ mm.

Atlikus skaičiavimus visuose dirvos pjūvio plokštumos mazguose buvo gautos temperatūros tam tikrais karšto oro ir vandens garo poveikio laiko momentais, kartu nustatytas temperatūrinio lauko pokytis dirvos sluoksnyje.

6.2. Terminio piktžolių naikinimo karštomis dujomis poveikis dirvai

Terminio piktžolių naikinimo metu aukštatemperatūrė aplinka kaitina ne tik termiškai naikinamus augalus, bet ir dirvos paviršių. Todėl tenka kalbėti ne tik apie piktžolių, esančių dirvos paviršiuje, terminį sunaikinimą, bet ir apie dygstančių žemės ūkio augalų sėklų bei daigų, esančių viršutiniame dirvos sluoksnyje, terminio sunaikinimo galimybes. Duomenų apie viršutinio dirvos sluoksnio šilimą ir jo temperatūrą, naudojant terminio piktžolių naikinimo karštomis dujomis technologiją, literatūros šaltiniuose nesutikome.

Nagrinėdami terminio piktžolių naikinimo proceso karštomis dujomis poveikį dirvai, sieksime išsiaiškinti viršutinio dirvos sluoksnio šilimo procesą. Šio sluoksnio temperatūros tyrimai leis įvertinti dygstančių žemės ūkio augalų sėklų bei daigų, esančių viršutiniame dirvos sluoksnyje, terminio sunaikinimo galimybes.

Temperatūros kitimas viršutiniuose dirvos sluoksniuose nustatytas aukščiau aprašyta skaitinio modeliavimo metodika, Furje lygtį sprendžiant pagal baigtinių skirtumų metodo dėsningumus. Tiriamas viršutinio dirvos sluoksnio šilimas nekintamas, todėl vykstant sudėtingiems šilumos laidumo procesams priklausomybės tarp fizikinių dydžių nustatytos matematinės fizikos metodais. Kadangi pasirinktas labai mažas tūris ir laikotarpis be galo mažas, tai į kai kurių fizikinių dydžių pokyčius nuo temperatūros neatsižvelgta.

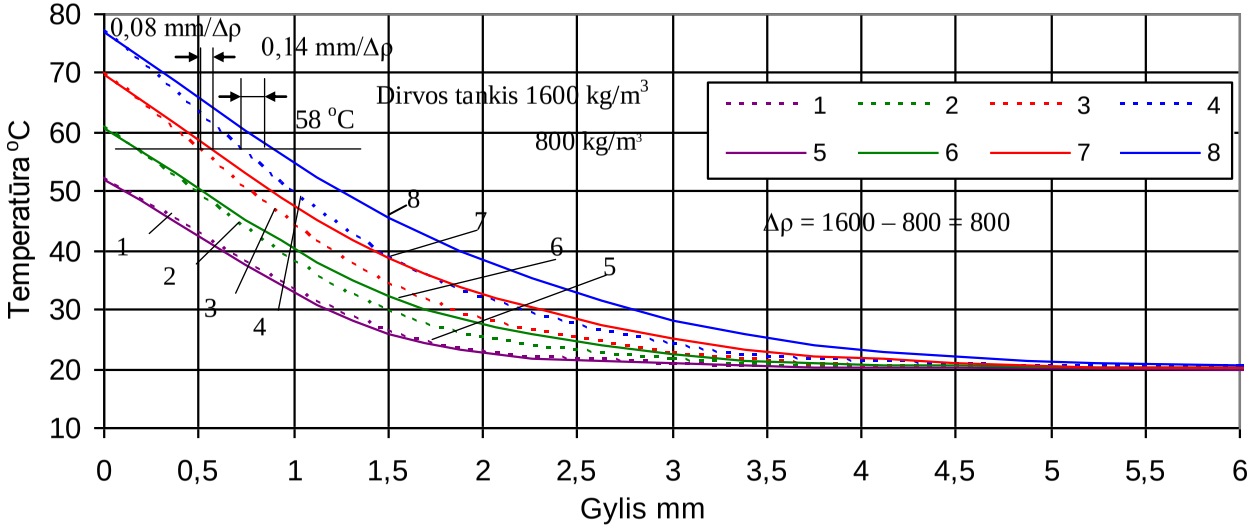
Karštos dujos, judėdamos pažeme ir liesdamosi su šaltesniu dirvos paviršiumi, jį šildo. Šiltesnis viršutinis dirvos sluoksnis šilumą laidumo būdu atiduoda gilesniems dirvos sluoksniams. Šiuo atveju svarbiausias klausimas yra temperatūros lauko sklaida viršutiniame dirvos sluoksnyje.

Skaičiavimams pasirinkome tokius dirvos fizikinius parametrus: c = 0,84 kJ/(kg·K), ρ = 800 ir 1600 kg/m^3, λ = 0,5 W/(m·K), t_{pr} = 20 ^{o}C. Šilumos atidavimo koeficiento reikšmė – α = 25 W/(m^2·K). Parametrų skirtingas reikšmes pasirinkome siekdami išsiaiškinti dirvos temperatūros kitimo priklausomybę nuo dirvos tankio ρ, kai terminio poveikio trukmė 3–6 s.

Atlikus skaičiavimus visuose dirvos pjūvio plokštumos mazguose naudojant viršutinio dirvos sluoksnio temperatūrinio režimo modeliavimo metodiką, gautos teorinės temperatūros tam tikros karšto oro poveikio trukmės atvejais. Kartu nustatytas teorinis temperatūrinio lauko kitimas dirvos sluoksniuose, esant skirtingiems dirvos tankiams.

Viršutinio dirvos sluoksnio tankis priklauso nuo jos supurenimo ir dirvos savybių. Didėjant dirvos tankiui, kaip ir visų kietųjų kūnų, jos šilumos laidžio koeficientas turi didėti. Tačiau didėjant dirvos tankiui, didėja ir dirvos kaitinamojo paviršiaus sluoksnio masė, kuriai šildyti reikia daugiau šilumos. Todėl siekdami išsiaiškinti viršutinio dirvos sluoksnio tankio įtaką šio sluoksnio temperatūrai, pateikiame gautą viršutinio dirvos sluoksnio temperatūros kitimo teorinę priklausomybę nuo tankio ir gylio (6.2 pav.). Mus domina tik trumpalaikis periodas (1–6 s), per kurį tiriamajame viršutiniame dirvos sluoksnyje bus pasiekta didžiausia 58 ^{o}C temperatūra, kuri augalo audinių ląsteles jau veikia naikinančiai.

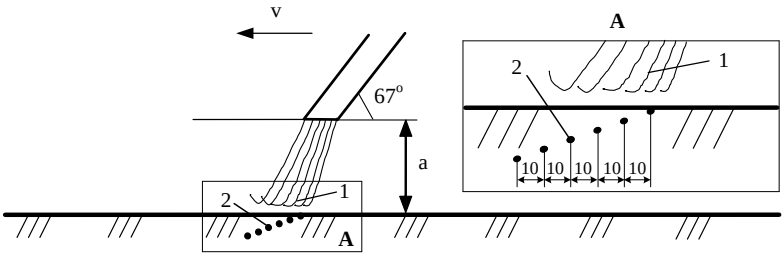
Viršutinio dirvos sluoksnio, kaitinamo karštomis dujomis, temperatūros laukų modeliavimo rezultatų (6.2 pav.) tyrimas rodo, kad esant vienodam dirvos šilumos laidumo koeficientui λ = 0,50 W/(m^2·K) viršutinio dirvos sluoksnio mažesnis tankis didina temperatūros skirtumus. Tai reiškia, kad 58 ^{o}C temperatūra pasiekiama plonesniame dirvos paviršiaus sluoksnyje. Matyti, kad esant didesniam dirvos tankiui piktžolių naikinimo karštomis dujomis metu tokiame pat dirvos gylyje pasiekiamos mažesnės temperatūros (punktyrinių ir ištisinių linijų skirtumus žr. 6.2 pav.), negu mažesnio tankio dirvoje. Šis temperatūrų skirtumas tiesiogiai priklauso nuo poveikio karštomis dujomis trukmės. Kai terminis poveikis trunka 3 s, dirva neįšyla iki ribinės 58 ^{o}C temperatūros ir dirvos tankio įtaka temperatūros pasiskirstymui yra neženkli. Akivaizdūs temperatūros pasiskirstymo gylyje nesutapimai skirtingo tankio dirvose išryškėja, kai terminio poveikio trukmė yra 5–6 s. Kai dirvos tankis yra atitinkamai 800 ir 1600 kg/m^3, pastebimas 4,5–6,5 ^{o}C skirtumas 1,5–3 mm gylyje.



6.2 pav. Temperatūros kitimo viršutiniame dirvos sluoksnyje teorinė priklausomybė nuo dirvos tankio ir gylio naudojant karštų dujų technologiją: 1, 2, 3 ir 4 dirvos temperatūra, kai terminio poveikio trukmė atitinkamai 3, 4, 5 ir 6 s (dirvos tankis 1600 kg/m^3); 5, 6, 7 ir 8 dirvos temperatūra, kai terminio poveikio trukmė atitinkamai 3, 4, 5 ir 6 s (dirvos tankis 800 kg/m^3)

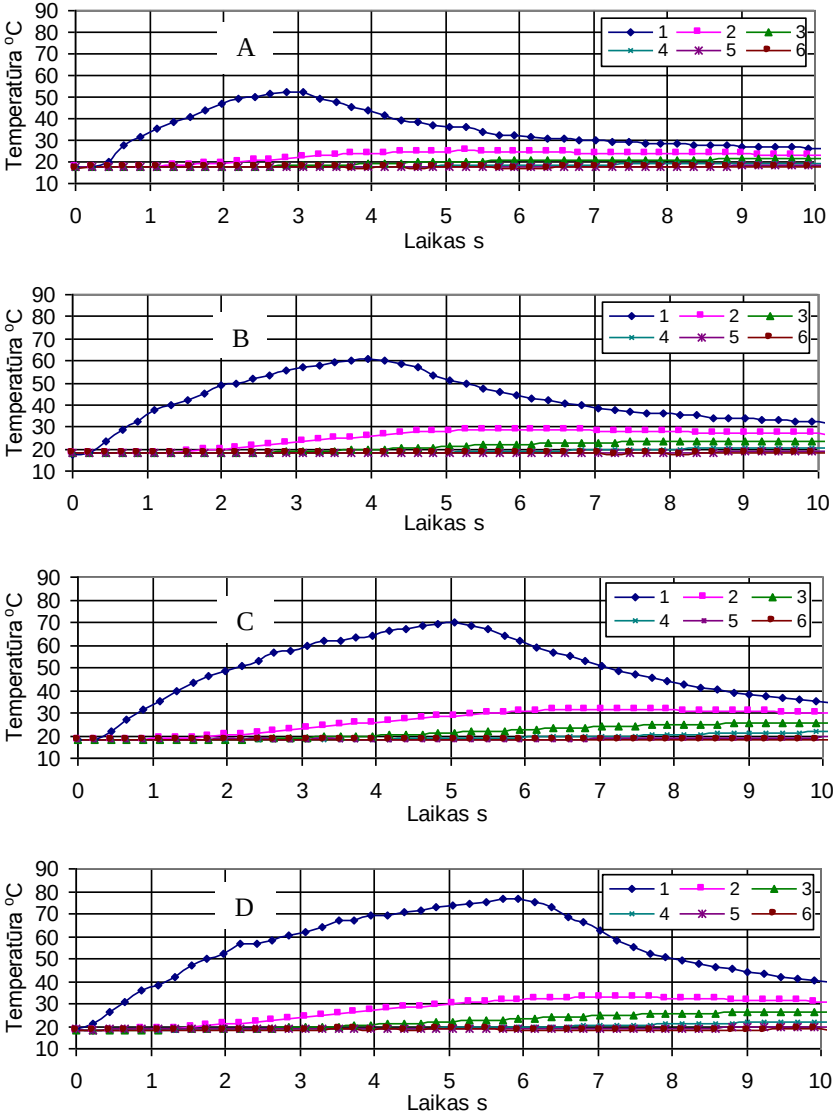
Esant minėtiems dirvos tankiams ribinė 58 ^{o}C temperatūra pasiekiama atitinkamai 0,54 ir 0,46 mm (terminio poveikio trukmė 5 s) bei 0,85 ir 0,71 mm gylyje (terminio poveikio trukmė 6 s). Tai yra, dirvos tankiui sumažėjus 100 kg/m^3, viršutiniame dirvos sluoksnyje 58 ^{o}C temperatūros laukas suplonėja 0,01 mm (terminio poveikio trukmė 5 s) ir 0,02 mm (terminio poveikio trukmė 6 s). Matyti, kad didesnė terminio poveikio skvarba yra mažesnio tankio dirvoje.

*Dirvos paviršiaus šilimo eksperimentiniai tyrimai***.** Laboratoriniai bandymai buvo atliekami dirvos paviršių kaitinant judančiu karšto oro srautu, visiškai atitinkančiu realias piktžolių terminės kontrolės įrenginio darbo sąlygas. Karšto oro srauto terminis poveikis viršutiniam dirvos sluoksniui tirtas pasirinkus tikslią terminio poveikio trukmę: 3, 4, 5 ir 6 sekundes. Temperatūros jutikliai buvo išdėstyti 0; 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 ir 7,5 mm dirvos gylyje 1 cm atstumu vienas nuo kito. Karšto oro aukštatemperatūrio srauto terminio poveikio viršutiniam dirvos sluoksniui tyrimų ir temperatūros matavimų schema pateikta 6.3 paveiksle.



6.3 pav. Aukštatemperatūrio oro srauto poveikio viršutiniam dirvos sluoksniui tyrimų schema (matmenys, mm): *a* – karšto oro išleidimo aukštis (*a* = 3 cm); 1 – karšto oro (300 ± 3 ºC) srautas; 2 – temperatūros jutikliai dirvos temperatūrai matuoti, atitinkamai 0,0; 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 ir 7,5 mm gylyje; v – skleidiklio judėjimo kryptis; A – temperatūros jutiklių išdėstymo dirvoje schema

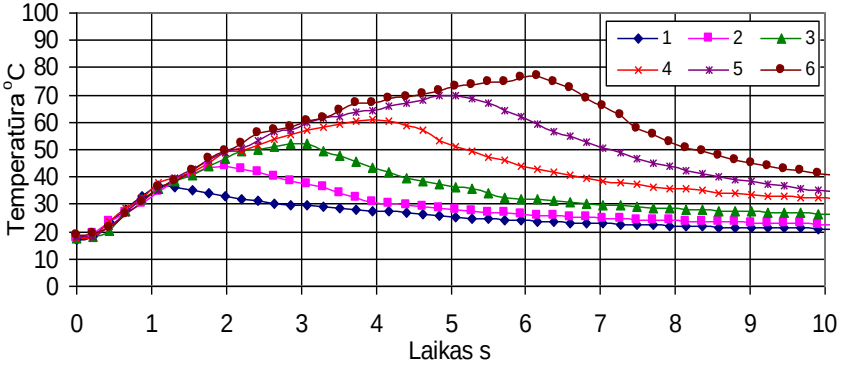
Dirvos paviršiaus šilimo eksperimentiniai tyrimai parodė, kad priklausomai nuo terminio poveikio trukmės didesnis temperatūros kitimas pastebimas tik dirvos paviršiuje. Esant 6 sekundžių trukmės poveikiui, dirvos paviršius įkaista iki 76,9 ºC. Duomenys, pateikti 6.4 pav. rodo, kad dirvos paviršiaus šilimo procesas piktžolių terminio naikinimo metu naudojant karštų dujų technologiją, priklausomai nuo terminio poveikio trukmės, kinta dėsningai.



6.4 pav. Temperatūros kitimas viršutiniame dirvos sluoksnyje, kaitinant dirvą karštomis (300 ± 3 ºC) dujomis: poveikio trukmė: A – 3 s; B – 4 s; C – 5 s ir D – 6 s. 1, 2, 3, 4, 5, 6 – dirvos temperatūra atitinkamai 0,0; 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 ir 7,5 mm gylyje

6.1 lentelė. Temperatūros kitimas viršutiniame dirvos sluoksnyje termiškai naikinant piktžoles karštomis dujomis

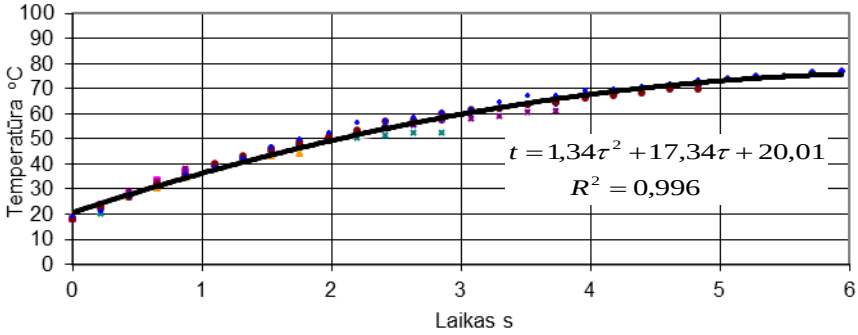
Dirvos gylis mm	Terminio poveikio trukmė s							
	3	4	5	6	3	4	5	6
	didžiausia dirvos temperatūra, ($t \pm S_t$) °C				58 °C temperatūros poveikio trukmė s			
0,0	52,1 ± 2,3	60,8 ± 2,6	69,7 ± 2,8	76,9 ± 3,0	–	1,3	3,1	4,4
1,5	25,1 ± 2,2	28,6 ± 2,2	31,5 ± 2,3	33,0 ± 2,3	–	–	–	–
3,0	21,2 ± 2,0	23,7 ± 2,1	25,6 ± 2,2	26,4 ± 2,2	–	–	–	–
4,5	19,9 ± 2,0	21,7 ± 2,0	23,0 ± 2,1	23,6 ± 2,1	–	–	–	–
6,0	19,2 ± 1,9	20,5 ± 2,0	21,6 ± 2,0	22,0 ± 2,0	–	–	–	–
7,5	18,8 ± 1,9	19,9 ± 1,9	20,7 ± 1,9	21,2 ± 2,0	–	–	–	–



6.5 pav. Temperatūros kitimas dirvos paviršiuje, priklausomai nuo karšto oro poveikio (300 ± 3 ºC) į dirvą trukmės: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – dirvos paviršiaus temperatūra, kai karšto oro poveikis atitinkamai 1, 2, 3, 4, 5 ir 6 s

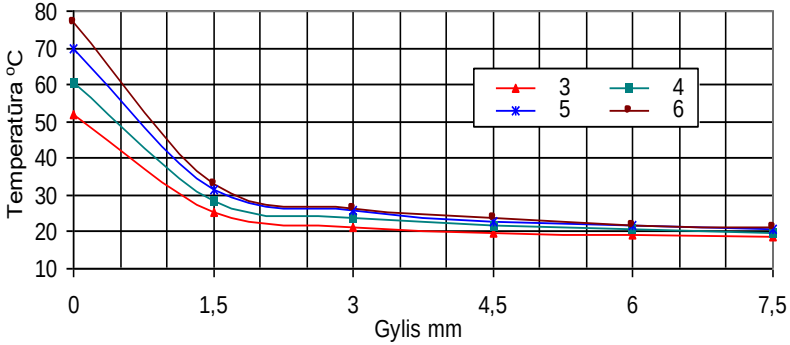
Didžiausios temperatūros kitimas viršutiniame dirvos sluoksnyje ir 58 °C temperatūros jame poveikio trukmės kitimas naikinant piktžoles karštomis dujomis pateiktas 6.1 lentelėje.

Duomenys, pateikti 6.5 pav., rodo, kad dirvos paviršiaus šilimo procesas terminio piktžolių naikinimo metu naudojant karštų dujų technologiją, priklausomai nuo terminio poveikio trukmės kinta dėsningai. Šis dirvos paviršiaus šilimo proceso dėsningumas terminio piktžolių naikinimo metu naudojant karštų dujų technologiją pavaizduotas 6.6 paveiksle.



6.6 pav. Dirvos paviršiaus šilimo procesas piktžolių terminio naikinimo metu naudojant karštų dujų technologiją

Didžiausia dirvos paviršiaus temperatūra pasiekiama kaitinimo pabaigoje. Temperatūros kitimo gilesniuose dirvos sluoksniuose tyrimai rodo, kad ji kinta taip pat dėsningai, bet nežymiai (6.7 pav.), todėl ją tyrinėti nėra prasmės.



6.7 pav. Temperatūros kitimas skirtinguose viršutinio dirvos sluoksnio gyliuose: 3, 4, 5, 6 – dirvos paviršiaus kaitinimo oro srautu (300 ± 3 ºC) trukmė atitinkamai 3, 4, 5 ir 6 s

Karštomis dujomis kaitinamo viršutinio dirvos sluoksnio temperatūros laukų modeliavimas ir eksperimentinių tyrimų rezultatai leidžia teigti, kad esant 3–6 s terminio poveikio trukmei 1 mm gylyje nepasiekiama ribinė augalo audinių ląsteles ardanti 58 ^{o}C temperatūra. Todėl šiuo atveju terminio piktžolių naikinimo metu naudojant karštų dujų technologiją žemės ūkio augalų sėklos ir dirvoje dygstantys daigai dėl terminio šios technologijos poveikio dirvoje nebus sunaikinami.

Aukštatemperatūrė dujų aplinka, tiekdama šilumą dirvai, ją džiovina. Dirvoje esanti drėgmė garuoja ir neleidžia greitai įkaisti viršutiniam jos sluoksniui. Dirvos tankis daro mažą įtaką temperatūros lauko plitimui.

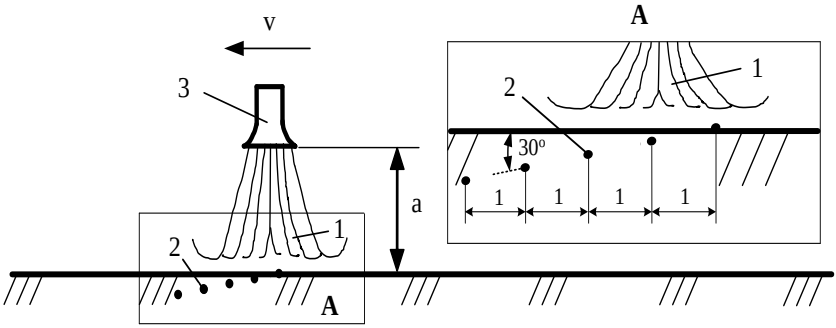
6.3. Terminio piktžolių naikinimo drėgnuoju vandens garu poveikis dirvai

Drėgnasis vandens garas yra ekologiška augalą naikinanti aukštatemperatūrė aplinka, galinti visiškai pakeisti herbicidus, naudojamus piktžolėms naikinti. Naudojant terminį piktžolių naikinimą drėgnuoju vandens garu, augalo aplinkoje sukuriamos ypatingos sąlygos. Darbinės aplinkos temperatūra, lyginant su dujine aplinka yra neaukšta – 100 ^{o}C. Garo kondensacijos proceso metu šilumos atidavimas yra labai intensyvus. Garo kondensacijos proceso šilumos atidavimo koeficientas apie 2000 kartų didesnis nei dujų. Todėl šiai grupei priklausantys drėgnojo vandens garo įrenginiai yra labai veiksmingi. Vandens garo kondensacija vyksta augalų ir dirvos paviršiuose. Be to, aukštatemperatūrė aplinka, prisotinta vandens garo, neleidžia augalui fiziologiškai pasipriešinti terminiam poveikiui, kadangi augalai negali šilumos pertekliaus panaudoti transpiracijai. Piktžolių terminio naikinimo proceso trukmė naudojant drėgnojo vandens garo aplinką – 1–2 s.

Piktžolių terminės kontrolės proceso metu aukštatemperatūrė aplinka kaitina ne tik augalus, bet ir dirvos paviršių. Literatūros duomenų apie dirvos paviršiaus šilimo procesą drėgnojo garo aplinkoje neradome. Taip pat nėra duomenų ir apie piktžolių, esančių dirvos paviršiuje, terminį sunaikinimą, bei dygstančių sėklų ir daigų, esančių viršutiniame dirvos sluoksnyje, terminio nesunaikinimo galimybes. Tai paaiškinama tuo, kad piktžolių terminė kontrolė vandens garu mažai tyrinėta.

Nagrinėdami piktžolių terminį naikinimo procesą naudojant drėgnojo vandens garo technologiją, sieksime išsiaiškinti viršutinio dirvos sluoksnio šilimo procesą, įvertinti dygstančių piktžolių ir žemės ūkio augalų sėklų ir daigų, esančių viršutiniame dirvos sluoksnyje, terminio sunaikinimo galimybes.

Panaudota aukščiau aprašyta skaitinio modeliavimo metodika. Laboratoriniai bandymai buvo atliekami dirvos paviršių kaitinant judančiu drėgnojo vandens garo srautu. Drėgnojo vandens garo srauto terminis poveikis viršutiniam dirvos sluoksniui tirtas naudojant skirtingą terminio poveikio trukmę: 1, 2 ir 3 sekundes. Temperatūros jutikliai buvo išdėstyti 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 ir 2,0 mm dirvos gylyje. Drėgnojo vandens garo aukštatemperatūrio srauto terminio poveikio viršutiniam dirvos sluoksniui tyrimų ir temperatūros matavimų schema pateikta 6.8 paveiksle.



6.8 pav. Aukštatemperatūrio drėgnojo vandens garo srauto poveikio viršutiniam dirvos sluoksniui tyrimų schema (matmenys, cm): a – vandens garo išleidimo aukštis (a = 3 cm); 1 – vandens garo srautas; 2 – temperatūros jutikliai dirvos temperatūrai matuoti, atitinkamai 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 ir 2,0 mm gylyje; 3 – vandens garo skleidiklis; v – skleidiklio judėjimo kryptis; A – temperatūros jutiklių išdėstymo dirvoje schema

Viršutinio dirvos sluoksnio terminį režimą tiksliai atspindi matematinis modelis, išreikštas diferencialine lygtimi (6.3) su pradinėmis ir kraštinėmis sąlygomis, kurias apibūdina (6.4), (6.5) ir (6.6) lygtys. Tačiau atliekant šiomis lygtimis išreikšto dirvos sluoksnio modelio skaičiavimus, iškyla fizikinių parametrų pasirinkimo problema. Dauguma jų (λ, ρ, c_p) priklauso nuo dirvos parametrų ir mažai kinta nuo

temperatūros. Be to, pastovaus šilumos atidavimo koeficiento šiam kintamam atvejui nėra. Jam skaičiuoti buvo panaudotos žinomos kintamos šilumos mainų lygtys. Skaičiavimą sunkino ir tai, kad iš skleidiklio ištekėjęs garas liečiasi su nesikondensuojančiu aplinkos oru ir tolstant nuo judančio garo išleidimo skleidiklio, skirto paskleisti garą dirvos paviršiuje, su juo susimaišo nevienodu santykiu. Šis garo kondensacijos su nesikondensuojančių dujų priemaiša reiškinys labai pablogina kondensacijos proceso šilumos atidavimo koeficientą.

Modeliuotas temperatūros kitimas ir jos pasiskirstymas viršutiniame dirvos sluoksnyje yra kintamo šilumos mainų proceso dėl laidžio rezultatas. Kaip žinome, dirvos paviršiuje vyksta kondensacijos procesas, kurio metu garas virsta skysčiu. Kondensacija būna paviršinė, nes drėgnasis vandens garas tiesiogiai liečiasi su šaltu dirvos paviršiumi ir jį drėkina. Susidariusį kondensatą sugeria dirva, todėl kondensato plėvelė dirvos paviršiuje nesusidaro. Skaičiuodami darėme prielaidą, kad dujų priemaišų nėra, garas vienalytis. Esant tokioms sąlygoms garo kondensacijos temperatūra liko pastovi ir lygi sočiojo garo temperatūrai $t_s = 100\ ^{o}\mathrm{C}$, $p = 101325$ Pa.

Vertinant garo kondensacijos procesą dirvos paviršiuje suprantama, kad pradiniu momentu dirvos ir vandens garo temperatūrų skirtumas bus didžiausias. Nusistovėjus temperatūrų režimui, dirvos paviršiaus ir vandens garo aplinkos temperatūros taps artimos ir temperatūrų skirtumai, kartu ir atiduodamas šilumos srautas, labai sumažės. Mus domina tik trumpalaikis periodas (1–2 s), per kurį tiriamajame dirvos sluoksnyje mažiausia temperatūra pasieks 58 ^{o}C ribą. Kadangi piktžolių terminio naikinimo proceso terminis poveikis pakankamai trumpas (1–2 s), tai temperatūros kilimo pabaigoje dar vyks nemažas šio terminio proceso kitimas. Tai reiškia, kad viršutinio dirvos sluoksnio temperatūros kitimo procesas nepriartės prie nuostovaus atvejo, todėl nėra galimybės suprastinti jo sprendimą.

Drėgnasis vandens garas, judėdamas pažeme ir liesdamasis su šaltesniu dirvos paviršiumi, kondensuojasi ir jį šildo. Šiltesnis viršutinis dirvos sluoksnis šilumą laidžiu atiduoda gilesniems dirvos sluoksniams. Šiuo atveju svarbiausias teorinis klausimas yra temperatūros lauko sklaida viršutiniame dirvos sluoksnyje. Todėl labai svarbu nustatyti temperatūros pasiskirstymą šiame sluoksnyje, priklausomai nuo pradinės dirvos temperatūros ir terminio poveikio vandens garu trukmės. Šį

klausimą suskirstysime į du atskirus technologinius klausimus, kurie pagal paskirtį skiriasi savo trukme ir yra nagrinėjami atskirai:

1. Piktžolių terminė kontrolė. Terminio poveikio trukmė iki 2 s.
2. Piktžolių pradų (išbyrėjusių sėklų dirvos paviršiuje) naikinimas po derliaus nuėmimo. Terminio poveikio trukmė iki 6 s.

Dirvos paviršiaus temperatūrą nulems vandens garo temperatūra (kuri yra pastovi ir lygi vandens virimo temperatūrai) ir šilumos atidavimo koeficientas. Suprantama, kad pradiniu trumpu laikotarpiu išsiskyręs kondensatas padidins viršutinio dirvos sluoksnio kaitinimą, kartu ir šilumos atidavimo koeficientą. Todėl pradiniu šilumos mainų momentu šilumos atidavimo koeficientas bus didžiausias ir didesnis už pastovų šilumos mainų proceso koeficientą (pastarasis skaičiavimams gali būti α = 100 000 W/(m^2·K)). Įvertinus garo maišymąsi su aplinkos oru, antro orientacinio šilumos atidavimo koeficiento reikšmė – α = 50000 W/(m^2·K). Skaičiavimams pasirinkome tokius dirvos fizikinius parametrus: c = 0,84 kJ/(kg·K), ρ = 800 ir 1200 kg/m^3 (supurenta dirva), λ = 0,5 W/(m·K), $t_{dirvos\ pavirš.}$ = 15, 20 ir 25 °C (skirtingas parametrų reikšmes pasirinkome siekdami išsiaiškinti dirvos temperatūros kitimo priklausomybę nuo dirvos paviršiaus temperatūros ir dirvos tankio ρ, kai terminio poveikio trukmė 1 s (6.2 lentelė), 2 s (6.3 lentelė).

6.2 lentelė. Temperatūros pasiskirstymas viršutiniame dirvos sluoksnyje, priklausomai nuo pradinės dirvos paviršiaus temperatūros ir dirvos tankio. Terminio poveikio trukmė – 1 s

Pradinė dirvos temperatūra °C	Dirvos tankis kg/m^3	Viršutinio dirvos sluoksnio temperatūra ($x \pm S_x$) °C				
		dirvos gylis mm				
		0,0	0,5	1,0	1,5	2
15	800	94,7 ± 2,2	65,4 ± 3,7	44,5 ± 2,7	31,0 ± 2,1	23,1 ± 1,6
	1200	94,7 ± 2,2	60,1 ± 3,5	37,8 ± 2,3	25,4 ± 1,7	19,4 ± 1,2
20	800	94,7 ± 2,1	67,1 ± 3,8	47,7 ± 2,8	35,2 ± 2,2	27,9 ± 1,8
	1200	94,7 ± 2,3	62,2 ± 3,6	41,5 ± 2,5	30,0 ± 2,0	24,3 ± 1,7
25	800	94,7 ± 2,1	68,9 ± 3,8	50,9 ± 2,9	39,4 ± 2,4	32,6 ± 2,1
	1200	94,7 ± 2,2	64,3 ± 3,5	45,2 ± 2,6	34,6 ± 2,2	29,3 ± 1,9

Duomenys, pateikti 6.2 ir 6.3 lentelėse, nepaaiškino dirvos šilimo proceso pobūdžio, kuriame bus pasiekta 58 °C temperatūra, jau naikinanti dygstančią sėklą ir jos daigą.

6.3 lentelė. Temperatūros pasiskirstymas viršutiniame dirvos sluoksnyje, priklausomai nuo pradinės dirvos paviršiaus temperatūros ir dirvos tankio. Terminio poveikio trukmė – 2 s

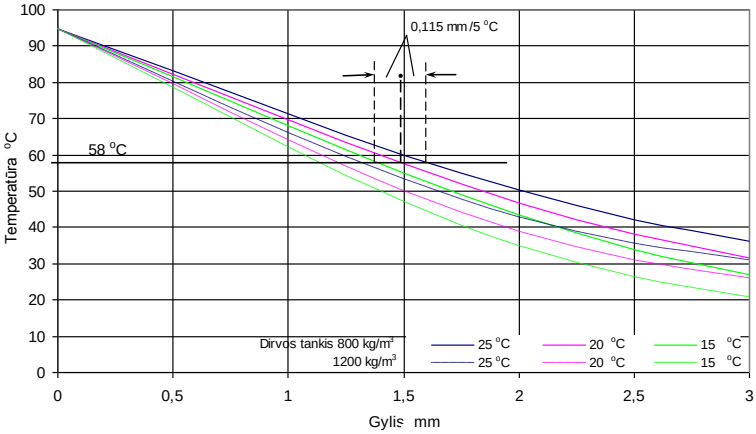
Pradinė dirvos temperatūra ^{o}C	Dirvos tankis kg/m^3	Viršutinio dirvos sluoksnio temperatūra ($x \pm S_x$) ^{o}C				
		dirvos gylis mm				
		0,0	0,5	1,0	1,5	2
15	800	94,7 ± 2,2	77,3 ± 3,9	60,3 ± 3,2	45,6 ± 2,7	34,2 ± 2,3
	1200	94,7 ± 2,1	73,3 ± 3,6	53,3 ± 2,8	37,6 ± 2,5	26,9 ± 1,9
20	800	94,7 ± 2,3	78,3 ± 3,8	62,4 ± 3,3	48,8 ± 2,8	38,2 ± 2,6
	1200	94,7 ± 2,2	74,5 ± 3,6	55,9 ± 2,9	41,4 ± 2,6	31,6 ± 2,2
25	800	94,7 ± 2,1	79,3 ± 3,9	64,5 ± 3,3	51,9 ± 2,8	42,3 ± 2,7
	1200	94,7 ± 2,2	75,8 ± 3,5	58,5 ± 3,0	45,1 ± 2,6	36,1 ± 2,4

Temperatūros kitimas viršutiniame dirvos sluoksnyje, termiškai paveikus 1 s drėgnuoju vandens garu, pateiktas 6.9 pav., o 2 s – 6.10 pav. Kreivių analizė leidžia įvertinti dirvos viršutinio sluoksnio temperatūros kitimo priklausomybę nuo pradinės dirvos temperatūros. Matome, kad dieną padidėjus dirvos paviršiaus temperatūrai 1 ^{o}C, augalus naikinančios 58 ^{o}C dirvos temperatūros laukas viršutiniame dirvos sluoksnyje gilėja 0,023 mm (0,115 mm/5 ^{o}C) naudojant 1 s terminio poveikio trukmę ir 0,014 mm (0,069 mm/5 ^{o}C) naudojant 2 s terminio poveikio trukmę.

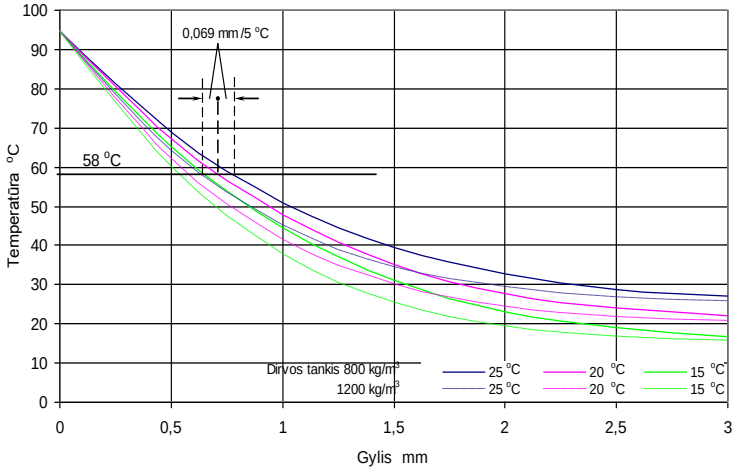
Siekdami išsiaiškinti viršutinio dirvos sluoksnio tankio įtaką temperatūrai, pateikiame šio sluoksnio temperatūros kitimo priklausomybę nuo tankio (6.11 pav.).

Duomenų, pateiktų 6.11 pav., tyrimas rodo, kad esant vienodam šilumos laidžio koeficientui λ = 0,50 W/(m^2·K), viršutinio dirvos sluoksnio tankėjimas didina temperatūros skirtumus. Tai reiškia, kad 58 ^{o}C temperatūros riba pasiekiama plonesniame dirvos sluoksnyje. Dirvos tankiui didėjant 100 kg/m^3, viršutiniame dirvos sluoksnyje 58 ^{o}C temperatūros laukas suplonėja 0,036 mm (prie 1 s terminio poveikio drėgnuoju vandens garu) ir 0,056 mm (prie 2 s terminio poveikio trukmės).

Atliktas viršutinio dirvos sluoksnio, kaitinamo vandens garu, temperatūros laukų modeliavimas leidžia nustatyti pradinės dirvos temperatūros, dirvos tankio ir terminio poveikio trukmės įtaką didesnės kaip 58 ^{o}C temperatūros susidarymui tiriamajame dirvos sluoksnyje.

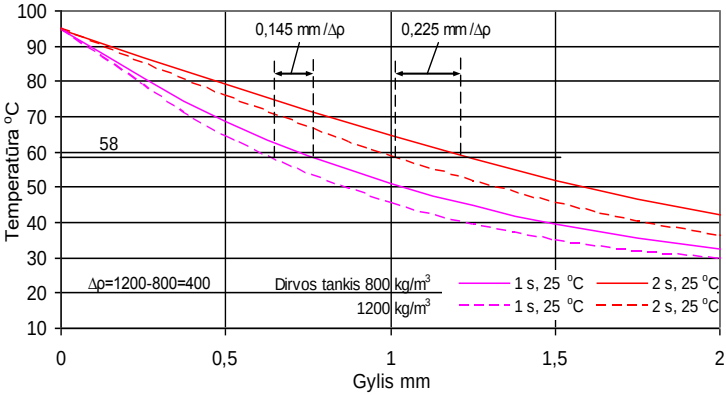


6.9 pav. Viršutinio dirvos sluoksnio temperatūros kitimas termiškai paveikus 1 s drėgnuoju vandens garu



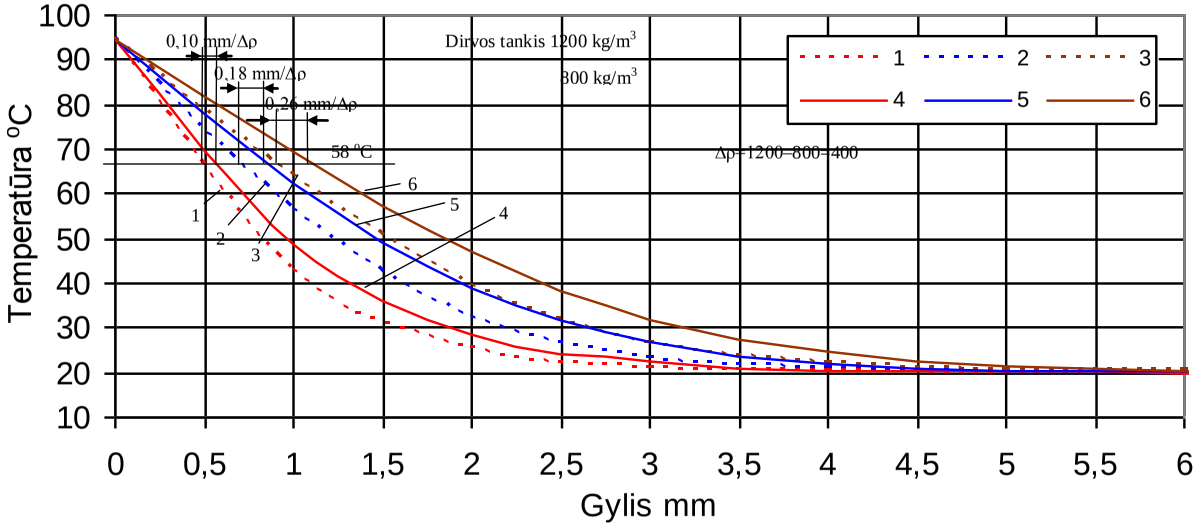
6.10 pav. Viršutinio dirvos sluoksnio temperatūros kitimas termiškai paveikus 2 s drėgnuoju vandens garu

Pagal dirvos paviršinio sluoksnio temperatūrinio režimo modeliavimo visuose dirvos pjūvio plokštumos mazguose metodiką apskaičiuotos teorinės dirvos temperatūros taikant 6 s vandens garo terminio poveikio trukmę. Kartu nustatytas teorinis temperatūrinio lauko kitimas dirvos sluoksniuose, esant skirtingiems dirvos tankiams.



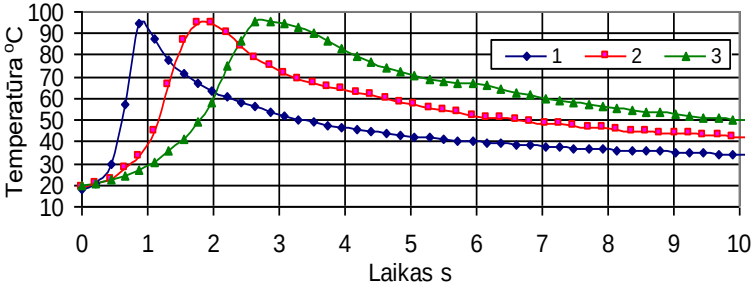
6.11 pav. Viršutinio dirvos sluoksnio temperatūros kitimas priklausomai nuo jos tankio

Siekdami išsiaiškinti dirvos viršutinio sluoksnio tankio įtaką temperatūrai, pateikiame gautą šio sluoksnio kitimo temperatūros teorinę priklausomybę nuo tankio ir gylio (6.12 pav.). Viršutinio dirvos sluoksnio, kaitinamo vandens garu, temperatūros laukų modeliavimo rezultatų (6.12 pav.) tyrimas rodo, kad esant vienodam dirvos šilumos laidžio koeficientui λ = 0,50 W/(m^2·K), viršutinio dirvos sluoksnio mažesnis tankis didina temperatūros skirtumus. Tai reiškia, kad 58 ^{o}C temperatūra pasiekiama plonesniame dirvos sluoksnyje. Matyti, kad naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu ir esant didesniam dirvos tankiui, tokiame pat dirvos gylyje pasiekiama mažesnė temperatūra (žr. punktyrinių ir ištisinių linijų skirtumus 6.12 pav.), negu mažesnio tankio dirvoje. Šis temperatūrų skirtumas tiesiogiai priklauso nuo poveikio vandens garu trukmės. Esant 800 ir 1200 kg/m^3 dirvos tankiams, ribinė 58 ^{o}C temperatūra pasiekiama atitinkamai: 0,76 ir 0,65 mm gylyje (terminio poveikio trukmė – 1 s), 0,94 ir 1,16 mm gylyje (terminio poveikio trukmė – 2 s) bei 1,47 ir 1,22 mm gylyje (terminio poveikio trukmė – 3 s). Tai yra dirvos tankiui padidėjus 100 kg/m^3, viršutiniame dirvos sluoksnyje 58 ^{o}C temperatūros laukas suplonėja 0,025 mm (terminio poveikio trukmė – 1 s), 0,045 mm (terminio poveikio trukmė – 2 s) ir 0,065 mm (terminio poveikio trukmė – 3 s). Matyti, kad didesnė terminio poveikio skvarba yra mažesnio tankio dirvoje. Temperatūros pasiskirstymo gylyje nesutapimai matomi ir skirtingo tankio dirvų gilesniuose sluoksniuose. Esant minėtiems dirvos tankiams, pastebimas 2,3–6,3 ^{o}C skirtumas 1,5–3 mm gylyje.



6.12 pav. Viršutinio dirvos sluoksnio teorinė temperatūros kitimo priklausomybė nuo dirvos tankio ir gylio: 1, 2 ir 3 dirvos temperatūra, kai terminio poveikio trukmė atitinkamai 1, 2 ir 3 s (dirvos tankis – 1200 kg/m^3); 4, 5 ir 6 dirvos temperatūra, kai terminio poveikio trukmė atitinkamai 1, 2 ir 3 s (dirvos tankis – 800 kg/m^3).

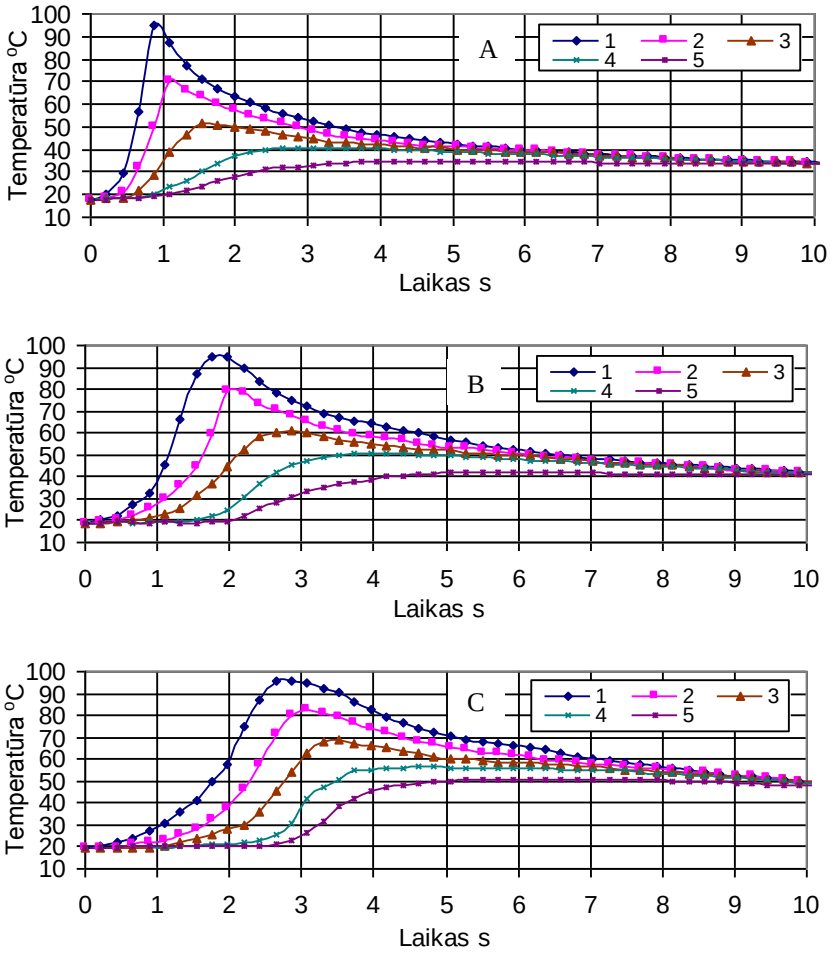
Dirvos paviršiaus šilimo eksperimentiniai tyrimai parodė, kad didžiausia dirvos paviršiaus temperatūra nepriklauso nuo terminio poveikio trukmės. Terminio poveikio trukmė priklauso nuo garo skleidiklio judėjimo greičio. Jam didėjant terminio poveikio trukmė mažėja. Piktžolių terminiam naikinimui naudojant drėgnojo vandens garo technologiją, optimali terminio poveikio trukmė yra 1–3 s. Bandymuose išmatuotos dirvos paviršiaus temperatūros kitimo priklausomybė nuo garo skleidiklio judėjimo greičio pateikta 6.13 pav.



6.13 pav. Dirvos paviršiaus temperatūros kitimas naudojant drėgnojo vandens garo technologiją: 1, 2 ir 3 – dirvos paviršiaus temperatūra, kai terminio poveikio trukmė atitinkamai 1, 2 ir 3 s

Vertindami temperatūros kitimą viršutiniame dirvos sluoksnyje matome, kad ji artima vandens garo temperatūrai ir yra 94,7 – 95,5 °C. Garo temperatūra – 100 °C. Matome, kad didėjant terminio poveikio trukmei, 90 °C temperatūros dirvos paviršiuje išsilaikymo trukmė didėja. Esant 1 s terminio poveikio trukmei, 90 °C temperatūra dirvos paviršiuje išsilaiko 0,2 s, o terminio poveikio trukmei padidėjus iki 3 s, 90 °C temperatūros dirvos paviršiuje išsilaikymas padidėja daugiau nei 5 kartus ir siekia 1,1 s.

Kondensuojantis vandens garui didėja viršutinio dirvos sluoksnio drėgmė ir tankis. Taigi vandens garo kondensatas didina šio dirvos sluoksnio laidį šilumai. Pradiniu kondensacijos momentu viršutinio dirvos sluoksnio kaitimą greitina atiduodama kondensato (t_k = 100 °C) šiluma. Vandens garui kondensuojantis dirvos paviršiuje, viršutiniame dirvos sluoksnyje temperatūra, sąlygojama šilumos laidžio, kinta. Bandymuose išmatuotas temperatūros kitimas paviršinio dirvos sluoksnio gyliuose, esant 1, 2 ir 3 s terminio poveikio drėgnuoju vandens garu trukmei, pateiktas 6.14 pav.



6.14 pav. Viršutinio dirvos sluoksnio temperatūros kitimas kaitinant dirvą drėgnuoju vandens garu: A, B ir C – terminio poveikio trukmė atitinkamai 1, 2 ir 3 s; 1, 2, 3, 4 ir 5 – dirvos temperatūra atitinkamai 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 ir 2,0 mm gylyje

Temperatūros padidėjimas viršutiniame dirvos sluoksnyje akivaizdus. Didžiausia temperatūra (6.14 pav.) dirvos paviršiuje, nepriklausomai nuo terminio poveikio trukmės, yra vienoda. Vykstant šilumos mainams tiriamajame 2 mm dirvos sluoksnyje, jo temperatūra su-

sivienodina praėjus 10 s nuo terminio poveikio vandens garu pradžios. Didžiausios temperatūros kitimas viršutiniame dirvos sluoksnyje ir 58 °C temperatūros jame poveikio trukmės kitimas, naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu, pateiktas 6.4 lentelėje.

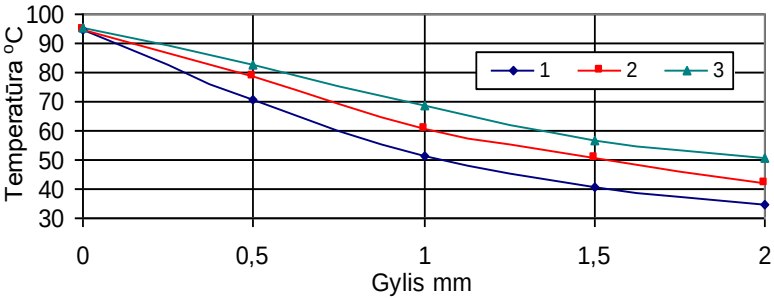
6.4 lentelė. Viršutinio dirvos sluoksnio temperatūros kitimas termiškai naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu

Dirvos gylis mm	Terminio poveikio trukmė s					
	1	2	2	1	2	3
	didžiausia dirvos temperatūra ($t \pm S_t$) °C			58 °C temperatūros poveikio trukmė s		
0,0	94,7 ± 1,5	94,8 ± 1,6	95,5 ± 1,6	1,8	3,5	5,3
0,5	70,6 ± 2,8	78,8 ± 3,1	82,5 ± 3,2	1,1	2,0	3,9
1,0	51,2 ± 2,3	61,0 ± 2,6	68,9 ± 2,8	–	0,6	2,2
1,5	40,9 ± 2,0	50,4 ± 2,3	56,4 ± 2,4	–	–	–
2,0	34,8 ± 1,9	41,8 ± 2,1	50,7 ± 2,3	–	–	–

Pateikti duomenys (6.14 pav. ir 6.4 lentelė) *leidžia paaiškinti, reiškinį, kodėl po terminio dygstančių piktžolių naikinimo vandens garu naujos piktžolės dygsta vėliau.* Pateikti duomenys rodo, kad termiškai naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu sunaikinamos ne tik dirvos paviršiuje esančios, bet ir viršutiniame dirvos sluoksnyje (iki 1,5 mm) dygstančios piktžolės.

Didžiausia temperatūra dirvos paviršiuje pasiekiama kaitinimo pabaigoje. Temperatūros kitimo gilesniuose dirvos sluoksniuose tyrimai rodo, kad temperatūra kinta dėsningai (6.15 pav.).

Viršutinio dirvos sluoksnio šilimo teorinių ir eksperimentinių tyrimų rezultatai leidžia teigti, kad esant 1–3 s drėgnojo vandens garo terminio poveikio trukmei, 1,5 mm gylyje pasiekiama ribinė augalo audinių ląsteles ardanti 58 °C temperatūra. Todėl piktžolių terminio naikinimo metu, naudojant drėgnojo vandens garo technologiją, žemės ūkio augalų sėklos ir dygstantys daigai viršutiniame dirvos sluoksnyje (iki 1,5 mm) yra sunaikinami.



6.15 pav. Temperatūros kitimas skirtinguose viršutinio dirvos sluoksnio gyliuose: 1, 2 ir 3 – dirvos paviršiaus kaitinimo drėgnuoju vandens garu trukmė atitinkamai 1, 2 ir 3 s

Nepriklausomai nuo terminio poveikio trukmės, dirvos paviršiaus temperatūra artima vandens garo temperatūrai ir yra 94,7 – 95,5 °C.

Viršutinio dirvos sluoksnio, kaitinamo drėgnuoju vandens garu, temperatūros laukų modeliavimas leidžia nustatyti dirvos tankio ir terminio poveikio trukmės įtaką didesnės nei 58 °C temperatūros susidarymui tiriamajame dirvos sluoksnyje.

6.4. Šilumos sąnaudos viršutiniam dirvos sluoksniui šildyti

Naudojant drėgnojo vandens garo įrenginius piktžolėms naikinti viršutinio dirvos sluoksnio temperatūros padidėjimas akivaizdus. Patirtis rodo, kad geriausia naikinti dygstančias piktžoles 1–3 lapelių augimo tarpsnyje (3.6, 3.7 ir 3.8 pav.). Deja, terminis piktžolių naikinimas susijęs su dirvos paviršiaus kaitinimu. Todėl dirvos paviršiaus kaitinimas terminio piktžolių naikinimo metu yra šio technologinio proceso sudedamoji dalis ir priskiriamas prie neišvengiamų šilumos nuostolių, be kurių šis procesas yra neįmanomas. Ūgtelėjusių piktžolių naikinimas yra pavėluotas (2.8, 3.2 ir 3.3 pav.), mažėja įrenginio našumas, nes piktžolėms sunaikinti reikia ilginti terminio poveikio trukmę, didėja šilumos energijos sąnaudos augalo audiniams ir viršutiniam dirvos sluoksniui šildyti.

Termiškai naikinant piktžoles šilumos sąnaudos viršutiniam dirvos sluoksniui šildyti (q_d kJ/m^2) skaičiuojamos 1 m^2 dirvos ploto. Siekdami nustatyti šilumos sąnaudas viršutiniam dirvos sluoksniui kaitinti skaičiuodami laikysime, kad dirvos paviršių, kaip ir augalus, garas veikia 1, 2 ir 3 s. Dirvos paviršius nelygus. Todėl vandens garo aplinkos sąlyčio plotas didesnis negu 1 m^2. Išmatavę grumstuoto paviršiaus plotą nustatėme, kad jis 25–35 % didesnis už lygaus paviršiaus plotą. Todėl laikome, kad dirvos paviršiaus plotas, turintis sąlytį su garu, dėl nelygumų ir grumstų bus 30 % didesnis negu uždengtas skleidiklių gaubtais (ploto padidėjimo koeficientas $f = 1{,}3$). Tuomet šilumos nuostolius dėl dirvos paviršiaus šildymo rasime iš lygties:

$$q_d = m_d c_d \Delta t = V \rho c_d \Delta t = F \delta \rho c_d \Delta t, \qquad (6.10)$$

čia m_d – įkaitinta dirvos masė terminės piktžolių kontrolės metu kg/m^2;

ρ – dirvos tankis kg/m^3, ($\rho = 1200$ kg/m^3);

Δt – temperatūros padidėjimas dirvos sluoksnyje °C ($\Delta t = 90$ °C);

c_d – dirvos savitoji šiluma kJ/(kg·K), ($c = 0{,}84$ kJ/(kg·K));

Piktžolių terminio naikinimo procesas turi būti vertinamas ekonominiu ir energetiniu aspektais. Kaitinamo dirvos sluoksnio storis ir jo vidutinė temperatūra apskaičiuojama naudojantis aukščiau pateiktais tyrimų duomenimis. Netiesialinijinis dirvos temperatūros didėjimas byloja, kad daugiausia garo dirvos paviršiui šildyti sunaudojama pradiniu terminio piktžolių naikinimo proceso momentu. Buvo paskaičiuota tiriamojo 2 mm dirvos sluoksnio vidutinė temperatūra. Kaip matome iš 6.5 lentelėje pateiktų duomenų, po 1 sekundės terminio poveikio drėgnuoju vandens garu, 2 mm dirvos sluoksnio vidutinė temperatūra pakyla iki 43,8 °C, atitinkamai po 2 s – iki 52,1 °C, o po 3 s – iki 60,1 °C. Remdamiesi 6.5 lentelės duomenimis randame ir šio sluoksnio temperatūros pokytį Δt:

po 1 s terminio poveikio $\Delta t_1 = \sum n/4_{(1s)} - \sum n/n_{(prad.1s)} = 26{,}0$ °C;

po 2 s terminio poveikio $\Delta t_2 = \sum n/4_{(2s)} - \sum n/n_{(prad.2s)} = 33{,}4$ °C;

po 3 s terminio poveikio $\Delta t_3 = \sum n/4_{(3s)} - \sum n/n_{(prad.3s)} = 40{,}4$ °C.

Iš pateiktų duomenų matome, kad piktžoles naikinant drėgnuoju vandens garu, didėjant terminio poveikio trukmei dirvos šilimo greitis

mažėja (per pirmąją sekundę dirvos 2 mm sluoksnio temperatūra padidėja $\Delta t_1 = 26{,}0$ °C, per antrąją – $\Delta t_2 - \Delta t_1 = 7{,}4$ °C, per trečiąją – $\Delta t_3 - \Delta t_2 = 7{,}0$ °C.

6.5 lentelė. Viršutinio dirvos sluoksnio vidutinių temperatūrų kitimo dinamika termiškai naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu

Gylis mm	Temperatūra ($x \pm S_x$) °C								
	terminio poveikio trukmė s								
				2			3		
	didžiausia	*n* sluoksn. vidutinė	∑*n*/4	didžiausia	*n* sluoksn. vidutinė	∑*n*/4	didžiausia	*n* sluoksn. vidutinė	∑*n*/4
0,0	92,6±1,5			94,7 ± 1,6			95,4±1,6		
		77,8±3,1			86,8±3,3			88,9±3,3	
0,5	62,9±2,5			78,8±3,0			82,3±3,2		
		48,7±2,2			62,2±2,5			71,0±2,8	
1,0	34,4±1,9		43,8	45,6±2,1		52,1	59,6±2,4		60,1
		28,0±1,5			35,5±1,9			49,0±2,2	
1,5	21,6±1,3			25,4±1,3			38,3±1,9		
		20,7±1,1			23,8±1,3			31,6±1,7	
2,0	19,7±1,0			20,1±1,1			24,9±1,3		

6.6 lentelė. Šilumos srauto dirvos kryptimi pasiskirstymas %, termiškai naikinant dygstančių augalų antžeminę dalį

Piktžolių skaičius *n* vnt./m^2	Šilumos sąnaudos piktžolėms sunaikinti kJ/m^2 $q_a = m_a c_a \Delta t$	Šilumos sąnaudos dirvai kaitinti $Q_d = m_d c_d \Delta t$ kJ/m^2	Šilumos srauto dirvos kryptimi pasiskirstymas %	
			augalui	dirvai
50	0,237	68,14	0,3	99, 7
100	0,475	68,14	0,7	99,3
150	0,712	68,14	1,1	98,9
200	0,948	68,14	1,4	98,6
250	1,184	68,14	1,7	98,3
300	1,420	68,14	2,0	98,0
350	1,774	68,14	2,5	97,5

6.7 lentelė. Šilumos srauto dirvos kryptimi pasiskirstymas, % ūgtelėjusias piktžoles termiškai naikinant „žiedu“

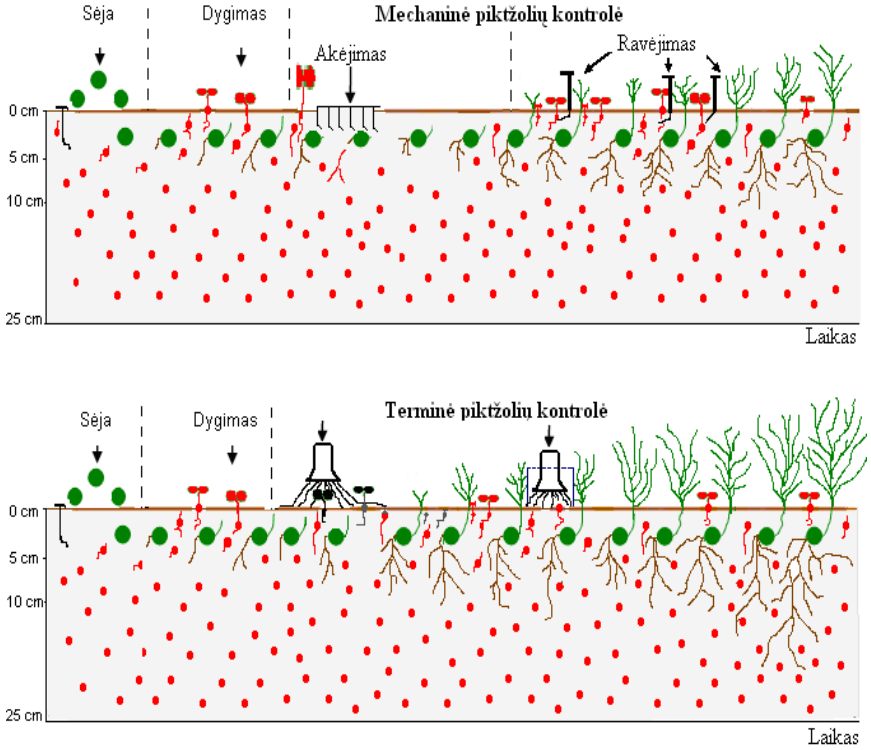
Piktžolių skaičius n vnt./m^2	Šilumos sąnaudos piktžolėms sunaikinti kJ/m^2 $q_a = m_a c_a \Delta t$	Šilumos sąnaudos dirvai kaitinti $Q_d = m_d c_d \Delta t$ kJ/m^2	Šilumos srauto dirvos kryptimi pasiskirstymas %	
			augalui	dirvai
25	0,198	87,53	0,3	99,7
50	0,396	87,53	0,5	99,5
75	0,594	87,53	0,7	99,3
100	0,792	87,53	0,9	99,1
125	0,990	87,53	1,1	98,9
150	1,188	87,53	1,3	98,7
200	1,584	87,53	1,8	98,2

Duomenys, pateikti 6.6 ir 6.7 lentelėse rodo, kad šilumos sąnaudos dirvai kaitinti sudaro apie 99–98 %, lyginant su šilumos sąnaudomis (apie 1–2 %) augalui termiškai sunaikinti.

Viršutinio dirvos sluoksnio temperatūros kitimo tyrimas leido nustatyti terminio piktžolių naikinimo proceso terminį poveikį dirvai ir galimybes termiškai sunaikinti dygstančias piktžoles viršutiniame dirvos sluoksnyje.

Įvertinę viršutinio dirvos sluoksnio šilimo teorinių ir eksperimentinių tyrimų rezultatus teigiame, kad aukštatemperatūrė dujų aplinka, atiduodama šilumą dirvai, ją džiovina. Dirvoje esanti drėgmė garuoja ir neleidžia greitai įkaisti viršutiniam jos sluoksniui. Priklausomai nuo terminio poveikio karštomis dujomis trukmės, didesnis temperatūros kitimas dirvoje pastebimas tik dirvos paviršiuje. Terminio piktžolių naikinimo metu naudojant karštų dujų technologiją piktžolėms naikinti žemės ūkio augalų sėklos bei dygstantys daigai dirvoje dėl terminio šios technologijos poveikio nesunaikinami.

Vandens garo aplinka, atiduodama šilumą dirvai, kondensuojasi, ją drėkina. Terminiam piktžolių naikinimui naudojant 1–3 s drėgnojo vandens garo terminio poveikio trukmę, sunaikinamos ne tik dirvos paviršiuje esančios, bet ir viršutiniame dirvos sluoksnyje (iki 1,5 mm) dygstančios piktžolės ir augalų pradai (sėklos).



Mechaninės ir terminės piktžolių kontrolės pasėlyje palyginamoji schema

7 TERMINIO PIKTŽOLIŲ NAIKINIMO TECHNOLOGINIS PROCESAS

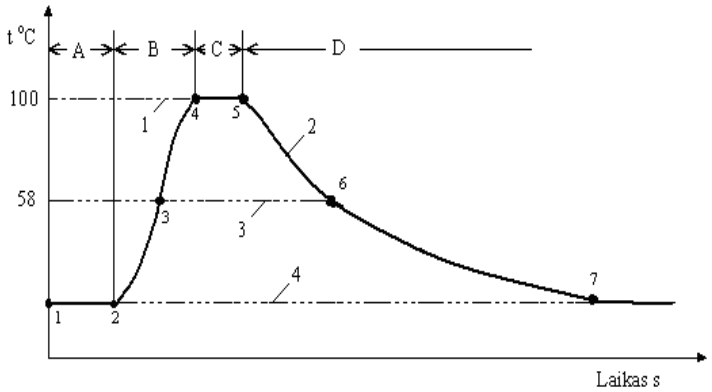
7.1. Temperatūros kitimas terminio piktžolių naikinimo metu

Terminis piktžolių naikinimas žemės ūkio pasėlyje skirtingais periodais yra sudėtinė ir neatskiriama agrotechnikos dalis, pakeičianti įprastą chemizuotą pasėlio priežiūrą. Chemizuotai pasėlio piktžolių kontrolei sukurta daugybė herbicidų, kurie selektyviai veikia piktžoles. Sukurta speciali technika ir cheminių medžiagų skleidimo technologijos. Chemizuota žemės ūkio produktų gamyba tapo tradicine. Gausūs tyrimai rodo, kad ekologiniai pakitimai apėmė visą biosferą ir net siekia stratosferą (Lazauskas ir kt., 2008, Baltrėnas ir kt., 2008). Terminis piktžolių naikinimas nuo cheminio skiriasi tuo, kad jis yra ekologiškas, nėra selektyvus ir akimirksniu vienodai naikina visus augalus (žemės ūkio augalus ir piktžoles). Todėl naudojant terminį piktžolių naikinimą iškyla ne piktžolių sunaikinimo, bet žemės ūkio augalų apsaugos nuo sunaikinimo problema. Piktžoles naikinančių cheminių medžiagų skleidimo technika nesudėtinga, o aukštatemperatūrės, termiškai piktžoles naikinančios aplinkos sukūrimas ir valdymas yra sudėtingas procesas, priklausantis nuo daugelio veiksnių. Todėl žemės ūkio pasėlyje naudojant terminę piktžolių kontrolę būtinas visapusis terminių, biologinių ir pasėlių priežiūros technologinių veiksnių, darančių įtaką terminės piktžolių kontrolės efektyvumui, suderinamumas. Šiandieninė pesticidų pramonė yra galinga, jos vystymui, tyrimams ir gamybai skiriamos didžiulės lėšos, deja, analogiškos paskirties ekologiškų priemonių situacija yra priešinga.

Piktžolėms termiškai naikinti naudojamos įvairių parametrų ir įvairių termodinaminių savybių aukštatemperatūrės aplinkos. Tai apta-

rėme 4 skyriuje. Tačiau nepriklausomai nuo augalus termiškai naikinančių aplinkų, terminio piktžolių naikinimo proceso sudedamosios dalys vienodos, technologiniai procesai analogiški. Nepaisant naudojamų priemonių įvairumo terminis piktžolių naikinimas grindžiamas augalo energijų balanso valdymu (3 skyrius), siekiant augalui suteikti letalų terminį poveikį. Siekdami išsiaiškinti šio proceso valdymo galimybes ir veiksnius, darančius įtaką proceso efektyvumui, pateikiame terminio piktžolių naikinimo technologinio proceso analizę. Terminio piktžolių naikinimo procesą (7.1 pav.), remdamiesi teoriniais dėsningumais, eksperimentiniais tyrimais ir patirtimi, galime suskirstyti į 4 būtinuosius periodus. Tai:

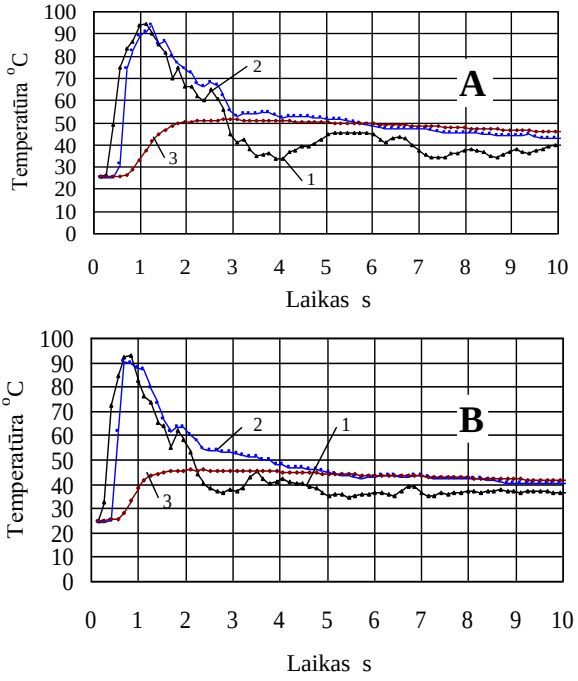
- A – paruošiamasis (dirvos paruošimo, profiliavimo, sėjos iki pirmojo terminio piktžolių naikinimo pradžios ir žemės ūkio augalų apsaugos priemonių nuo terminio sunaikinimo panaudojimo) periodas;
- B – paviršinių augalo audinių šildymo aukštatemperatūrėje aplinkoje periodas;
- C – aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo periodas;
- D – augalo audinių aušimo natūralioje aplinkoje periodas.



7.1 pav. Augalo audinių ir aplinkos temperatūros kitimo terminio piktžolių naikinimo metu teorinė schema: 1 kreivė – vandens garo temperatūra; 2 – augalo audinių ir aplinkos temperatūros kitimas terminio piktžolių naikinimo metu; 3 – temperatūra, kurią pasiekus augalo audiniai termiškai sunaikinami; 4 – aplinkos oro temperatūra. A – paruošiamasis terminio piktžolių naikinimo periodas; B – augalo audinių, turinčių sąlytį su aukštatemperatūre aplinka, kaitinimo periodas; C – aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo periodas; D – augalo audinių aušimo periodas natūralioje aplinkoje. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – būdingi terminio piktžolių naikinimo proceso taškai (aptariami tekste)

Terminio piktžolių naikinimo proceso teorinė temperatūros kitimo schema (7.1 pav.) kampuota, procesų pokyčio taškai aiškūs. Temperatūra kitimo pobūdis realiame terminio piktžolių naikinimo procese išlieka panašus. Čia pastebime visus anksčiau aprašytus periodus, tačiau juose temperatūros kitimo kreivės lekalinės, perėjimai tarp periodų švelnūs, absoliutūs temperatūrų dydžiai atspindi nukrypimus nuo teorinio proceso. Tai suprantama, nes visuose šilumos mainų procesuose šuoliško perėjimo ar atotrūkio negali būti.

Paviršinių augalo audinių šildymo periodo B metu teoriniame (7.1 pav.) ir eksperimentiniuose (7.2 ir 7.3 pav.) procesuose temperatūros kitimo pobūdis vienodas – staigus jos didėjimas, sukeltas drėgnojo vandens garo teikiamos šilumos piktžolėms naikinti.

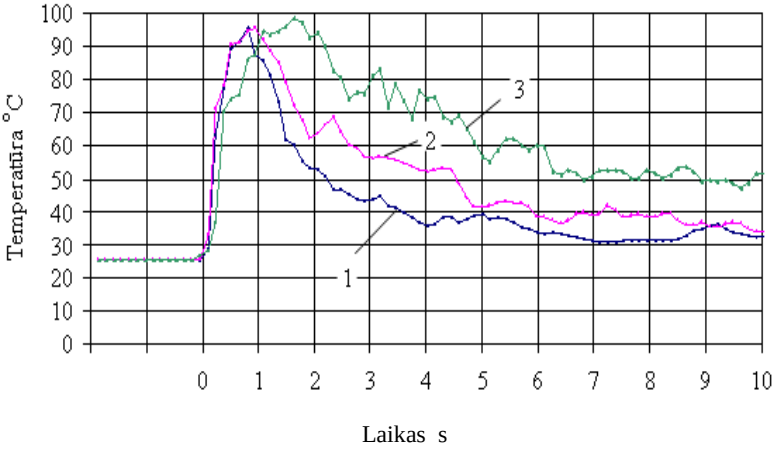


7.2 pav. Augalo *Galinsoga parviflora* Cav. stiebo ir aplinkos temperatūros kitimas terminio naikinimo metu naudojant drėgnąjį vandens garą. Vandens garo terminio poveikio trukmė: A – 1,2 s; B – 0,8 s. 1 – augalo aplinkos temperatūros kitimas; 2 – augalo stiebo paviršiaus temperatūros kitimas; 3 – augalo stiebo centrinės dalies temperatūros kitimas. Tirtų augalų stiebo skersmuo 2,9 ± 0,1 mm.

Šildymo periodo pabaigoje augalus naikinančios aplinkos ir augalo audinių paviršiaus temperatūra artima 100 °C. Šios temperatūros pasiekimo greitis tiesiogiai priklauso nuo garo skleidiklio judėjimo greičio (7.3 pav.). Augalo stiebo centrinės dalies temperatūra didėja vėluodama ir visuomet pasilieka mažesnė už didžiausiąją temperatūrą stiebe. Tai yra todėl, kad šildymo periodo trukmė (1–2 s) per trumpa, ir augalo stiebo centriniai audiniai nespėja pasiekti kaitinamos aplinkos temperatūros (7.2 pav.).

Aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo periodas C priklauso nuo terminio poveikio trukmės, reikalingos augalo audiniams termiškai sunaikinti. Tai priklauso nuo augalo vystymosi tarpsnio, jo dalių masės.

Suprantama, kad didėjant augalo dalių masei didėja terminio poveikio ir aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo periodo trukmė (7.3 pav.). Ilgesnis aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo periodas leidžia termiškai sunaikinti masyvesnes augalo dalis.



7.3 pav. Augalo aplinkos temperatūros kitimas terminio piktžolių naikinimo proceso metu naudojant drėgnąjį vandens garą. 1, 2, 3 – terminio poveikio trukmė vandens garu atitinkamai 1, 2, 3 sekundes

Nagrinėdami (7.3 pav.) temperatūros kitimo kreives terminio piktžolių naikinimo proceso metu esant skirtingai terminio poveikio trukmei, pagrindinį skirtumą matome augalo audinių aušimo periodu D (7.1 pav.). Šio periodo absoliučiosios temperatūros reikšmės skiriasi priklausomai nuo aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo periodo C

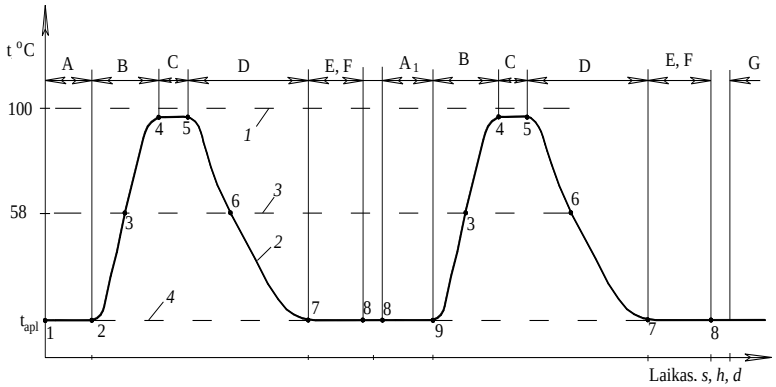
trukmės. Tai suprantama, nes ilgėjant šiam periodui, augalo audiniai ir aplinka (dirva) sukaupia didesnį šilumos kiekį, todėl ir pastebima ilgesnė aušimo periodo D trukmė.

Terminė piktžolių kontrolė pasėlyje per vegetaciją atliekama 2–4 kartus. Tai priklauso nuo pasėlio ir jo piktžolėtumo. Temperatūros kitimas terminio piktžolių naikinimo metu, pateiktas 7.1, 7.2 ir 7.3 pav., apima tik vieną terminės piktžolių kontrolės proceso periodą. Vegetacijos laikotarpiu vyksta keletas terminės piktžolių kontrolės procesų. Tarp šio proceso periodų natūraliomis aplinkos sąlygomis termiškai naikinto augalo gyvenime yra dar keletas papildomų energinės apykaitos periodų:

- E – termiškai pažeisto augalo letalus žuvimas;
- F – terminio pažeidimo gydymo periodas – esant daliniam terminiam pažeidimui, ir tolesnis augalo vystymasis (postresinis periodas);
- A_1 – periodas prieš antrąjį terminį piktžolių naikinimą – termiškai nepažeisto augalo tolesnis vystymasis iki kito terminio piktžolių naikinimo; naujai dygstančių piktžolių vystymasis;
- G – derliaus ir piktžolių įvertinimo periodas – baigiantis vegetacijai.

Pateikiame temperatūros kitimo proceso ir periodų, kuriuos patiria augalas, pasėlio priežiūrai kelis kartus taikant terminę piktžolių kontrolę vandens garu, schemą (7.4 pav.).

Temperatūros kitimo procesai, pasėlio priežiūrai taikant terminį piktžolių naikinimą (7.4 pav.), rodo galimus augalo energinės apykaitos procesus jo aplinkoje. Matome, kad augalas (žemės ūkio augalas ir piktžolė) skirtingais vystymosi periodais naudojant terminį piktžolių naikinimą gali patirti skirtingą energinę apykaitą su aplinka: energijų apykaitą natūralios aplinkos sąlygomis (1–2 ir 7–8 procesai, 7.4 pav.); energijų apykaitą aukštatemperatūrėje aplinkoje (2–5, 7.4 pav.); energijų apykaitą auštant natūralioje aplinkoje (5–7, 7.4 pav.); termiškai pažeisto augalo energinę apykaitą (7–8, 7.4 pav.).



7.4 pav. Augalo aplinkos temperatūros kitimo (proceso ir periodų), termiškai naikinant piktžoles vandens garu, schema: 1 kreivė – vandens garo temperatūra; 2 kreivė – augalo audinių temperatūros kitimas; 3 kreivė – augalo audinių temperatūra, kurią pasiekus termiškai sunaikinami augalo audiniai; 4 – aplinkos oro temperatūra. A – paruošiamasis periodas (dirvos paruošimas, sėja iki terminės piktžolių kontrolės pradžios); B – augalo audinių, turinčių sąlytį su aukštatemperatūre aplinka, šildymo periodas; C – aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo periodas; D – augalo audinių aušimo natūralioje aplinkoje periodas; E – termiškai pažeisto augalo letalaus žuvimo periodas; F – terminio pažeidimo gydymo periodas; A_1 – periodas prieš antrąjį terminį piktžolių naikinimą; G – derliaus ir piktžolių įvertinimo periodas; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – būdingi terminio piktžolių naikinimo proceso taškai (aptariami tekste)

Augalo audinių ir aplinkos temperatūros kitimas terminės piktžolių kontrolės metu yra dėsningas. Aptarsime atskiras terminio piktžolių naikinimo proceso sudedamąsias dalis – periodus pasėlio priežiūrai taikant terminę piktžolių kontrolę vandens garu.

7.2. Paruošiamasis periodas

Paruošiamasis periodas A (procesas 1–2, 7.4 pav.). Šis periodas apima tą terminio piktžolių naikinimo technologinio proceso dalį, kurios metu vyksta dirvos paruošimas prieš sėją, dirvos profiliavimą sėjos metu, sėklos dygimo periodą ir dygstantį augalą iki pirmojo terminio piktžolių naikinimo. Šio periodo paskirtis – atsižvelgiant į *žemės ūkio augalų ir vyraujančių piktžolių biologines savybes, paruošiamuosius*

darbus suderinti su terminės piktžolių kontrolės technologija. Paruošiamuoju periodu problemų nekyla, kai dygstančių kultūrinių augalų daigai (svogūnų roputės, miežiai, kukurūzai ir kt.) turi koleoptilę arba yra masyvūs palyginti su piktžolėmis. Tokiais atvejais terminė piktžolių kontrolė gali būti vykdoma nesaugant žemės ūkio augalų nuo trumpalaikio terminio garo poveikio. Ploni piktžolių daigai termiškai sunaikinami, žemės ūkio augalai gali patirti tik terminį stresą (7.5 pav.).

A

B

7.5. pav. Termiškai sunaikinti ploni piktžolių daigai miežių pasėlyje: A – dygstančios piktžolės miežių pasėlyje; B – piktžolės termiškai sunaikintos, sudžiūvusios. Vandens garo terminio poveikio trukmė – 1 s

Paruošiamuoju periodu problemos iškyla tada, kai piktžolių ir žemės ūkio augalų (pvz., morkų) biometriniai rodikliai panašūs. Tuomet termiškai naikinant piktžoles sunaikinama ir dalis žemės ūkio augalų.

Vykdant terminę piktžolių kontrolę morkų pasėlyje panaudojama biologinė vėlesnio morkų sėklų dygimo savybė (Bėčius, 1995). Piktžolėms sudygus morkų pasėlis ištisai garinamas drėgnu vandens garu. Dygstančios piktžolės termiškai sunaikinamos, morkos sudygsta švarioje nuo piktžolių dirvoje. Tyrimai parodė, kad antrą kartą piktžoles naikinti morkų pasėlyje galima tik tuo atveju, jei paruošiamuoju periodu sėjos metu dirvos paviršius buvo specialiai profiliuotas. Profiliuotas dirvos paviršius nukreipia aukštatemperatūrį garo srautą nuo dygstančių morkų, apsaugodamas jas nuo terminio poveikio.

Šie pavyzdžiai rodo, kad norint apsaugoti žemės ūkio augalus nuo terminio sunaikinimo naikinant piktžoles, *skirtingiems pasėliams reikalinga skirtinga piktžolių naikinimo technologija ir žemės ūkio augalų apsauga nuo terminio sunaikinimo*. Todėl tokiems pasėliams yra taikomas ir nevienodas paruošiamasis periodas. Aptariamas terminio piktžolių naikinimo technologinio proceso paruošiamasis periodas A yra taikomas ne visiems žemės ūkio augalų pasėliams. Šio periodo trukmė priklauso nuo sėklos dygimo terminų po sėjos. Paruošiamuoju periodu augalo audinių temperatūra artima natūralios aplinkos oro temperatūrai.

Ištyrėme iškiliuosius dirvos profilius, griovelius ir sudėtinės formos dirvos profilius (8 skyrius). Nustatėme, kad tik iškilusis sudėtinis dirvos profiliavimas sėjos metu leidžia apsaugoti žemės ūkio augalą nuo terminio sunaikinimo (1–3 lapelių augimo tarpsnio morkas). Optimalus dirvos paviršiaus profilis pagrįstas eksperimentiniais tyrimais ir garo dalelės judėjimą veikiančių jėgų analize. Sukurta sėjamoji, kuri sėjos metu kartu profiliuoja dirvos paviršių ir jį priderina prie terminės piktžolių kontrolės technologijos (patentas TPK ind.: A01M 21/00. LT 5532 B. 2008).

Ištyrėme stabilių putų panaudojimo galimybes žemės ūkio augalų apsaugai nuo terminio sunaikinimo, kai žemės ūkio augalų ir piktžolių biometriniai rodikliai panašūs. Kompleksinį stabilių putų ir dirvos profiliavimo panaudojimą paruošiamuoju terminio piktžolių naikinimo periodu aptarsime nagrinėdami terminio piktžolių naikinimo technologiją morkų pasėlyje.

Kaip minėta, paruošiamasis periodas A terminio piktžolių naikinimo technologiniam procesui yra išskirtinės svarbos. Tai terminio piktžolių naikinimo proceso dalis, kuri apima lokaliai palankaus mikroklimato žemės ūkio augalui dygti formavimą ir paruošimą jį apsaugoti nuo terminio poveikio naikinant piktžoles. Matome, kad tikslingai panaudojus paruošiamąjį procesą (1–2 procesas, 7.4 pav.), t. y. tinkamai įdirbus dirvą ir ją profiliavus sėjos metu, galima daryti įtaką piktžolių terminio naikinimo technologijai. Todėl visuomet reikia įvertinti dirvos profiliavimo sėjos metu ir terminio piktžolių naikinimo technologijų suderinamumo klausimus.

7.3. Terminio poveikio piktžolėms periodas

Terminio poveikio piktžolėms periodą sudaro dvi sudedamosios dalys: B – paviršinių augalo audinių, turinčių sąlytį su aukštatemperatūre aplinka, šildymo periodas ir C – aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo periodas. Tai augalo audinių, turinčių sąlytį su aukštatemperatūre aplinka, pašildymo iki letalios temperatūros periodas. Aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo periodą sudaro procesai, vykstantys tarp taškų 2–3–4–5 (7.4 pav.). Tai pati svarbiausia technologinio proceso dalis, skirta terminiam piktžolių sunaikinimui. Apskritai terminio piktžolių naikinimo periodu vyksta sudėtingi šiluminiai procesai, pasireiškiantys aplinkoje ir augalo audiniuose nenuostoviomis sąlygomis. Nustatyta, kad reikia naikinti 1–3 lapelių dygimo tarpsnio piktžoles. Tuomet jos yra jautriausios ir sunaikinti pakanka 0,8–1,0 s trukmės vandens garo terminio poveikio. Nuo terminio poveikio trukmės tiesiogiai priklauso terminio piktžolių naikinimo proceso tobulumas. Ūgtelėjusios piktžolės yra atsparesnės trumpalaikiam terminiam poveikiui. Termiškai naikinant ūgtelėjusias piktžoles būtinas ilgesnis vandens garo terminis poveikis. Didėjant terminio poveikio trukmei mažėja terminio piktžolių naikinimo įrangos našumas, didėja energijos sąnaudos pasėlio terminei piktžolių kontrolei.

Terminio poveikio piktžolėms periodu augalo audiniuose vyksta sudėtingi nenuostovieji šilumos energinės apykaitos procesai. Paviršinius augalo audinius intensyviai šildo šiluma, kurią išskiria vandens garo kondensacijos procesas. Paviršiniai augalo audiniai akimirksniu pasiekia temperatūrą, artimą vandens garo temperatūrai. Modeliavimo

duomenys rodo, kad paviršinė augalo audinių temperatūra 0,001 mm gylyje per 0,1 s pasiekia 99,6 ^{o}C. Po 1 s terminio poveikio augalo vidinių audinių temperatūros pokyčiai yra nežymūs. Jų temperatūra, pasibaigus kaitinimo procesui, didėja (vėluodama) dėl augalo išoriniuose audiniuose sukauptos šilumos. Bandymai su ūgtelėjusių augalų stiebais parodė, kad nebūtina termiškai sunaikinti (pasiekti 58 ^{o}C) audinius per visą stiebo pjūvį. Svarbu B–C periodų metu (2–3–4–5–6 procesas, 7.4 pav.) suteikti augalui biologiškai letalų terminį poveikį. Remiantis modeliavimo ir matavimų tyrimų duomenimis (6 skyrius) galima teigti, kad terminės piktžolių kontrolės metu naudojant drėgnąjį vandens garą, terminį poveikį gauna ne tik išdygęs augalo daigas, bet ir paviršinis dirvos sluoksnis. Nuo 1 s trukmės terminio poveikio dygstanti sėkla ir daigas, esantys dirvoje iki 0,8 mm gylio, gauna terminį 95–60 ^{o}C poveikį. Remdamiesi tyrimų duomenimis teigiame, kad naudojant drėgnąjį vandens garą piktžolės sunaikinamos ne tik dygstančios dirvos paviršiuje, bet ir paviršiniame dirvos sluoksnyje, kurio storis priklauso nuo terminio poveikio trukmės.

Trumpalaikis terminis impulsas drėgnuoju vandens garu staigiai įkaitina išorinius augalo audinius. Po 1–2 s trukmės terminio poveikio augalas vėl patenka į natūralią aplinką. Įkaitintų augalo audinių aušimo procesas vyksta lėtai, nes šilumos atidavimo koeficientas α į oro aplinką (lyginant su drėgnuoju vandens garu) sumažėja apie 2000 kartų. Augalas tarsi apgaubiamas oro termoizoliaciniu sluoksniu. Įkaitinti išoriniai augalo audinių sluoksniai oro apsuptyje mažai atiduoda šilumos aplinkos orui. Augalo audiniai sukauptą šilumą laidumu perduoda į gilesnius audinius ir taip nutraukus šildymą jie toliau termiškai naikinami. Todėl dygstančioms piktžolėms sunaikinti užtenka 1 s terminio poveikio drėgnuoju vandens garu.

Augalo audinių, besiliečiančių su aukštatemperatūre aplinka, šildymo periodas *B* apibūdina pagrindinę terminio piktžolių naikinimo proceso dalį, kurios metu paviršiniai augalo audiniai pasiekia temperatūrą, artimą aukštatemperatūrei aplinkai. Paprastai šio proceso trukmė naudojant drėgnąjį vandens garą yra apie 1 s. Terminio piktžolių naikinimo proceso 2–3–4 (7.4 pav.) dalis apibūdina paviršinių augalo audinių šildymo periodą B, kuris parodo piktžolių terminiam naikinimui naudojamos techninės priemonės tobulumą. Kuo trumpesnė 2–4 proceso trukmė, tuo įrenginys tobulesnis, ekonomiškesnis, nes jo judėjimo greitis didesnis.

Aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo periodas C (4–5 procesas, 7.4 pav.) apibūdina augalo audinių kaitinimo trukmę didžiausioje temperatūroje, siekiant juos sunaikinti. Proceso 4–5 trukmė priklauso nuo termiškai naikinamų augalų biometrinių rodiklių ir piktžoles naikinančios aukštatemperatūrės aplinkos termofizikinių savybių.

Terminio poveikio periodas aukštatemperatūrėje aplinkoje būtinas naikinant ūgtelėjusias piktžoles, kurių stiebo skersmuo didesnis kaip 2 mm, ir 1 s terminio poveikio trukmės neužtenka piktžolės stiebui termiškai sunaikinti. Šio periodo trukmė priklauso nuo nenuostoviojo temperatūros lauko plitimo augalo audiniais. Kuo storesnis augalo stiebas, tuo sunkiau augalą termiškai sunaikinti. Pradiniu tyrimų etapu termiškai naikinome ūgtelėjusias piktžoles. Paskutinio laikotarpio darbai patvirtino ir pasiteisino, kad termiškai reikia naikinti 1–3 lapelių dygimo tarpsnio piktžoles. Todėl aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo periodu šiluminiai procesai, vykstantys augale ir jo aplinkoje, termiškai naikinant piktžoles yra svarbūs, nes nuo jų priklauso augalo terminio pažeidimo dydis. Tai ypač aktualu sprendžiant augalo dalinio terminio pažeidimo (terminio streso) problemą. Aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo periodą galima priskirti prie naudojamos piktžolių naikinimo technologijos trūkumų. Šio periodo nebūna laikantis optimalių piktžolių terminio naikinimo terminų. 4–5–6 proceso trukmė tiesiogiai priklauso nuo palaikymo periodo C trukmės.

7.4. Augalo audinių aušimo ir termiškai pažeisto augalo pasekmių periodai

Augalo audinių aušimo natūralioje aplinkoje periodą D sudaro procesai tarp taškų 5–6–7 (7.4 pav.). Tai savaiminio aušimo periodas, kuriam žmogus nedaro įtakos. Jo trukmė, kuri daro įtaką terminio piktžolių naikinimo procesui, yra 1,8–2,5 s. Šio proceso trukmę apibūdina aušimo proceso dalis, esanti tarp taškų 5–6, t. y., kol augalo audiniai pasiekia 58 ^{o}C temperatūros ribą (6 taškas) Tolesnis augalo audinių aušimo procesas 6–7 terminio piktžolių naikinimo procesui įtakos neturi.

Augalo audinių aušimo proceso dalis, esanti tarp taškų 5–6, yra svarbi terminio piktžolių naikinimo proceso sudedamoji dalis. Jos metu įkaitinti paviršiniai augalo audiniai atiduoda sukauptą šilumą šaltes-

niems vidiniams augalo audiniams. Vidinių augalo stiebo audinių temperatūra toliau didėja plintant šilumai augalo audiniais laidumu. Šiam procesui teigiamą poveikį daro po terminio poveikio padidėjusi augalo aplinkos temperatūra. Ji sumažina augalo ir aplinkos temperatūrų skirtumą. Be to, teigiamą įtaką daro apie 2000 kartų sumažėjęs augalo stiebo šilumos atidavimo koeficientas, pakitus aplinkos termodinaminėms savybėms.

Termiškai pažeisto augalo pasekmių periodai E, F (procesas 7–8, 7.4 pav.) yra savaime natūralioje aplinkoje vykstantys procesai pasibaigus terminiam poveikiui. Augalui džiūvant natūralioje aplinkoje vystosi letalus termiškai pažeistų augalo audinių žuvimo procesas. Šio proceso metu iš šaknų negaudama sulčių pirmiausia išdžiūva pažeidimo vieta, vėliau – visa augalo antžeminė dalis. Šio proceso trukmė (2–4 dienos) priklauso nuo augalo aplinkos terminių sąlygų.

Jei po terminio poveikio neišsivysto letalus procesas, augalas, užgydęs terminį pažeidimą, toliau vystosi postresiniu periodu F.

E ir F periodai yra mūsų mažiausiai tyrinėti. Pastebėta, kad natūraliomis aplinkos sąlygomis pasireiškia augalo biologinio vystymosi pokyčiai, būdingi postresiniam periodui.

7.5. Terminis piktžolių naikinimas naudojant skirtingų temperatūrų zonas

Atlikta piktžoles termiškai naikinančių aplinkų temperatūros analizė (4.3 skyrius) parodė, kad kryptingas vandens garo ir oro mišinio sudėties parinkimas gali tapti terminės piktžolių naikinimo technologijos priemone, įgalinančia sukurti dvi temperatūros zonas:

1 – aukštos temperatūros zoną piktžolėms naikinti;

2 – pažemintos temperatūros zoną žemės ūkio augalų apsaugai (vagutėse) nuo terminio sunaikinimo.

Aukštatemperatūrėje augalus termiškai naikinančioje aplinkoje pažemintos temperatūros zoną galima sukurti naudojant šaltas putas. Irdamos putos apsaugo augalus nuo terminio sunaikinimo. Šių galimybių žinojimas leidžia papildyti terminio piktžolių naikinimo technologinio proceso paruošiamąjį periodą nauja sudedamąja dalimi. Tai leidžia patobulinti terminio piktžolių naikinimo įrenginio darbo kokybę ir jo pritaikymo galimybes. Dviejų skirtingų temperatūrų zonų taikymas

perspektyvus tada, kai termiškai naikinant piktžoles žemės ūkio augalai (morkos) yra 4–5 lapelių augimo tarpsnio.

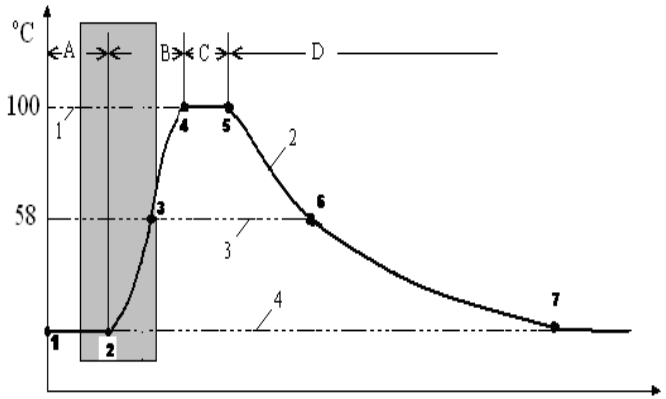
Panagrinėkime dalį piktžolių terminio naikinimo technologinio proceso (7.1 pav.), kuris apima paruošiamojo periodo A pabaigą ir augalo paviršinių audinių šildymo periodo B pradžią. Nagrinėjamojo proceso trukmė – apie 10 s iki terminio piktžolių naikinimo pradžios (2 taško). Šios analizės duomenys pateikiami 7.6 pav.

Termiškai naikinanti augalus garo kondensacijos temperatūra priklauso nuo vandens garo ir oro mišinio sudėties. Mišinyje didėjant oro kiekiui mažėja garo kondensacijos temperatūra. Skirtingos sudėties oro ir vandens garo mišiniams sudaryti augalo aplinkoje galima panaudoti putų rankoves. Eksperimentiniai duomenys (7.7 pav.) patvirtina, kad terminio piktžolių naikinimo technologinio proceso metu augalų apsaugai naudojant putas galima sukurti dvi skirtingų temperatūrų zonas. Siekdami atskleisti putų, kaip žemės ūkio augalus nuo terminio sunaikinimo apsaugančios priemonės ypatumus, temperatūrų kitimo procesą detalizuojame terminio piktžolių naikinimo technologinio proceso aspektu. Plačiau putų panaudojimą žemės ūkio augalų apsaugai nuo terminio sunaikinimo nagrinėsime 8 skyriuje.

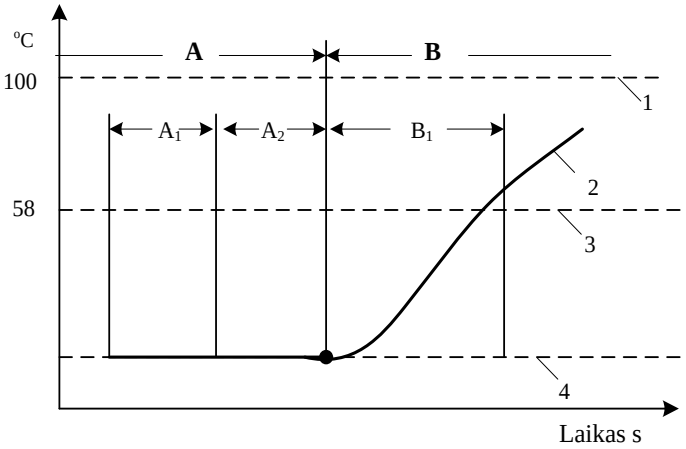
Naudojant terminio piktžolių naikinimo technologiją termiškai sunaikinti žemės ūkio augalus nesunku. Daug sunkiau juos apsaugoti nuo šio sunaikinimo. Žemės ūkio augalų apsaugai naudojant putas, paruošiamojo periodo A paskirtis pasikeičia – atsiranda nauja, augalus nuo terminio sunaikinimo sauganti technologija, kuriai gautas patentas (TPK ind.: A01M 21/00, A01M 21/04, B 05 B 3/00. LT 5620 B. 2009).

Pradiniu, padengimo putomis laikotarpiu dygstančio augalo temperatūra yra artima aplinkos temperatūrai. Tai paruošiamojo periodo pirmoji A_1 dalis (7.6 pav.). Augalą padengus statiškai stabilių putų sluoksniu temperatūra aplink augalą pakyla, tai priklauso nuo putoms generuoti naudojamo tirpalo temperatūros. Optimali tirpalo temperatūra 20–30 ^{o}C. Jai pakilus daugiau kaip 30 ^{o}C, sumažėja putų stabilumas, bet padidėja putojimo intensyvumas. Todėl atliekant atskirus bandymus jų metu išlaikyta galimai vienodesnė 27 ± 3 ^{o}C tirpalo temperatūra. Padengus žemės ūkio augalus putomis, kurių temperatūra didesnė nei augalo, putos, atiduodamos šilumą augalui, jį pašildo. Tai paruošiamojo periodo A_2 dalis (7.6 pav.), kuri trunka 2–3 s iki garo padavimo piktžolėms naikinti pradžios.

A

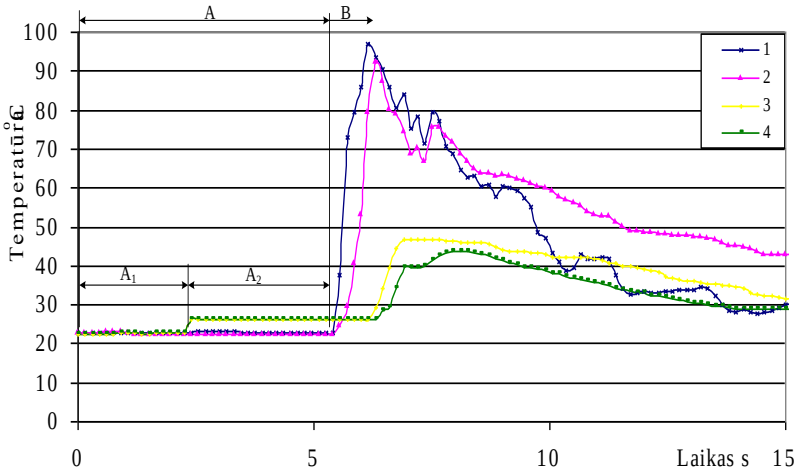


B



7.6 pav. Temperatūros kitimo terminio piktžolių naikinimo proceso metu technologinė schema: A – teorinė temperatūros kitimo terminio piktžolių naikinimo proceso metu schema: 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7 – būdingi proceso taškai; B – nagrinėjamojo technologinio proceso dalies detalizuota schema; 1 – vandens garo temperatūra; 2 – augalo aplinkos temperatūra; 3 – augalo audinių temperatūra, kurią pasiekus termiškai sunaikinami augalo audiniai; 4 – aplinkos oro temperatūra. A – paruošiamasis periodas; B – augalo audinių, turinčių sąlytį su aukštatemperatūre aplinka, kaitinimo periodas; A_1, A_2 – paruošiamojo periodo sudedamosios dalys; B_1 – pradinė augalo audinių šildymo periodo dalis

Taip pat svarbus ir temperatūros kitimas šildymo periodo B pradiniu momentu. 7.7 pav. pavaizduotas 1 ir 2 kreivių temperatūros kilimas yra būdingas terminio piktžolių naikinimo procesui. Garo srauto temperatūra garo skleidiklyje ir 2 cm atstumu nuo jo yra 96–92 °C. Ryškus temperatūros sumažėjimas pastebimas žemės ūkio augalo augimo vietoje, padengtoje statiškai stabiliomis putomis (7.7 pav. 3 ir 4 kreivės). Tai leidžia apsaugoti žemės ūkio augalus nuo terminio sunaikinimo. Būtent čia ir yra šio technologinio proceso esmė. Augalo aplinkos temperatūros kitimo pobūdis kaip tik ir lemia augalo temperatūros pokyčius, terminio piktžolių naikinimo proceso tobulumą ir efektyvumą. Augalą nuo terminio sunaikinimo apsaugo ne pačios putos. Putos, veikiamos 100 °C vandens garo, irsta akimirksniu. Irdamos jos atpalaiduoja orą, esantį putų gardelėse, kuris su vandens garu sudaro naujos kokybės vandens garo ir oro mišinį, nuo kurio ir priklauso vandens garo kondensacijos temperatūra.



7.7 pav. Temperatūros kitimas aplink žemės ūkio augalą, padengtą statiškai stabilių putų sluoksniu, leidžiant drėgnąjį vandens garą 6 cm atstumu nuo augalo: 1 – temperatūra garo skleidiklio centre; 2 – 4 cm atstumas nuo žemės ūkio augalo; 3– 2 cm atstumas nuo žemės ūkio augalo; 4 – temperatūra augalo augimo vietoje; A_1 – paruošiamojo periodo dalis prieš putų naudojimą; A_2 – paruošiamojo periodo dalis, augalą padengus statiškai stabilių putų sluoksniu. Terminio poveikio trukmė 1,0 s

7.7 pav. pateikti tyrimo duomenys rodo aplinkos temperatūros kilimo vėlavimą (3 ir 4 kreivės). Šis temperatūros kitimas priklauso nuo statiškai stabilių putų irimo, naujos garo ir oro mišinio sudėties susidarymo, o tai leidžia žemės ūkio augalus terminio piktžolių naikinimo proceso metu apsaugoti nuo terminio sunaikinimo. Galima daryti išvadą, kad panaudojus putas susidarantis garo ir oro mišinys žemės ūkio augalų aplinkoje sukuria lokalią pažemintos kondensacijos temperatūros zoną, kurioje žemės ūkio augalai yra apsaugomi nuo terminio poveikio.

7.6. Garo sklaida aplink augalą

Augalas termiškai naikinamas tik tuomet, kai jo paviršius gerai apiplaunamas aukštatemperatūriu vandens garo srautu. Siekiant augalą pažeisti iš dalies, suteikiant jam terminį stresą, augalo paviršius (stiebas) turi gauti dozuotą terminį poveikį iš vienos pusės. Todėl, norint pasiekti tikslą ir gauti laukiamą rezultatą, reikia valdyti vandens garo sklaidą augalą termiškai naikinančioje aplinkoje.

Nagrinėdami procesus, vykstančius garo tiekimo sistemoje ir garo skleidiklyje matome, kad garo skleidikliu teka nenutrūkstamas garo srautas. Šio tekėjimo metu pasireiškia garo droseliacija ir jo plėtimosi procesas. Čia keisis garo tekėjimo greitis, slėgis ir kiti į aplinką išleidžiamo garo parametrai. Taigi naikindami piktžoles vandens garu, bendriausiu atveju turėsime dispersinį srautą, kurį sudaro verdančio vandens ir sočiojo garo mišinys. Šio srauto soties temperatūra artima 100 ºC. Dvifaziam srautui galime pritaikyti masės ir tūrio balanso lygtis:

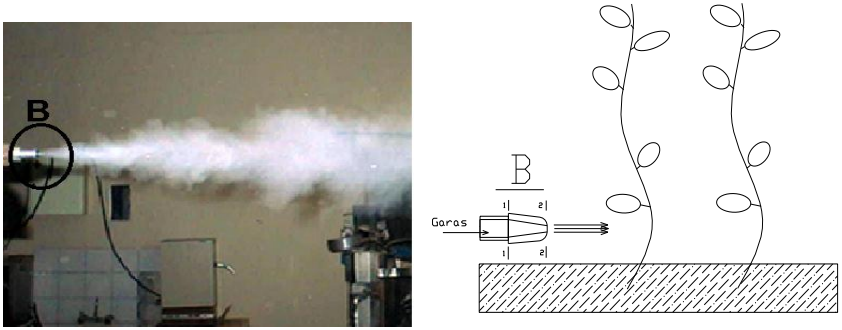
$$G = G_s + G_g; \tag{7.1}$$

$$V = V_s + V_g, \tag{7.2}$$

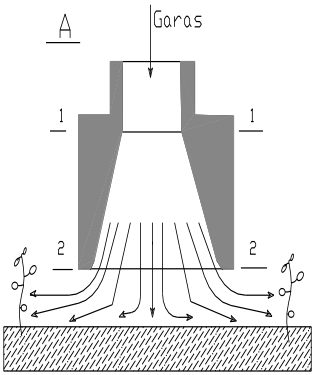
čia G – srauto masės debitas kg/s;
V – srauto tūrio debitas m^3/s;
G_s – vandens masės debitas kg/s;
V_s – vandens tūrio debitas m^3/s;
G_g – garo masės debitas kg/s;
V_g – garo tūrio debitas m^3/s.

Garo tekėjimą skleidiklyje galime laikyti vienmačiu, nes jame slėgis, tankis, temperatūra, tekėjimo greitis kinta viena kryptimi. Skleidiklio kanalo formą ir skerspjūvio plotą tekėjimo kryptimi laikome žinomais. Skleidiklio kanalo skerspjūvio plotas kinta švelniai, srovės linijų kreivumas mažas. Visa tai leidžia teigti, kad garo tekėjimas skleidiklyje bus tolygus.

Kaip matome iš garo skleidiklio principinės schemos (7.8 ir 7.9 pav.), garas patenka į skleidiklio žiotis. Į jas (pjūvis 1-1), kaip buvo aptarta anksčiau (5 skyrius), garas patenka sauso sočiojo garo būsenos ir parametrų p_1, v_1, t_1, ρ_1. Didėjant skleidiklio skerspjūvio plotui F, garas plečiasi ir išteka iš skleidiklio (pjūvis 2-2) kitų parametrų p_2, v_2, t_2, ρ_2.

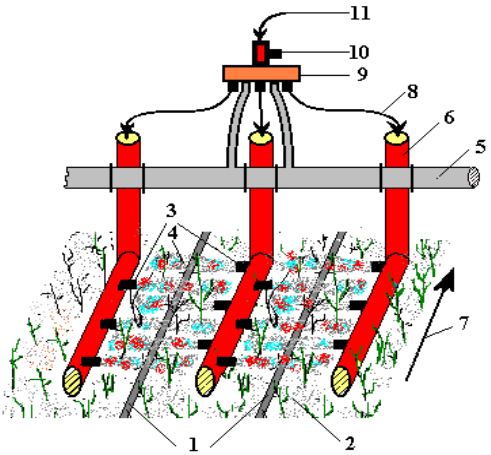


7.8 pav. Srauto, ištekančio iš horizontaliai pastatyto skleidiklio, vaizdas ir schema: 1-1 ir 2-2 nagrinėjami skleidiklio pjūviai



7.9 pav. Srauto, ištekančio iš vertikaliai pastatyto skleidiklio, vaizdas ir schema: 1-1 ir 2-2 nagrinėjami skleidiklio pjūviai

1. *Garo išleidimas iš horizontaliai pastatyto garo skleidiklio.* Šiuo atveju prie pat žemės paviršiaus iš specialiai pagamintos mažų matmenų tūtos išleidžiame garo srautą. Ji turi turėti kanalą, kuriame esančių siauriausios dalies žiočių skersmuo yra ne mažesnis kaip 1 mm. Mažų matmenų kanalų tyrimai parodė, kad siauriausios dalies žiotims esant ne mažesnio kaip 1 mm skersmens, galima gauti vientisą, be pertrūkių, siaurą garo srautą, kuris teoriškai turėtų pažeisti augalą „žiedu“. Tyrimais nustatyta, kad mažų matmenų kanalas, naudojant drėgnąjį ir mažai perkaitintą vandens garą, neleidžia sukurti efektyvaus temperatūros srauto, kuris naikintų piktžoles bent 10 cm atstumu nuo kanalo žiočių. Mažų matmenų kanalų panaudojimo idėja labai patraukli, nes technologiškai būtų nesunku sukurti aukštatemperatūrį srautą augalų zonoje, kurioje jis veiktų terminio peilio principu (7.10 pav.). Šiuo atveju naudojant siaurėjančią mažų matmenų tūtą galima pasiekti didelį garo ištekėjimo greitį. Daryti platėjančią dalį, kaip yra Lavalio kanaluose, ir dar didinti ištekėjimo greitį nėra prasmės.



7.10 pav. Principinė terminio peilio technologinė schema, piktžoles termiškai naikinant visame lauke, kai pasėlis (morkos, svogūnėliai) nesudygęs: 1 – sėjimo vagutė; 2 – piktžolėtas tarpueilis; 3 – vandens garo išleidimo kanalai; 4 – srautas; 5 – įrenginio rėmas; 6 – terminio peilio konstrukcijos elementas; 7 – piktžolių naikinimo įrenginio judėjimo kryptis tarpueiliuose; 8 – darbo agento nuvedimas į terminį peilį; 9 – agento pasiskirstymo kolektorius; 10 – agento šildytuvas (oro atveju) arba perkaitintuvas (vandens garo atveju); 11 – suslėgtas darbo agentas

Garo srautas, tekėdamas labai dideliu greičiu, iš horizontaliai pastatyto garo skleidiklio išteka į augančių augalų aplinką. Jam ištekant į normalaus slėgio aplinką $p_o = 101325$ Pa atsiranda tokie veiksniai:

1. Augalų stiebai garo sraute sukelia sutankėjimo šuolį. Gaunama smūginė banga, dėl kurios slėgis didėja. Sustabdytos smūginės bangos slėgis ardo srauto vientisumą.

2. Aplinkos oras tekančiam srautui sudaro priešslėgį p_o, kuris ardo ir stabdo srautą, mažindamas tekėjimo greitį, didindamas srauto turbulenciją.

3. Ištekėjęs dideliu greičiu vandens garas iš siaurėjančios tūtos patenka į kitokio slėgio aplinką. Čia garo srautas plečiasi arba traukiasi ir kartu maišosi su aplinkos oru.

Šios trys priežastys sukelia intensyvų garo srauto maišymosi su šaltu aplinkos oru procesą. Sparčiai vyksta garo kondensacija, atiduodant šilumą aplinkos orui. Srauto temperatūra 1–10 cm atstumu nuo ištekėjimo vietos tesiekia 60–40 °C .

Mūsų tyrimai parodė dar vieną neigiamą didelio greičio garo srauto savybę – tai dirvos paviršiaus suardymas. Tai svarbus veiksnys, kuris apriboja iš pirmo žvilgsnio technologiniu požiūriu labai perspektyvią skleidiklio konstrukciją, leidžiančią garą skleisti lygiagrečiai dirvos paviršiui.

2. *Garo išleidimas statmenai žemės paviršiui.* Šiuo atveju, išleidžiant garą statmenai žemės paviršiui, jau nebetinka specialiai pagaminti mažų matmenų siaurėjantys kanalai. Ištekėdamas iš siaurėjančio kanalo dideliu greičiu (artimu garso greičiui) garas ardo žemės paviršių. Išardytame dirvos sluoksnyje susiformuoja specifinis reljefas, kurį matome 7.11 pav. Naudojant vertikalųjį garo išleidimą reikia sumažinti garo ištekėjimo greitį.

7.11 pav. Iš mažų matmenų siaurėjančio kanalo dideliu greičiu tekėdamas garas ardo žemės paviršių

Žinodami, kad masės ir specifinio tūrio sandauga lygi ištekančiam garo tūriui (7.9 pav. pjūvis 2-2), sudarome lygybę:

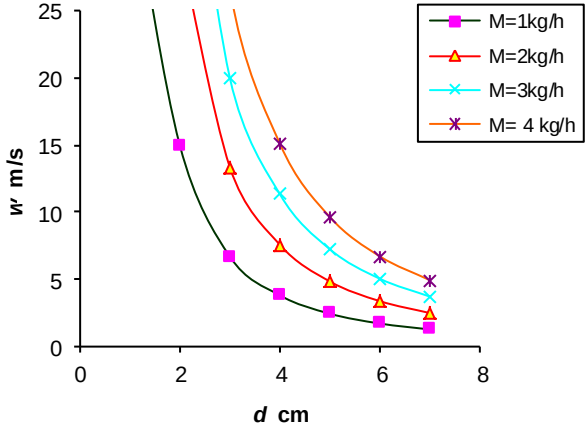
$$Mv_2 = V_{išt} = V_2 = fw_2. \qquad (7.3)$$

Iš čia randame iš vertikaliai pastatyto skleidiklio ištekančio garo greitį w_2, m/s.

$$w_2 = \frac{V_2}{f} = \frac{4V_2}{\pi d^2}, \qquad (7.4)$$

čia d – vertikaliojo garo skleidiklio išleidimo angos skersmuo m.

Iš vertikaliojo skleidiklio ištekančio garo greitis priklauso ir nuo tiekiamo į skleidiklį garo masės debito (M kg/h). Garo ištekėjimo greičio (w m/s) priklausomybė nuo skleidiklio išleidimo angos skersmens (d m), esant įvairiam skleidiklio našumui (M kg/h), pateikta 7.12 paveiksle.



7.12 pav. Garo ištekėjimo greičio w priklausomybė nuo skleidiklio išleidimo angos skersmens d, esant įvairiems masės debitams M

Idealiu atveju vertikalusis garo skleidiklis turėtų tenkinti šiuos reikalavimus:

1. Ištekantis iš skleidiklio garo srautas neturi ardyti žemės paviršiaus struktūros.

2. Išleistas iš skleidiklio garas turi suformuoti technologiškai pageidautiną srautą. Jis turi slinkti žemės paviršiumi, kuo mažiau maišytis su aplinkos oru ir siekti kuo toliau nuo išleidimo vietos..

3. Ištekėjęs garo srautas iš skleidiklio turi keisti tekėjimo kryptį, iš vertikaliojo tekėjimo pasidaryti horizontalios krypties srautu ir termiškai pažeisti augalą „žiedu“, kaip parodyta 2.10 paveiksle.

4. Kuo plačiau paskleisti augalą naikinantį aukštatemperatūrį lauką.

5. Ištekančio garo srautas turi būti laminarus ir gerai apgaubti augalų stiebus judėjimo kryptimi.

Kaip matome, terminio piktžolių naikinimo problema yra ne tik techninė, bet ir technologinė.

7.7. Garo sklaida dirvos paviršiuje

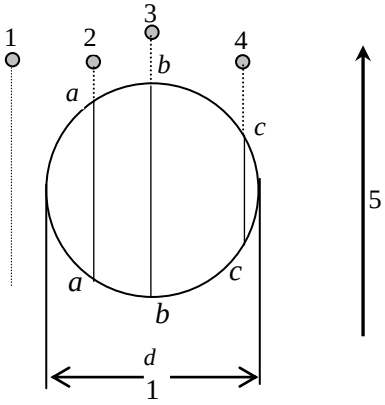
Remiantis aukščiau pateiktų eksperimentų analizės duomenimis galima daryti išvadą, kad norint sudaryti pageidaujamą aukštatemperatūrį lauką piktžolėms naikinti drėgnuoju vandens garu, reikia naudoti mažą garo ištekėjimo iš skleidiklio greitį (1–3 m/s). Mažu greičiu ištekantį srautą reikia nukreipti statmenai žemės paviršiui. Be to, buvo atskleisti pageidaujamo garo skleidimo požymiai.

Norint piktžoles naikinant lygiame lauke, pirmiausia reikia nustatyti garo skleidiklio užgriebio plotį, kuriame visos piktžolės būtų termiškai sunaikinamos. Tai žinant paaiškėja gretimų garo skleidiklių pastatymo vieta.

Eksperimentais patyrinėjus skleidiklį nustatyta, kad stovintis vietoje skleidiklis sukuria artimą skrituliui garo kondensacijos pėdsaką. Neatitikimai skrituliui paaiškinami garo sklidimo proceso pokyčiais, kuriuos sukelia dirvos reljefas. Tai gerai matyti iš bandymų metu stebėto garų kondensacijos lauko (7.13 pav.). Vieno garo skleidiklio užgriebio plotis, reikalingas siekiant visiškai sunaikinti piktžoles, sudaro 12–16 cm. Įrenginiui judant greičiu v m/s, tokiu pat greičiu slenka ir vandens garo sukurtas temperatūros laukas. Slenkantis temperatūros laukas žemės paviršiuje sukurs nevienodą aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo laiką (7.14 pav.). Augalai skleidiklio centre gaus didesnį palaikymo laiką, o tolstant nuo centro aukštoje temperatūroje jis trumpės. Paveiksle 7.14 matome, kad pirmojo augalo aukštos temperatūros lau-

kas visiškai nesiekia ir šis augalas termiškai bus nepaveiktas. 2, 3, 4 augalai bus paveikti aukštos temperatūros lauko, tačiau skirtingus laiko tarpsnius, kurie proporcingi apskritimo stygų a-a, b-b ir c-c ilgiams ir skleidiklio judėjimo greičiui.

7.13 pav. Garo kondensacijos proceso pėdsakas skleidikliui stovint. Skleidiklio pastatymo aukštis virš dirvos paviršiaus – 4 cm.



7.14 pav. Apvalaus slenkančio temperatūros lauko schema: 1, 2, 3, 4, – augalai; 5 – slankiojo temperatūros lauko kryptis; *d* – slenkančio temperatūros lauko skersmuo m

Esant apvalios konfigūracijos judančiam temperatūros laukui, augalai, esantys lauko pakraštyje, gaus dalinį (iš vieno stiebo šono) terminį pažeidimą (7.15 pav.). Augalai, gavę dalinį terminį pažeidimą, ne visada žūva. Todėl esant nevienodam augalų pažeidimui judančios temperatūros lauko pėdsakas šonuose yra kreivas. *Augalo dalinis terminis pažeidimas yra atskira mokslinė problema. Augalas, gavęs stresinį terminį poveikį, įgyja naujų biologinių savybių.*

7.15 pav. Dalinis augalo stiebo pažeidimas „žiedu“ (šio pažeidimo teorinis modelis 2.10 pav.)

Terminio sunaikinimo rezultatai akivaizdžiai parodo nevienodo augalų terminio poveikio rezultatą, atskleidžia garo skleidiklio trūkumus ir tolesnio jų tobulinimo kryptį. Idealus garo kondensacijos proceso laukas turėtų būti keturkampės formos, nes tik tuomet visi augalai, patekę į tokį aukštatemperatūrį lauką, gautų vienodą terminį poveikį.

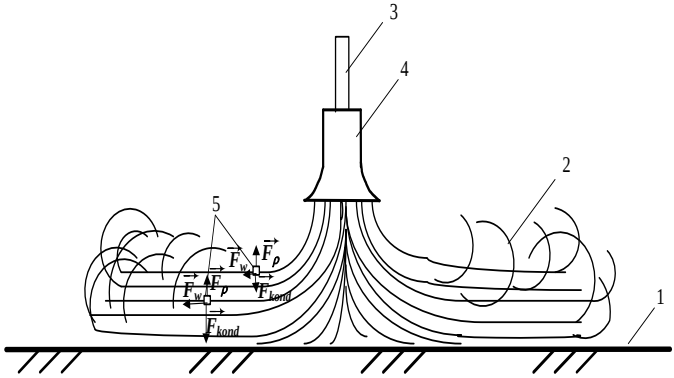
Putų irimo ir drėgnojo vandens garo judėjimo klausimas yra daug sudėtingesnis negu atrodo. Garas, išeidamas iš skleidiklio, atstumia orą. Garas juda šaltų dirvos, augalo ir putų paviršių kryptimi, susilietęs su jais kondensuojasi. Kondensacijos procesui būdingas garo tūrio mažėjimas, kuris priklauso nuo kondensacijos temperatūros (tūris sumažėja apie 1700 kartų). Kai kuriose vietose susidaro vakuumas. Išleisto garo srauto judėjimas dirvos paviršiumi yra veikiamas keleto veiksnių.

Panagrinėkime paprasčiausių garo dalelių 1 ir 2 judėjimą garo sraute, kai jos iš skleidiklio patenka į aplinką ir juda šaltų paviršių (dirvos, augalo, putų) kryptimi. Aplinkoje šią garo dalelę veikia trijų kintančių jėgų sistema. Veikiančių jėgų dydžiai priklauso nuo minėtos garo dalelės padėties sraute. Paprasčiausią garo dalelę veikia įvairios jėgos (7.16 pav.).

Jėgą $\vec{F}_w$ sukelia garo srauto judėjimas. Šios jėgos veikiama garo dalelė sraute juda dėl slėgių ($p_1 - p_2$) skirtumo garo judėjimo kryptimi. Kadangi vandens garo srauto greičiai nedideli, kinetinės energijos pokytis labai mažas, tai jėgos $\vec{F}_w$ reikšmė bus nedidelė. Jėgos kryptis sutampa su srauto tekėjimo kryptimi.

$$\vec{F}_w = (p_1 - p_2), \tag{7.5}$$

čia $\vec{F}_w$ – jėga, kurią sukelia garo srauto judėjimas Pa.



7.16 pav. Jėgų, veikiančių paprasčiausią vandens garo srauto dalelę, principinė schema: 1 – žemės paviršius; 2 – garo srautas; 3 – garo tiekimo vamzdis; 4 – skleidiklis; 5 – paprasčiausia garo dalelė; $\vec{F}_w$ – jėga, kurią sukelia garo srauto judėjimas; $\vec{F}_p$ – jėga, kurią sukelia nevienodas aplinkos oro ir vandens garo srauto tankių skirtumas; $\vec{F}_{kond}$ – jėga, kurią sukelia tūrio mažėjimas garo kondensacijos proceso metu

Jėgą $\vec{F}_p$ sukelia nevienodas aplinkos oro ir vandens garo srauto tankių skirtumas Aplinkos oro tankis esant 15 ^oC yra ρ_o = 1,2 kg/m^3.

Vandens garo tankis, kai 100 °C yra ρ_g = 0,598 kg/m^3. Kintant vandens garo temperatūrai tankis kinta. Esant garo kondensacijos temperatūrai 80 °C, garo tankis ρ_g = 0,293 kg/m^3. Šiuo atveju turėsime vandens garo ir oro mišinį. Jo tankis, remiantis garo kondensacijos temperatūra t_k = 40 °C, bus ρ = 0,512 kg/m^3. Vadinasi, garo dalelę veikianti jėga garo sraute $\vec{F}_p$ bus kintanti priklausomai nuo lokalios garo kondensacijos temperatūros, kuri priklauso nuo lokalios oro ir vandens garo mišinio sudėties. Jėgą, kurią sukelia nevienodas aplinkos oro ir vandens garo srauto tankių skirtumas $\vec{F}_p$, skaičiuojame naudodamiesi lygtimi:

$$\vec{F}_p = 9{,}81(\rho_o - \rho_g) = 9{,}81(1{,}2 - 0{,}598), \qquad (7.6)$$

čia $\vec{F}_p$ – jėga, kurią sukelia nevienodas aplinkos oro ir vandens garo srauto tankių skirtumas Pa.

Veikiant jėgai $\vec{F}_p$ vandens garo dalelės kyla aukštyn ir maišosi su aplinkos oru. Stebėtas garo kondensacijos procesas ore aplink garo skleidiklį. Kaip matome, ši jėga $\vec{F}_p$ yra kintanti priklausomai nuo garo dalelės padėties sraute.

Jėga $\vec{F}_{kond}$ atsiranda garo kondensacijos proceso metu sumažėjus tūriui. Augalo ir dirvos paviršiuose susidaro vakuumas. Aplinkos slėgis esant normaliomis sąlygomis 101325 Pa. Idealaus vakuumo atveju augalo ir dirvos paviršiaus slėgis lygus 0. Taigi garo kondensacijos proceso metu garo dalelę veikianti didžiausia jėga bus:

$$\vec{F}_{kond} = 9{,}81(101325–0), \qquad (7.7)$$

čia $\vec{F}_{kond}$ – jėga, kurią sukelia tūrio mažėjimas garo kondensacijos proceso metu Pa.

Veikiant jėgai $\vec{F}_{kond}$ vandens garo dalelių judėjimas vyksta šaltų paviršių (dirvos, augalo, putų) kryptimi. Šios jėgos dydį nustatyti sunku, tačiau akivaizdu, kad tai pagrindinė jėga, kurios poveikiui paklūsta pažeme slenkantis garo srautas. Šį faktą patvirtina augalo stiebo žemutinės dalies terminis pažeidimas. Tai vienas iš ypač teigiamų reiškinių piktžolėms naikinti naudojant drėgnąjį vandens garą.

Garo dalelių judėjimo kryptį ir jėgą galime išreikšti kaip veikiančių jėgų sumą:

$$\vec{F} = \sum \vec{F} = \vec{F}_w + \vec{F}_p + \vec{F}_{kond}. \quad (7.8)$$

7.17 pav. Putų rankovės pažeidimas virš jos pastačius garo skleidiklį

Putas naudojant žemės ūkio augalų apsaugai nuo terminio sunaikinimo, garo srauto slinkimą pažeme patvirtina ir stabilių putų irimo požymiai. Vandens garas putų rankovę naikina garo srauto judėjimo kryptimi. Tiekiant garą iš viršaus putų rankovė padalijama į dvi dalis (7.17 pav.). Naikinant piktžoles vandens garu, putos žemės ūkio augalus apsaugo, bet suyra pažemėje, garo srauto judėjimo kryptimi (7.18 pav.). Garas, slinkdamas dirvos paviršiumi, giliau įsiskverbia tik apatiniame putų sluoksnyje, o išretėjęs viršutinis putų sluoksnis lūžta ir sudaro naują, papildomą putų apsaugą.

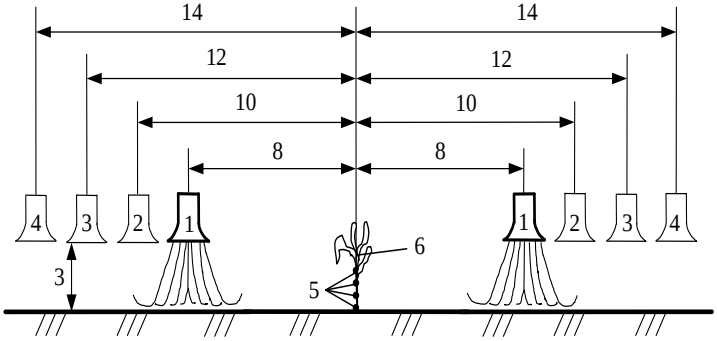
7.18 pav. Dirvos paviršiumi slenkantis garo srautas pažeidžia apatinę putų rankovės dalį

Vandens garas, išleistas iš skleidiklio, juda mažu greičiu ardydamas putų rankovę. Kadangi skleidiklio judėjimo greitis nedidelis, putos nuo augalų nenupučiamos, o judėdamas vandens garas suardo putas tik per garo srauto plotį (7.17 pav.).

Slinkdamas pažeme garas giliau ardo apatinę, esančią prie pat dirvos paviršiaus, putų sluoksnio dalį. Apatinė putų sluoksnio dalis suardoma ~2 cm pločio giliau, lyginant su viršutine dalimi.

7.8. Garo srauto temperatūros kitimas lygiame dirvos paviršiuje

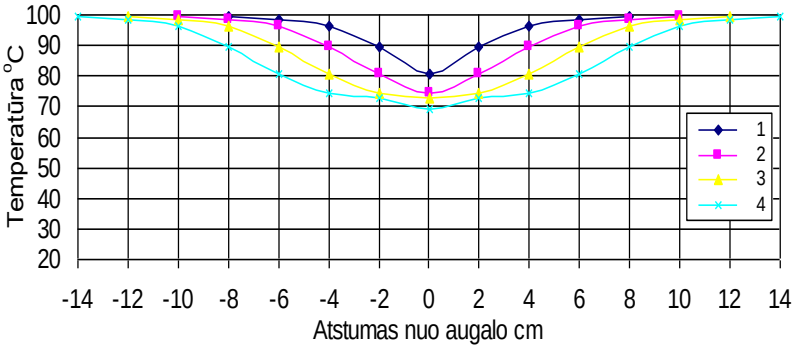
Piktžolės, naudojant drėgnąjį vandens garą, naikinamos 1–3 lapelių augimo tarpsnyje. Lygiame dirvos paviršiuje jos termiškai naikinamos 0,8–1,0 s trukmės vandens garu. Piktžoles naikinant lygiame lauke, pirmiausia reikia eksperimentais nustatyti garo skleidiklio užgriebio plotį, kuriame visos piktžolės bus termiškai sunaikinamos. Tai skleidiklio konstrukcijos ir mūsų atveju taikomos piktžolių terminio naikinimo technologijos rezultatas. Paprastai vieno garo skleidiklio užgriebio plotis, reikalingas visiškam piktžolių sunaikinimui, yra 12–16 cm. Tai žinant paaiškėja kito garo skleidiklio pastatymo orientacinė vieta. Naikinant piktžoles tarpueiliuose, vandens garas tiekiamas iš abiejų žemės ūkio augalo pusių. Garo skleidiklių pastatymo iš abiejų žemės ūkio augalo pusių tyrimai atlikti pagal schemą, kuri pateikta (7.19 pav.).



7.19 pav. Drėgnojo vandens garo srauto sklaidos lygiame dirvos paviršiuje tyrimų schema. Matmenys cm. 1, 2, 3, 4 – tirtos drėgnojo vandens garo išleidimo vietos; 5 – temperatūros matavimo jutikliai; 6 – žemės ūkio augalas

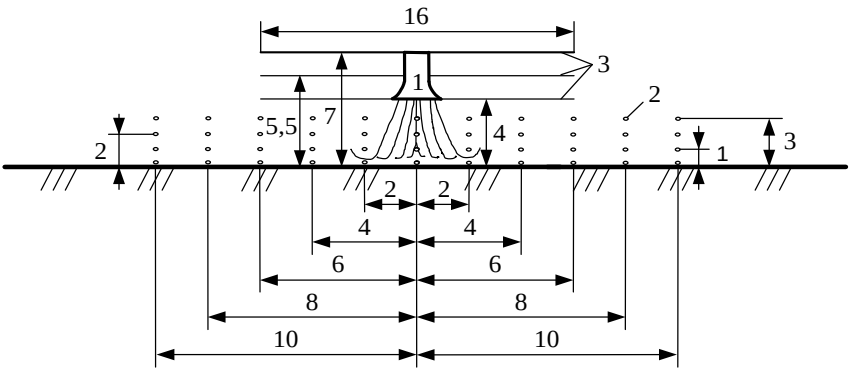
Tirtas drėgnojo vandens garo išleidimo iš skleidiklių 8, 10, 12 ir 14 cm atstumu nuo žemės ūkio augalų pasėlio centro 1,0 s trukmės terminis poveikis. Atliktų matavimų duomenys (7.20 pav.) rodo, kad žemės ūkio augalų augimo vietoje 0–15 mm aukštyje temperatūra kinta priklausomai nuo drėgnojo vandens garo išleidimo vietos.

Išleidžiant garą 8 cm atstumu nuo augalų, temperatūra kultūrinių augalų augimo vietoje yra 80,4 ^{o}C. Šiam atstumui didėjant temperatūra mažėja. Išleidžiant garą 12 cm atstumu temperatūra siekia 72,8 ^{o}C. Remdamiesi šiais duomenimis ir turima patirtimi teigiame, kad piktžolės ir žemės ūkio augalai visais atvejais bus sunaikinti. Šie duomenys patvirtina, kad vandens garu termiškai naikinant piktžoles lygiame dirvos paviršiuje, naudojant atviro tipo garo skleidiklius kartu reikia naudoti ir žemės ūkio augalų apsaugos įrenginius, ribojančius vandens garo srauto patekimą į žemės ūkio augalų zoną.



7.20 pav. Temperatūros kitimas lygiame dirvos paviršiuje, 0–15 mm aukštyje, priklausomai nuo drėgnojo vandens garo išleidimo vietos. Terminio poveikio trukmė 1,0 s. 1, 2, 3, 4 – temperatūros kitimas garą išleidžiant atitinkamai 8, 10, 12 ir 14 cm atstumu nuo žemės ūkio augalo

Atvirų vandens garo skleidiklių naudojimas neišvengiamas sprendžiant terminio piktžolių naikinimo problemas. Tyrimai parodė, kad naudojant tokius skleidiklius kartu tikslinga naudoti ir gaubtus. Drėgnojo vandens garo srauto sklaidos lygiame dirvos paviršiuje, kai ant garo skleidiklio uždedamas lygus keturkampis gaubtas, tyrimų schema pateikta 7.21 paveiksle.

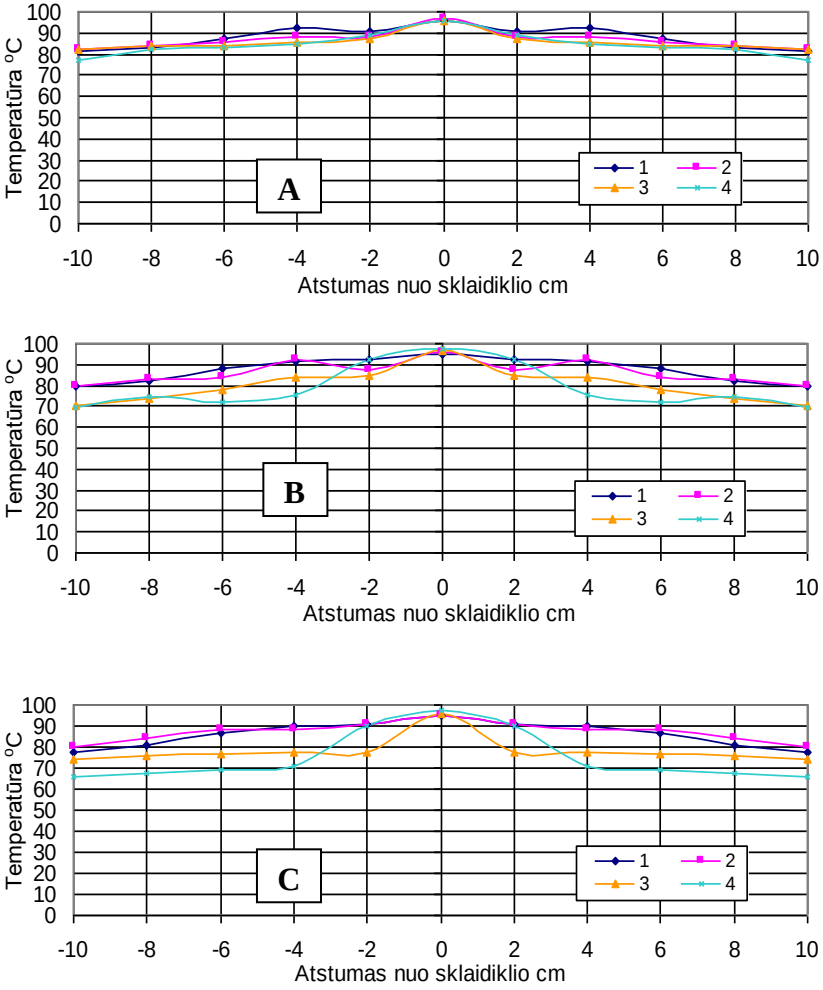


7.21 pav. Drėgnojo vandens garo srauto sklaidos lygiame dirvos paviršiuje, kai naudojamas lygus garo skleidiklio gaubtas, tyrimų schema. Matmenys cm. 1 – drėgnojo vandens garo išleidimo vieta; 2 – temperatūros matavimo jutikliai; 3 – lygus gaubtas ir jo padėtys bandymų metu

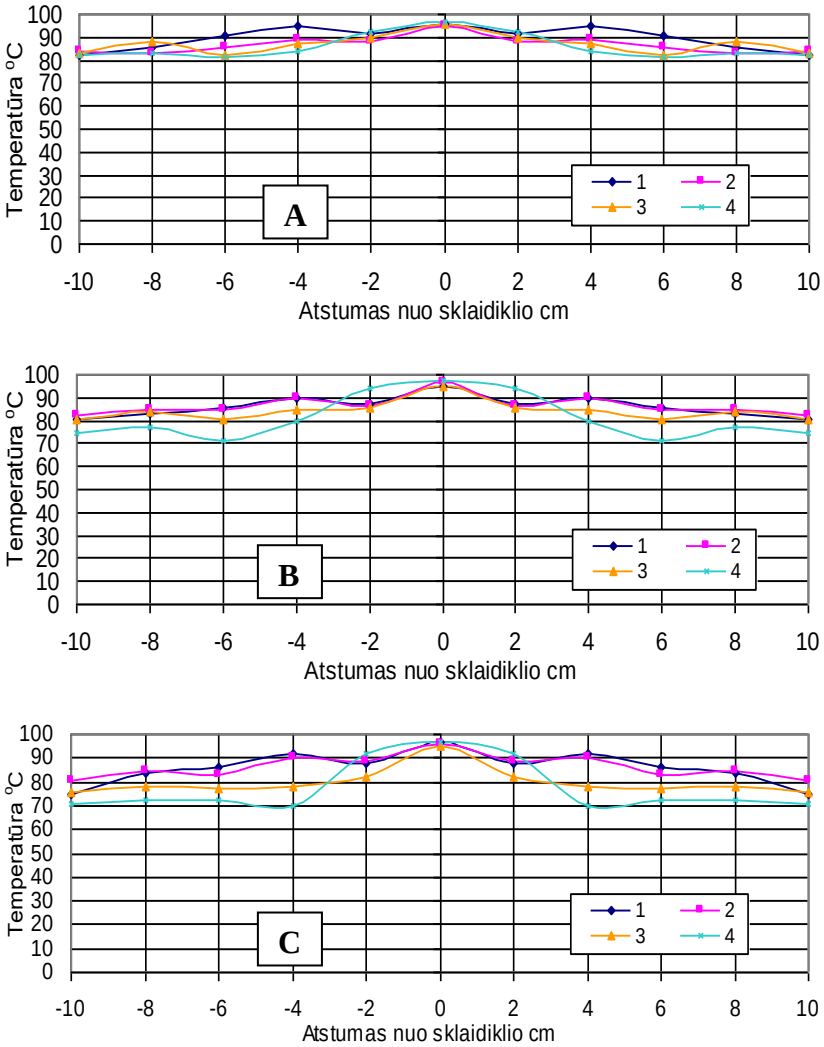
Tyrimų duomenys, pateikti 7.22 pav., rodo, kad optimalus gaubto aukštis nuo dirvos paviršiaus technologiniu bei garo ir oro maišymosi požiūriu yra 4 cm. Akivaizdžiai matome, kad didėjant atstumui tarp garo gaubto ir dirvos paviršiaus (5,5–7,0 cm), garo srauto temperatūra po gaubtu sumažėja.

Manyta, kad užlenkus gaubto kraštus (kiek tai leistų technologija), garo srautas būtų spaudžiamas žemyn ir taip būtų dar labiau sumažintas aplinkos oro ir vandens garo maišymasis. Tirta drėgnojo vandens garo srauto sklaida lygiame dirvos paviršiuje, kai ant garo skleidiklio uždėtas keturkampis gaubtas, kurio kraštai 1 cm užlenkti žemyn (7.23 pav.).

Lygindami duomenis, gautus naudojant lygų gaubtą (7.22 pav.), su duomenimis, gautais naudojant gaubtą, kurio kraštai užlenkti 1 cm žemyn (7.23 pav.), matome, kad rezultatas praktiškai vienodas. Tiriant lauko sąlygomis akivaizdaus skirtumo taip pat nebuvo. Tačiau ant garo skleidiklio uždėtas gaubtas leidžia padidinti augalus termiškai naikinančios aplinkos temperatūrą ir priderinus prie auginamo žemės ūkio augalo technologijos, teigiamai veikia terminio piktžolių naikinimo procesą.



7.22 pav. Drėgnojo vandens garo srauto temperatūros kitimas horizontalia kryptimi, kai dirvos paviršius lygus. Garo skleidiklis su lygiu gaubtu. Gaubto aukštis nuo dirvos paviršiaus atitinkamai A – 4 cm, B – 5,5 cm ir C – 7 cm. 1, 2, 3, 4 – temperatūra atitinkamai 0, 1, 2 ir 3 cm atstumu nuo dirvos paviršiaus



7.23 pav. Drėgnojo vandens garo srauto temperatūros kitimas horizontalia kryptimi, kai dirvos paviršius lygus. Garo skleidiklis su gaubtu, kurio kraštai 1 cm užlenkti žemyn. Gaubto aukštis nuo dirvos paviršiaus atitinkamai A – 4 cm, B – 5,5 cm ir C – 7 cm. 1, 2, 3, 4 – temperatūra atitinkamai 0, 1, 2 ir 3 cm atstumu nuo dirvos paviršiaus

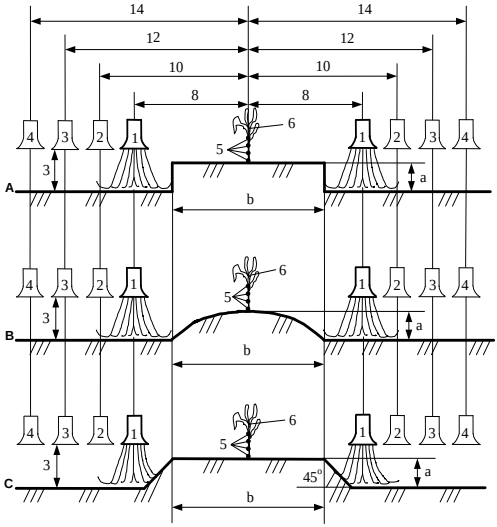
Augalų terminio atsparumo tyrimai morkų pasėlyje. Tyrimų stendas lauko bandymuose: 1– garo katilas, 2 – garo sklaidiklis, 3 – varžtas sklaidiklio judėjimo greičiui matuoti 4 – elektros variklis, 5 – elektros variklio apsukų programinis valdiklis vandens garo terminio poveikio trukmei reguliuoti

8 AGROTECHNINIAI VEIKSNIAI VEIKIANTYS TERMINĮ PIKTŽOLIŲ NAIKINIMĄ

Terminis piktžolių naikinimas – tai nauja ekologiška žemės ūkio augalų pasėlio priežiūros priemonė. Terminės pasėlio priežiūros priemonių kūrimo etape jaučiama didžiulė mokslinės informacijos stoka. Tyrimai sudėtingi, jiems atlikti būtina turėti keleto mokslo krypčių žinių. Iki šiol naudojama žemės dirbimo ir pasėlio priežiūros technika daugiausia pagrįsta mechanikos principais. Šių įrenginių darbas yra akivaizdžiai matomas ir nesudėtingas. Terminiai procesai remiasi kitais principais. Procesai nematomi, jie remiasi termodinamikos ir šilumos apykaitos principais. Juos valdyti, paruošti termines aplinkas ir tikslingai, efektyviai jas panaudoti yra sudėtingiau nei įrenginius, dirbančius pagal mechanikos principus.

8.1. Garo srauto temperatūros kitimas profiliuotame dirvos paviršiuje

Vandens garas, išleistas iš skleidiklio, veikiamas anksčiau aptartų (7.7 skyrius) jėgų, juda dirvos paviršiumi. Dirvos paviršiaus nelygumai didina garo srauto turbulenciją, maišymąsi su aplinkos oru. Siekdami panaudoti dirvos paviršiaus profiliavimą garo srautui nukreipti nuo žemės ūkio augalų ir taip juos apsaugoti nuo terminio sunaikinimo, pateikiame garo srauto temperatūros kitimo profiliuotame dirvos paviršiuje tyrimus (8.1 pav.).

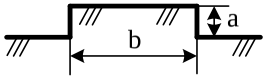
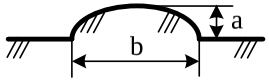
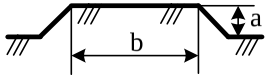


8.1 pav. Drėgnojo vandens garo srauto sklaidos iškiliame profiliuotame dirvos paviršiuje tyrimų schema. Matmenys cm. A, B, C – iškilusių virš dirvos paviršiaus tiriamų profilių schemos; a – iškilimo aukštis; b – iškilimo plotis; 1, 2, 3, 4 – tirtos drėgnojo vandens garo išleidimo vietos; 5 – temperatūros matavimo jutikliai; 6 – žemės ūkio augalas

Iškilusis profiliavimas. Tyrimų duomenys rodo, kad iškiliame dirvos paviršiuje pastebimas analogiškas temperatūros kitimo pobūdis, kaip ir lygiame dirvos paviršiuje (7 skyrius), tačiau skiriasi savo absoliučia verte. Mus domina tik terminis poveikis žemės ūkio augalui, todėl 8.1 lentelėje pateikiame tik didžiausias temperatūros žemės ūkio augalų augimo vietoje reikšmes, nepateikdami jos kitimo kreivių.

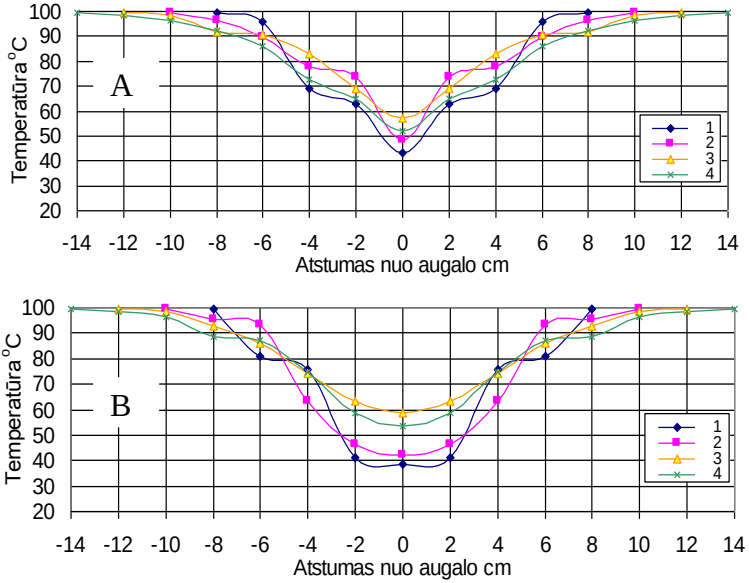
Vertindami 8.1 lentelės duomenis matome, kad iškilusis dirvos paviršiaus profiliavimas sėjos metu, kaip ir lygiame dirvos paviršiuje, neapsaugo kultūrinių augalų nuo terminio poveikio. Žemės ūkio augalai terminio piktžolių naikinimo metu termiškai nepažeidžiami tik tada, kai stačiakampio dirvos profilio aukštis ne mažesnis kaip 5 cm. Deja, sėjos metu paruošti tokio aukščio dirvos profilį, naudojant prie sėjamosios pritvirtintą specialų įtaisą, yra gana sudėtinga. Nors atskirais atvejais temperatūra žemės ūkio augalų augimo vietoje yra apie 40 ^{o}C, tačiau reikia įvertinti lauko sąlygas, klimato poveikį, profilių deformaciją. Todėl, derinant mechanizuotos sėjos ir terminio piktžolių naikinimo technologijas, mažo iškilumo profilius naudoti netikslinga.

8.1 lentelė. Didžiausia aplinkos temperatūra žemės ūkio augalų augimo vietoje, naudojant iškiliuosius dirvos profilius, kai piktžolės naikinamos drėgnuoju vandens garu

Profiliuotas dirvos paviršius			Atstumas nuo garo išleidimo vietos iki žemės ūkio augalų cm			
schema	Matmenys cm		8	10	12	14
	a	b	didžiausia aplinkos temperatūra augalų augimo vietoje ($x \pm$) °C			
	1	10	70,4 ± 2,8	70,2 ± 2,7	67,9 ± 2,7	65,2 ± 2,7
		14	62,0 ± 2,6	76,1 ± 3,0	70,7 ± 2,8	52,9 ± 2,3
	2	10	69,0 ± 2,8	66,2 ± 2,7	61,0 ± 2,5	55,9 ± 2,4
		14	57,9 ± 2,4	58,1 ± 2,5	50,8 ± 2,3	48,7 ± 2,2
	3	10	63,0 ± 2,6	51,1 ± 2,3	45,6 ± 2,1	49,1 ± 2,2
		14	52,3 ± 2,3	53,4 ± 2,4	44,3 ± 2,1	46,2 ± 2,1
	1	10	77,3 ± 3,0	74,5 ± 3,0	73,1 ± 2,9	68,1 ± 2,8
		14	77,7 ± 3,0	74,1 ± 3,0	70,3 ± 2,9	67,4 ± 2,7
	2	10	75,6 ± 3,0	70,9 ± 2,8	65,4 ± 2,7	61,4 ± 2,5
		14	75,2 ± 3,0	71,0 ±2,8	65,9 ± 2,7	62,9 ± 2,5
	3	10	73,2 ± 2,9	70,2 ± 2,8	65,9 ± 2,7	59,2 ± 2,5
		14	67,7 ± 2,7	64,3 ± 2,7	59,0 ± 2,5	54,5 ± 2,4
	1	10	70,5 ± 2,8	70,7 ± 2,8	63,8 ± 2,6	58,5 ±2,5
		14	71,0 ± 2,8	75,7 ± 3,0	63,4 ± 2,6	59,8 ± 2,5
	2	10	75,9 ± 3,0	71,9 ± 2,8	69,5 ± 2,8	63,9 ± 2,6
		14	43,2 ± 2,0	48,5 ± 2,2	57,3 ± 2,4	52,1 ± 2,3
	3	10	67,2 ± 2,7	65,3 ± 2,7	65,3 ± 2,7	55,0 ± 2,4
		14	38,8 ± 1,9	42,1 ± 2,0	58,7 ± 2,5	53,5 ± 2,3

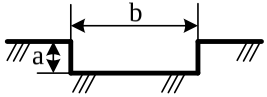
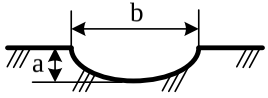
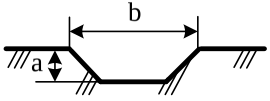
Vertinant 8.1 pav. pateiktus dirvos paviršiaus profilius, tenka atkreipti dėmesį į tai, kad stačiakampį profilį suformuoti sunku. Be to, toks profilis, veikiant klimato sąlygoms, gana greitai įgauna dirvos profilio su nuožulniomis briaunomis formą. Kaip matome iš 8.1 lentelės, esant 14 cm dirvos profilio pločiui ir 2 arba 3 cm aukščiui, temperatūra žemės ūkio augalų augimo vietoje yra 38,8–57,3 °C. Taigi žemės ūkio augalų augimo vietoje aiškiai pastebimas įdomus temperatūros kitimas ir sumažėjimas (8.2 pav.).

Profiliavimas grioveliais. Dirvos paviršiaus grioveliai taip pat didina garo srauto turbulenciją, maišymąsi su aplinkos oru. Norėdami išsiaiškinti temperatūros kitimą grioveliais profiliuotame dirvos paviršiuje ir galimybes juos panaudoti garo srautui nukreipti nuo žemės ūkio augalų bei nustatyti terminio poveikio augalams dydį, tyrėme temperatūros kitimą grioveliais profiliuotame dirvos paviršiuje. Principinė tyrimų schema analogiška kaip 8.1 paveiksle ir lengvai suprantama iš 8.2 lentelėje pateiktų schemų.



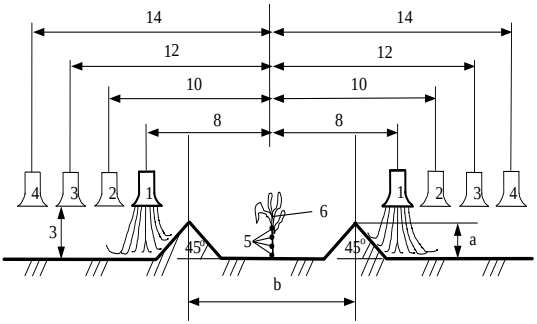
8.2 pav. Temperatūros kitimas iškiliame dirvos paviršiuje, kurio šlaitai 45°, 0–15 mm aukštyje, priklausomai nuo drėgnojo vandens garo išleidimo vietos ir dirvos profilio aukščio. Dirvos profilio plotis – 14 cm. A – iškiliojo dirvos profilio aukštis – 2 cm; B – iškiliojo dirvos profilio aukštis – 3 cm; 1, 2, 3, 4 – garas išleistas atitinkamai 8, 10, 12 ir 14 cm atstumu nuo žemės ūkio augalų

8.2 lentelė. Didžiausia aplinkos temperatūra žemės ūkio augalų augimo vietoje, naudojant dirvos profilius su grioveliais, kai piktžolės naikinamos drėgnuoju vandens garu

Profiliuotas dirvos paviršius			Atstumas nuo garo išleidimo vietos iki žemės ūkio augalų cm			
schema	matmenys cm		8	10	12	14
	a	b	didžiausia aplinkos temperatūra augalų augimo vietoje $(x \pm S_x)$ °C			
	1	10	74,7 ± 3,0	59,4 ± 2,5	58,9 ± 2,5	54,6 ± 2,4
		14	81,5 ± 3,2	64,1 ± 2,7	62,8 ± 2,6	59,9 ± 2,5
	2	10	74,2 ± 3,0	56,5 ± 2,4	55,5 ± 2,4	52,5 ± 2,3
		14	84,1 ± 3,3	57,3 ± 2,4	58,6 ± 2,4	52,2 ± 2,3
	3	10	66,4 ± 2,7	40,4 ± 1,9	53,5 ± 2,3	43,3 ± 2,0
		14	81,9 ± 3,2	54,5 ± 2,4	45,2 ± 2,1	42,7 ± 2,0
	1	10	80,1 ± 3,2	69,9 ± 2,8	62,6 ± 2,7	57,1 ± 2,0
		14	82,3 ± 3,2	76,4 ± 3,0	68,9 ± 2,8	65,6 ± 2,7
	2	10	79,1 ± 3,1	78,1 ± 3,1	68,2 ± 2,8	54,4 ± 2,4
		14	86,6 ± 3,3	78,2 ± 3,1	71,2 ± 2,8	62,6 ± 2,6
	3	10	78,2 ± 3,1	69,6 ± 2,8	58,9 ± 2,5	52,4 ± 2,3
		14	84,5 ± 3,3	69,2 ± 2,8	64,7 ± 2,7	57,3 ± 2,4
	1	10	80,7 ± 3,2	76,8 ± 3,0	72,5 ± 2,9	68,9 ± 2,8
		14	89,0 ± 3,4	70,4 ± 2,8	55,9 ± 2,4	58,2 ± 2,5
	2	10	78,3 ± 3,1	68,9 ± 2,8	61,8 ± 2,5	59,3 ± 2,5
		14	86,9 ± 3,3	67,0 ± 2,7	57,4 ± 2,4	60,9 ± 2,5
	3	10	67,1 ± 2,7	62,2 ± 2,6	41,0 ± 2,0	42,8 ± 2,0
		14	85,7 ± 3,3	67,3 ± 2,7	62,3 ± 2,6	65,1 ± 2,7

Vertinant absoliučias temperatūros vertes, dirvos profiliavimas grioveliais artimesnis lygaus dirvos paviršiaus atvejui. Didžiausias aplinkos temperatūros reikšmes žemės ūkio augalų augimo vietoje, naudojant dirvos profilius su grioveliais, pateikiame 8.2 lentelėje. Vertindami šios lentelės duomenis matome, kad dirvos paviršiaus profiliavimas sėjos metu grioveliais taip pat neapsaugo žemės ūkio augalų nuo naikinančio terminio vandens garo poveikio, todėl išsamesnis tyrimas netikslingas.

Profiliavimas iškylomis augalų šonuose. Temperatūros kitimo tyrimai iškylomis augalų šonuose profiliuotame dirvos paviršiuje parodė, kad toks profilis visiškai apsaugo žemės ūkio augalus nuo terminio vandens garo poveikio. Tyrimų schema pateikta 8.3 pav.

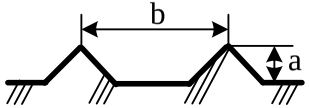


8.3 pav. Drėgnojo vandens garo srauto sklaidos iškylomis augalų šonuose profiliuotame dirvos paviršiuje tyrimų schema. Matmenys cm. a – griovelio gylis; b – griovelio plotis; 1, 2, 3, 4 – tirtos drėgnojo vandens garo išleidimo vietos; 5 – temperatūros matavimo jutikliai; 6 – žemės ūkio augalas

Tyrimų iškylomis augalų šonuose profiliuoto dirvos paviršiaus duomenis pateiksime išsamiau. Didžiausias temperatūras žemės ūkio augalų augimo vietoje pateikiame 8.3 lentelėje.

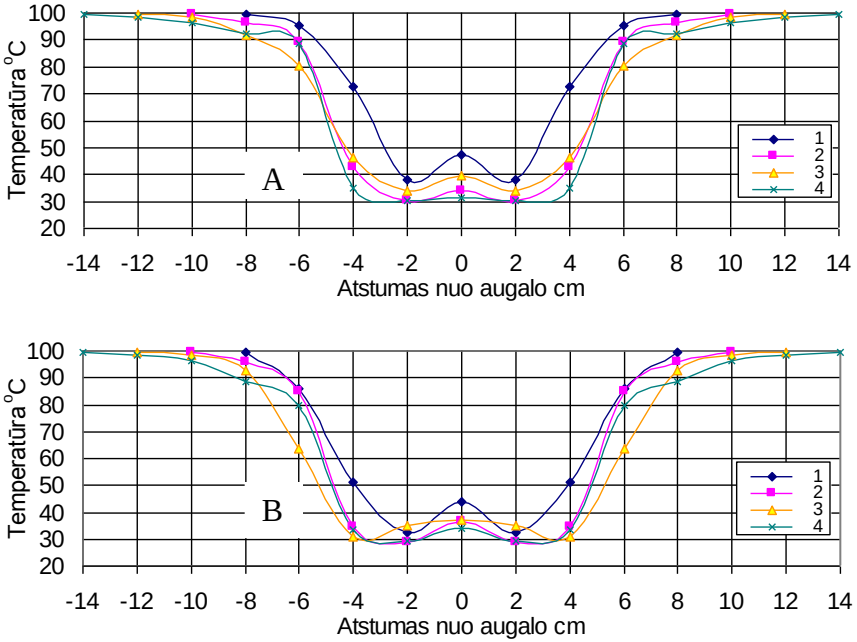
Patirtis rodo, kad apsauginius iškilius trikampius dirvos profilius (8.3 pav.) sėjos metu galima nesunkiai suformuoti. Tačiau esant lietingiems orams, dėl dirvos tankio padidėjimo jie tampa žemesni. Stebėjimai rodo, kad 3 cm aukščio iškylos praėjus keletui dienų ir ypač esant lietingiems orams, sumažėja iki 2 cm. Tačiau 8.3 lentelėje pateikti duomenys rodo, kad net 2 cm aukščio iškylos augalų šonuose atlieka savo paskirtį. Didžiausia temperatūra žemės ūkio augalų augimo vietoje esant 2 ir 3 cm aukščio iškyloms augalo šonuose, priklausomai nuo garo išleidimo vietos ir profilio pločio, svyruoja nuo 31,2 iki 47,2 ^{o}C. Tai leidžia teigti, kad 33 % sumažėjus iškyloms žemės ūkio augalų šonuose (nuo 3 iki 2 cm aukščio), žemės ūkio augalai nepatiria termiškai naikinančios aplinkos poveikio.

8.3 lentelė. Didžiausia aplinkos temperatūra žemės ūkio augalų augimo vietoje iškylomis augalų šonuose profiliuotame dirvos paviršiuje, kai piktžolės naikinamos drėgnuoju vandens garu

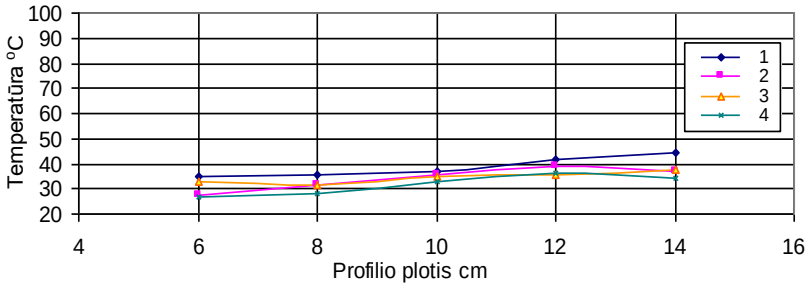
Profiliuotas dirvos paviršius			Atstumas nuo garo išleidimo vietos iki žemės ūkio augalų cm			
schema	matmenys cm		8	10	12	14
	a	b	didžiausia aplinkos temperatūra augalų augimo vietoje, $(x \pm S_x)$ °C			
	1	10	56,2 ± 2,4	49,7 ± 2,2	50,0 ± 2,3	51,6 ± 2,3
		14	63,1 ± 2,6	54,4 ± 2,4	49,4 ± 2,5	42,6 ± 2,0
	2	10	34,0 ± 1,9	35,1 ± 1,9	39,5 ± 2,5	47,0 ± 2,1
		14	47,2 ± 2,1	33,8 ± 1,8	39,8 ± 1,9	31,2 ± 1,8
	3	10	37,2 ± 1,9	35,7 ± 1,9	34,7 ± 1,9	33,2 ± 1,8
		14	44,1 ± 2,1	36,7 ± 1,9	37,4 ± 1,9	34,2 ± 1,9

Temperatūros kitimas 2 ir 3 cm aukščio iškylomis augalų šonuose profiliuotame dirvos paviršiuje yra panašus (8.4 pav.). Lygindami 8.4A ir 8.4B paveikslus matome, kad temperatūros kitimo kreivės tarp 2 cm ir 3 cm aukščio iškylų augalų šonuose profiliuotame dirvos paviršiuje mažai skiriasi ir mažai priklauso nuo garo išleidimo vietos. Duomenys, pateikti 8.3 lentelėje rodo, kad dirvos paviršiaus profiliavimas 1 cm aukščio iškylomis augalų šonuose nenaudotinas, nes temperatūra žemės ūkio augalų augimo vietoje tampa artima arba jau viršija temperatūrą, kuriai esant augalas yra sunaikinamas.

Siekdami paaiškinti kitus šios dirvos profilio parametrus, pateikiame didžiausios temperatūros žemės ūkio augalų augimo vietoje priklausomybę nuo profilio pločio (8.5 pav.).



8.4 pav. Temperatūros kitimas iškylomis augalų šonuose profiliuotame dirvos paviršiuje, priklausomai nuo drėgnojo vandens garo išleidimo vietos. Profilio su trikampėmis iškylomis plotis 14 cm; A – iškylų aukštis – 2 cm; B – 3 cm. 1, 2, 3, 4 – garas, išleistas atitinkamai 8, 10, 12 ir 14 cm atstumu nuo žemės ūkio augalų



8.5 pav. Didžiausios temperatūros kitimas iškylomis augalų šonuose profiliuotame dirvos paviršiuje, priklausomai nuo drėgnojo vandens garo išleidimo vietos ir profilio pločio. Iškylų aukštis – 3 cm. 1, 2, 3, 4 – garas išleistas atitinkamai 8, 10, 12 ir 14 cm atstumu nuo žemės ūkio augalų

Matome, kad žemės ūkio augalų apsaugai galima naudoti 6–8 cm pločio profilius. Tai ypač aktualu, nes lieka mažesnis plotas, kuriame nesunaikinamos piktžolės (apsaugodami žemės ūkio augalus, kartu apsaugome ir piktžoles, dygstančias profilio viduje).

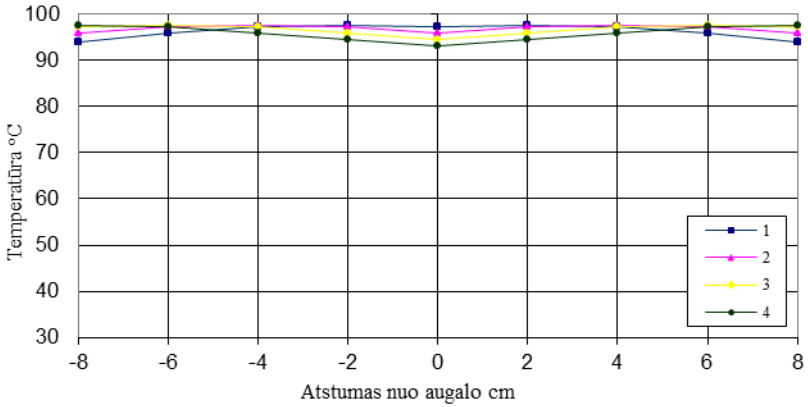
Įvertinus anksčiau pateiktus rezultatus, sprendžiant paviršiaus profiliavimo sėjos metu suderinamumo su piktžolių terminio naikinimo technologija klausimą, tik vienas iš 9 tirtų profilių leidžia apsaugoti žemės ūkio augalus nuo terminio sunaikinimo.

8.2. Temperatūros kitimas statiškai stabiliose putose lygiame dirvos paviršiuje

Termiškai naikinant piktžoles mobiliuoju agregatu sunku suderinti vandens garo išleidimą su sėjos metu suformuotomis pasėlio vagutėmis. Patirtis rodo, kad mobilusis terminio piktžolių naikinimo agregatas negali tiksliai kopijuoti sėjos vagutės. Judėjimo tikslumas yra ± 3 cm nuo sėjos vagutės vidurio, todėl ir garo išleidimo atstumas nuo putų rankovės kinta tuo pačiu (± 3 cm) skirtumu. Siekdami įvertinti mobiliojo terminio piktžolių naikinimo agregato judėjimo netikslumus atlikome laboratorinius tyrimus. Suformuojant vienodų gabaritų statiškai stabilių putų rankoves, laboratorinėmis sąlygomis tirtas temperatūros pasiskirstymas lygiame dirvos paviršiuje ir statiškai stabiliose putose, priklausomai nuo drėgnojo vandens garo išleidimo vietos.

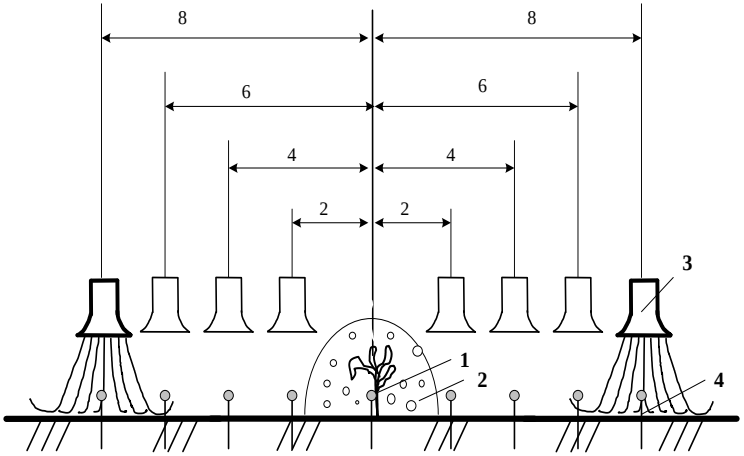
Ištirtas temperatūros kitimas piktžoles naikinant lygiame dirvos paviršiuje, nenaudojant statiškai stabilių putų apsaugos. Drėgnasis vandens garas iš skleidiklių išleidžiamas taip pat 2, 4, 6 ir 8 cm atstumu nuo žemės ūkio augalo (8.6 pav.).

Matavimų duomenys rodo, kad garą išleidus 2 cm atstumu (8.6 pav., 1 kreivė) nuo žemės ūkio augalo, temperatūra jo augimo vietoje buvo beveik tokia pat kaip ir garo išleidimo vietoje – 97,1 ± 1,9 ^{o}C. Garą išleidus 4 cm atstumu (2 kreivė) temperatūra augalo augimo vietoje siekia 95,8 ± 2,1 ^{o}C, atitinkamai 6 cm (3 kreivė) atstumu – 94,4 ± 1,7 ^{o}C ir 8 cm (4 kreivė) – 93,2 ± 2,3 ^{o}C. Lygiame dirvos paviršiuje garo išleidimo atstumo didinimas nuo augalo augimo vietos temperatūrą veikia nedaug, todėl lygiame dirvos paviršiuje terminė piktžolių kontrolė nesaugant nuo terminio poveikio tolygi žemės ūkio augalo sunaikinimui. Dar daugiau didinti drėgnojo vandens garo išleidimo atstumo neverta, nes dauguma piktžolių, esančių arčiau žemės ūkio augalo, bus nepažeistos ir jas teks naikinti mechaniškai, o tai ekonominiu požiūriu yra netikslinga. Šie duomenys dar kartą patvirtina, kad drėgnuoju vandens garu termiškai naikinant piktžoles lygiame dirvos paviršiuje, naudojant atviro tipo skleidiklius kartu reikia naudoti ir žemės ūkio augalų apsaugos priemones, ribojančias vandens garo srauto patekimą į žemės ūkio augalų augimo zoną.



8.6 pav. Temperatūros kitimas lygiame dirvos paviršiuje: 1, 2, 3, 4 – temperatūros kitimas garą išleidžiant atitinkamai 2, 4, 6 ir 8 cm atstumu nuo žemės ūkio augalo

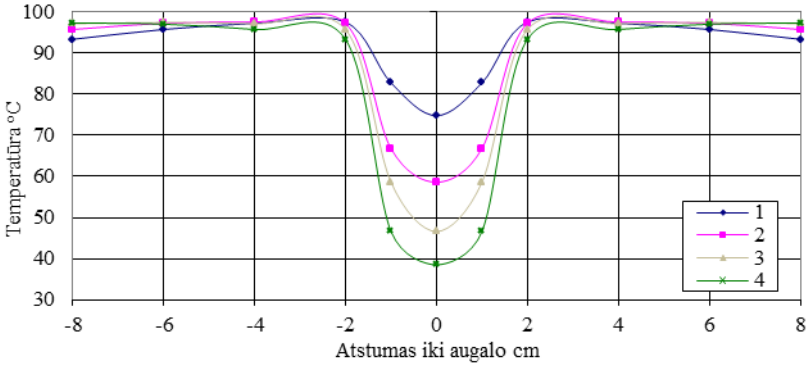
Tirtas garo išleidimo atstumas, kai drėgnasis vandens garas iš skleidiklių išleidžiamas 2, 4, 6 ir 8 cm atstumu nuo žemės ūkio augalų (8.7 pav.), padengtų statiškai stabilių putų sluoksniu. Šių tyrimų metu augalams buvo suteikiamas 1,0 s trukmės terminis vandens garo poveikis.



8.7 pav. Temperatūros sklaidos lygiame dirvos paviršiuje, priklausomai nuo drėgnojo vandens garo išleidimo vietos, tyrimų schema: 1 – žemės ūkio augalas; 2 – statiškai stabilių putų sluoksnis; 3 – garo skleidiklis, kurio pastatymo vieta keičiama kas 2 cm; 4 – temperatūros jutikliai (0,5 cm aukštyje virš dirvos paviršiaus)

Žemės ūkio augalų apsaugai naudodami statiškai stabilias putas pastebime iš esmės kitokį temperatūros kitimo pobūdį augalo augimo vietoje. Tai matyti lyginant 8.6 ir 8.8 pav. 8.8 paveiksle aiškiai matyti pažemintos temperatūros zona putų paskleidimo vietoje.

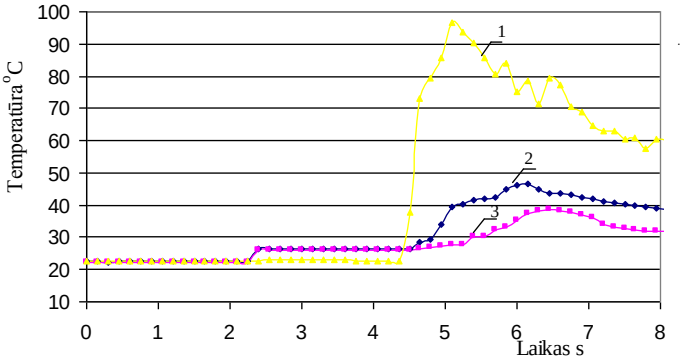
Analizuodami tyrimų duomenis matome, kad garą išleidžiant 2 cm atstumu nuo sėjimo vagutės, kuri yra padengta statiškai stabilių putų sluoksniu, centro, temperatūra augalo augimo vietoje siekia 74,8 ± 2,2 ^{o}C (8.8 pav., 1 kreivė), o jį išleidžiant 4 cm atstumu, temperatūrų kitimo dėsningumas išlieka panašus kaip ir 2 cm atstumu. Temperatūra augalo augimo vietoje gerokai sumažėja, tačiau dar yra artima augalo letalios temperatūros ribai (siekia 58 ^{o}C). Abiem atvejais kartu su piktžolėmis bus sunaikinami ir žemės augalai, todėl šių tyrimų duomenis plačiau nagrinėti netikslinga.



8.8 pav. Temperatūros kitimas lygiame dirvos paviršiuje žemės ūkio augalus padengus putomis: 1, 2, 3, 4 – temperatūros kitimas garą išleidžiant atitinkamai 2, 4, 6 ir 8 cm atstumu nuo žemės ūkio augalo

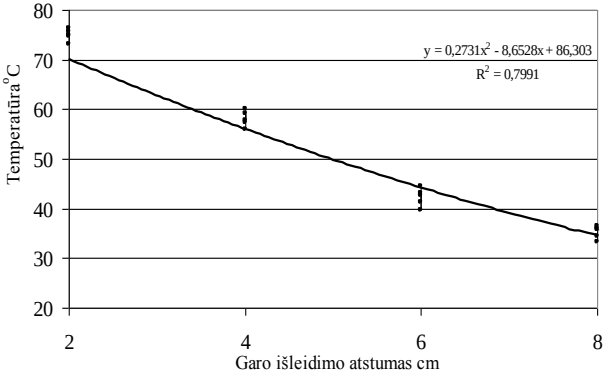
Išsamiau panagrinėsime procesus, vykstančius garą išleidžiant 6 ir 8 cm atstumu nuo sėjimo vagutės. Kaip žinome, stovintis vietoje garo skleidiklis sukuria skrituliui artimą garo kondensacijos pėdsaką. Įrenginiui judant žemės paviršiumi, dėl slenkančio temperatūros lauko susidaro nevienodas aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo laikas. Augalams, esantiems skleidiklio centre, tenka ilgesnis palaikymo laikas, palyginti su augalais, esančiais toliau nuo skleidiklio centro. Garo aplinkos temperatūra atskiruose taškuose yra nevienoda, nors temperatūros jutikliai yra vienodame aukštyje virš dirvos paviršiaus, o garo išleidimo procesas sąlyginai stabilus. Didžiausių temperatūrų pasislinkimas augalo aplinkoje gali būti paaiškinamas temperatūros jutiklio pastatymo vieta ir garo skleidiklio judesiu, o didžiausių temperatūrų skirtumas yra vandens garo maišymosi su aplinkos oru rezultatas.

Kaip matome 8.9 paveiksle, garą išleidžiant 6 cm atstumu nuo sėjimo vagutės, padengtos statiškai stabilių putų sluoksniu, temperatūra augalo augimo vietoje siekė 46,6 ± 1,9 ^{o}C, o 8 cm atstumu – 38,6 ± 2,3 ^{o}C (8.9 pav.). Kintantis temperatūros laukas, priklausomai nuo garo išleidimo atstumo, augalams suteikia nevienodą aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo laiką. Augalams, esantiems arčiau garo srauto išleidimo centro (6 cm atstumu), tenka ilgesnis palaikymo laikas. Atstumui didėjant, t. y. 8 cm atstumu nuo garo išleidimo vietos, aukštatemperatūris poveikis augalui yra vėluojantis ir daug mažesnis.



8.9 pav. Temperatūros kitimas sėjos vagutėje, padengtoje statiškai stabilių putų sluoksniu, garą išleidžiant 6 ir 8 cm atstumu nuo vagutės vidurio: 1 – temperatūra garo skleidiklio centre; 2, 3 – temperatūra augalo augimo vietoje, kai garas išleidžiamas atitinkamai 6 ir 8 cm atstumu nuo sėjimo vagutės vidurio

Temperatūros pokyčius veikia ne tik drėgnojo vandens garo išleidimo atstumas, bet ir statiškai stabilių putų sluoksnio irimo metu susiformuojanti pažemintos kondensacijos temperatūros zona. Apibendrinimui pateikiame (8.10 pav.) didžiausių temperatūrų pasiskirstymą žemės ūkio augalų augimo vietoje (sėjimo vagutėje), priklausomai nuo drėgnojo vandens garo išleidimo atstumo nuo sėjos vagutės, padengtos putų sluoksniu.



8.10 pav. Didžiausia temperatūra žemės ūkio augalų augimo vietoje padengtoje putų sluoksniu, priklausomai nuo drėgnojo vandens garo išleidimo atstumo

Įvertinus temperatūrų kitimo pobūdį galima daryti prielaidą, kad išleidžiant drėgnąjį vandens garą 6 cm atstumu nuo sėjos vagutės, padengtos statiškai stabilių putų sluoksniu, žemės ūkio augalas nuo terminio drėgnojo vandens garo poveikio bus apsaugotas.

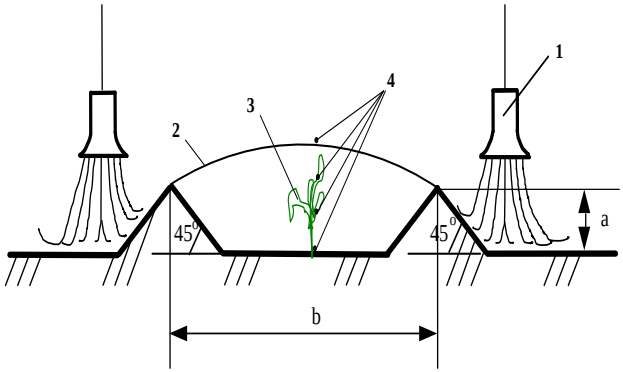
8.3. Statiškai stabilių putų naudojimas profiliuotame dirvos paviršiuje

Svarbus technologinis veiksnys piktžolių kontrolės metu yra augalo terminio pažeidimo būdas. Aišku, kad kiekvienam auginamam žemės ūkio augalui turi būti sukurta ir pritaikyta skirtinga terminio piktžolių naikinimo technologija, įvertintas žemės ūkio augalų ir piktžolių atsparumas aukštatemperatūrei aplinkai skirtingais augimo tarpsniais bei nustatyti optimalūs piktžolių naikinimo terminai ir aplinkos sąlygos. Augalas skirtingais augimo tarpsniais nevienodai reaguoja ir į terminį poveikį, todėl ir kiekvienam žemės ūkio augalui taikytini skirtingi apsaugos nuo terminio pažeidimo būdai

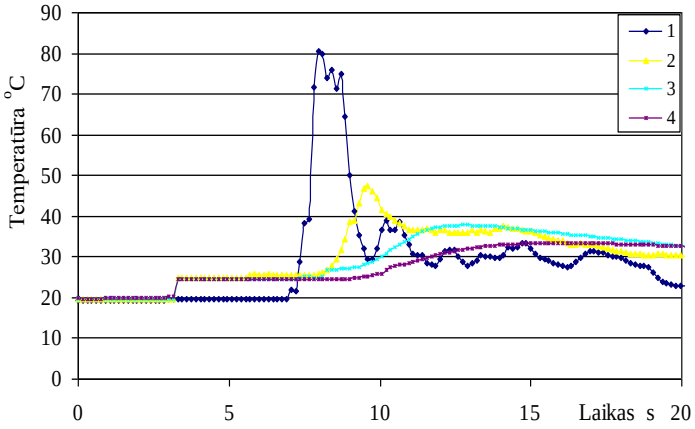
Dirvos paviršiaus profiliavimas yra žemės ūkio augalų apsaugos nuo terminio sunaikinimo būdas dirvos paruošiamojo periodo metu. Eksperimentiniai dirvos paviršiaus profiliavimo duomenys rodo, kad geriausiai žemės ūkio augalus nuo terminio pažeidimo apsaugo iškilūs 2–3 cm trikampiai dirvos profiliai, kuriuos sėjos metu galima nesunkiai suformuoti. Stebėjimai rodo, kad 3 cm aukščio iškylos praėjus keletui dienų ir ypač esant lietingiems orams, sumažėja iki 2 cm. Tačiau duomenų analizė rodo, kad ir 2 cm aukščio iškylos augalų šonuose atlieka savo paskirtį. Didžiausia temperatūra žemės ūkio augalų augimo vietoje esant 2 cm aukščio iškyloms augalo šonuose, priklausomai nuo garo išleidimo vietos, svyruoja nuo 34,0 ± 1,9 iki 47,0 ± 2,1 ^{o}C. Tai leidžia teigti, kad 33 % sumažėjus iškyloms augalų šonuose (nuo 3 iki 2 cm aukščio), žemės ūkio augalai nepatiria termiškai naikinančios aplinkos poveikio. Tačiau visa tai tinka tik dygstantiems žemės ūkio augalams. Terminę piktžolių kontrolę atliekant antrą kartą, kai žemės ūkio augalas būna jau ūgtelėjęs, 3–5 lapelių tarpsnio, iškilūs trikampiai dirvos profiliai nėra veiksmingi.

Siekdami išryškinti dirvos profiliavimo privalumus ir jų suderinamumą su putų panaudojimu, atlikome tyrimus profilio griovelį (že-

mės ūkio augalo augimo zoną) padengę 3–4 cm storio statiškai stabilių putų sluoksniu (8.11 pav.). Putų sluoksnio aukštis, priklausomai nuo augalo aukščio, gali būti skirtingas.



8.11 pav. Drėgnojo vandens garo srauto sklaidos iškylomis augalų šonuose profiliuotame dirvos paviršiuje tyrimų schema: a – iškilų aukštis; b – profilio plotis; 1 – garo skleidiklis; 2 – putų sluoksnis, dengiantis profilio griovelį; 3 – žemės ūkio augalas; 4 – temperatūros jutikliai



8.12 pav. Temperatūros sklaida trikampėmis iškylomis augalų šonuose profiliuotame dirvos paviršiuje, profilio griovelį padengus statiškai stabilių putų sluoksniu: 1 – temperatūra virš putų sluoksnio; 2, 3, 4 – temperatūra putų aplinkoje

Tyrimams pasirinkome optimalų profilio plotį $b = 10$ cm ir iškilų aukštį $a = 2$ cm. Stebėjome vertikalų temperatūros pasiskirstymą putose, kai drėgnasis vandens garas buvo išleidžiamas prie pat profilio krašto. Jutikliai buvo išdėstyti vertikaliai 1 cm atstumu profilio griovelio viduryje, augalo augimo vietoje.

1 kreivė (8.12 pav.) rodo drėgnojo vandens garo (virš putų sluoksnio) temperatūrą, kuri yra artima išleidžiamo garo srauto temperatūrai ($80{,}5 \pm 2{,}3$ °C). 2, 3 ir 4 kreivės rodo temperatūrą profilio griovelyje statiškai stabilių putų aplinkoje. Nedidelis temperatūros svyravimas profilio viduryje, statiškai stabilių putų aplinkoje, gali būti paaiškinamas tuo, kad drėgnasis vandens garo srautas atsimuša ne tik į profilio kraštą, bet ir apgaubia statiškai stabilių putų sluoksnį.

Temperatūra viršutinėje putų sluoksnio dalyje pakyla iki $47{,}6 \pm 2{,}1$ °C (8.12 pav., 2 kreivė), o prie pat dirvos paviršiaus pastebimas tik nedidelis temperatūros pakilimas iki $32{,}5 \pm 1{,}7$ °C (8.12 pav., 4 kreivė).

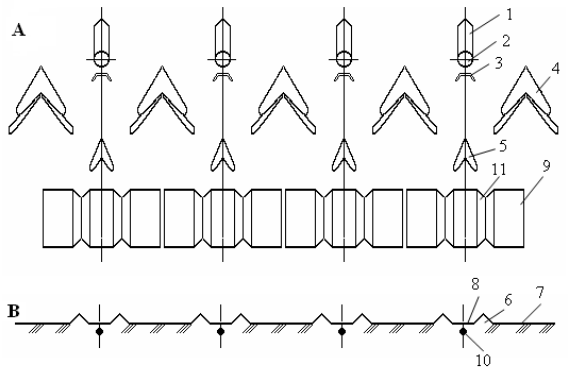
Tyrimų duomenys patvirtina, kad dirvos paviršiaus profiliavimas ir statiškai stabilių putų panaudojimas technologiškai yra suderinami. Tai leidžia teigti, kad 3–5 lapelių tarpsnio žemės ūkio augalas nuo terminio sunaikinimo bus apsaugotas.

8.4. Dirvos profiliavimas sėjos metu

Dirvos profiliavimas sėjos metu, siekiant apsaugoti žemės ūkio augalus nuo terminio sunaikinimo, naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu, praplėtė piktžolių terminio naikinimo technologinį procesą įtraukus dirvos paruošiamąją stadiją. Apsauginiais iškiliais trikampiais profiliais profiliuota dirva (8.3 pav.) apsaugo dygstančius žemės ūkio augalus naikinant piktžoles tarpueiliuose drėgnuoju vandens garu. Tai leido praplėsti terminės piktžolių kontrolės naudojimo galimybes, kai dygstančių piktžolių ir žemės ūkio augalų (morkų) biometriniai rodikliai panašūs.

Eksperimentiniai duomenys leidžia teigti, kad dirvos paruošiamosios stadijos suderinamumas su terminiu piktžolių naikinimu yra būtinas. Tyrimai leido sukurti naują įrenginį ir sėjos būdą, gauti patentus (TPK ind.: A01C 7/00. LT 5499 B. 2008; TPK ind.: A01M 21/00. LT 5532 B. 2008; TPK ind.: A01M 21/00, A01M 21/04, B 05 B 3/00. LT 5620 B. 2009). Sukurta įranga visiškai pasiteisino termiškai naikinant

piktžoles drėgnuoju vandens garu ir apsaugant žemės ūkio augalus nuo terminio sunaikinimo, kai piktžolių ir žemės ūkio augalų atsparumas terminiam poveikiui panašus. Sėjos būdo ir dirvos profiliavimo įrenginio schema pateikta 8.13 pav.



8.13 pav. Sėjamosios ir sėjos metu profiliuoto dirvos paviršiaus schemos: A – sėjamosios darbinių dalių su papildomais noragėliais ir dirvos paviršių profiliuojančiais voleliais išdėstymo schema; B – po sėjos profiliuoto dirvos paviršiaus ir sėklų išdėstymo dirvoje schema: 1 – inkariniai noragėliai; 2 – sėklavamzdžiai; 3 – akėtėlės; 4 – noragėliai su verstuvais; 5 – noragėliai; 6 – dirvos profilis; 7 – dirva tarpueiliuose; 8 – sėklos pasėjimo vieta – vagutė; 9 – voleliai; 10 – pasėta sėkla; 11 – dirvos profilį formuojantys grioveliai

Sėjamosios inkariniai noragėliai 1 padaro dirvoje vagutę, kurioje pro sėklavamzdžius 2 pasėjama sėkla 10. Akėtėlės 3 sėklą užžeria dirvožemiu. Už sėjamosios noragėlių 1 tarpueiliais judantys noragėliai su verstuvais 4 pradeda formuoti ištisinį iškilųjį dirvos profilį 6. Noragėliai su verstuvais pasirinkti todėl, kad virš jų esantys verstuvai geriau perstumia dirvą į tą vietą, kur bus formuojamas iškilus dirvos profilis 6. Tarpueiliais judantys noragėliai su verstuvais 4 turi būti pritvirtinti taip, kad galėtų vienodai formuoti dirvos paviršių 7 ir būtų galima reguliuoti jų dirbimo gylį. Noragėliai su verstuvais 4 judėdami 1–1,5 cm gyliu, verčia dirvą į tą vietą, kur bus formuojamas iškilus dirvos profilis 6. Kad apsaugotume išdygusius augalus nuo drėgnojo vandens garo poveikio, iškilus dirvos profilis 6 formuojamas abiejose apsėtos vagutės 8 pusėse. Dėl dirvos nelygumų tarpueiliais 7 judantys noragėliai su verstuvais 4 dalį dirvožemio gali užžerti ir ant pasėtų sėklų 10. Šiuo atveju

pasėta sėkla 10 atsidurtų giliau nei ji buvo pasėta, todėl ilgiau dygtų arba visai nesudygtų. Kad taip neatsitiktų, už noragėlių su verstuvais 4, virš pasėtos vagutės 8 yra pritvirtinti noragėliai 5, kurie nuo pasėtų sėklų 10 nužeria tą dirvožemio dalį, kuri pakliūva nuo priekyje esančių noragėlių su verstuvais 4. Kaip ir noragėliai su verstuvais 4, virš pasėtų sėklų 10 judantys noragėliai 5 turi būti pritvirtinti taip, kad galėtų vienodai formuoti dirvos paviršių ir būtų galima reguliuoti jų dirbimo gylį. Noragėliai 5 turi būti sureguliuoti taip, kad virš pasėtos sėklos 10 paliktų 1–2 cm dirvos sluoksnį, o likusią dirvožemio dalį nužertų į iškilaus dirvos profilio 6 formavimo vietą. Iškilius dirvos profilius baigia formuoti gale sėjamosios įtaisyti voleliai 9. Kadangi naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu dirvos paviršius turi būti lygus, tai šie voleliai voluoja dirvą ne tik virš pasėtos sėklos 10, bet ir tarpueiliuose 7. Iškilius dirvos profilius 6 suformuoja voleliuose 9 esantys grioveliai 11. Kiekvienai vagutei turi būti atskiras volelis su spaudimo į dirvos paviršių reguliatoriumi. Taip vienodžiau formuojamas dirvos paviršius, geriau suvoluojama dirva ir suformuojamas taisyklingas iškilus dirvos profilis 6, kurį matome 8.14 paveiksle. Pagaminto profiliavimo įrenginio ir sėjamosios vaizdas darbo metu matomas 8.15 paveiksle.

8.14 pav. Profiliuoto bandymų lauko vaizdas po sėjos

8.15 pav. Sėjamoji su dirvos profiliavimo įrenginiu

9 BIOLOGINIAI VEIKSNIAI, VEIKIANTYS TERMINĮ PIKTŽOLIŲ NAIKINIMĄ

9.1. Augalo dygimo energijų ir maisto medžiagų balansas

Augalo daigas yra gležnas ir jautrus terminiam poveikiui. Jis apsaugotas dirvos paviršiuje esančio apykaitos su aplinka sluoksnio, kuris sudaro lokalizuotą, palankią aplinką augalo vystymuisi. Be to, dygstantis daigas naudojasi organinės medžiagos pavidalu sėkloje sukaupta energija. Taigi terminiam piktžolių naikinimui daigo augimo tarpsniu įvertinti būtinas teorinis pagrindimas. Tam tikslui pateikiame sėklos dygimo energijų ir medžiagų balansą.

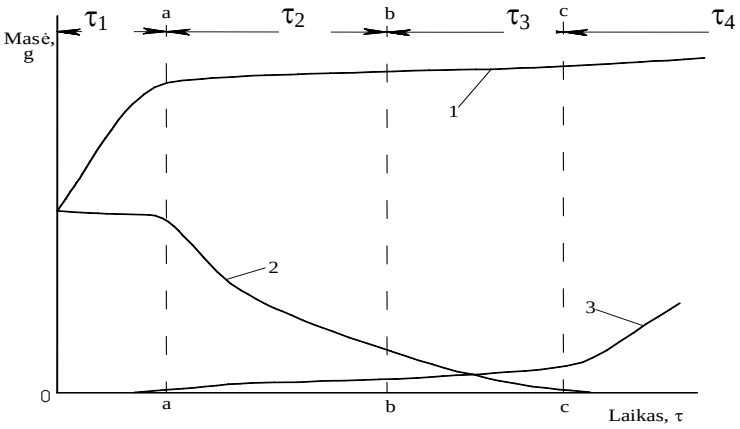
Natūraliai subrendusiose sėklose būna apie 10–15 % vandens. Sėklos, pasibaigus ramybės periodui, paveiktos dygimui būdingų veiksnių, išbrinksta ir sudygsta. Dygimui reikalingas deguonis. Be to, dygstančiose sėklose vyksta daug biocheminių pakitimų: atsarginių medžiagų (baltymų, angliavandenių, aliejų ir kt.), esančių sėklose, virtimas paprastesnėmis, kurios jau gali būti panaudojamos daigo naujų ląstelių susidarymui ir energijai gauti. Ji reikalinga gyvybiniams procesams palaikyti, t. y. sukurti temperatūros gradientams, kurie būtini daigo tolesniam vystymuisi. Literatūros duomenimis, dygstančiose sėklose krakmolo, dekstrino, riebalų mažėja, o cukraus ir celiuliozės daugėja. Visų augalų daiguose cukraus gausėja, nepriklausomai nuo sėklose sukauptų atsarginių medžiagų (baltymų, riebalų angliavandenių). Tai rodo, kad tiek polisacharidai, tiek riebalai dygstančiose sėklose paverčiami cukrumi. Sėklai dygstant atsarginiai baltymai veikiami fermentų

virsta peptinais, polipeptidais ir aminorūgštimis (Dagys ir kt., 1978, Stašauskaitė, 1995).

Dygimo metu sėklų masė kinta, mažėja sausųjų medžiagų. Dalis augalo audiniuose sukauptos medžiagos eikvojama kvėpavimui, kuris sukelia temperatūros padidėjimą, dėl to atsiradus tam tikriems temperatūros gradientams vyksta medžiagų judėjimas, būtinas sėklos dygimo procesams ir asimiliacinių audinių susidarymui. Tik tada, kai asimiliacijos procese asimiliatų kiekis pradeda viršyti eikvojamų iš sėklos atsarginių augalo medžiagų kiekį gyvybinėms funkcijoms palaikyti, galima teigti, kad augalas jau pats sugeba palaikyti gyvybines funkcijas, pradeda augti. Nuo šio momento sėklos atsarginiai audiniai savo paskirtį – suteikti gyvybę augalo gemalui, naujai šios augalų rūšies kartai, yra atlikę.

Tyrinėjant augalo dygimo energiją iškyla būtinumas aptarti momentą, kai sėklos dygimo procesas pereina į augalo augimo ir jo vystymosi procesą. Šiuos būdingus sėklos dygimo proceso momentus paaiškina 9.1 pav. pateiktos kreivės.

Sėklos dygimo procesą galima suskirstyti į 4 tarpsnius (9.1 pav.). Pirmuoju tarpsniu, kurio trukmė τ_1, sėkla brinksta, sausųjų medžiagų kiekis joje išlieka beveik nepakitęs. Sėklos bendroji masė didėja (1 kreivė), priklausomai nuo absorbuojamo vandens kiekio. Šio proceso trukmė priklauso nuo labai daug veiksnių ir sąlygų. Po brinkimo tarpsnio τ_1 (a-a) sėkloje pradeda vystytis daigas. Toliau sėklos bendroji masė mažai keičiasi, daigas auga, jo masė didėja (3 kreivė), o sausųjų atsarginių medžiagų masė sėkloje mažėja (2 kreivė). Baigiantis daigo vystymosi tarpsniui sėkloje τ_2 (b-b) pirmiausia daigas išleidžia šaknelę, kuri praplėšia sėklos luobelę ir skverbiasi į dirvą, iš jos paimdama maisto medžiagas tolesniam vystymuisi. Tuo metu pradeda augti ir viršutinis pumpuras, kuris skverbiasi į žemės paviršių, daigo masė didėja (3 kreivė). Prasideda fotosintezės procesas, naujos organinės medžiagos kūrimas. Atsarginės sėklos medžiagos baigiamos naudoti, intensyvėja asimiliacija. Sėklos gyvavimo pabaigos tarpsnis τ_3 artėja prie sėklos gyvavimo pabaigos c-c. Šio tarpsnio τ_3 pabaigoje nuo taško c-c asimiliacijos procesas jau pradeda patenkinti daigo energinius poreikius gyvybinėms funkcijoms palaikyti, prasideda augalo savarankiško vystymosi tarpsnis τ_4.



9.1. pav. Sėklos ir daigo masės kitimo dygimo metu schema: 1 kreivė – dygstančios sėklos bendrosios masės kitimas, 2 – sausųjų medžiagų masės sėkloje mažėjimas, 3 – daigo masės didėjimas. τ_1 – sėklos brinkimo tarpsnis; τ_2 – daigo vystymosi sėkloje tarpsnis; τ_3 – sėklos gyvavimo pabaigos tarpsnis; τ_4 – augalo vystymosi pradžia. a-a sėklos brinkimo pabaiga; b-b daigo vystymosi sėkloje pabaiga; c-c sėklos gyvavimo pabaiga (antžeminės daigo dalies vystymosi pradžia)

Taigi sėklos dygimo tarpsnis τ_s susideda:

$$\tau_S = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \tag{9.1}$$

čia τ_1 – sėklos brinkimo tarpsnis;
τ_2 – daigo vystymosi sėkloje tarpsnis;
τ_3 – sėklos gyvavimo pabaigos tarpsnis.

Sėklos dygimo tarpsnio medžiagų balansą galima užrašyti kaip atsarginių sėklos medžiagų optimalaus sunaudojimo rezultatą:

$$M_{\max} - M_{\tau_1} - M_{\tau_2} - M_{\tau_3} = M_{\min}, \tag{9.2}$$

čia $M_{\max}$ – maksimali sausųjų medžiagų masė sėkloje prieš dygimą g;

$M_{\tau_1}, M_{\tau_2}, M_{\tau_3}$ – sunaudotos atsarginės sėklos medžiagos masė g atitinkamais dygimo tarpsniais τ_1, τ_2 ir τ_3;

$M_{\min}$ – sėklos atsarginių medžiagų masės likučiai g augalo savarankiško vystymosi tarpsnio τ_4 pradžioje.

Kaip minėjome, daigas nuo c-c periodo pradeda savarankišką gyvenimą (tarpsnis τ_4) vykstant energijų ir masės (maisto medžiagų, vandens, metabolinių produktų) mainams su aplinka.

Atlikta analizė leidžia teigti, kad augdamas daigas, sunaudodamas sėklos atsargines medžiagas, pasiekia kritinį momentą, kai šios medžiagos artėja prie pabaigos, o medžiagų asimiliacija dar būna labai menka. Taigi šiuo momentu daigo galimybės išgyventi yra minimalios, jis yra labiausiai pažeidžiamas ir labiausiai jautrus nepalankiems išorinės aplinkos veiksniams. Kadangi šis mūsų darbas skirtas terminiam piktžolių naikinimui, aišku, kad kritiniu momentu lengviausia augalą – piktžolę – sunaikinti tam naudojant bet kurį fizikinį piktžolių naikinimo metodą.

9.2. Augalo morfologinių požymių įtaka šilumos plitimui laidžiu piktžolės audiniais

Terminio piktžolių naikinimo efektyvumas priklauso nuo dviejų veiksnių.

Pirmasis veiksnys yra aukštatemperatūrės aplinkos gebėjimas atiduoti šilumą paviršiniams augalo audiniams. Tai nagrinėjome ankstesniuose skyriuose ir matėme, kad ši aukštatemperatūrės aplinkos savybė išimtinai priklauso nuo termodinaminių augalą termiškai naikinančios aplinkos savybių ir technologinio proceso tobulumo.

Antrasis veiksnys yra šilumos plitimas laidžiu augalo audiniais. Gyvų augalo audinių laidis – fizinis rodiklis, randamas eksperimentu. Tačiau iki šiol gyvų augalo audinių šilumos laidis nenustatytas, nežinomas. Viena aišku, kad jis kinta kintant sausųjų medžiagų kiekiui augalo audiniuose. Skaičiavimuose laikoma (pagal artimų medžiagų analogiją), kad augalo audinių šilumos laidžio koeficientas λ = 0,57 W/(m·K). Sudėtingas atvejis, kai piktžolės stiebas yra daugiasluoksnis ir su oro tarpais, o oro tarpsluoksnio šilumos laidžio koeficientas λ = 0,0267 W/(m·K). Kaip matome, šilumos plitimas laidžiu augalo audiniais priklauso nuo augalo morfologinių ir biologinių veiksnių.

Drėgnuoju vandens garu efektyviausiai sunaikinamos 1–3 lapelių augimo tarpsnio piktžolės. Suvėlinus jas sunaikinti sunkiau dėl piktžolių morfologinės sandaros pokyčių.

Termiškai naikinamas piktžoles pagal jų morfologiją šilumos laidžio požiūriu galima suskirstyti į tris grupes:

1) lengvai termiškai sunaikinamos piktžolės. Tai piktžolės, turinčios stiebą (baltoji balanda, daržinė žliūgė, veronika, mažoji linokė, galinsoga ir kt.);

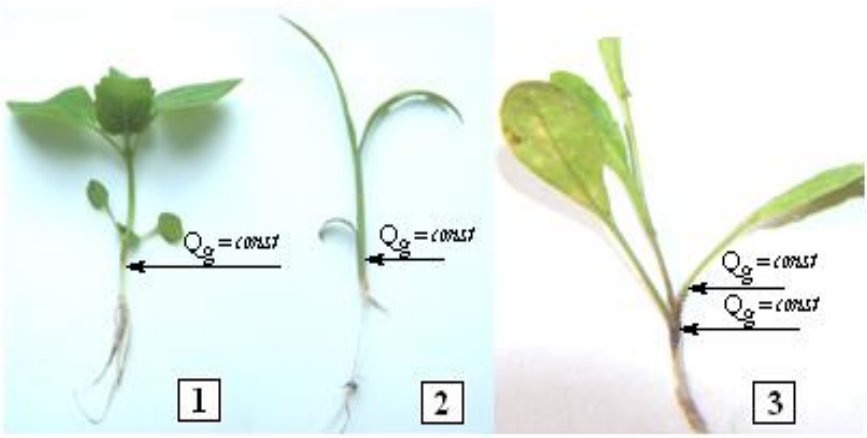
2) sunkiai termiškai sunaikinamos miglinės piktžolės. Jų ūglį sudaro susisukę lapai (paprastoji rietmenė, vienmetė miglė ir kt.);

3) sunkiai termiškai sunaikinamos skrotelinės piktžolės (trikertė žvaginė, plačialapis gyslotis, kiaulpienė ir kt.). Šių piktžolių yra sudėtinga geometrinė forma. Priklausomai nuo augalų grupių šilumos plitimo procesas augalo audiniuose bus skirtingas (9.2 pav.). Todėl labai svarbu įvertinti temperatūros kitimo proceso skirtumus piktžolių audiniuose pagal jų morfologinius požymius.

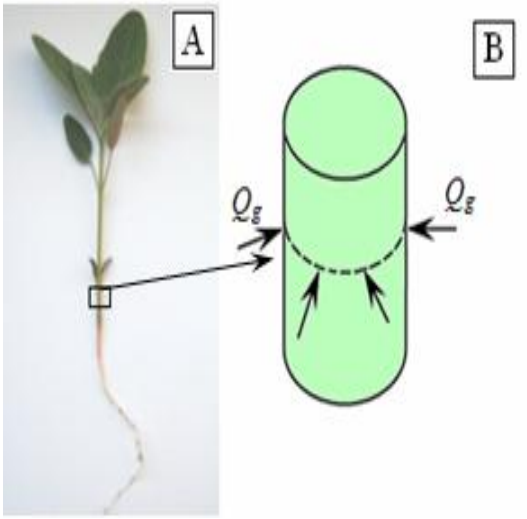
1. Lengvai termiškai sunaikinamos piktžolės. Terminės piktžolių kontrolės metu drėgnuoju vandens garu termiškai pažeidžiama dalis yra cilindrinis vienalytis augalo stiebelis, patiriantis terminį poveikį statmenai (pagal normalę) į paviršių (9.3 pav.).

2. Sunkiai termiškai sunaikinamos miglinės piktžolės. Piktžolė yra begalinio cilindro pavidalo, turi tam tikro storio oro tarpelius, t. y. termiškai pažeidžiama dalis yra cilindrinis nevienalytis augalo ūglis, patiriantis terminį poveikį statmenai (pagal normalę) į paviršių (9.4 pav.).

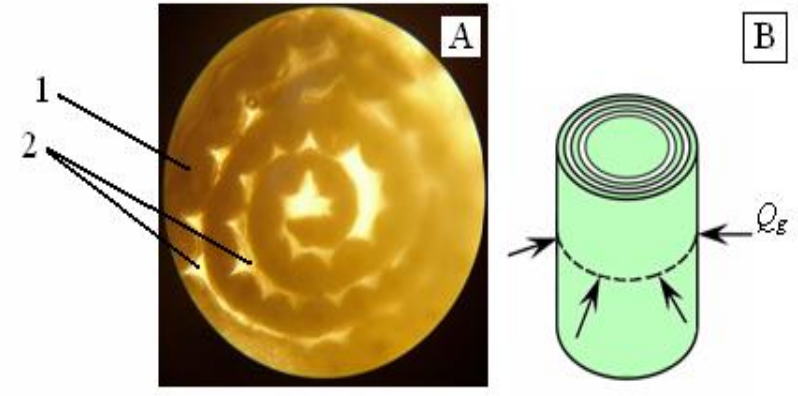
Nors dygstančių piktžolių terminė kontrolė nėra sudėtinga, kadangi jų biometriniai rodikliai yra maži, tačiau ją suvėlinus didėja piktžolių masė, skersmuo, sausųjų medžiagų kiekis. 9.1 lentelėje pateikiame sunkiai termiškai sunaikinamų miglinių (paprastosios rietmenės) piktžolių biometrinius rodiklius priklausomai nuo piktžolių augimo tarpsnio.



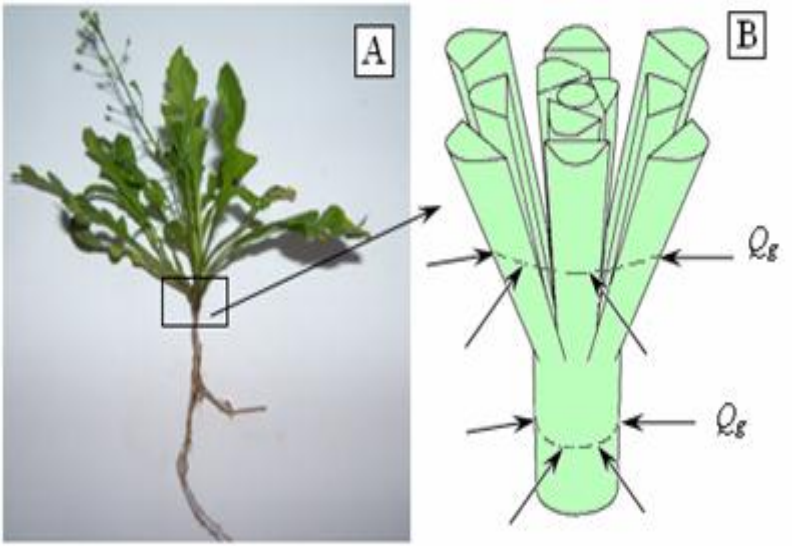
9.2 pav. Piktžolių skirstymas augalo audinių šilumos laidžio požiūriu: 1 – lengvai termiškai sunaikinamos piktžolės; 2 – sunkiai termiškai sunaikinamos miglinės piktžolės; 3 – sunkiai termiškai sunaikinamos skrotelinės piktžolės



9.3 pav. Lengvai termiškai sunaikinama piktžolė: A – baltoji balanda (*Chenopodium album* L.); B – stiebo modelis



9.4 pav. Sunkiai termiškai sunaikinama miglinė piktžolė: A – paprastosios rietmenės (*Echinochloa crus-galli* L.) ūglio mikroskopinis pjūvis (didinta 20 kartų); B – ūglio modelis



9.5 pav. Sunkiai termiškai sunaikinama skrotelinė piktžolė: A – trikertė žvaginė (*Capsella bursa-pastoris* L. Medik); B – skrotelės modelis

9.1 lentelė. Paprastosios rietmenės (*Echinochloa crus-galli* L.) biometriniai rodikliai

Augimo ir vystymosi tarpsnis	Vidutinis stiebo skersmuo mm	Vidutinis augalo ilgis mm	Vidutinė 100 piktžolių masė g	Sausųjų medž. kiekis %
Sėklaskiltės tarpsnis	0,65 ± 0,06	15,2 ± 1,10	0,43 ± 0,09	2
Pirmasis augalų augimo tarpsnis (1, 2 lapeliai)	1,88 ± 0,06	37,6 ± 1,91	0,84 ± 0,32	2
Antrasis augalų augimo tarpsnis (3 lapeliai)	1,96 ± 0,08	68,6 ± 4,43	21 ± 1,21	6
Trečiasis augalų augimo tarpsnis (4 lapeliai)	2,72 ± 0,23	93 ± 4,54	36 ± 1,41	13
Ketvirtasis augalų augimo tarpsnis (5 lapeliai)	2,98 ± 0,24	95 ± 3,62	57 ± 1,63	18
Penktasis augalų augimo tarpsnis (1 šalutinis stiebelis)	3,5 ± 0,39	117 ± 4,91	120 ± 2,69	29
Šeštasis augalų augimo tarpsnis (2 šalutiniai stiebeliai)	3,7 ± 0,53	118,4 ± 4,32	240 ± 3,24	36
Septintasis augalų augimo tarpsnis (3 šalutiniai stiebeliai)	4,42 ± 0,71	127,8 ± 4,79	385 ± 2,29	54

3. Sunkiai termiškai sunaikinamos skrotelinės piktžolės. Piktžolė yra sudėtingos geometrinės formos kūnas, terminį poveikį patiriantis statmenai į paviršių (9.5 pav.). Kūno formą lemia piktžolės lapų skaičius, jų storis, posvyrio kampas, skrotelės skersmuo. Trikertės žvaginės biometriniai rodikliai pateikti 9.2 lentelėje.

9.2 lentelė. Trikertės žvaginės biometriniai rodikliai

Lapų skaičius	Skrotelės skersmuo mm	Lapo storis mm	Vidutinė 100 piktžolių masė g	Sausųjų medžiagų kiekis %
<10 lapų	<3	0,4 ± 0,23	56 ± 1,29	25
11–15 lapų	3,1–5,5	0,9 ± 0,24	120 ± 3,25	42
16–20 lapų	6,6–9,5	1,1 ± 0,36	354 ± 4,25	58
>20 lapų	>9,6	1,3 ± 0,21	486 ± 4,15	77

Įvairiai modeliuojant šilumos plitimą augalo audiniais, galima nustatyti terminės kontrolės proceso poveikį skirtingų rūšių piktžolėms ir numatyti galimybes termiškai jas sunaikinti priklausomai nuo jų morfologinės sandaros.

Staigus aplinkos temperatūros kitimas terminio poveikio metu, priklausomai nuo šilumos atidavimo koeficiento, augalo ir drėgnojo vandens garo sąlyčio paviršiuje sąlygoja nenuostovųjį temperatūrinį režimą. Atsižvelgę į tai, kad piktžolių stiebelių ilgis yra apie 10–30 kartų didesnis nei jų skersmuo, bendruoju atveju temperatūros kaitai augale galime taikyti begalinio cilindro dėsnius ir temperatūros lauką augalo vidiniuose sluoksniuose išreikšti diferencialine Furjė šilumos laidumo lygtimi:

$$\frac{\partial t(r,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho}\left(\frac{\partial^2 t(r,\tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial t(r,\tau)}{\partial r}\right) = \alpha\left(\frac{\partial^2 t(r,\tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial t(r,\tau)}{\partial r}\right), \qquad (9.3)$$

čia t – cilindro formos augalo temperatūra ^{o}C;

r – atstumas nuo augalo išilginės ašies išorės link m;

τ – laikas s;

λ – augalo audinių šilumos laidžio koeficientas W/(m·K);

c – augalo audinių savitoji šiluma kJ/(kg·K);

ρ – augalo audinių tankis kg/m^3.

Temperatūros pokytis per tam tikrą laiką bet kuriame augalo sluoksnio taške yra proporcingas temperatūros laidžio α koeficientui, kuriuo apibūdinamas nenuostovusis šiluminis procesas ir temperatūros kitimo greitis paprasčiausiame augalo tūryje.

Diferencialinės šilumos laidžio lygties (9.3) sprendimui būtina nustatyti kraštines sąlygas.

Augalo vidinių sluoksnių bet kurio taško temperatūrą $t(r, \tau)$ pradiniu laiko momentu ($\tau = 0$) pažymime t_{pr} ir laikome ją pastovia. Todėl uždavinio pradinę sąlygą apibūdina lygtis:

$$t(x,0) = t_{pr} = const. \qquad (9.4)$$

Iš pradinės sąlygos (9.7) darome išvadą, kad pradiniu laiko momentu ($\tau = 0$) temperatūra augalo sluoksnių storiuose x_i nepriklauso nuo laiko. Išorinės aplinkos parametrus, t. y. drėgnojo vandens garo temperatūrą ir jos pokyčius, priklausančius nuo vidutinio šilumos atidavimo

koeficiento α W/(m^2·K), kuris yra 50000–100000 W/(m^2·K) ribose, laikome žinomais. Atsižvelgdami į tai, kad mus domina trumpalaikis 1–3 s temperatūrinio impulso poveikis, laikome, kad augalo išorinio paviršiaus sąlyčio su drėgnojo vandens garo aplinka taškuose (kai $\tau \neq 0$) temperatūra bus pastovi, t. y. turime pirmąją ribinę sąlygą:

$$t(r_{išor}, \tau) = t_{išor} = const. \tag{9.5}$$

Antrąją ribinę sąlygą aprašome pagal prielaidą, kad augalo centrinės ašies temperatūra viso šilumos mainų proceso metu bus baigtinė:

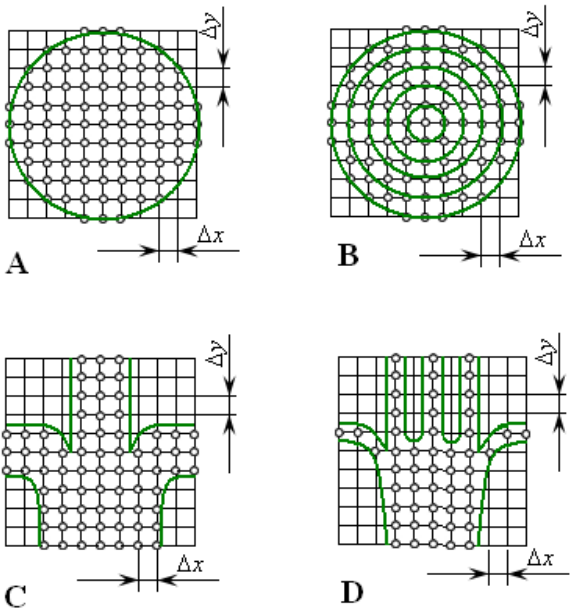
$$\frac{\partial t(0,\tau)}{\partial r} = 0, \quad t(0,\tau) \neq \infty. \tag{9.6}$$

Atsižvelgiant į tai, kad augalas gali būti kelių sluoksnių, jo geometrinė forma sudėtinga, Furjė lygties sprendimui gauti ir temperatūros laukui augalo vidiniuose sluoksniuose nustatyti rėmėmės baigtinių skirtumų metodu. Modeliuojant proceso šilumos laidžio diferencialinė lygtis buvo keičiama baigtinių skirtumų lygtimi (6.8). Gautoji balanso lygtis buvo sprendžiama skaitmeniniu būdu, taikant iteracijų metodą visuose mazginiuose taškuose ir išlaikant augalo paviršiaus su aplinka ribinę sąlygą. Kiekviename mazginiame taške iteracija tęsta tol, kol buvo patenkinta sąlyga:

$$\max_{i,j} \left\{ \left| t_{i,j}^{n+1,s+1} - t_{i,j}^{n+1,s} \right| \right\} < \Delta t. \tag{9.7}$$

Visais šiais atvejais temperatūros pokyčius piktžolėse modeliavome priskyrę tam tikrą būdingą piktžolės pjūvį, atsižvelgdami į piktžolės skersmenį, jos lapų sluoksnių storius, pažeidžiamos piktžolės plokštumoje esančių oro tarpsluoksnių storį, sudėtingą geometrinę formą. Kai kurios gardelių xy plokštumoje skaičiavimo schemos baigtinių skirtumų metodu pateiktos 9.6 paveiksle.

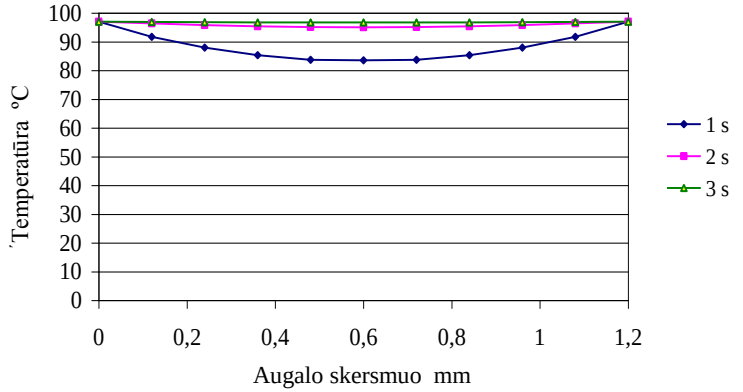
Skaičiavimams atlikti pasirinkome šiuos parametrus: pradinė augalo temperatūra – 25 ^{o}C; augalo paviršiaus temperatūra drėgnojo vandens garo aplinkoje – 97 ^{o}C; augalo šilumos laidumo koeficientas λ – 0,57 W/(m·K); oro tarpsluoksnio šilumos laidumo koeficientas λ – 0,0267 W/(m·K), nesikondensuojančių dujų priemaišų nėra, garas vienalytis, vandens garo šilumos atidavimo koeficientas α – 100000 W/(m^2·K).



9.6 pav. Gardelių xy plokštumoje skaičiavimo baigtinių skirtumų metodu schemos: A – lengvai termiškai sunaikinama piktžolė; B – sunkiai termiškai sunaikinama miglinė piktžolė; C, D – sunkiai termiškai sunaikinama skrotelinė piktžolė

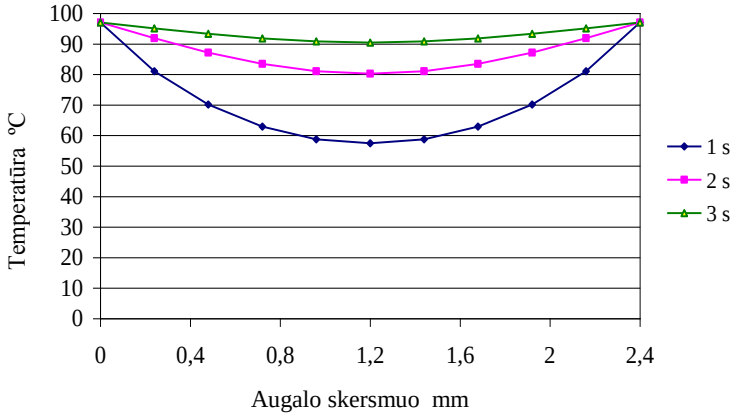
Atlikus skaičiavimus visuose piktžolės pjūvio mazguose buvo gautos temperatūros tam tikrais drėgnojo vandens garo poveikio laiko momentais ir kartu nustatytas temperatūros lauko pokytis piktžolių audiniuose.

Teorinis temperatūros kitimas lengvai termiškai sunaikinamų piktžolių vienalyčiame 1,2 mm skersmens stiebe pavaizduotas 9.7 pav. Kaip matome, paviršiniuose piktžolių audinių sluoksniuose temperatūra siekia 91,78; 96,41; 96,92 ^{o}C, aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo laikui esant atitinkamai 1; 2; 3 s. O augalo centriniuose audiniuose pasiekiama 83,6; 95,04; 96,74 ^{o}C, aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo laikui esant atitinkamai 1; 2 ir 3 s, t. y. 8,18; 1,37 ir 0,18 ^{o}C mažiau nei paviršiniuose audiniuose, augalas šiuo atveju yra termiškai sunaikinamas.



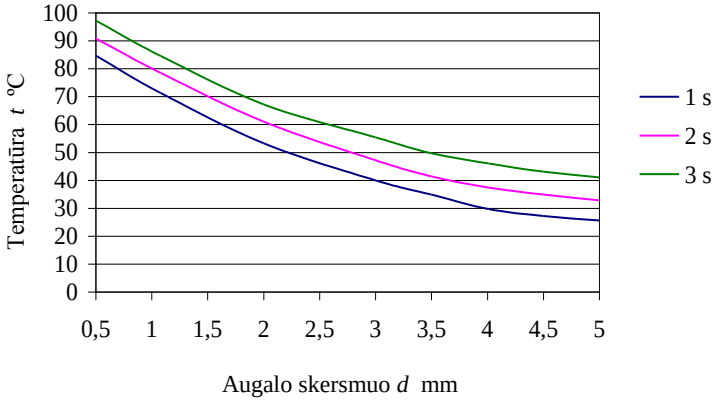
9.7 pav. Temperatūros pasiskirstymas vienalyčiame 1,2 mm skersmens augalo stiebe

Kai augalo skersmuo yra 2,4 mm (3.13 pav.), centriniuose augalo audiniuose temperatūra siekia 57,44; 80,22 ir 90,47 °C, aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo laikui esant atitinkamai 1; 2; 3 s. Augalas yra termiškai sunaikinamas. Kaip matome, temperatūrų, pasiektų augalo centriniuose audiniuose, skirtumas, kai augalo skersmuo yra 1,2 mm ir 2,4 mm, siekia net 26,16; 14,82 ir 6,27 °C. Vadinasi, kuo didesnis augalo stiebo skersmuo, tuo augalo centriniuose audiniuose terminės piktžolių kontrolės metu pasiekiama žemesnė temperatūra.



9.8 pav. Temperatūros pasiskirstymas vienalyčiame 2,4 mm skersmens augalo stiebe

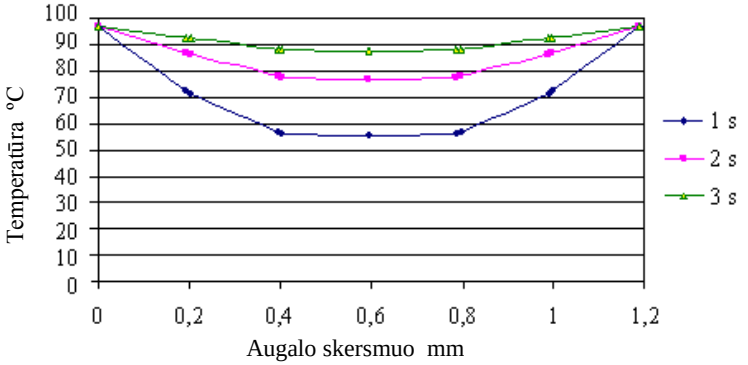
Iš gautų modeliavimo duomenų matome, kad temperatūros kitimas lengvai termiškai sunaikinamų piktžolių centriniuose audiniuose priklauso nuo augalo skersmens (9.9 pav.).



9.9 pav. Temperatūros kitimas augalų centriniuose audiniuose terminės piktžolių kontrolės metu, atsižvelgiant į augalų skersmenį

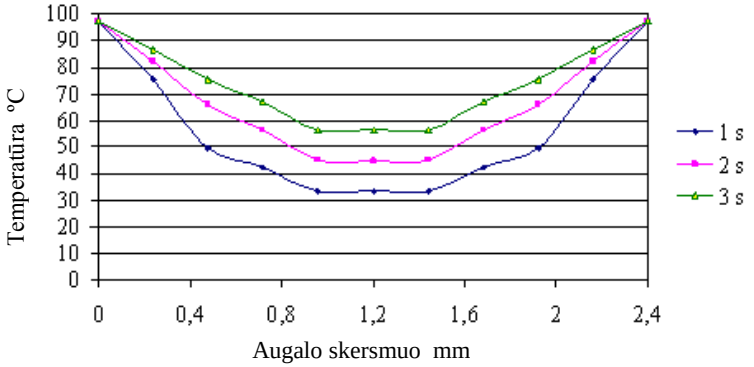
Kaip matome (9.9 pav.), kai terminio poveikio trukmė yra 1 s, 56 °C temperatūra augalų audiniuose pasiekiama ir termiškai sunaikinamos piktžolės, kurių skersmuo yra 2,5 mm. Didinant terminio poveikio trukmę 56 °C temperatūra pasiekiama didesniame piktžolių skersmenyje. Taigi teoriniai skaičiavimai patvirtina, kad lengvai termiškai sunaikinamos piktžolės drėgnojo vandens garo aplinkoje nesunkiai sunaikinamos iki 4 lapelių augimo tarpsnio (tai atitinka 2–2,5 mm augalo skersmenį).

Kai piktžolių stiebas yra ne vienalytis, o sudarytas iš atskirų lapų (sunkiai termiškai sunaikinamos miglinės piktžolės), tarp kurių yra 0,01 mm oro tarpas, tuomet temperatūra piktžolių centriniuose audiniuose, kai augalo skersmuo yra 1,2 mm, o aukštatemperatūrės aplinkos terminė poveikio trukmė 1 s, pasiekiama tik esant 55,45 °C (9.10 pav.). Todėl sunaikinti net jaunas miglines piktžoles 1 s aukštatemperatūrės aplinkos terminės poveikio trukmės nepakanka. Oro tarpsluoksnis piktžolėje yra kaip termoizoliacinis sluoksnis. Aukštatemperatūrės aplinkos terminio poveikio trukmei esant 2 ir 3 s, augalo centre pasiekiama 76,86 ir 87,76 °C temperatūra. Šiais atvejais piktžolė yra termiškai sunaikinama.



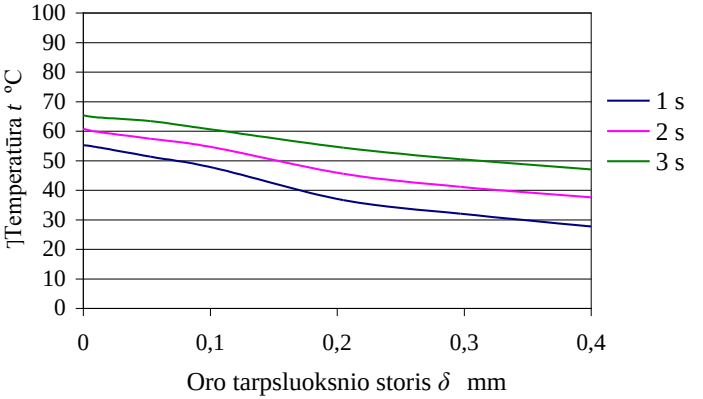
9.10 pav. Temperatūros pasiskirstymas daugiasluoksniame 1,2 mm skersmens augale, kai oro tarpsluoksniai – 0,01 mm, augalo lapo storis – 0,2 mm

Kai augalas yra 2,4 mm skersmens, o oro tarpsluoksniai – 0,2 mm, centriniuose audiniuose temperatūra siekia 33,29 °C, kai aukštatemperatūrės aplinkos poveikio trukmė yra 1 s (9.11 pav.). Lyginant su vienalyčiu 2,4 mm augalo stiebu, temperatūrų skirtumas siekia net 24,11 °C. Kai aukštatemperatūrės aplinkos poveikio trukmė yra 2 ir 3 s, temperatūra augalo centre siekia 44,87 ir 56,31 °C. Temperatūrų skirtumas, lyginant su lengvai termiškai sunaikinamomis piktžolėmis (vienalyčiu augalu), siekia 45,35 °C (2 s) ir 34,16 °C (3 s). Augalas yra termiškai nesunaikinamas.



9.11 pav. Temperatūros pasiskirstymas daugiasluoksniame 2,4 mm skersmens augale, kai oro tarpsluoksniai – 0,2 mm, augalo lapo storis – 0,2 mm

Taigi kuo didesni oro tarpsluoksniai tarp lapų, tuo žemesnė temperatūra būna piktžolių audiniuose, todėl piktžolės termiškai nesunaikinamos ir po terminės kontrolės atželia. Laikykime, kad termiškai naikinamame augale yra vienas oro tarpsluoksnis, o augalo skersmuo yra 2 mm, tuomet 9.12 pav. matome oro tarpsluoksnio įtaką temperatūros kitimui augalo centriniuose audiniuose.



9.12 pav. Oro tarpsluoksnio įtaka temperatūros kitimui 2 mm skersmens augale terminės piktžolių kontrolės metu

Paveiksle (9.12 pav.) matome, kad maži oro tarpsluoksniai (0,01 mm; 0,05 mm) mažai lemia temperatūros kitimą augalų centriniuose audiniuose, tačiau oro tarpsluoksniui didėjant, temperatūra augalo centriniuose audiniuose mažėja.

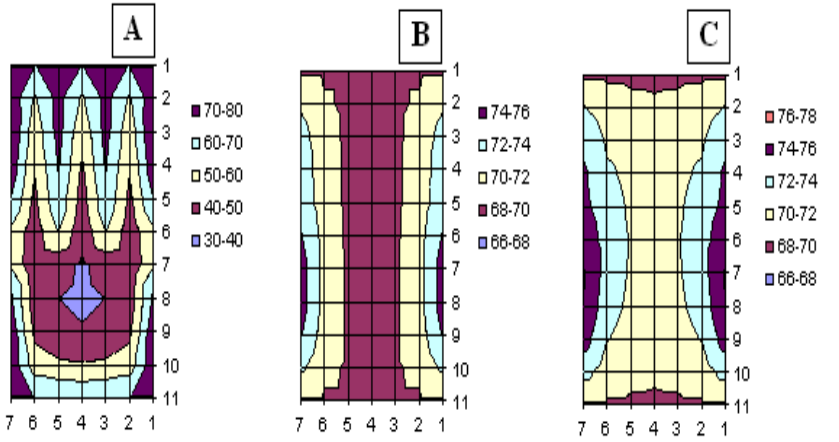
Temperatūros pasiskirstymas sunkiai termiškai sunaikinamose skrotelinėse piktžolėse pavaizduotas 9.13 pav.

9.13 paveiksle matome temperatūros kitimą 3 mm skersmens skrotelinės piktžolės skrotelėje po terminės piktžolių kontrolės praėjus 0,1 s; 1 s; 2 s. Kaip matome, skrotelėje po 0,1 s temperatūra pakyla 37 ^{o}C, o praėjus 1 s jau siekia 69 ^{o}C. Augalas praėjus 1 s po terminio poveikio jau yra termiškai sunaikinamas. Toks temperatūros kitimas vyksta, kai skrotelinės piktžolės yra ankstyvojo augimo tarpsnio (turi mažai sausųjų medžiagų ir lapų). Piktžolėms augant didėja lapų skaičius, skrotelės skersmuo. 9.14 paveiksle matome temperatūros kitimą 5 mm skersmens skrotelinėje piktžolėje.

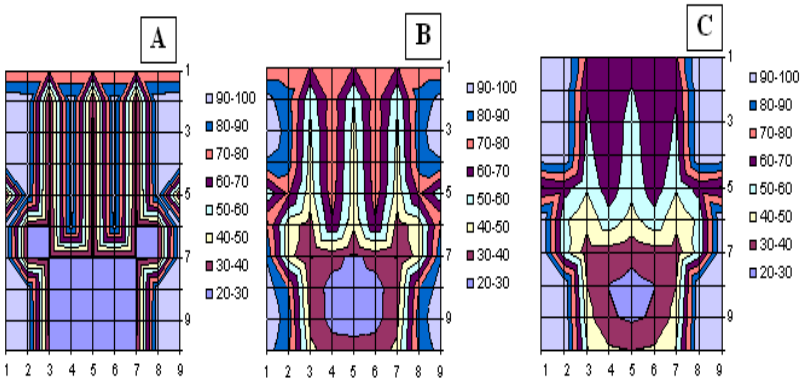
9.14 paveiksle matome, kad po aukštatemperatūrės aplinkos terminio poveikio praėjus 0,1 s skrotelėje temperatūra lieka nepakitusi

(25 °C). Praėjus 1 s po terminio poveikio temperatūra skrotelėje siekia 26–28 °C; o po 2 s – jau 32–27 °C, tačiau tai yra nepakankama temperatūra skrotelinėms piktžolėms termiškai sunaikinti. Temperatūros kitimo skroteliniuose augaluose modeliavimo rezultatai atskleidė, kad augalo terminis sunaikinimas priklauso nuo augalo skersmens, lapų skaičiaus ir oro tarpsluoksnio.

Teoriškai nagrinėjant temperatūros kitimą augalų audiniuose nustatyta, kad temperatūros pokyčiams turi įtakos augalų skersmuo ir oro tarpsluoksnis, taip pat aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo trukmė. Pateiktų duomenų analizė rodo, kad terminės piktžolių kontrolės metu lengvai termiškai sunaikinamų (vienalyčių) augalų centriniuose audiniuose temperatūra mažėja didėjant augalo skersmeniui. Aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo trukmės 1 s nepakanka termiškai sunaikinti lengvai termiškai sunaikinamus augalus, kurių stiebas daugiau kaip 3 mm skersmens. Sunkiai termiškai sunaikinamiems (daugiasluoksniams) augalams būdinga tai, kad didėjant augalo lapų skaičiui ir oro tarpsluoksnio storiui, centrinių augalo audinių temperatūra mažėja. Tai rodo, kad 3 s aukštatemperatūrės aplinkos terminio poveikio trukmė daugiasluoksniams augalams termiškai sunaikinti yra nepakankama, todėl augalai po terminės piktžolių kontrolės atželia.



9.13 pav. Temperatūros kitimas sunkiai termiškai sunaikinamų skrotelinių piktžolių audiniuose terminės piktžolių kontrolės metu, kai skrotelės skersmuo 3 mm. A – po terminio poveikio praėjus 0,1 s; B – po terminio poveikio praėjus 1 s; C – po terminio poveikio praėjus 2 s



9.14 pav. Temperatūros kitimas sunkiai termiškai sunaikinamų skrotelinių piktžolių audiniuose terminės piktžolių kontrolės metu, kai skrotelės skersmuo 5 mm. A – po terminio poveikio praėjus 0,1 s; B – po terminio poveikio praėjus 1 s; C – po terminio poveikio praėjus 2 s

Atlikę temperatūros kitimo augalų audiniuose tyrimus įvertinome augalų morfologinės sandaros, oro tarpsluoksnių ir aukštatemperatūrės aplinkos poveikio trukmės įtaką terminei piktžolių kontrolei drėgnuoju vandens garu.

Taip pat svarbu eksperimentiniais augalų temperatūros matavimo tyrimais patvirtinti sunkiai termiškai sunaikinamų piktžolių morfologinės sandaros įtaką terminei piktžolių kontrolei. Visų veiksnių poveikį aptarsime pateikdami šių tyrimų duomenis.

9.3. Dviskilčių piktžolių terminio naikinimo ypatumai

Piktžolės skirstomos įvairiai. Jos gali būti grupuojamos pagal klases, gentis, rūšis, augimo vietą. Naikinant įvairias piktžoles svarbu žinoti, kaip jos auga, dauginasi, vystosi, todėl dar gali būti skirstomos į trumpaamžes ir daugiametes. Trumpaamžės piktžolės sudaro 60–70 %, o daugiametės 30–40 % bendro laukų piktžolėtumo (Monstvilaitė, 1986). Termiškai naikinant piktžoles sunaikinama tiktai antžeminė augalų dalis. Taigi terminis piktžolių naikinimas taikytinas tik trumpaamžėms piktžolėms. Daugiametės piktžolės turi ne tik išsivysčiusią šaknų

sistemą, bet ir pakitusius požeminius stiebus (šakniastiebius, stiebagumbius). Termiškai sunaikinus šių piktžolių antžeminę dalį (sutrikdžius fotosintezę) tolesnis jų vystymasis tik prislopinamas. Be abejo, daugiamečių piktžolių vystymosi prislopinimas teigiamai veikia žemės ūkio augalo vystymąsi.

Tiriant terminį piktžolių naikinimą nustatyta, kad trumpaamžės piktžolės skirtingais vystymosi tarpsniais termiškai paveiktos drėgnuoju vandens garu sunaikinamos nevienodai. Vienu vystymosi tarpsniu piktžolės sunaikinamos visiškai ir negrįžtamai, kitu – atželia.

Nagrinėdami sėklos dygimo proceso energijų balansą (9.1 skyrius) matėme, kad lengviausiai pažeidžiamas ir sunaikinamas dygstantis augalas, t. y. laikotarpiu, kai daigo galimybės išgyventi yra minimalios, kai dygstančios sėklos atsarginės medžiagos artėja prie pabaigos. Šį teiginį patvirtino lauko bandymai. Minėtą piktžolių dygimo dinamikos savybę reikia maksimaliai panaudoti taikant terminę piktžolių kontrolę.

Visi žydintys augalai skirstomi į vienaskilčius ir dviskilčius. Skiriasi šių augalų anatominė forma ir biologinis vystymasis, taip pat piktžolių terminio naikinimo metu sukuriami augalo apykaitos su aplinka temperatūriniai sluoksniai. Tai būtina įvertinti siekiant sėkmingai sunaikinti piktžoles. Piktžolės termiškai naikintos suteikiant dozuotą 1–2 s drėgnojo vandens garo terminį poveikį.

Lengviausia naikinti piktžoles, kurios turi stiebą. Todėl pirmiausia aptarsime dviskiltėms piktžolėms priklausančios baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) terminio naikinimo drėgnuoju vandens garu ypatumus. Bandymų rezultatus pateikiame pagal šių piktžolių augimo tarpsnius, kurie nustatomi pagal lapų išsiskleidimą ir išsivystymą.

1. Sėklaskilčių tarpsnis;
2. Pirmojo lapelio tarpsnis;
3. Trečiojo lapelio tarpsnis;
4. Ketvirtojo lapelio tarpsnis;
5. Penktojo lapelio tarpsnis.

Augalų biomasė daro įtaką terminio piktžolių naikinimo technologijai, naikinimo terminams, terminio poveikio trukmei ir energijos sąnaudoms. Kaip minėta, naudojami du terminio piktžolių naikinimo būdai:

1. Termiškai naikinama dygstanti piktžolė, kaitinant visą jos antžeminę dalį (2.8 pav.);

2. Termiškai naikinama ne visa piktžolė, o tik jos stiebo dalis „žiedu“ (2.10 pav.).

Abiem atvejais yra kaitinama piktžolių biomasė. Siekiant augalą termiškai sunaikinti naudojama šiluma q_a kJ/m^2. Tai šiluma, kuri sunaudojama termiškai naikinamų augalų (augalo audinių), augančių 1 m^2 dirvos ploto, kaitinti q_a kJ/m^2, randama iš lygties:

$$q_a = m_a \cdot c_a \cdot \Delta t = V \cdot \rho \cdot c_a \cdot \Delta t, \quad (9.8)$$

čia m_a – augalo audinių kaitinama masė kg/m^2;

c_a – augalo audinių savitoji šiluma c_a = 4,0 kJ/(kg·K);

Δt – temperatūrų skirtumas, atsirandantis padidėjus kaitinamų augalo audinių temperatūrai °C. Augalo audiniai šildomi nuo 10 iki 100 ºC, Δt = 90 °C;

ρ – gyvų augalo audinių tankis ρ = 940 kg/m^3;

V – kaitinamų augalo audinių, augančių 1 m^2 ploto, tūris m^3/m^2.

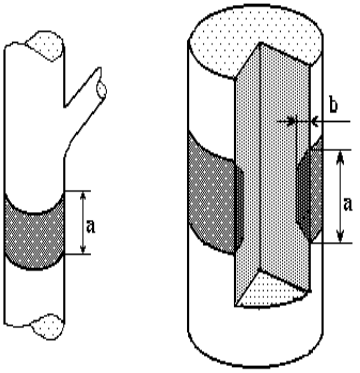
Daug mažesnės šilumos sąnaudos augalo audiniams kaitinti, kai piktžolės pažeidžiamos „žiedu“ (2.10 pav.). Šiuo atveju termiškai paveikiami ne visi augalo audiniai, o tik maža augalo stiebo audinių dalis. Naudodamiesi augalo stiebo terminio pažeidimo „žiedu“ schema (5.43 pav.) randame termiškai pažeistą stiebo masę iš lygties:

$$m_a = \pi d_{vid}\, ab\rho, \quad (9.9)$$

čia m_a – termiškai pažeistų augalo audinių masė kg;

d_{vid} – vidutinis pažeistų „žiedu“ augalo audinių skersmuo m;

a, b – atitinkamai termiškai pažeistų „žiedu“ augalo audinių aukštis ir storis m (laikome, kad a = 10 mm, b = 0,3–0,5 mm);



9.15 pav. Termiškai pažeistos „žiedu“ augalo stiebo audinių masės skaičiavimo schema

Nuo termiškai pažeistų „žiedu“ augalo audinių pločio priklauso teorinės šilumos sąnaudos piktžolei sunaikinti. Patirtis rodo, kad augalo stiebas termiškai pažeidžiamas maždaug 0,5–1 cm pločiu, kurio pakanka augalo antžeminės dalies gyvybinėms funkcijoms nutraukti.

Teorines šilumos sąnaudas piktžolėms, augančioms 1 m^2 dirvos, sunaikinti pateikiame 9.3 lentelėje. Lentelės duomenys rodo, kad piktžolių terminės kontrolės įrenginiui dirbant be jokių nuostolių, teoriškai 1 kWh energijos, priklausomai nuo piktžolėtumo, užtektų sunaikinti piktžolėms lauke, kurio plotas 2275–18299 m^2. Terminio piktžolių naikinimo įrenginio energetinis balansas rodo, kad terminiam piktžolių sunaikinimui sunaudojama tik apie 1–2 % kuro šilumos, išskirtos terminės piktžolių kontrolės įrenginyje. Šiame įrenginyje dėl įvairių nuostolių prarandama 98–99 % kuro išskiriamos šilumos (žr. 11 skyrių).

Dygstančių piktžolių terminis naikinimas drėgnuoju vandens garu nekelia jokių sunkumų (9.16 pav.). Taip yra todėl, kad dygstančios piktžolės masė ir stiebo skersmuo maži ir augalo audiniai greitai pasiekia letalią temperatūrą. Atlikus dygstančių piktžolių matavimus nustatyta, kad vidutinė 100 dygstančių piktžolių masė svyruoja nuo 0,12 iki 3,82 g, o jų stiebo skersmuo – nuo 0,33 iki 1,52 mm (9.4 lentelė).

9.3. lentelė. Teorinės šilumos sąnaudos augančioms piktžolėms 1 m^2 dirvos sunaikinti naudojant augalo pažeidimą „žiedu“

Piktžolių skaičius 1 m^2 dirvos n [vnt./m^2]	Piktžolių skersmuo m	Termiškai pažeista augalų masė kg $m_a = \pi d_{vid} a b \rho,$	Teorinės šilumos sąnaudos 1 m^2 piktžolių sunaikinti $q = m_a c_a \Delta t$		Teorinis (sunaudojus 1 kWh energijos) našumas m^2/kWh
			kJ	kcal	
25	0,0025	0,00059	0,198	0,047	18299
50		0,00118	0,396	0,094	9149
75		0,00177	0,594	0,142	6056
100		0,00236	0,792	0,188	4574
125		0,00295	0,990	0,236	3644
150		0,00354	1,188	0,283	3038
200		0,00472	1,584	0,378	2275

Tyrimai parodė, kad optimali terminio poveikio trukmė dygstančiam augalui sunaikinti 0,8–1,2 s. Kadangi piktžolių masė maža, šilumos kiekis, reikalingas piktžolėms sunaikinti, taip pat yra mažas (9.5 lentelė).

9.16 pav. Dygimo tarpsnio piktžolės prieš terminę kontrolę

9.4 lentelė. Termiškai naikinamų dygstančių piktžolių biologiniai parametrai (sėklaskiltės tarpsnis)

Piktžolės pavadinimas	1000 sėklų masė g	Vidutinė 100 dygstančių augalų masė g	Vidutinis dygst. stiebo skersmuo mm
Paprastoji rietmenė *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.	1,60	0,43 ± 0,09	0,65 ± 0,06
Dirvinis garstukas *Sinapis arvensis* L.	1,60	2,47 ± 0,19	0,75 ± 0,07
Bekvapis šunramunis *Tripleurospermum perforatum* (Merat.)	0,65	0,14 ± 0,06	0,56 ± 0,07
Dirvinė raugė *Agrostemma githago* L.	9,00	3,82 ± 0,22	1,52 ± 0,11
Daržinė žliūgė *Stellaria media* (L.) Vill.	0,55	0,12 ± 0,05	0,33 ± 0,04

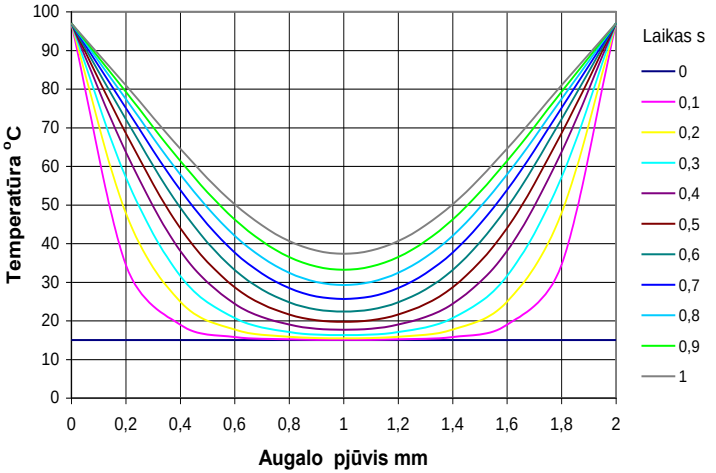
9.5 lentelė. Teorinės energijos sąnaudos, siekiant termiškai sunaikinti dygstančių augalų antžeminę dalį

Piktžolių skaičius 1 m^2 dirvos	Vidutinė termiškai naikinamų augalų masė m_a kg/m^2	Šilumos sąnaudos 1 m^2 piktžolių sunaikinti kJ/m^2 $q_a = m_a c_a \Delta t$	Teorinis (sunaudojus 1 kWh energijos) našumas m^2/kWh
50	0,000698	0,237	15190
100	0,001396	0,475	7579
150	0,002094	0,712	5056
200	0,004886	1,774	3797
250	0,003490	1,184	3040
300	0,004188	1,420	2535
350	0,004886	1,774	2029

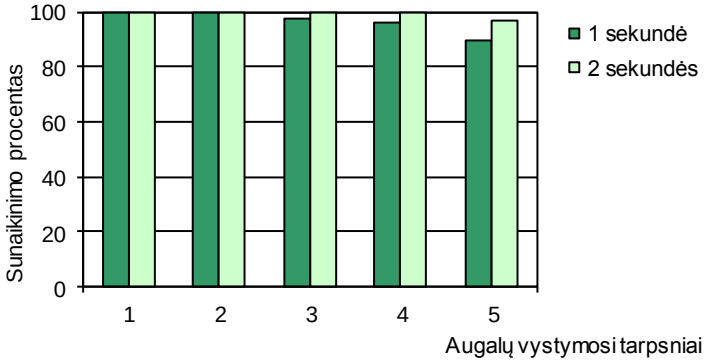
Lygindami 9.3 ir 9.5 lentelių duomenis matome, kad naikinant „žiedu“ ir dygimo tarpsnio piktžoles (9.16 pav.), šilumos sąnaudos augalams sunaikinti mažai skiriasi. Terminio piktžolių naikinimo įrenginyje tik labai maža dalis šilumos, išskirtos degant kurui, panaudojama naudingai (apie 1–2 %), t. y. piktžolių audiniams kaitinti siekiant jas termiškai sunaikinti. Likusioji šilumos dalis (apie 98–99 %) išskirta degant kurui, sudaro įvairius terminio piktžolių naikinimo proceso nuostolius.

Naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu paviršinio dirvos sluoksnio temperatūra akivaizdžiai padidėja. Todėl sunaikinamos ne tik dirvos paviršiuje esančios, bet ir paviršiniame dirvos sluoksnyje (iki 1,5 mm) dygstančios piktžolės. Patirtis rodo, kad geriausia termiškai, vandens garu naikinti dygstančias 1–3 lapelių tarpsnio piktžoles (9.16 pav.).

Temperatūros kitimo proceso augalo stiebo audiniuose matematinio modeliavimo duomenys pateikti 9.17 paveiksle. Matome, kad augalo stiebą, kurio skersmuo 2 mm, paveikus 100 ^oC vandens garo 1 s terminiu impulsu, temperatūra nuosekliai, dėsningai, didėja stiebo centrinių audinių kryptimi 9.17 pav.). Dviskilčių piktžolių augimo tarpsniai jų terminiam sunaikinimui drėgnuoju vandens garu didesnės įtakos neturi.



9.17 pav. 2 mm skersmens augalo stiebo temperatūros kitimo dinamika (modeliavimo duomenys). Terminio impulso trukmė – iki 1 s



9.18 pav. Drėgnojo vandens garo aplinkos poveikis skirtingais baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) augimo tarpsniais

Tyrimai parodė, kad balandos yra gana jautrios vandens garo aukštatemperatūrei aplinkai ir labai efektyviai sunaikinamos net užaugusios iki ketvirtojo lapelio tarpsnio. Pirmojo ir antrojo lapelio tarpsniais buvo sunaikinamos visos balandos, trečiojo ir ketvirtojo lapelio tarpsniais – 98–97 % (9.18 pav.).

Procentinį piktžolių sunaikinimo mažėjimą augalui vystantis lėmė didėjantis augalo stiebo storis ir jo masė. Didėjant baltosios balandos stiebo storiui ir masei, didėja poveikio aukštoje temperatūroje laikas, reikalingas augalo audiniams kaitinti (9.18 pav.).

9.4. Miglinių piktžolių terminio naikinimo ypatumai

Terminė piktžolių naikinimo technologija paremta augalo termoenerginiais mainais aukštatemperatūrėje aplinkoje. Naudojant šią technologiją augalo aplinkoje sukuriamos ypatingos sąlygos. Augalo aplinka yra prisotinama 98–100 ^{o}C drėgnojo vandens garo, kuris kondensuojasi ant šaltų paviršių (šiuo atveju – ant piktžolės) atiduodamas jiems šilumą. Šio proceso metu vyksta biologinė kova su jam neįprastu aukštatemperatūrės aplinkos poveikiu, kurio trukmė priklauso nuo augalo išsivystymo tarpsnio. Termiškai naikinant piktžoles augalas gauna arba dalinį terminį pažeidimą, arba jis termiškai visiškai sunaikinamas, priklausomai nuo augalo audinių terminio pažeidimo gylio.

Lauko sąlygomis terminio piktžolių naikinimo proceso metu sunku išvengti išorinių aplinkos veiksnių. Todėl piktžolių jautrumo aukštatemperatūrei aplinkai tyrimai atlikti laboratorijoje. Tyrimų metu pagrindinį dėmesį skyrėme drėgnojo vandens garo terminio poveikio trukmei ir paprastosios rietmenės augimo tarpsniams.

Tiriant temperatūros kitimą paprastosios rietmenės audiniuose, temperatūra matuota šešiuose taškuose: aplinkoje, paprastosios rietmenės audinių paviršiuje ir augalų audiniuose. Tyrimai atlikti paprastajai rietmenei esant nuo pirmojo iki septintojo tarpsnio. Piktžolė buvo naikinama esant skirtingai drėgnojo garo poveikio trukmei – 0,8 s; 1,2 s; 2,4 s.

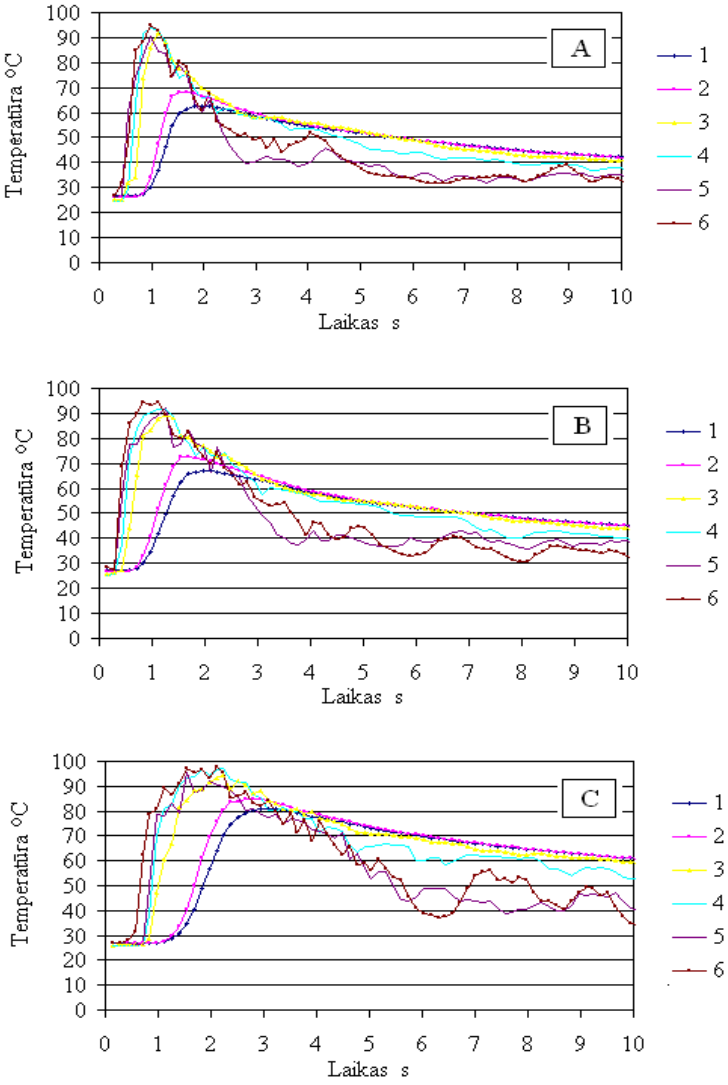
Vieno–dviejų lapelių tarpsnio paprastoji rietmenė (9.19 pav.) yra jautriausia aukštatemperatūrės aplinkos poveikiui ir yra lengviausiai termiškai sunaikinama. Krūmijimosi mazgas šiuo augimo tarpsniu yra dirvos paviršiuje, tai palengvina terminį šios piktžolės sunaikinimą. Paprastosios rietmenės krūmijimosi tarpsnis prasideda, kai piktžolė turi 3–5 lapelius. Piktžolei esant 3 lapelių tarpsnio, augalas formuoja miegan-

čiuosius pumpurus (9.20 pav.). Paprastosios rietmenės ūglis (krūmijimosi mazgas) dėl intensyvaus šaknijimosi ir prasidedančio krūmijimosi tarpsnio yra šiek tiek įtraukiamas į dirvą. Tokiu būdu augalas apsaugo ūglį nuo nepalankių aplinkos veiksnių, kartu ir nuo terminio piktžolių naikinimo.

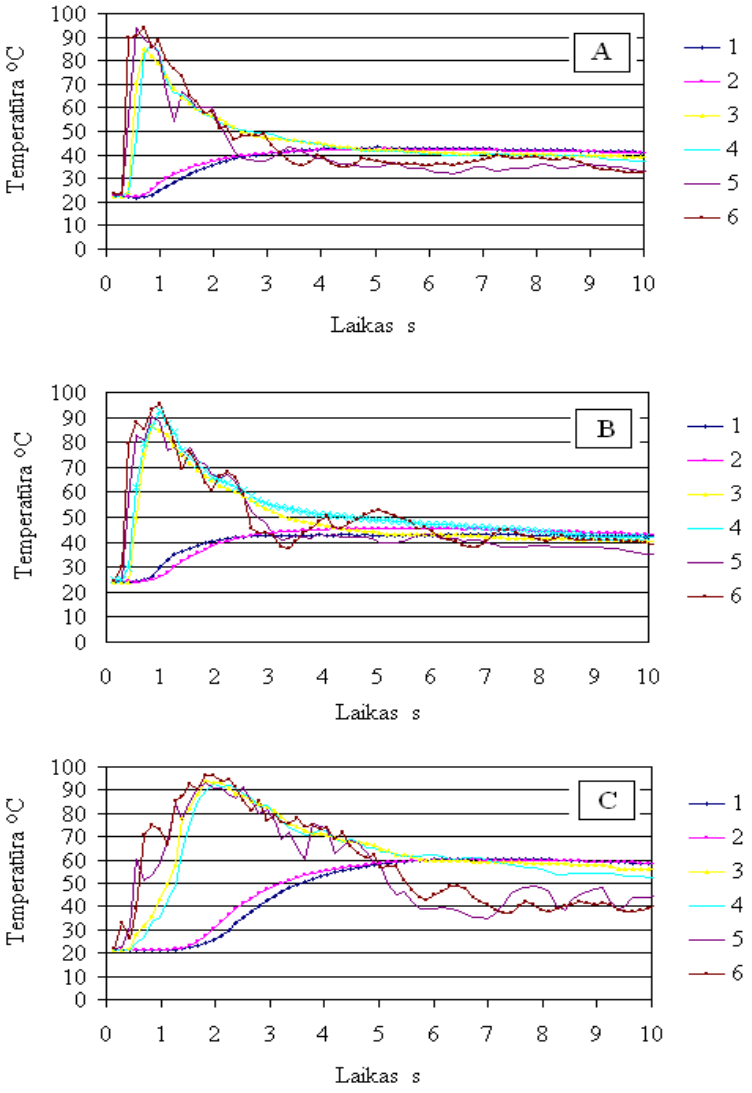
Dviejų lapelių tarpsnio augalo temperatūros matavimo duomenys esant skirtingai drėgnojo vandens garo poveikio palaikymo trukmei pateikti (9.21 pav.). Vandens garo poveikis augalui, kai jis yra dviejų lapelių augimo tarpsnio, esant terminio poveikio trukmei – 0,8 s, pavaizduotas 9.21A pav. Praslinkus garo skleidikliui aplinkos temperatūra pakyla iki 95 ± 1,3 ºC per 0,6 s. Augalo paviršiaus temperatūra pakyla iki 93 ± 1,6 ºC per 0,42 s, o jo audiniuose ji pasiekia 68 ± 1,2 ºC, t. y. 25 ºC mažiau nei augalo paviršiaus ir 28 ºC mažiau nei aplinkos. Kadangi augalo vidinių audinių temperatūra siekia 68 ± 1,3 ^{o}C, galima teigti, kad augalas yra termiškai sunaikinamas. Iš kreivių pastebime augalo vidaus ir aplinkos temperatūros kitimo skirtumus. Taip pat paprastoji rietmenė termiškai sunaikinama, kai aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo trukmė yra 1,2 s – augalo audiniuose pasiekiama 73 ± 2,1 ^{o}C temperatūra ir kai aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo trukmė yra 2,4 s – augalo audiniuose pasiekiama 85 ± 2,6 ^{o}C temperatūra. Paprastajai rietmenei vystantis toliau, besiformuojančios lapamakštės glaudžiai gaubia krūmijimosi mazgą, apsaugodamos jį nuo aukštatemperatūrės aplinkos poveikio. Termiškai naikinant paprastąją rietmenę trijų ir daugiau lapelių tarpsniu reikalingas ilgesnis aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo laikas. Palaikymo laikas 0,8 ir 1,2 s yra nepakankamas paprastosios rietmenės terminiam sunaikinimui (9.22 pav. A, B), kadangi augalo krūmijimosi mazge temperatūra siekia 42 ± 2,3 ^{o}C (0,8 s) ir 45 ± 2,1 ^{o}C (1,2 s). Ilgiau laikant aukštatemperatūrėje aplinkoje (2,4 s), kai krūmijimosi mazge pasiekiama 60 ± 2,4 ^{o}C, galima perkaitinti krūmijimosi mazgo apsauginį sluoksnį ir termiškai jį sunaikinti (9.22 pav. C).

9.19 pav. Dviejų lapelių tarpsnio paprastoji rietmenė (*Echinochloa crus-galli* L.)

9.20 pav. Paprastoji rietmenė (*Echinochloa crus-galli* L.). 3–4 lapelių augimo tarpsnis, kai formuojasi miegantieji pumpurai

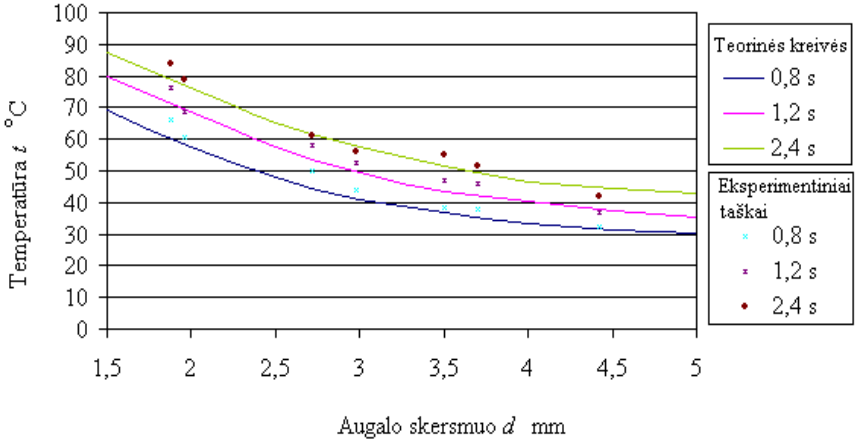


9.21 pav. Dviejų lapelių tarpsnio paprastosios rietmenės (*Echinochloa crus-galli* L.) ir jos aplinkos temperatūros pasiskirstymas terminio piktžolių naikinimo metu. A – terminio poveikio trukmė 0,8 s; B – terminio poveikio trukmė – 1,2 s; C – terminio poveikio trukmė – 2,4 s. 1; 2 – augalo centrinių audinių temperatūra; 3; 4 – augalo audinių paviršiaus temperatūra; 5; 6 – aukštatemperatūrės aplinkos temperatūra



9.22 pav. Trijų lapelių tarpsnio paprastosios rietmenės (*Echinochloa crus-galli* L.) ir jos aplinkos temperatūros pasiskirstymas piktžolių terminio naikinimo metu. A – terminio poveikio trukmė – 0,8 s; B – terminio poveikio trukmė – 1,2 s; C – terminio poveikio trukmė – 2,4 s. 1, 2 –augalo centrinių audinių temperatūra; 3, 4 – augalo audinių paviršiaus temperatūra; 5, 6 – aukštatemperatūrės aplinkos temperatūra

Iš pateiktų tyrimo duomenų matyti, kad paprastosios rietmenės temperatūra kinta priklausomai nuo piktžolės skersmens ir augimo tarpsnio. Todėl 9.23 pav. pateikiame temperatūros kitimo piktžolės centriniuose audiniuose, priklausomai nuo jos skersmens, eksperimentinius ir matematinio modeliavimo rezultatus.



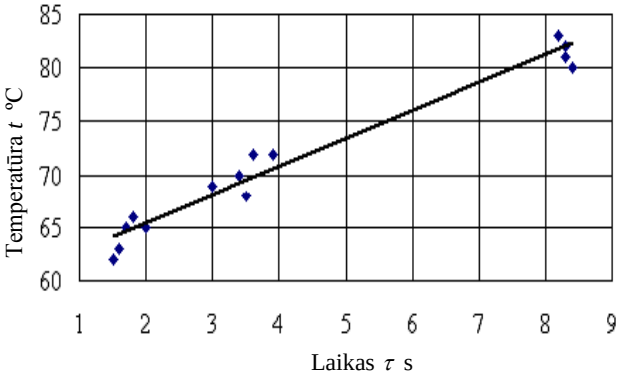
9.23 pav. Paprastosios rietmenės (*Echinochloa crus-galli* L.) skersmens įtaka centrinių audinių temperatūros kitimui terminės piktžolių kontrolės metu

Kaip matyti iš 9.23 pav., eksperimentiniai rezultatai artimi matematinio modeliavimo rezultatams. Temperatūros piktžolių centriniuose audiniuose eksperimentinių tyrimų ir modeliavimo rezultatus, esant skirtingiems augalo skersmenims, palyginome skaičiuodami koreliacijos koeficientus. Gavome stiprų eksperimentiškai atliktų temperatūros matavimų ir matematiškai sumodeliuotų piktžolių centrinių audinių temperatūrų koreliacinį ryšį (koreliacijos koeficientai yra 0,83–0,92).

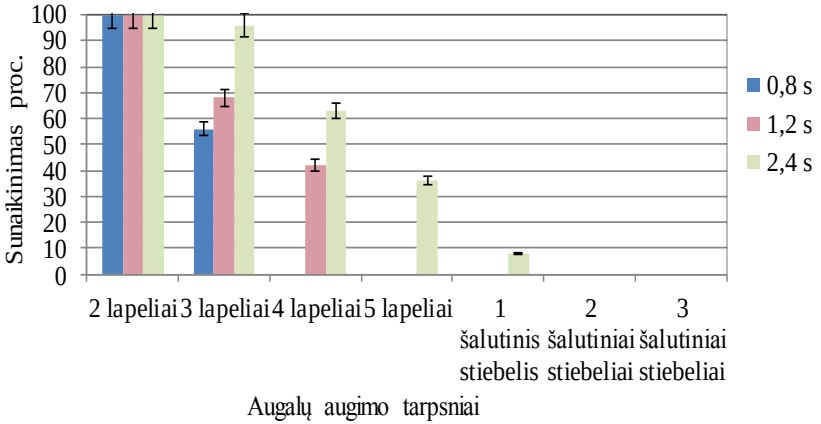
Paprastosios rietmenės centrinių audinių temperatūra, pasiekta terminio piktžolių naikinimo metu, priklauso nuo terminio poveikio garu trukmės (0,8; 1,2; 2,4 s). Terminio poveikio trukmei didėjant, didėja ir augalo audinius naikinančios temperatūros (60 °C) palaikymo τ trukmė (9.24 pav.). Tarp pasiektos didžiausios temperatūros t augalo audiniuose ir 60 °C temperatūros palaikymo trukmės τ yra tiesinė priklausomybė:

$$t = 2{,}63\tau + 60{,}26; \qquad R^2 = 0{,}963.$$

Kaip matyti iš pateiktų duomenų, ilgiausiai 60 °C temperatūra augalo audiniuose išsilaiko, kai terminio poveikio trukmė yra 2,4 s.



9.24 pav. Terminio poveikio trukmei (0,8; 1,2; 2,4 s) didėjant, didėja paprastosios rietmenės pirmojo augimo tarpsnio (1, 2 lapeliai) centrinių audinių didžiausia temperatūra ir augalo audinius naikinančios temperatūros (60 °C) palaikymo τ trukmė



9.25 pav. Paprastosios rietmenės (*Echinochloa crus-galli* L.) augimo tarpsnių įtaka jos terminiam naikinimui

9.25 pav. pavaizduotas paprastosios rietmenės jautrumas drėgnojo vandens garo poveikiui esant skirtingiems augalų augimo tarpsniams bei skirtingai aukštatemperatūrės aplinkos terminio poveikio trukmei (0,8; 1,2 ir 2,4 s).

9.26 pav. Svogūnų pasėlis po terminės piktžolių kontrolės praėjus 14 dienų. A – paprastoji rietmenė (*Echinochloa crus-galli* L.) po terminės piktžolių kontrolės; B – paprastosios rietmenės termiškai pažeisti ir sudžiūvę lapai, bet gyvybinga vidinė dalis

Terminio naikinimo vandens garu lauko bandymų rezultatai rodo, kad nesuderinus terminių, biologinių ir technologinių veiksnių, pasėlyje dominuojant paprastosioms rietmenėms (vienaskiltėms piktžolėms), rezultatas yra trumpalaikis, piktžolės atželia (9.26 pav.).

Paprastosios rietmenės jautriausios terminiam poveikiui, kai yra dviejų lapelių tarpsnio, jos sunaikinamos visiškai esant skirtingai terminio poveikio trukmei (9.25 pav.). Kai paprastosios rietmenės yra trijų lapelių tarpsnio, o aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo trukmė yra 0,8 s, sunaikinama 56 % piktžolių. Kai aukštatemperatūrė aplinka palaikoma 1,2 s – trijų lapelių tarpsnio sunaikinama 68 % piktžolių. O kai palaikymo trukmė yra 2,4 s, sunaikinama 96 % piktžolių. Kaip matome, suvėlinus terminę piktžolių kontrolę, paprastosioms rietmenėms termiškai sunaikinti esant didesniam nei trijų lapelių tarpsniui reikalingas ilgesnis nei 2,4 s aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo laikas. Prasidėjus krūmijimosi tarpsniui, paprastosios rietmenės yra termiškai nesunaikinamos.

9.5. Skrotelinių piktžolių terminio naikinimo ypatumai

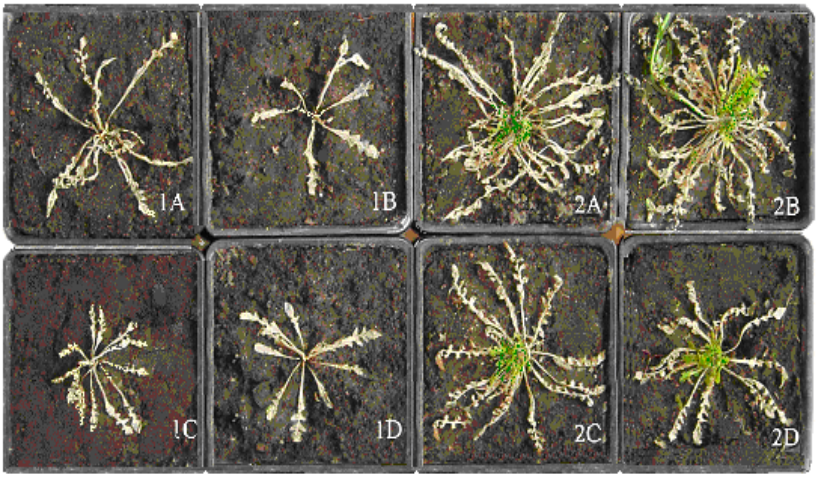
Nagrinėdami miglinių piktžolių terminės kontrolės ypatumus nustatėme, kad didžiausią įtaką terminei kontrolei daro piktžolės augimo tarpsnis – augalo skersmuo, o suvėlinus terminę kontrolę būtina ilginti aukštatemperatūrio poveikio laiką.

Skrotelinės piktžolės (trikertės žvaginės) ypatingos tuo, kad jų lapai yra išsidėstę dirvos paviršiuje skrotele ir vieni kitus glaudžiai dengia.

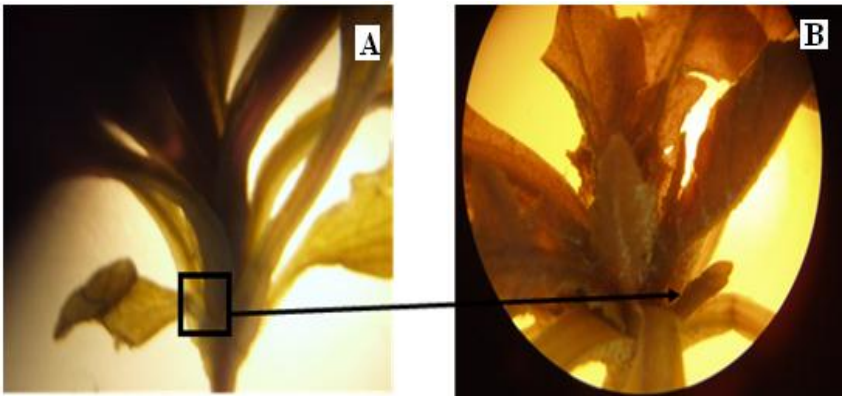
Terminės piktžolių kontrolės metu paaiškėjo, kad taikant vienodą visiems augalams 1,2 s terminio poveikio trukmę, trikertė žvaginė ne visais atvejais yra sunaikinama (9.27 pav.). Vieni trikertės žvaginės augalai terminės piktžolių kontrolės metu yra sunaikinami negrįžtamai (9.27 pav. 1A–1D), tuo tarpu kiti po tam tikro laiko atželia (9.27 pav. 2A–2D).

Nagrinėjant trikertės žvaginės terminio naikinimo procesą paaiškėjo esminiai šilumos mainų skirtumai tarp piktžolės ir augalus naikinančios drėgnojo vandens garo aplinkos. Drėgnasis vandens garas, turėdamas sąlytį su šaltais piktžolės ir dirvos paviršiais, kondensuojasi išskirdamas šilumą. Iš skleidiklio išleistas drėgnasis vandens garas slenka dirvos paviršiumi. Vertikalų augalo stiebą jis apgaubia iš visų pusių ir termiškai jį pažeidžia. Skrotelinių piktžolių atveju drėgnasis vandens garas sunkiai prasiskverbia prie augalams gyvybiškai svarbaus organo – skrotelės, kurią glaudžiai dengia augalo lapai (9.28 pav.). Prie pat skrotelės vandens garas maišosi su oru, esančiu tarp lapų, todėl susidaro oro ir drėgnojo vandens garo mišinys, kurio kondensacijos temperatūra yra mažesnė nei drėgnojo vandens garo (randama iš *h–x* diagramos). Kuo augalas yra didesnio augimo tarpsnio, kuo turi daugiau lapų, tuo skrotelė yra labiau apsaugota nuo terminio aukštatemperatūrės aplinkos poveikio.

Trikertės žvaginės audinių ir jos aplinkos temperatūros matavimai terminio piktžolių naikinimo metu, tiksliai nustatant terminio poveikio trukmę atskleidė temperatūrų kitimo dėsningumus priklausomai nuo lapų skaičiaus.



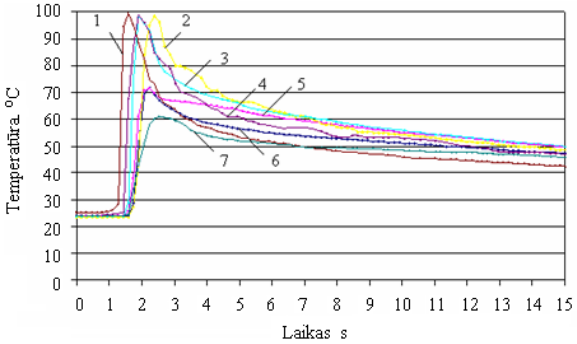
9.27 pav. Trikertė žvaginė (*Capsella bursa-pastoris* L. Medik) termiškai sunaikinama ne visais atvejais: 1A–1D visiškai sunaikinta; 2A–2D po tam tikro laiko atžėlusi. Terminio poveikio trukmė – 1,2 s



9.28 pav. Trikertės žvaginės lokalių zonų susidarymas terminio naikinimo drėgnuoju vandens garu metu: A – augalo pamatinė dalis, kurioje yra išsidėstę žiediniai ir miegantieji pumpurai; B – žiediniai pumpurai

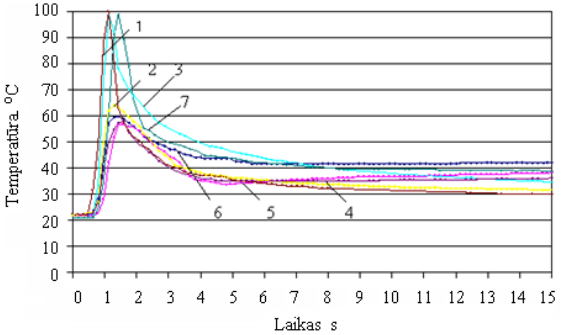
Termiškai naikinant penkių lapelių augimo tarpsnio trikertę žvaginę, kai aukštatemperatūrės 100 ºC aplinkos poveikio trukmė 1,2 s,

augalo skrotelėje temperatūra pakyla iki 62 ± 1,2 °C, augalas sunaikinamas (9.29 pav.).



9.29 pav. Temperatūros kitimas trikertės žvaginės skrotelėje ir jos aplinkoje, kai skrotelę sudaro 5 lapeliai: 1 – tiekiamo drėgnojo vandens garo temperatūra; 2, 3, 4 – augalo audinių paviršiaus temperatūra; 5 – augalo audinių temperatūra po pirmuoju lapu; 6 – augalo audinių temperatūra po antruoju lapu; 7 – temperatūra skrotelėje

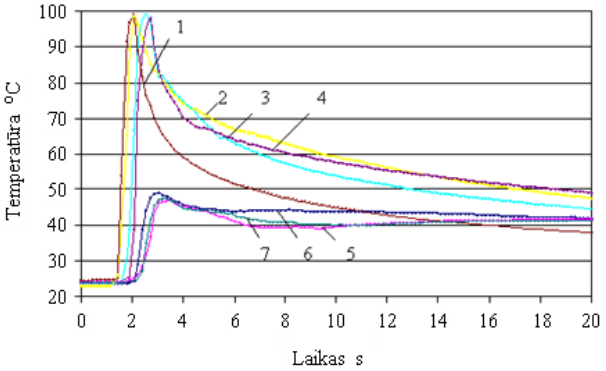
Termiškai naikinant dešimties lapelių tarpsnio trikertę žvaginę 1,2 s trukmės drėgnuoju vandens garu, suteikiant 99 °C terminį poveikį, augalo skrotelėje temperatūra pakyla iki 58 ± 0,6 °C, augalas sunaikinamas (9.30 pav.).



9.30 pav. Temperatūros kitimas trikertės žvaginės skrotelėje ir jos aplinkoje, kai skrotelę sudaro 10 lapelių: 1 – tiekiamo drėgnojo vandens garo temperatūra; 2 – augalo audinių temperatūra po pirmuoju lapu; 3, 7 – augalo audinių paviršiaus temperatūra; 4 – augalo audinių temperatūra po antruoju lapu; 5 – temperatūra skrotelėje; 6 – augalo audinių temperatūra po trečiuoju lapu

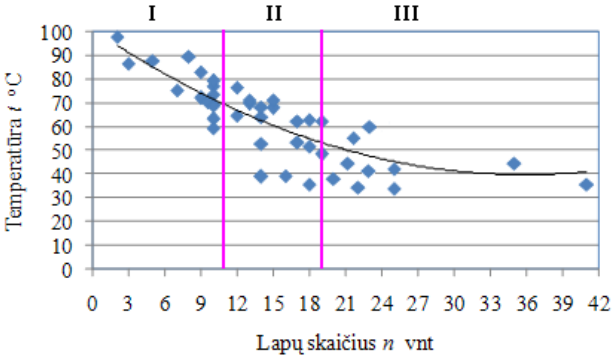
Termiškai naikinant dvylikos lapelių tarpsnio trikertę žvaginę drėgnuoju vandens garu, suteikiant 1,2 s trukmės vandens garo 100 °C

terminį poveikį, augalo skrotelėje temperatūra pakyla iki 47 ± 1,1 °C, augalas nesunaikinamas (9.31 pav.).



9.31 pav. Temperatūros kitimas trikertės žvaginės skrotelėje ir jos aplinkoje, kai skrotelę sudaro 12 lapelių: 1 – tiekiamo drėgnojo vandens garo temperatūra; 2, 3, 4 – augalo audinių paviršiaus temperatūra; 5 – temperatūra skrotelėje; 6 – augalo audinių temperatūra po pirmuoju lapu; 7 – augalo audinių temperatūra po antruoju lapu

Jei trikertė žvaginė turi daugiau nei 12 lapelių, jos skrotelė yra sunaikinama, tačiau žiediniai ir miegantieji pumpurai, glaudžiai apgaubti lapamakščių, yra nesunaikinami ir po kurio laiko prasideda jų vegetacija. Antžeminė augalo dalis sunyksta, tačiau po kurio laiko augalas atželia. Pateikiame trikertės žvaginės terminio sunaikinimo priklausomybę nuo jos lapų skaičiaus (9.32 pav.).



9.32 pav. Trikertės žvaginės (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik) terminio sunaikinimo vandens garu priklausomybė nuo lapų skaičiaus: I grupė – augalas visiškai sunaikinamas; II grupė – sunaikinama 50 % augalų; III grupė – augalai nesunaikinami

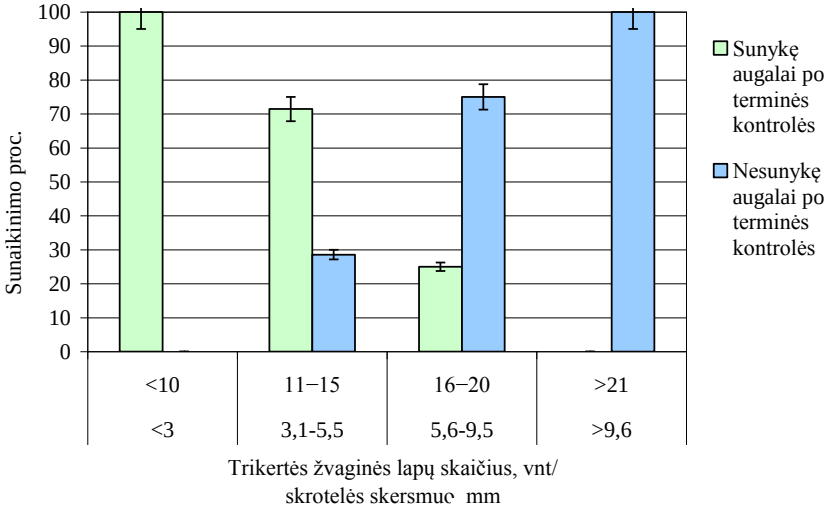
Kaip matyti 9.32 pav., trikertės žvaginės sunaikinimo priklausomybę nuo lapų skaičiaus galima suskirstyti į tris grupes:

I grupė – trikertė žvaginė, turinti mažiau nei dešimt lapelių, terminio naikinimo metu sunaikinama visiškai;

II grupė – kai yra 11–19 lapelių, sunaikinama 50 % piktžolės, tai priklauso nuo trikertės žvaginės lapų posvyrio kampo;

III grupė – trikertė žvaginė yra labai vešli, ji turi 20 ir daugiau lapelių, augalai nesunaikinami.

Taigi galima teigti, kad trikerčių žvaginių sunaikinimas tiesiogiai priklauso nuo lapų skaičiaus. Didėjant lapų skaičiui, temperatūra skrotelėse mažėja (9.32 pav.), todėl terminis šių piktžolių sunaikinimas taip pat mažėja (9.33 pav.). Duomenys, pateikti 9.33 pav., rodo, kad trikertė žvaginė visiškai sunaikinama, kai turi iki 10 lapų, o skrotelės skersmuo yra iki 3 mm. Didėjant lapų skaičiui nuo 11 iki 15 ir skrotelės skersmeniui nuo 3,1 iki 5,5 mm, sunaikinama 70 % piktžolių. Esant 16–20 lapų, skrotelės skersmeniui 5,6–9,5 mm, sunaikinama 26,3 % piktžolių. Kai trikertė žvaginė lapų turi daugiau nei 21, o skrotelės skersmuo didesnis nei 9,6 mm, esant 1,2 s aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo trukmei, yra nesunaikinama.



9.33 pav. Trikertės žvaginės (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik) lapų skaičiaus ir skrotelės skersmens įtaka piktžolių terminiam sunaikinimui

Atlikus tyrimus buvo pastebėta, kad trikertės žvaginės sunaikinimui turi įtakos ne tik lapų skaičius, bet ir jų posvyrio nuo dirvos paviršiaus kampas.

Tiriant trikertę žvaginę paaiškėjo, kad jai sunaikinti 11–15 lapelių tarpsnyje didelę reikšmę turi lapų posvyrio kampas. Nagrinėjant trikertės žvaginės sunaikinimo ypatumus drėgnojo vandens garo aplinkoje paaiškėjo, kad esant skirtingiems lapų posvyrio kampams piktžolės jautrumas drėgnojo vandens garo aplinkai skiriasi.

Kuo augalas turi daugiau lapelių, tuo jo žiediniai ir vegetatyviniai miegantieji pumpurai yra geriau apsaugoti nuo aukštatemperatūrės aplinkos poveikio 9.28 pav.

Trikertės žvaginės žiediniai pumpurai nesusiformuoja kiekviename lapamakštyje, tai priklauso nuo augalo išsivystymo. Jauni augalai, turintys iki 10 lapų, žiedinių ir miegančiųjų pumpurų neturi. Todėl šios pirmosios grupės (9.32 pav.) trikertė žvaginė yra nesunkiai termiškai sunaikinama. Kai trikertė žvaginė turi daugiau nei dešimt lapų, ant vieno augalo gali būti 4–6, o ant kito 2–3 žiediniai pumpurai. 9.28 pav. A, B matyti, kaip glaudžiai lapamakščiai apgaubia žiedinius ir miegančiuosius pumpurus sudarydami lokalias zonas, apsaugančias nuo aukštatemperatūrės aplinkos poveikio. Todėl augalai, priklausantys antrajai grupei, vienu atveju yra sunaikinami, kitu atveju jie atželia (9.32 pav.). Tai priklauso nuo augalo lapų posvyrio kampo. Trečiosios grupės augalai (9.32 pav.), kai lapų daugiau kaip 19, esant 1,2 s terminio poveikio trukmei, nesunaikinami. Susidarius didesniam lapų skaičiui padidėja augalo masė ir 1,2 s drėgnojo vandens garo palaikymo trukmės nepakanka termiškai nutraukti gyvybiniams augalo procesams.

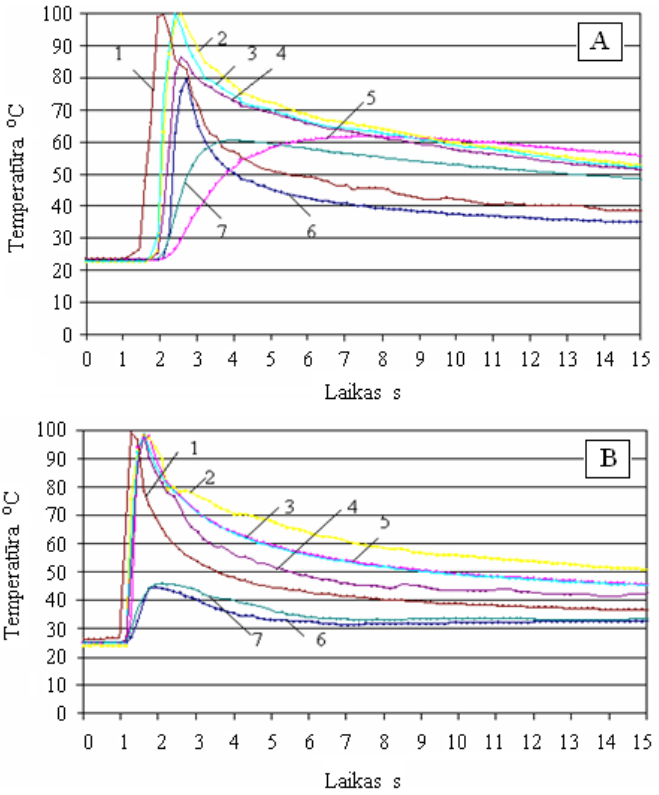
Plačiau panagrinėsime antrosios grupės augalus, kai trikertės žvaginės lapų skaičius yra nuo 11 iki 19. Esant kokiam lapų posvyrio kampui šio augimo tarpsnio piktžolė yra efektyviausiai termiškai sunaikinama.

Termiškai naikinant trikertę žvaginę, kuri turi 12 lapų, dominuoja horizontalūs lapai, lapų posvyrio kampas nuo dirvos paviršiaus yra 25^{o}, 15^{o}, 45^{o}, 30^{o}, augalo skrotelėje temperatūra pakyla iki 62 ± 1,4 ^{o}C ir augalas sunaikinamas (9.34 pav. A).

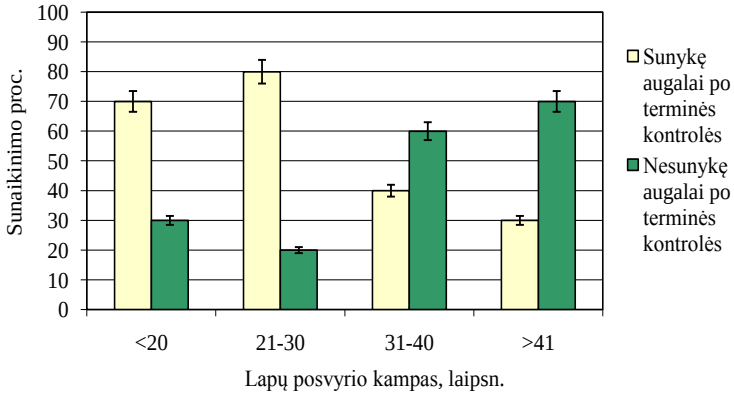
Termiškai naikinant trikertę žvaginę, kuri turi 12 lapų, dominuoja vertikalūs lapai, lapų posvyrio kampas nuo dirvos paviršiaus yra 33^{o}, 97^{o}, 85^{o}, augalo skrotelėje temperatūra pakyla iki 44 ± 1,3 ^{o}C, todėl augalas nesunaikinamas, nors jo paviršiaus ir aukštatemperatūrės aplinkos temperatūra siekė 98–99 ^{o}C (9.34 pav. B).

Apibendrinus tyrimų rezultatus (9.35 pav.) galima teigti, kad kai trikerčių žvaginių lapų posvyrio kampas nuo dirvos paviršiaus yra iki 20^o, sunaikinama apie 70 % piktžolių. Kai lapų posvyrio kampas yra 21–30^o, augalai yra geriausiai termiškai sunaikinami – iki 80 %. Didėjant lapų posvyrio kampui trikerčių žvaginių sunaikinimo procentas mažėja.

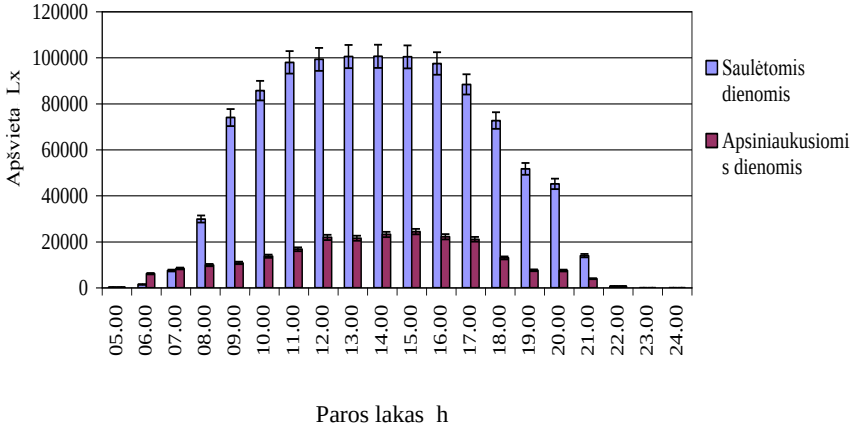
Piktžolių lapų posvyrio kampas kinta priklausomai nuo paros laiko. Atsižvelgiant į lapų posvyrio kampą ir paros laiką galima parinkti terminio piktžolių naikinimo laiką, kuris būtų efektyvus skrotelinėms piktžolėms naikinti.



9.34 pav. Temperatūros kitimas trikertės žvaginės skrotelėje ir jos aplinkoje, kai skrotelę sudaro 12 lapų: A – dominavo horizontalieji lapai; B – dominavo vertikalieji lapai. 1 – tiekiamo drėgnojo vandens garo temperatūra; 2, 3, 4 – augalo audinių paviršiaus temperatūra; 5 – temperatūra skrotelėje; 6 – augalo audinių temperatūra po pirmuoju lapu; 7 – augalo audinių temperatūra po antruoju lapu



9.35 pav. Trikertės žvaginės lapų posvyrio kampo įtaka terminei piktžolių kontrolei

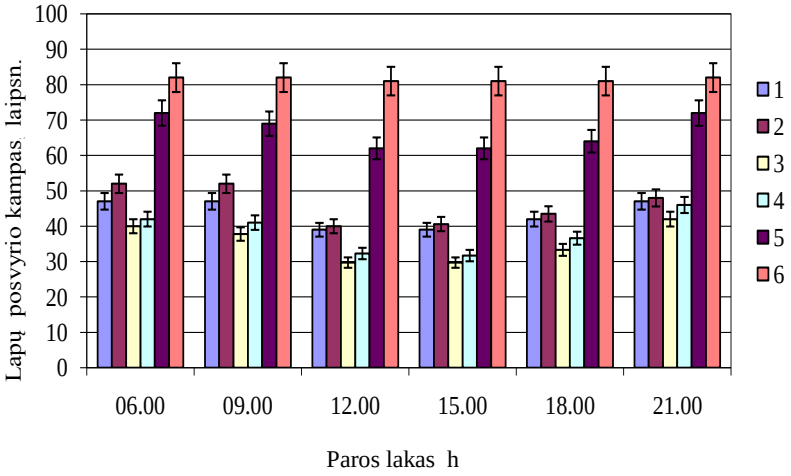


9.36 pav. Augalui tenkanti apšvieta saulėtomis ir apsiniaukusiomis, lietingomis dienomis

Augalų fotofiziologiniai tyrimai rodo, kad saulės spektre esanti mėlynoji šviesa (nuo 440 iki 460 nm) veikia chlorofilo formavimąsi, žiotelių varstymąsi, fotomorfogenezę, fotosintezės produktų gabenimą ir pasiskirstymą augalų dalyse (Dougher, Bugbee, 1998; Heo *et al*., 2002; Bliznikas ir kt., 2004; Urbonavičiūtė ir kt., 2008). Taigi mėlynoji šviesa tiesiogiai veikia lapų posvyrio kampo kitimą. Šiltnamiuose, labo-

ratorijose auginamų žemės ūkio augalų apšvietą, šviesos srauto intensyvumą, spindulių kritimo kampą, šviesos spektrinę sudėtį galima reguliuoti dirbtine apšvieta. Natūraliomis sąlygomis augančioms piktžolėms buvo matuojama apšvieta, tenkanti piktžolėms saulėtomis ir apsiniaukusiomis dienomis (9.36 pav.).

Iš tyrimų rezultatų matome, kad didžiausia apšvieta, tenkanti augalui saulėtą ir apniukusią dieną yra nuo 11 ir 17 h. Taigi šiuo laikotarpiu augalo lapų posvyrio kampas nuo dirvos paviršiaus yra mažiausias. Tai rodo ir trikertės žvaginės lapų posvyrio kampo matavimo duomenys (9.37 pav.). Taip pat matome, kad apšvieta, tenkanti augalui saulėtą dieną, yra 5 kartus didesnė nei apsiniaukusią dieną.



9.37 pav. Trikertės žvaginės lapų posvyrio kampo kitimas per dieną. 1, 2, 3, 4, 5, 6 – trikertės žvaginės lapai

Tyrimo duomenys rodo, kad jei trikertėje žvaginėje dominuoja horizontalieji lapai, tai terminė piktžolių kontrolė drėgnuoju vandens garu turi būti vykdoma iki 12 h. Jei trikertėje žvaginėje dominuoja vertikalieji lapai, terminė piktžolių kontrolė turi būti vykdoma nuo 12 iki 18 h. Kitu paros laiku reikalinga ilgesnė aukštatemperatūrės aplinkos palaikymo trukmė.

Lapų posvyrio kampo kitimas daro įtaką trikertės žvaginės miegančiųjų ir žiedinių pumpurų terminiam sunaikinimui.

Terminei piktžolių kontrolei naudojant karštų dujų (Ascard, 1995; Wszelaki *et al*., 2007) ar karšto vandens (Hanson, Ascard, 2002; Melander, Hanson, 2007) aukštatemperatūrę aplinką nustatyta, kad ir miglinės, ir skrotelinės piktžolės yra sunkiai termiškai sunaikinamos ir priskiriamos prie atspariausių terminei piktžolių kontrolei. Terminę kontrolę rekomenduoja atlikti: miglinių piktžolių – neprasidėjus krūmijimosi tarpsniui, skrotelinių piktžolių – iki žiedinių pumpurų formavimosi tarpsnio.

Terminės piktžolių kontrolės technologijoje, siekiant terminio proceso efektyvumo, būtina suderinti termiškai naikinamų piktžolių biologinius ir technologinius veiksnius. Tai gerai matyti iš 9.26 ir 9.27 paveiksluose pateiktų terminio piktžolių naikinimo rezultatų.

Matome, kad *naikinant piktžoles terminio impulso trukmė priklauso nuo piktžolių rūšinės sudėties pasėlyje. Pasėlyje dominuojant vienaskiltėms piktžolėms, terminį piktžolių naikinimą reikia atlikti stebint vienaskilčių piktžolių augimo tarpsnius.* Dviskilčių piktžolių augimo tarpsniai jų terminiam sunaikinimui drėgnuoju vandens garu didesnės įtakos neturi (9.18 pav.).

10 TERMINIO PIKTŽOLIŲ NAIKINIMO TECHNOLOGIJOS

Piktžolių kontrolės sunkumai ekologinės žemdirbystės sistemoje yra viena iš pagrindinių priežasčių, lėtinančių ekologinių ūkių plėtrą. Tradicinė žemdirbystė daro žalą gamtai ir aplinkai, nes yra chemizuota. Mechanizuotų technologijų panaudojimo galimybės ekologiškai piktžolių kontrolei yra ribotos. Ekologiniame ūkyje piktžolių kontrolė pagrįsta tik necheminėmis priemonėmis, todėl tradicinių žemės ūkio mašinų efektyvumo nepakanka. Europos herbologų draugija, kurioje veikia Fizikinių metodų naudojimo piktžolių kontrolei sekcija (konferencijų leidiniai: 2000; 2002; 2004; 2007; 2009; 2011) savo darbais stengiasi išryškinti ekologinės žemdirbystės plėtros būtinumą ir jos ateities perspektyvas, įrodyti, kad herbicidai žemės ūkyje – laikina priemonė.

Terminio piktžolių naikinimo technologijos drėgnuoju vandens garu efektyvios ir perspektyvios, tačiau joms reikia pritaikyti technologiją ir techniką, paremtą mokslinių tyrimų visuma, įvertinančia biologinius, technologinius ir energinius veiksnius, darančius įtaką piktžolių naikinimo vandens garu procesui.

Visi piktžolių kontrolės veiksniai, įgalinantys sumažinti pasėlio piktžolėtumą, yra svarbūs. Kuo daugiau sumažiname pasėlio piktžolėtumą, tuo labiau padidinsime žemės ūkio augalų derlių. Be to, žemės ūkio ir piktžoliniai augalai nevienodai jautrūs terminiam poveikiui. Todėl kiekvienai auginamai kultūrai būtina individuali, pritaikyta piktžolių terminio naikinimo technologija. Žemiau pateikiame piktžolių terminės kontrolės svogūnų ir morkų pasėlyje drėgnuoju vandens garu technologijų tyrimus ir jų vertinimą.

10.1. Terminio piktžolių naikinimo technologija svogūnų pasėlyje

Svogūnų derliaus priklausomybė nuo piktžolėtumo. Terminio piktžolių naikinimo galimybių ir derliaus priklausomybės nuo pasėlio piktžolėtumo svarbiausias rodiklis yra ekologiškos produkcijos derlingumas. Agronomijos moksle yra nustatyta priklausomybė tarp derliaus ir pasėlio piktžolėtumo. Didėjant pasėlio piktžolėtumui derlius mažėja. Teigiama, kad egzistuoja tiesialinijinis dėsningumas tarp derliaus ir piktžolėtumo (Lazauskas, 1990, 2011; Lazauskas ir kt. 2008). 2000–2003 m. vykdėme gamybinius tyrimus svogūnų pasėlyje LŽŪU bandymų stotyje (10.1 pav.). 2011m. tyrimus vykdėme Vilkaviškio rajone (10.2 pav.).

Atlikę duomenų analizę gavome tokias derliaus y tiesines priklausomybes nuo piktžolėtumo *x*, nepriklausomai nuo naudotos piktžolių naikinimo technologijos:

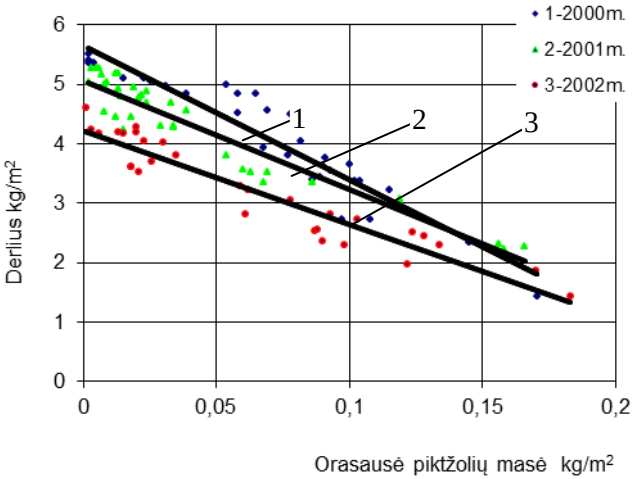
2000 m.	y = -15,865x + 4,2285;	R^2 = 0,9038;
2001 m.	y = -18,418x + 5,0698;	R^2 = 0,9127;
2002 m.	y = -22,551x + 5,6572;	R^2 = 0,9039.

Iš tiesinių regresinių lygčių ir 10.3 pav. pateiktų duomenų matyti, kad šios tiesinės regresijos lygtys visiškai tinka aproksimuoti svogūnų derliaus priklausomybę nuo piktžolėtumo. Determinacijos koeficientai R^2 = 0,9038 (2000 m.); R^2 = 0,9127 (2001 m.); R^2 = 0,9039 (2002 m.) byloja apie tai, kad daugiau kaip 90 % svogūnų derliaus pokyčių tiesiogiai priklauso nuo svogūnų pasėlio piktžolėtumo, ir tik apie 10 % derliaus yra susiję su kitais mūsų nekontroliuotais veiksniais.

Baigiant svogūnų derliaus priklausomybės nuo pasėlio piktžolėtumo analizę galima teigti, kad svogūnų pasėliuose, nepriklausomai nuo piktžolių naikinimo technologijos, egzistuoja tiesinė svogūnų derliaus priklausomybė nuo pasėlio piktžolėtumo.

10.1 pav. Bendras bandymų lauko vaizdas (LŽŪU Bandymų stotis)

10.2 pav. Bendras bandymų lauko vaizdas (Vilkaviškio rajonas)

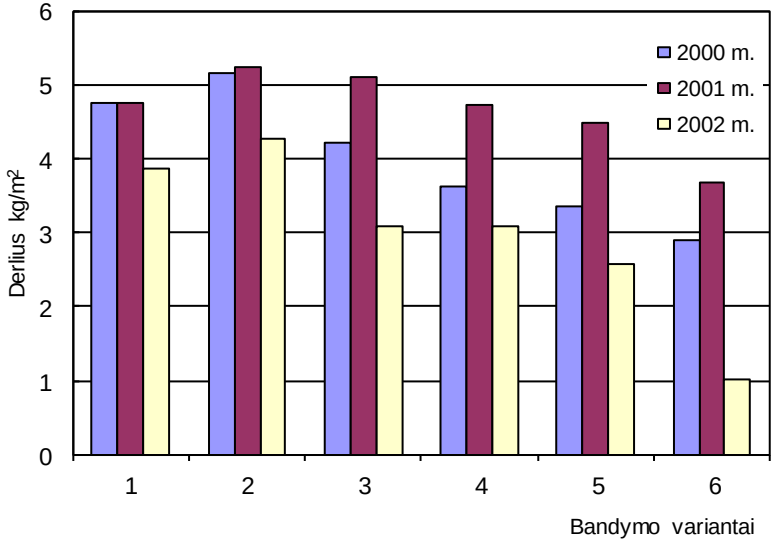


10.3 pav. Svogūnų derliaus priklausomybė nuo orasausės piktžolių masės 2000–2002 m.: 1 – 2000 m., 2 – 2001m., 3 – 2002 m.

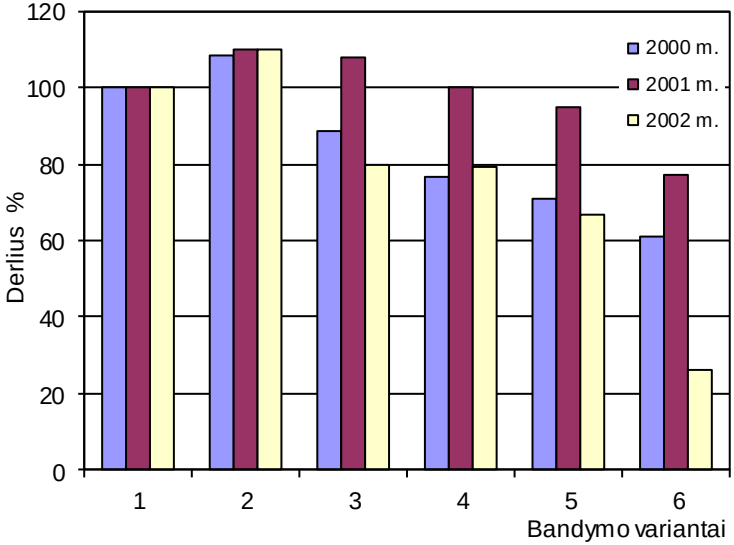
Piktžolių kontrolės drėgnuoju vandens garu technologinių veiksnių įtaka svogūnų derliui. Drėgnojo vandens garo terminiam poveikiui nustatyti svogūnų pasėlyje buvo sudaryta lauko bandymo metodika, kuri leido įvertinti pagrindinių piktžolių naikinimo technologinių veiksnių įtaką derliui. Bandymų schema sudaryta iš 6 variantų ir 6 pakartojimų, kurie aprašyti 10.1 lentelėje. Remiantis tyrimų (10.1 lentelė) duomenimis galima teigti, kad optimali terminio piktžolių naikinimo technologija svogūnų pasėlyje yra piktžoles naikinti drėgnuoju vandens garu 2 kartus per vegetacijos periodą, kai drėgnojo vandens garo poveikio trukmė – 2 s. Terminis piktžolių naikinimas turi būti atliekamas visame laukelyje, neapsaugant svogūnų nuo drėgnojo vandens garo poveikio. Visais mūsų tirtais atvejais (2000, 2001 ir 2002 m.) gaunamas esminis skirtumas esant 95 % tikimybės lygiui. Antrojo varianto svogūnų derlius yra iš esmės didesnis už kontrolinio varianto derlių $\frac{\sum \Delta m}{n} = 424 kg/ha$; $\frac{\sum n\%}{n} = 109{,}5\%$. Lyginant trečiąjį, ketvirtąjį ir penktąjį variantus su derliaus kontroliniu variantu, svogūnų derlius yra kiek mažesnis, išskyrus vieną atvejį 2001 m. – trečiąjį variantą, kai visas bandymų laukas buvo

mažai piktžolėtas. 2001 m. bandymų trečiasis variantas įdomus tuo, kad $R_{05}0{,}357 < 0{,}365$, t. y. derlius iš esmės didesnis už kontrolinio varianto derlių 107,7 %. Tačiau šį atvejį aptarsime vėliau, nagrinėdami terminio poveikio trukmę.

Iš 10.1 lentelės pateiktų duomenų ir 10.4 pav. matyti, kad 2002 m. gauti derliai buvo mažesni, lyginant su 2000 ir 2001 m. derliais. Tai lėmė 2002 m. klimato sąlygos: mažas drėgmės kiekis ir aukšta oro temperatūra, lyginant su 2000 ir 2001 m. Paskaičiavus trejų metų procentinį pasiskirstymą tarp variantų, iš 10.2 lentelės ir 10.5 pav. matyti, kad antrojo bandymų varianto procentinis derliaus padidėjimas, lyginant su kontroliniu, yra gana stabilus – 108,4 % (2000 m.), 110,2 % (2001 m.) ir 109,9 % (2002 m.), o aritmetinis 3 bandymų metų derliaus prieaugio procentas – 109,5 %. Gana kontrastingai atrodo geriausias antrasis terminio piktžolių naikinimo variantas lyginant su kontroliniu (šeštasis variantas), kai piktžolės visiškai nenaikintos (10.6 pav.).



10.4 pav. Svogūnų derliaus (2000–2002 m.) skirtingų bandymų variantų palyginimas (bandymo variantai aprašyti lentelėse)



10.5 pav. Svogūnų derliaus (2000–2002 m.) skirtingų bandymų variantų procentinis palyginimas (bandymo variantai aprašyti lentelėse)

Naikinant piktžoles reikia sukelti terminį stresą – dalinį augalo terminį pažeidimą (10.7 pav.). Piktžoles svarbu naikinti dygimo tarpsnio. Ūgtelėjusių piktžolių naikinimas yra pavėluotas, nes 2 s terminio poveikio trukmės gali nepakakti piktžolėms sunaikinti.

Siekdami nustatyti svogūnų pasėlio derliaus priklausomybę nuo terminio poveikio trukmės, remdamiesi 2003 ir 2004 metų bandymų duomenimis matome (10.8 pav.), kad piktžoles reikia naikinti naudojant 2 s terminio poveikio trukmę.

Naikinant piktžoles ravint (1 variantas, derliaus kontrolinis var.), žemės ūkio augalų vagutėje sunaikinamos ne visos piktžolės.

Apibendrindami svogūnų pasėlio priežiūros technologinių veiksnių įtaką svogūnų derliui, pagrįstai galime teigti, kad naudodami terminę piktžolių kontrolę drėgnuoju vandens garu galime ne tik sėkmingai kontroliuoti piktžoles pasėlyje, bet ir gauti nemažą derliaus padidėjimą.

10.1 lentelė. Svogūnų 2000–2002 m. derliaus skirtingų bandymų variantų palyginimas (LŽŪU Bandymų stotis)

Bandymo variantų apibūdinimas		Metai		
		2000	2001	2002
		derlius kg/m^2		
1.	Piktžolės ravimos 3 kartus (derliaus kontrolinis variantas)	4,766	4,753	3,882
2.	Piktžolės naikinamos drėgnuoju vandens garu 2 kartus per vegetacijos periodą, drėgnojo vandens garo aplinkos palaikymo trukmė – 2 s. Terminis piktžolių naikinimas ištisinis visame laukelyje, piktžolėms esant daigo tarpsnio. Svogūnai neapsaugomi nuo drėgnojo vandens garo poveikio.	5,168	5,238	4,267
3.	Piktžolės naikinamos drėgnuoju vandens garu 2 kartus per vegetacijos periodą, drėgnojo vandens garo aplinkos palaikymo trukmė – 1 s. Terminis piktžolių naikinimas tarpueilyje, piktžolėms esant daigo tarpsnio.	4,227	5,118	3,102
4.	Piktžolės naikinamos drėgnuoju vandens garu 2 kartus per vegetacijos periodą naudojant apsauginius skydelius. Svogūnų ropelės apsaugomos nuo drėgnojo vandens garo poveikio.	3,640	4,745	3,08
5.	Piktžolės naikinamos ūgtelėjusios 7–10 cm naudojant drėgnojo vandens garo aplinką 2 kartus per vegetacijos periodą, drėgnojo vandens garo aplinkos palaikymo trukmė – 2 s.	3,372	4,498	2,583
6.	Piktžolės visiškai nenaikintos (piktžolių kontrolinis variantas).	2,913	3,677	1,008

10.2 lentelė. Skirtingų bandymų variantų svogūnų derliaus procentinis palyginimas (LŽŪU Bandymų stotis, 2000–2002 m.)

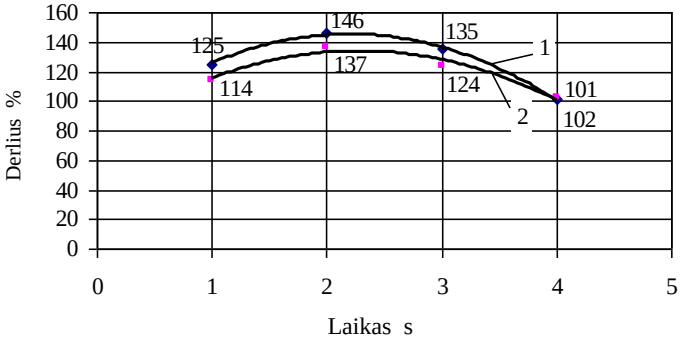
Bandymo variantų apibūdinimas		Metai		
		2000	2001	2002
		derlius %		
1.	Piktžolės ravimos 3 kartus (derliaus kontrolinis variantas)	100	100	100
2.	Piktžolės naikinamos drėgnuoju vandens garu 2 kartus per vegetacijos periodą, drėgnojo vandens garo aplinkos palaikymo trukmė – 2 s. Terminis piktžolių naikinimas yra ištisinis visame laukelyje, piktžolėms esant daigo tarpsnio. Svogūnai neapsaugomi nuo drėgnojo vandens garo poveikio.	108,427	110,203	109,918
3.	Piktžolės naikinamos drėgnuoju vandens garu 2 kartus per vegetacijos periodą, drėgnojo vandens garo aplinkos palaikymo trukmė – 1 s. Terminis piktžolių naikinimas tarpueilyje, piktžolėms esant daigo tarpsnio.	88,671	107,679	79,905
4.	Piktžolės naikinamos drėgnuoju vandens garu 2 kartus per vegetacijos periodą naudojant apsauginius skydelius. Svogūnų ropelės apsaugomos nuo drėgnojo vandens garo poveikio.	76,364	99,825	79,347
5.	Piktžolės naikinamos ūgtelėjusios 7–10 cm naudojant drėgnojo vandens garo aplinką 2 kartus per vegetacijos periodą, drėgnojo vandens garo aplinkos palaikymo trukmė – 2 s.	70,734	94,635	66,552
6.	Piktžolės visiškai nenaikintos (piktžolių kontrolinis variantas).	61,119	77,349	25,977

10.6 pav. Visiškai nenaikintų piktžolių laukelio (6 variantas, piktžolių kontrolinis var.) palyginimas su 2 varianto laukeliu, kuriame piktžolės naikintos drėgnuoju vandens garu 2 kartus per vegetacijos periodą

10.7 pav. Vandens garo poveikis piktžolėms ir svogūnų ropelėms

Iškyla svogūnų pasėlio priežiūros technologinių veiksnių, sukeliančių derliaus padidėjimą, nustatymo klausimas. Tokie veiksniai gali būti:

- vandens garo terminis poveikis augalui ir dirvai;
- nepažeistos augalo šaknys, naudojant terminę piktžolių kontrolę.



10.8 pav. Svogūnų derliaus priklausomybė nuo terminio poveikio trukmės: 1, 2 – atitinkamai 2003 ir 2004 metų bandymų duomenys

Naudojant mechanines piktžolių kontrolės priemones augalo šaknys visuomet yra pažeidžiamos. Siekiant išspręsti minėtus klausimus buvo atlikti tikslūs bandymai, kuriuos nuosekliai pateikiame.

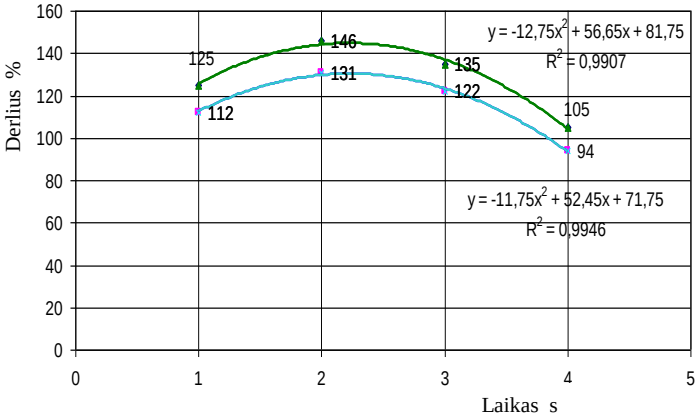
Eksperimentiniai lauko bandymai svogūnų sėjinukų pasėlyje buvo atliekami Lietuvos žemės ūkio universiteto bandymų stotyje 2003 m. Bandymų lauko ilgis – 16,5 m, plotis – 1,9 m. Iš lauko kraštų buvo paliktas po 25 cm apsauginis ruožas. Visas laukas suskirstytas į šešias lygias da1is (variantus). Kiekvieno bandymų varianto atlikti keturi pakartojimai. Bandymo laukelio plotas – 1,4 m^2. Sėjinukai buvo sodinami kas 25 cm tarp eilučių ir kas 7 cm eilutėje tarp sėjinukų. Vienoje eilutėje buvo pasodinama po 20 sėjinukų svogūnų „Centurion F1“. Kiekvienam bandymų variantui parinkta kuo vienodesnė sodinamų svogūnėlių masė, taip pat skirtingas piktžolių naikinimo būdas, kuris aprašytas 10.1 ir 10.2 lentelėse. Naikinant piktžoles svogūnų pasėlis gavo tiesioginį 1, 2, 3 ir 4 sekundžių trukmės drėgnojo vandens garo terminį poveikį, patirdamas dalinį audinių terminį pažeidimą.

Dygstančių piktžolių terminiam sunaikinimui svogūnų pasėlyje užtenka 1–2 sekundžių drėgnojo vandens garo poveikio. Svogūnų ropelių ir jų laiškų (lapų) masės santykis lyginant su piktžolių mase yra daug didesnis, todėl piktžolės dėl drėgnojo vandens garo poveikio 100 % sunaikinamos, o svogūnai patirdavo tik dalinį terminį pažeidimą (10.8 pav.).

Siekiant nustatyti svogūnų derliaus padidėjimo priežastis, buvo atliekami bandymai naudojant skirtingas piktžolių naikinimo technologijas (10.3 lentelė).

10.3 lentelė. Svogūnų pasėlio derlius naudojant skirtingas piktžolių naikinimo technologijas

Variantai	Piktžolių naikinimo technologijos	Derlius		
		kg/m^2	%	
1.	Piktžolės išravimos purenant dirvą	3,52	100	89,6
2.	Piktžolės išravimos, bet dirva nepurenama	3,93	111,6	100,0
3.	Drėgnojo vandens garo aplinkos palaikymo trukmė – 1 s	4,41	125,3	112,2
4.	Drėgnojo vandens garo aplinkos palaikymo trukmė – 2 s	5,16	146,6	131,3
5.	Drėgnojo vandens garo aplinkos palaikymo trukmė – 3 s	4,78	135,8	121,6
6.	Drėgnojo vandens garo aplinkos palaikymo trukmė – 4 s	3,70	105,1	94,1



10.9 pav. Svogūnų pasėlio derlius piktžolėms naikinti naudojant skirtingas terminio poveikio trukmes. 1 kreivė – derliaus kitimas lyginant su kontroliniu variantu (1 var.), kai piktžolės išravimos, bet dirva nepurenama; 2 – derliaus kitimas lyginant su kontroliniu variantu (2 var.), kai piktžolės išravimos purenant dirvą

Iš pateiktų 10.3 lentelėje duomenų matyti, kad piktžoles naikinant mechaniniu būdu, derlius gaunamas mažesnis lyginant su antruoju va-

riantu, kur piktžolės visos buvo (100 %) išraunamos. Antrojo varianto žemė buvo nesupurenama ir gaunama 11 % didesnis derlius, lyginant su pirmuoju. Derliui daro įtaką svogūnų ropelių šaknų pažeidimas, kuris sutrikdo svogūnų vystymąsi.

Piktžolėms naikinti naudojant drėgnojo vandens garo aplinką paveikiamos ir svogūnų ropelės. Šis poveikis ropeles veikia teigiamai, suaktyvinamas svogūnų augimas, todėl išauga didesnis derlius.

Iš pateiktų (10.9 pav.) duomenų matyti, kad drėgnojo garo poveikis svogūnų pasėliui visais atvejais yra teigiamas. Gaunamas akivaizdus derliaus padidėjimas. Derliaus padidėjimą sukelia du anksčiau minėti veiksniai. Pirmasis veiksnys yra tai, kad naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu dirva nepurenama, nepažeidžiama augalų šaknų sistema. Antrasis veiksnys derliaus prieaugiui yra terminis poveikis augalui ir dirvai, kuris sukelia biologinių procesų pokyčius svogūnų pasėlyje.

Iš 10.9 pav. pateiktų duomenų matyti, kad svogūnų pasėlyje piktžoles naikinant drėgnuoju vandens garu gaunamas derliaus prieaugis prik1auso nuo terminio poveikio trukmės. Didžiausias derliaus prieaugis gaunamas naikinant piktžoles panaudojus 2 s terminio poveikio trukmę.

10.2. Terminio piktžolių naikinimo technologija morkų pasėlyje

Morkų pasėlio jautrumas terminiam garo poveikiui. Morkos yra ilgai dygstanti kultūra (ypač sausą pavasarį). Sudygusios morkos auga labai lėtai, jų lapija taip pat ilgai būna reta, menkai dengia dirvos paviršių ir silpnai gali konkuruoti su piktžolėmis. Dygstančių morkų ir piktžolių atsparumo temperatūriniam pažeidimui rodikliai panašūs, todėl šiuo atveju terminis piktžolių naikinimas drėgnuoju vandens garu problemiškas. Skirtingų augimo tarpsnių morkų jautrumas terminiam poveikiui pateiktas 10.4 lentelėje.

Remdamiesi 10.4 lentelės duomenimis teigiame, kad morkų pasėlyje naudojant terminį piktžolių naikinimą drėgnuoju vandens garu, morkos gali būti visiškai sunaikintos. Todėl termiškai naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu, morkų pasėlio apsauga nuo terminio poveikio yra labai aktuali. Iš 10.4 lentelės duomenų matyti, kad po 1 s terminio poveikio pasėlyje išlieka 78 % morkų, kai jų kaklelių skersmuo yra 6,0 mm.

10.4 lentelė. Morkų jautrumas terminiam drėgnojo vandens garo poveikiui skirtingais jų augimo tarpsniais

Eil. Nr.	Lapų skaičius skrotelėje	Morkų kaklelių skersmuo mm	Išlikusių morkų kiekis pasėlyje po drėgnojo vandens garo poveikio ($x \pm S_x$) %		
			terminio poveikio trukmė s		
			1	2	3
1.	sėklaskiltės	1,0 ± 0,1	0,0	0,0	0,0
2.	sėklaskiltės	1,2 ± 0,1	0,7 ± 0,4	0,0	0,0
3.	2–3	1,9 ± 0,1	9,1 ± 0,3	0,0	0,0
4.	2–3	2,1 ± 0,2	13,3 ± 0,8	0,0	0,0
5.	3–4	2,6 ± 0,3	23,8 ± 1,2	0,0	0,0
6.	3–4	3,2 ± 0,2	60,9 ± 1,7	13,2 ± 0,6	2,0 ± 0,1
7.	4–5	4,9 ± 0,3	69,5 ± 1,7	26,7 ± 1,3	3,4 ± 0,2
8.	4–5	6,0 ± 0,2	77,7 ± 1,5	37,4 ± 1,3	5,9 ± 0,2
9.	4–5	8,7 ± 0,3	85,6 ± 1,5	63,3 ± 1,3	7,6 ± 0,3
10.	5–6	9,3 ± 0,4	92,1 ± 2,0	89,1 ± 1,4	8,4 ± 0,4
11.	5–6	11,3 ± 0,4	98,8 ± 0,6	98,4 ± 0,9	13,6 ± 0,5
12.	6–7	12,1± 0,4	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	20,6 ± 1,0

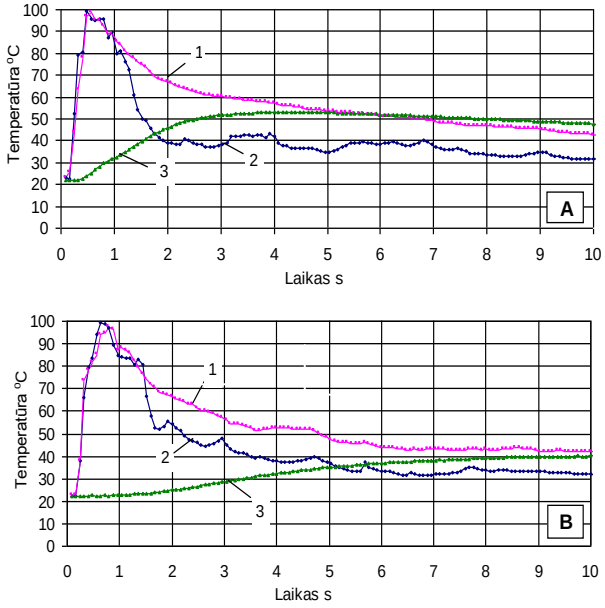
Jeigu terminiam piktžolių naikinimui drėgnuoju vandens garu reikalingas ilgesnis palaikymo laikas – 2 s, tai morkų kaklelių skersmuo turėtų būti ne mažesnis kaip 9,3 mm. Tuomet po terminio poveikio pasėlyje išlieka apie 89 % morkų. Gauti duomenys leidžia teigti, kad piktžolių kontrolei 3 s terminio poveikio drėgnuoju vandens garu morkų pasėlyje taikyti negalima. Šiuo atveju reikia ieškoti apsaugos nuo terminio poveikio būdų. Vėlesni stebėjimai leidžia teigti, kad morkų pasėlyje naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu, kai vidutinis morkų kaklelių skersmuo didesnis kaip 5 mm, kartu atliekamas blogiau besivystančių, mažesnio kaklelių skersmens morkų natūralus terminis retinimas.

Iš 10.4 lentelėje pateiktų duomenų taip pat galime teigti, kad didėjant morkų kaklelio skersmeniui didėja ir morkų atsparumas drėgnojo vandens garo aplinkai. Tačiau 10.4 lentelėje pateikti lauko tyrimų duomenys neatskleidžia terminio piktžolių naikinimo proceso, o parodo tik galutinį rezultatą. Modeliuojant patį terminio piktžolių naikinimo procesą laboratorinėmis sąlygomis, palaikant stabilius aplinkos parametrus ir keičiant drėgnojo vandens garo terminio poveikio trukmę, nustatyta morkų reakcijos į terminį drėgnojo vandens garo poveikį esmė.

Terminio piktžolių naikinimo proceso metu nagrinėjant temperatūros kitimo dinamiką morkos audiniuose paaiškėjo temperatūros kitimo dėsningumai morkos kaklelio audiniuose ir jų priklausomybė nuo kaklelio skersmens. Būdingiausius atvejus, kurie atskleidžia šiuos dėsningumus morkos audiniuose, vykstančius terminio piktžolių naikinimo proceso metu, pateikiame 10.10 paveiksle.

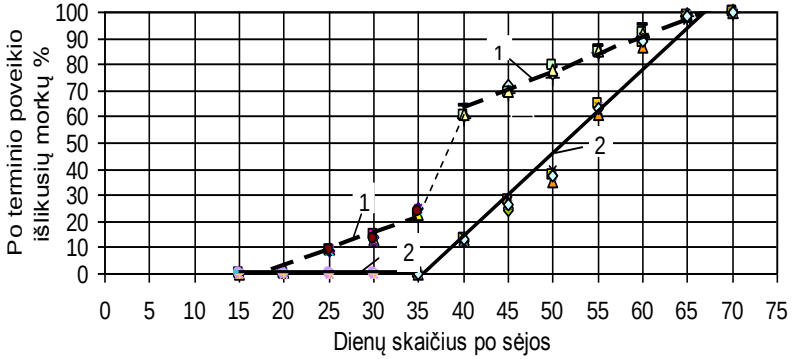
Terminio piktžolių naikinimo drėgnuoju vandens garu technologinio proceso metu reguliuojamas tiktai skleidiklio (terminio piktžolių naikinimo agregato) judėjimo greitis. Judant garo skleidikliui naikinamoms piktžolėms suteikiama aukštos temperatūros (drėgnojo vandens garo atveju artima 100 ^{o}C) poveikio terminė banga (impulsas). Ši banga pastebima augalo aplinkoje (10.10 pav., 2 kreivė) ir paviršiniuose augalo audiniuose (10.10 pav., 1 kreivė). Terminei bangai paveikus, augalą gaubiančios aplinkos temperatūra staigiai krenta, tačiau lieka aukštesnė už pradinę aplinkos temperatūrą (įkaitintas dirvos paviršius ir įkaitinti augalai išskiria šilumą). Terminio piktžolių naikinimo metu drėgnasis vandens garas pašildo dirvos paviršiaus sluoksnį (6.3 skyrius). Dėl to, praėjus 10 s po terminio poveikio, augalą gaubiančio oro temperatūra yra 10 ^{o}C aukštesnė už pradinę. Augalo paviršiniai audiniai ir dirvos paviršius, veikiami drėgnojo vandens garo, akimirksniu įkaista iki temperatūros, artimos

100 °C. Taip yra todėl, kad šaltiems paviršiams (augalo, dirvos) pradiniu momentu tiekiamas labai didelis šilumos srautas, kurį apibūdina garo kondensacijos proceso šilumos atidavimo koeficientas α (α = 80000 – 100000 W/(m^2·K). Įkaitinti augalo paviršiniai audiniai, paveikus garu, staigiai izoliuojami termine izoliacija – aplinkos oru (λ = 0,03 W/(m^2·K)). Aplinkos oro šilumos atidavimo koeficientas α = 25–40 W/(m^2·K). Įkaitinti ir oru „izoliuoti“ augalo paviršiniai audiniai sukauptą šilumą laidžiu (λ = 0,61 W/(m^2·K)) perduoda į gilesnius augalo audinius. Todėl paviršiniai audiniai lėtai ir nuosekliai aušta, o centriniai morkos kaklelio audiniai (10.10 pav., 3 kreivė) vėluodami šyla, ir jų temperatūra didėja. Kai morkos kaklelio skersmuo 3,1 mm (10.10 A pav.), išorinių morkos audinių temperatūra 98 °C, o vidinių – temperatūra – 54 °C. Kai morkos kaklelio skersmuo 8,4 mm (10 10 B pav.), dėl blogo augalo audinių šilumos laidžio temperatūra šildomuose centriniuose audiniuose nepasiekia kritinės ribos, sukeliančios letalų procesą morkoje.



10.10 pav. Morkų audinių ir aplinkos temperatūros kitimas terminio piktžolių naikinimo metu. Terminio poveikio drėgnuoju vandens garu trukmė – 1,0 s. A – morkos kaklelio skersmuo – 3,1 mm; B – morkos kaklelio skersmuo – 8,4 mm; 1 – morkos kaklelio paviršiaus temperatūra; 2 – aplinkos temperatūra; 3 – temperatūra morkos kaklelio centre

Siekdami išsiaiškinti terminio piktžolių naikinimo proceso metu sunaikinamų morkų priklausomybę procentais nuo po sėjos praėjusio laikotarpio, naudojome skirtingą terminio poveikio drėgnuoju vandens garu trukmę. Gauti tyrimų rezultatai pateikti 10.11 paveiksle.



10.11 pav. Morkų pasėlio reakcija į terminį piktžolių naikinimą drėgnuoju vandens garu, naudojant skirtingos trukmės terminį poveikį: 1 – terminio poveikio trukmė – 1 s; 2 – terminio poveikio trukmė – 2 s

Remdamiesi pateiktais duomenimis (10.4 lentelė ir 10.11 pav.) teigiame, kad pastebimas esminis morkų pasėlio reakcijos pokytis į piktžolių terminį naikinimą drėgnuoju vandens garu, kuris įvyksta praėjus 35–40 d. po sėjos. Tuomet pradeda formuotis morkos šaknis, didėja morkos kaklelio skersmuo (10.4 lentelė). *Termiškai naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu sudygusių morkų pasėlyje iki 40 d. po sėjos būtina naudoti žemės ūkio augalų apsaugos priemones. Morkų sunaikinimo procentas tiesiogiai priklauso nuo augimo tarpsnio ir kaklelių skersmens*. Didėjant morkų kaklelių skersmeniui, sunaikinimo procentas mažėja. Tyrimo duomenų analizė (10.10 pav. ir 10.4 lentelė) rodo, kad morkų kaklelių vidutiniam skersmeniui esant didesniam kaip 6 mm, 1 sekundės terminio poveikio trukmė drėgnuoju vandens garu morkoms nėra pavojinga. Naudoti 2 sekundžių terminio poveikio trukmę galima tiktai tuomet, kai morkų kaklelių skersmuo artimas 9 mm. Įvertinus morkų pasėlio reakciją į terminį drėgnojo vandens garo poveikį, ryškėja morkų pasėlio mechanizuota priežiūra.

Terminio piktžolių naikinimo morkų pasėlyje technologija. Piktžolės morkų pasėlyje pirmą kartą drėgnuoju vandens garu naikinamos joms nesudygus, 7–8 dieną po sėjos (10.12 pav.). Kaip matome iš 10.12 pav., morkos nesudygusios, o piktžolės – sėklaskilčių (pirmųjų tikrųjų lapelių) tarpsnio.

10.12 pav. Morkų pasėlio piktžolėtumas prieš pirmąjį piktžolių naikinimą

Kadangi morkos nesudygusios, naudojamas ištisinis pasėlio garinimas. Naudojant uždarą gaubtą, garinamos ir vagutės, ir tarpuvagiai (10.13 pav.).

Sunaikinus šias pirmojo dygimo piktžoles, morkoms sudaromos palankios sąlygos sudygti nepiktžolėtame pasėlyje (10.14 pav.).

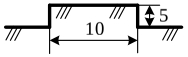
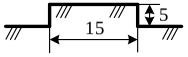
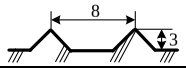
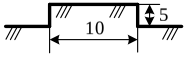
Morkų pasėlio piktžolėtumas buvo fiksuojamas vnt./m^2 prieš piktžolių kontrolę ir praėjus 4 dienoms po jos. Šie duomenys pateikiami 10.5 lentelėje.

Remdamiesi duomenimis teigiame, kad piktžolės per visą vegetacijos periodą dygo nevienodai intensyviai. Daugiausia piktžolių sudygo prieš pirmąjį naikinimą – 51,7 ± 5,2 vnt./m^2, prieš antrąjį – tik 17,4 ± 3,5 vnt./m^2, prieš trečiąjį – 12,2 ± 2,3 vnt./m^2. Akivaizdu, kad intensyviausias piktžolių dygimas yra dar morkoms nesudygus. Todėl pirmasis piktžolių naikinimas yra vienas iš pagrindinių piktžolių naikinimo etapų, kai morkos pasėtos, tačiau dar nesudygusios.

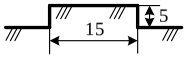
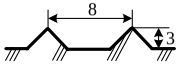
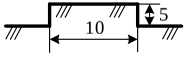
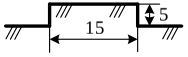
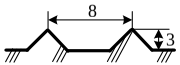
10.13 pav. Terminis piktžolių naikinimas drėgnuoju vandens garu naudojant uždarą gaubtą

10.14 pav. Po pirmojo terminio piktžolių naikinimo morkos dygsta nepiktžolėtoje dirvoje

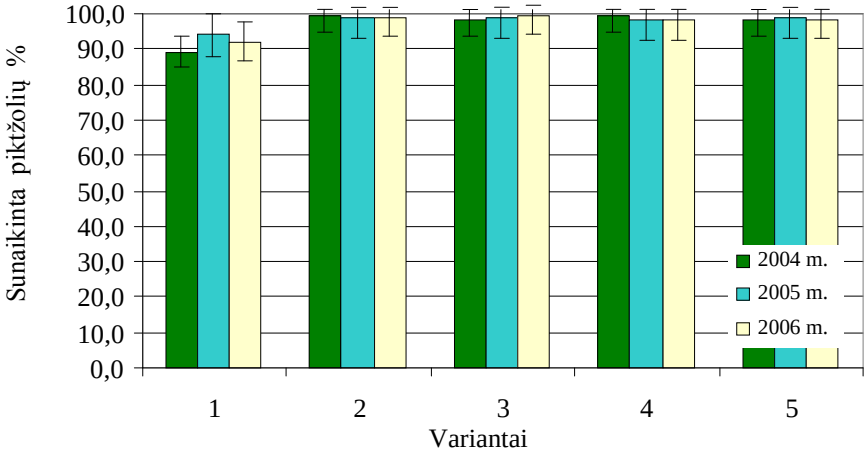
10.5 lentelė. Morkų pasėlio piktžolėtumas vnt./m^2 naudojant skirtingas piktžolių naikinimo technologijas skirtingais naikinimo etapais

Varianto charakteristika		Piktžolių kiekis ($x \pm S_x$) vnt./m^2					
		2004 m.		2005 m.		2006 m.	
dirvos profilis	piktžolių naikinimas	prieš naikinimą	4 d. po naikinimo	prieš naikinimą	4 d. po naikinimo	prieš naikinimą	4 d. po naikinimo
Pirmasis piktžolių naikinimas							
Lygus	ravimos	42,0 ± 4,9	4,5 ±1,4	33,5 ± 6,4	2,0 ± 1,5	62,5 ± 7,4	5,0 ± 0,9
Lygus	garu	51,5 ± 4,4	0,2 ± 0,5	43,2 ± 5,1	0,5 ± 0,6	58,7 ± 6,5	0,5 ± 0,6
	garu	53,5 ± 6,2	1,0 ± 1,5	54,2 ± 7,1	0,5 ± 1,1	57,0 ± 6,1	0,2 ± 0,5
	garu	47,7 ± 3,5	0,2 ± 0,5	46,5 ± 4,7	0,7 ± 1,0	47,7 ± 3,5	0,9 ± 0,7
	garu	58,5 ± 3,3	1,0 ± 0,9	60,0 ± 6,1	0,7 ± 1,0	58,5 ± 3,3	1,0 ± 0,9
Antrasis piktžolių naikinimas							
Lygus	ravimos	18,2 ± 1,9	5,2 ± 1,0	17,0 ± 3,3	2,0 ± 1,9	19,2 ± 2,9	3,5 ± 3,1
Lygus	garu	16,0 ± 3,6	2,6 ± 0,5	16,5 ± 2,2	3,1 ± 0,6	20,7 ± 3,5	3,0 ± 0,6
	garu	15,5 ± 4,4	2,7 ± 1,3	15,7 ± 4,3	3,0 ± 1,5	18,5 ± 4,8	2,9 ± 0,6

10.5 lentelės tęsinys

Varianto charakteristika		Piktžolių kiekis ($x \pm S_x$) vnt./m^2					
		2004 m.		2005 m.		2006 m.	
dirvos profilis	piktžolių naikinimas	prieš naikinimą	4 d. po naikinimo	prieš naikinimą	4 d. po naikinimo	prieš naikinimą	4 d. po naikinimo
	garu	14,2 ± 4,4	2,9 ± 2,0	15,0 ± 4,4	3,4 ± 2,0	19,8 ± 4,0	4,2 ± 1,4
	garu	16,2 ± 2,9	2,6 ± 1,0	16,9 ± 3,2	2,9 ± 1,3	21,7 ± 2,2	3,2 ± 1,0
Trečiasis piktžolių naikinimas							
Lygus	ravimos	10,2 ± 2,6	3,7 ± 1,0	11,7 ± 2,3	3,1 ± 0,6	10,4 ± 1,9	3,4 ± 1,0
Lygus	garu	11,7 ± 2,3	4,0 ± 0,6	12,4 ± 1,3	4,0 ± 0,5	11,7 ± 2,3	3,9 ± 1,1
	garu	12,5 ± 2,5	4,2 ± 1,5	12,0 ± 2,5	3,9 ± 0,9	12,2 ± 2,5	3,9 ± 1,4
	garu	13,0 ± 0,9	5,1 ± 1,8	12,9 ± 2,7	5,3 ± 2,2	14,1 ± 2,3	5,0 ± 2,3
	garu	12,5 ± 3,5	3,9 ± 0,9	12,1 ± 2,3	3,7 ± 1,0	13,0 ± 3,1	3,8 ± 1,0

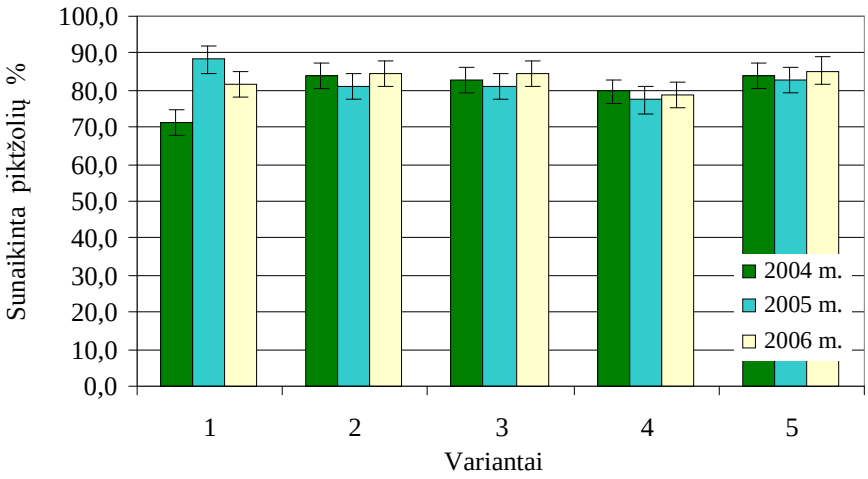
Mechaniškai naikinant piktžoles (1 variantas) pirmosios piktžolių kontrolės metu jų sunaikinama apie 91,8 ± 2,4 %. Termiškai naikinant piktžoles, (2; 3; 4; 5 variantai), kai naudojamas ištisinis dirvos garinimas, jų sunaikinama iki 98,8 ± 0,6 % (10.15 pav.).



10.15 pav. Piktžolių sunaikinimo procentas morkų pasėlyje pirmojo jų naikinimo metu

Terminio piktžolių naikinimo prieš mechaninį pranašumas paaiškinamas tuo, kad vandens garo srautas juda šaltų paviršių kryptimi (augalo ir dirvos). Garo kondensacijos metu šiluma atiduodama dygstančioms piktžolėms naikinti ir dirvai šildyti. Ištisinis morkų pasėlio plikinimas atliekamas morkoms dar nesudygus. Mechaninio piktžolių naikinimo metu piktžolės yra naikinamos tarpuvagiuose, tam tikru atstumu nuo pasėtos morkų eilutės, nepažeidžiant dygstančių morkų ir šalia esančių piktžolių sėklų.

Dirvoje esančios piktžolių sėklos vienu metu nesudygsta. Vienas piktžoles sunaikinus, dygsta kitos piktžolių sėklos, esančios dirvoje. Išdygusių piktžolių prieš antrąjį naikinimą buvo 3 kartus mažiau nei prieš pirmąjį naikinimą. Po antrojo piktžolių naikinimo (1 variantas) mechaniškai sunaikinta iki 80,4 ± 8,6 % piktžolių 10.16 pav.).

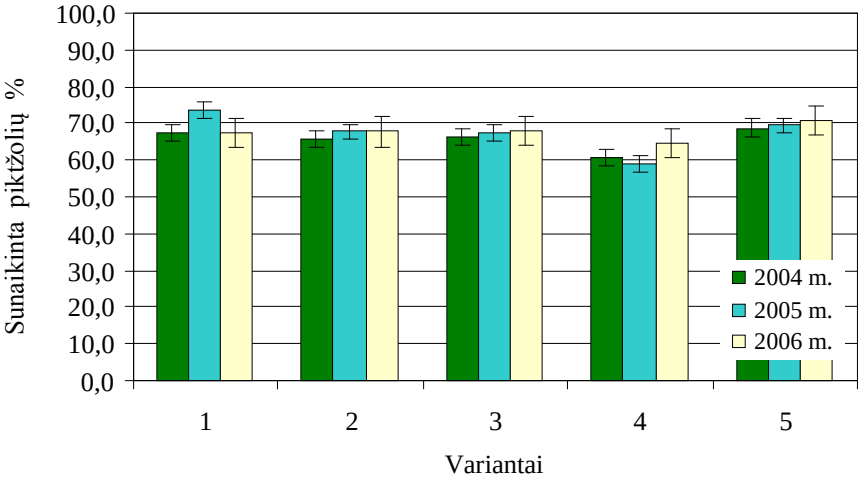


10.16 pav. Piktžolių sunaikinimo procentas morkų pasėlyje antrojo jų naikinimo metu

Kadangi antrasis piktžolių naikinimas atliekamas tada, kai morkos jau būna sudygusios, morkų pasėlio stebėjimai leidžia teigti, kad lygiame dirvos paviršiuje, termiškai naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu sudygusių morkų pasėlyje, iki 40 d. po sėjos būtina naudoti apsaugos priemones, kad apsaugotume morkas nuo terminio poveikio. Tam naudojome apsauginius gaubtus.

Antrojo piktžolių naikinimo metu termiškai naikinant piktžoles lygiame dirvos paviršiuje (2 variantas) jų sunaikinama apie 83,1 ± 1,7 % (10.16 pav.). Antrasis terminis piktžolių naikinimas profiliuotame dirvos pasėlyje efektyviausias profilio su trikampėmis iškylomis šonuose variante (5 variantas). Čia sunaikinama iki 84,0 ± 1,3 % piktžolių. Profilio su stačiakampėmis iškylomis variante (3 ir 4 variantai) piktžolių sunaikinta atitinkamai 82,6 ± 1,7 % ir 78,6 ± 1,2 %. Šiuo atveju piktžolių daugiau sunaikinta siauresnio profilio variante. Antrojo terminio piktžolių naikinimo metu gauti panašūs visų variantų rezultatai. Tam įtakos turi tai, kad tiek naudojant apsauginius gaubtus, tiek morkų apsaugai naudojant dirvos paviršiaus profiliavimą, apsaugant morkas nuo terminio poveikio kartu yra apsaugomos ir šalia morkų esančios piktžolės.

Trečiasis piktžolių naikinimas atliekamas birželio pabaigoje. Piktžolių dygimas negausus, 4–15 vnt./m^2. Trečiosios piktžolių kontrolės metu mechaniškai (1 variantas) sunaikinama tik 69,4 ± 3,6 % piktžolių (10.17 pav.). Kaip ir antrojo piktžolių naikinimo metu, iš terminių naikinimo būdų efektyviausias yra profiliai su trikampėmis iškylomis šonuose (čia sunaikinama iki 69,7 ± 1,0 % piktžolių).



10.17 pav. Piktžolių sunaikinimo procentas morkų pasėlyje trečiojo piktžolių naikinimo metu

Apibendrindami skirtingų piktžolių naikinimo technologijų duomenis (10.5 lentelė, 10.15, 10.16 ir 10.17 paveikslai) teigiame, kad efektyviausiai piktžolės termiškai sunaikinamos tada, kai morkų apsaugai nuo terminio poveikio naudojamas trikampis dirvos profiliavimas. Tokiai apsaugai nuo terminio poveikio nereikia tiksliai kontroliuoti mobiliojo piktžolių terminio naikinimo įrenginio judėjimo, kaip naudojant apsauginius gaubtus. Lyginant su stačiakampiais profiliais, profilis su trikampėmis iškylomis pranašesnis tuo, kad šį profilį nesudėtinga suderinti su morkų auginimo agrotechnika, nesunku suformuoti.

Terminio piktžolių naikinimo įrenginys su ištisinio garinimo gaubtu paruoštas transportavimui lengvuoju automobiliu (Vilkaviškio r., 2011 m.)

11 TERMINIO PIKTŽOLIŲ NAIKINIMO ĮRENGINYS

Energijos tvermės dėsnis nusako, kad energija nesukuriama ir nesunaikinama. Baigtinės izoliuotos sistemos bendrasis energijos kiekis bet kuriuose vykstančiuose procesuose išlieka pastovus. Taip vertinant terminio piktžolių naikinimo įrenginį galima jį nagrinėti kaip energinę sistemą, kurioje:

$$\Sigma Q = 0, \tag{11.1}$$

t. y. energijų suma bet kuriuo piktžolių naikinimo proceso tarpsniu išlieka pastovi. Toks požiūris į terminio piktžolių naikinimo įrenginį leidžia panaudoti energinio balanso metodiką, siekiant energiškai įvertinti terminio piktžolių naikinimo technologinį procesą.

Energinio terminio piktžolių naikinimo įrenginių įvertinimo tikslas – nustatyti energijos sąnaudų požiūriu tobulintinas technologinio proceso vietas. Energijų balanso analizė padės išsiaiškinti energinius procesus ir atskiras įrenginio dalis, kurias reikia keisti nepadarant žalos terminio piktžolių naikinimo technologijai. Toks įrenginio energinis vertinimas atliekamas remiantis teoriniais ir eksperimentiniais tyrimo duomenimis, gautais bandant piktžolių naikinimo įrenginius. Tais atvejais, kai neįmanoma tiksliai nustatyti technologinio proceso parametrų, pasirenkamos orientacinės jų kitimo ribos. Nagrinėjant šią problemą siekiama ne proceso tikslumo, o nustatyti įrenginio energinio tobulinimo kryptį, siekiant sumažinti terminio piktžolių naikinimo įrenginių energijos sąnaudas. Šiuo požiūriu visus terminio piktžolių naikinimo įrenginius galima suskirstyti į dvi grupes:

1) įrenginiai, kuriuose šiluma gaminama atskirai, pvz., garo katile. Pagaminta šiluma vandens garo pavidalu tiekiama į piktžolių naikinimo įrenginį (Kurfess, 2000; Peruzzi 2005, 2006);

2) įrenginiai, kuriuose šilumos gamyba sutapatinta su piktžolių naikinimo įrenginiu (karštų dujų įrenginiai) (Schon, 1998, Meyer, Bertram, 1998, Ascard, 1995, Bertram, 1996).

Įvertinant energijos sąnaudas, abiejų tipų įrenginiai lyginami esant vienodoms sąlygoms, t. y. įvertinant visas šilumos energijos gamybos ir technologinio piktžolių naikinimo proceso sudedamąsias dalis. Piktžolių terminio naikinimo įrenginiuose pasireiškia dvi skirtingos paskirties šilumos sąnaudų grupės:

- būtinosios šilumos sąnaudos – tai šilumos sąnaudos, be kurių technologinis terminio piktžolių naikinimo procesas pažeidžiamas arba neįmanomas;
- šilumos sąnaudos, kurias galima sumažinti arba panaikinti tobulinant įrenginio konstrukciją arba terminio piktžolių naikinimo technologinį procesą.

Čia nagrinėjami terminio piktžolių naikinimo įrenginiai, naudojantys drėgnąjį vandens garą.

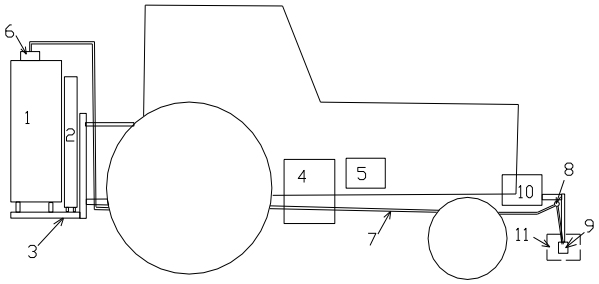
11.1. Terminio piktžolių naikinimo įrenginių, naudojančių drėgnąjį vandens garą, energijų balansas

Šio tipo įrenginiuose šilumnešis terminiam piktžolių naikinimui gaminamas garo katile. Principinė terminio piktžolių naikinimo įrenginio schema pateikta 11.1 pav. Šio įrenginio šiluminis energijų balansas (naudojant vandens garą) sudaromas nusistovėjus technologiniam procesui 1kg kieto (malkų), skysto ar 1 nm^3 dujinio kuro ir išreiškiamas lygtimi:

$$Q_{kuro} = Q_1 + \sum Q_{nuostolių}, \tag{11.2}$$

arba

$$Q_{kuro} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_2^k + Q_3^k + Q_4^k + Q_5^k. \tag{11.3}$$



11.1 pav. Mobiliojo įrenginio, skirto piktžolėms termiškai naikinti naudojant vandens garą, principinė schema: 1 – garo katilas; 2 – talpykla vandeniui; 3 – montažinė konstrukcija; 4 – elektros energijos šaltinis; 5 – valdymo pultas; 6 – garų sausintuvas-perkaitintuvas; 7 – pagrindinis garo tiekimo vamzdynas; 8 – garo paskirstymo kolektorius; 9 – garo skleidikliai; 10 – garo skleidiklių padėties nustatymo įtaisas; 11 – skleidiklių apsauginiai gaubtai

Parašę lygtį procentais Q_{kuro} turėsime:

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_2^k + q_3^k + q_4^k + q_5^k = 100\% \ , \qquad (11.4)$$

čia Q_{kuro} – kuro išskirta šiluma – naudojamo kuro $Q_{\check{z}}^n$ šiluma kJ/kg;

Q_1 – naudingai sunaudota šiluma augalui (šiluma, sunaudota augalams termiškai naikinti) kaitinti kJ/kg;

Q_2 – šiluma, sunaudota piktžolių naikinimo proceso metu dirvos paviršiui šildyti kJ/kg;

Q_3 – šilumos nuostoliai dėl garo nutekėjimo per nesandarias vietas tarp skleidiklio apsauginių gaubtų ir dirvos paviršiaus kJ/kg;

Q_4 – šilumos nuostoliai į aplinką nuo skleidiklio ar apsauginių gaubtų konstrukcijos kJ/kg;

Q_5 – šilumos nuostoliai garo tiekimo linijoje kJ/kg;

Q_2^k – iš garo katilo į aplinką išeinančių degimo dujų šiluma kJ/kg;

Q_3^k – cheminiai nevisiško kuro sudegimo nuostoliai katile kJ/kg;

Q_4^k – šilumos nuostoliai į aplinką nuo karštų katilo paviršių kJ/kg;

Q_5^k – šilumos nuostoliai, susiję su katilo pašildymu dėl nenuostoviojo režimo ir prapūtimu kJ/kg.

Terminio piktžolių naikinimo įrenginyje tik labai maža dalis šilumos Q_1, išskirtos degant kurui, panaudojama naudingai, t. y. piktžolių audiniams kaitinti – terminiam jų naikinimui. Visi kiti balanso nariai sudaro šilumos nuostolius gaminant garą katile $-Q_2^k$, Q_3^k, Q_4^k, Q_5^k ir perduodant garą į skleidiklius – Q_4, Q_5. Kiti šilumos nuostoliai (Q_2, ir Q_3) yra neišvengiami ir pasireiškia kaip būtinosios technologinio proceso sudedamosios dalys. Tai šiluma, sunaudota piktžolių terminio naikinimo proceso metu dirvos paviršiui šildyti (Q_2), ir šilumos nuostoliai dėl garo maišymosi su aplinkos oru ir jo nutekėjimo per nesandarias vietas tarp skleidiklio apsauginio gaubto ir dirvos paviršiaus (Q_3).

Piktžolės termiškai gali būti naikinamos dvejopai:

1. Piktžolė termiškai naikinama kaitinant visą jos antžeminę dalį (2.8 pav.).
2. Termiškai paveikiama ne visa piktžolė, o tik jos stiebo dalis – žiedas (2.10 pav.).

Piktžolės termiškai naikinamos dygimo tarpsnio, todėl šilumos sąnaudos nepriklauso nuo jų naikinimo būdo, t. y. naikinsime visą augalą ar jį pažeisime „žiedu“. Tai išsiaiškinome nagrinėdami šilumos srauto dirvos kryptimi pasiskirstymą termiškai naikinant dygstančių augalų antžeminę dalį (6.4 skyrius).

11.2. Terminio piktžolių naikinimo įrenginio energijų balanso narių vertinimas

Šiluma, sunaudota augalo (piktžolės) terminiam sunaikinimui Q_1 – tai šiluma, sunaudota augalo audiniams kaitinti Q_1 kJ/kg, q_1 %. Idealiu atveju randama iš lygties:

$$Q_1 = \frac{mc\Delta t}{B}, \tag{11.5}$$

čia m – augalo audinių kaitinama masė kg/s;

c – augalo audinių savitoji šiluma c = 4,0 kJ/(kg·K);

Δt – temperatūrų skirtumas, kuriuo pakeliama augalo audinių temperatūra °C (Δt = 90 °C);

B – kuro sunaudojimas garo katile šilumos gamybai kg/s.

Teoriškai sunaudotą šilumos kiekį technologinio piktžolių naikinimo proceso metu $Q_1^{'}$ galima rasti iš sunaudoto garo (šilumos) kiekio:

$$Q_1^{'} = \frac{D(h_g - h_v)}{B}, \tag{11.6}$$

čia D – sunaudotas garo kiekis kg/s;

h_g, h_v – atitinkamai naudojamo ir tiekiamo į katilą garo ir vandens entalpijos kJ/kg.

Faktinis šilumos sunaudojimas augalo terminiam sunaikinimui, kai katilas maitinamas šaltu vandeniu (laikome, kad $h_v = 0$), yra:

$$Q^* = \frac{D \cdot h_g}{B}. \tag{11.7}$$

Mūsų atveju susikondensavęs garas kondensato pavidalu lieka termiškai pažeistų augalo audinių, įrenginio konstrukcijų paviršiuje arba nuteka į dirvą. Taigi kondensatas technologiniame procese nedalyvauja ir šilumos neatiduoda. Besikondensuodamas garas augalo audiniams ir konstrukcijoms kaitinti atiduoda tik garavimo šilumą r kJ/kg, o kondensato šiluma, esant normaliam slėgiui p = 101325 Pa (kondensato entalpija esant t = 99,6 ^{o}C, h_v = 417 kJ/kg), prarandama.

Ryšį tarp (11.6) ir (11.7) lygčių išreiškia jų santykio koeficientas n. Žinodami, kad $Q^* > Q'$, gauname:

$$\frac{Q^*}{Q^{'}} = n. \tag{11.8}$$

Įstatę į (11.8) lygtį Q' ir Q^* reikšmes iš (11.6) ir (11.7) lygčių gauname:

$$n = \frac{D \cdot h_g}{D(h_g - h_v)} = \frac{h_g}{h_g - h_v} = \frac{2674}{2674 - 417} = 1{,}19 \approx 1{,}2. \tag{11.9}$$

Vadinasi, faktines šilumos sąnaudas visiems balanso nariams, iš jų ir Q_1 (augalo audiniams kaitinti terminio naikinimo metu), turime padidinti koeficientu n = 1,2. Koeficientas n įvertina šilumos nuostolius, kurių netenkame su kondensatu. Galutinį šilumos kiekį, sunaudotą

augalo audiniams kaitinti, siekiant juos termiškai sunaikinti, randame iš lygčių:

$$Q_1 = \frac{nM_a c\Delta t}{B} = \frac{1{,}2\pi d_{vid} ab\rho c\Delta t}{B}, \qquad (11.10)$$

arba

$$q_1 = \frac{Q_1}{Q_{\check{z}}^n} 100, \qquad (11.11)$$

čia M_a – termiškai paveiktų „žiedu“ augalo audinių masė (9.3 skyrius);

Δt – temperatūrų skirtumas, kuriuo pakeliama augalo audinių temperatūra °C (Δt = 90 °C);

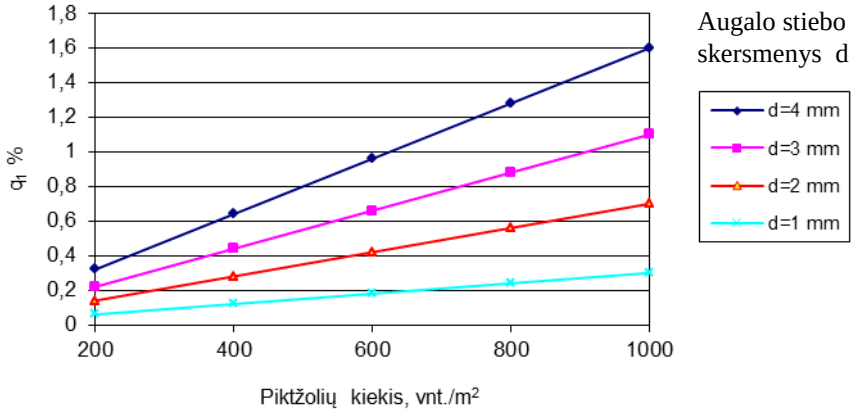
n – pataisos koeficientas dėl nuostolių su kondensato šiluma;

$Q_{\check{z}}^n$ – naudojamo kuro šilumingumas kJ/kg.

Siekdami nustatyti procentinę q_1 išraišką laikome, kad savitoji augalo audinių šiluma c = 4,0 kJ/(kg·K). Augalo audinius šildome nuo 10 iki 100 ºC; Δt = 90 °C; termiškai pažeistų augalo audinių „žiedo“ aukštis a = 0,01 m; „žiedo“ storis b = 0,0005 m; d_{vid} – vidutinis pažeisto augalo stiebo audinių „žiedo“ skersmuo m; gyvų augalo audinių tankis ρ = 940 kg/m^3. Įrenginio judėjimo greitis (temperatūros poveikio trukmė 1 s) – 0,15 m/s.Vienas skleidiklis piktžoles naikina 15 cm pločio juosta. Matuodami vandens sąnaudas garo gamybai, esant nuostoviajam režimui, nustatėme, kad garo sąnaudos skleidiklyje pastovios ir yra 3,7 kg/h. Skysto kuro kaloringumas (dyzelino) $Q_{\check{z}}^n = 42000$ kJ/kg (Lietuvos energetika, 2006). Garo gamybai šio proceso metu prie katilo n. v. k. = 0,7 sudeginama B = 0,307 kg/h kuro.

Naudodamiesi pateiktais duomenimis, iš lygties (11.10) randame Q_1, o iš lygties (9.8) nustatome šilumos sunaudojimą augalo audiniams kaitinti % nuo technologiniam procesui sunaudoto bendro šilumos kiekio. Šio proceso skaičiavimo duomenis pateikiame 11.2 pav.

Duomenys, pateikti 11.2 pav., byloja, kad terminiam piktžolių sunaikinimui, t. y. naudingai sunaudojama tik apie 1 % kuro išskirtos šilumos. 99 % kuro išskirtos šilumos naudojant drėgnąjį vandens garą sudaro įvairius nuostolius, kuriuos apibūdina kiti (11.3) ir (11.4) lygčių balanso nariai.



11.2 pav. Šilumos sunaudojimas q_1 augalo audiniams kaitinti procentais nuo technologiniam procesui sunaudoto bendro šilumos kiekio, priklausomai nuo piktžolėtumo. Piktžolių pažeidimas „žiedu“, naudojant drėgnąjį vandens garą

Šilumos nuostoliai, patirti šildant dirvos paviršių Q_2 kJ/kg arba q_2 %. Drėgnasis vandens garas dirvos paviršių, kaip ir augalus, veikia τ = 1 s. Šildomas skleidiklio gaubtu uždengtas dirvos plotas F (0,15×0,15) m^2. Išmatavę grumstuoto paviršiaus plotą nustatėme, kad jis 25–35 % didesnis už lygaus paviršiaus plotą. Todėl laikome, kad dirvos paviršiaus plotas, turintis sąlytį su garu, dėl nelygumų ir grumstų bus 30 % didesnis negu uždengtas skleidiklių gaubtais (ploto padidėjimo koeficientas f = 1,3). Remiantis vidutinių paviršinio dirvos sluoksnio temperatūrų kitimo dinamika (6 skyrius), termiškai naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu dirvos paviršinio 2 mm dirvos sluoksnio temperatūra kaitinant 1 s padidėja Δt = 43,8 °C, o kaitinant 2 s padidėja $\Delta\ t$= 52,1 °C (6.5 lentelė). Tuomet šilumos nuostolius, susijusius su dirvos paviršiaus šildymu, rasime iš lygties:

$$Q_2 = \frac{nM_d c\Delta t}{B} = \frac{nfF\delta c\rho\Delta t}{B}, \qquad (11.12)$$

arba

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_{\check{z}}^n} \cdot 100, \qquad (11.13)$$

čia M_d – įkaitintos dirvos masė kg;
ρ – dirvos tankis (ρ = 1200 kg/m^3);
Δt – temperatūros pokytis paviršiniame 2 mm dirvos sluoksnyje °C;
c – dirvos savitoji masinė šiluma kJ/(kg K), (c = 0,84 kJ/(kg K));
n = 1,2, f = 1,3 – anksčiau aptarti pataisos koeficientai.

Duomenys rodo, kad termiškai naikinant piktžoles vandens garu, kai terminio poveikio trukmė 1 s, šilumos nuostoliai, susiję su dirvos šildymu, sudaro q_2 = 61,5 %, o kai terminio poveikio trukmė 2 s, – q_2 = 42,7 % nuo bendro technologiniam procesui sunaudoto šilumos kiekio. Kaip matyti iš 6.5 lentelės, didžiausios šilumos sąnaudos dirvai šildyti yra pradiniu dirvos kaitinimo momentu, kol dirva šalta. Todėl, trumpinant augalų terminio poveikio trukmę procentinės šilumos sąnaudos dirvai kaitinti q_2 būna didesnės. Tuo tarpu bendros šilumos sąnaudos ploto vienetui, atvirkščiai, būna mažesnės. Šilumos sąnaudų, t. y. ekonominiu požiūriu reikia naikinti dygstančias piktžoles naudojant mažiausią terminio poveikio trukmę, o tai leidžia didinti piktžolių terminio naikinimo įrenginio judėjimo greitį, kartu ir našumą.

Šilumos nuostoliai per skleidiklio konstrukciją į aplinką Q_4 kJ/kg, q_4 %. Mūsų atveju, naudojant drėgnąjį vandens garą piktžolėms naikinti, skaičiuojamoji skleidiklio gaubto konstrukcija yra keturkampė dėžutė, kurios aukštis 0,08 m, dugnas 0,15×0,15 m. Taigi dėžutės sienų plotas, dalyvaujantis šilumos mainuose, bus F_s = 0,0705 m^2. Tuomet šilumos nuostolius į aplinką apskaičiuosime naudodamiesi lygtimi:

$$Q_4 = \frac{nzkF\Delta t\tau}{B}, \qquad (11.14)$$

čia z – pataisos koeficientas, kuriuo įvertinamas šilumos mainų paviršiaus ploto padidėjimas dėl gaubto laikiklių konstrukcijos (z = 1,2);

k – gaubto konstrukcijos šilumos perdavimo koeficientas W/(m^2·K);

δ_i – konstrukcijos atskirų sluoksnių storiai m;

λ_i – gaubto konstrukcijos atskirų sluoksnių šilumos laidžio koeficientai;

τ – garo aplinkos palaikymo laikas τ = 1 s.

Patikrinamieji skaičiavimai rodo, kad neizoliuoto gaubto konstrukcijos k = 24,3 W/(m^2·K). Panaudoję vieno sluoksnio tekstolito izoliaciją δ = 5 mm, λ = 0,23 W/(m·K), gauname šilumos perdavimo koeficientą k = 16,1 W/(m^2·K). Taigi 5 mm tekstolito izoliacija, leidžianti sumažinti šilumos nuostolius per gaubto sieneles 52 % (lyginant su neizoliuotu), be abejo, yra taikytina priemonė. Atlikę skaičiavimus $Q_4^{\text{be izol}}$ = 2862 kJ/kg, $Q_4^{\text{su izol}}$ = 1886 kJ/kg sužinome, kad

$$q_4 = \frac{Q_4}{Q_{\check{z}}^n}. \tag{11.15}$$

Taigi šilumos nuostoliai per neizoliuotą skleidiklio gaubtą sudaro q_4 = 6,8 % o izoliavus – 4,5 % kuro išskirtos šilumos. Izoliavus gaubtą galima sutaupyti 2,3 % kuro sąnaudų.

Šilumos nuostoliai garo tiekimo linijoje Q_5, kJ/kg, q_5, %. Garo tiekimo linija jungia katilą su skleidikliu. Naudojama lanksti, turinti šilumos izoliaciją l = 4 m ilgio jungtis. Skaičiavimai rodo, kad šios jungties šilumos perdavimo koeficientas k = 4,16 W/(m^2·K).

$$Q_5 = \frac{nkF\Delta t}{B} \tag{11.16}$$

arba

$$q_5 = \frac{Q_5}{Q_{\check{z}}^n}. \tag{11.17}$$

Randame, kad q_5^{4m} = 3,0 %. Taigi šilumos nuostoliai garo tiekimo linijoje, kurios ilgis – 4 m, sudarys 3,0 % kuro išskirtos šilumos.

11.3. Terminio piktžolių naikinimo įrenginio, dirbančio vandens garu, energinis vertinimas

Katilo naudingumo koeficientai yra plačiai nagrinėti techninėje literatūroje. Visiškai pagrįstai galime laikyti, kad mažų katilų

$$q_2^k + q_3^k + q_4^k + q_5^k = 30\ \%. \tag{11.18}$$

Lygtis (11.18) leidžia teigti, kad katilo n. v. k. = 0,7. Šio klausimo nagrinėjimas yra ne mūsų objektas, tačiau tuo pasinaudodami, iš (11.4) lygties randame sunkiai apibrėžiamą energijų balanso narį q_3 – šilumos nuostolius dėl vandens garo maišymosi su aplinkos oru arba garo nutekėjimo per nesandarias gaubto vietas:

$$q_3 = 100\ \% - (q_1 + q_2 + q_4 + q_5 + q_2^k + q_3^k + q_4^k + q_5^k). \qquad (11.19)$$

Gauname, kad šilumos nuostoliai dėl garo maišymosi su aplinkos oru arba garo nutekėjimo per nesandarias su žeme gaubto vietas į aplinką nagrinėjamomis sąlygomis sudaro apie 18 % kuro išskirtos šilumos. Tolesnės analizės patogumui sudarome terminio piktžolių naikinimo įrenginio šiluminį balansą, kurį pateikiame 11.1 lentelėje.

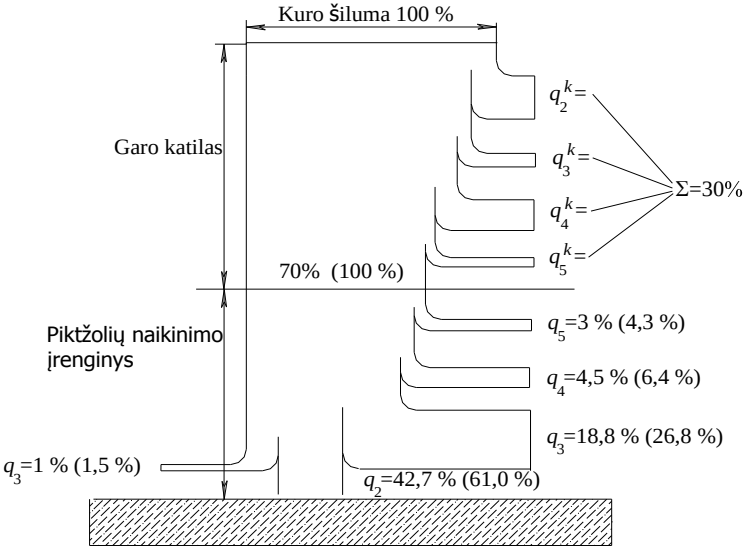
11.1 lentelė. Terminio piktžolių naikinimo įrenginio (dirbančio vandens garu) šiluminis balansas

Eil. Nr.	Balanso narys	Žymėjimas	Q kJ/kg	q %
	Gaunama šiluma Degimo proceso metu kuro išskirta šiluma	$Q_{ž}^{n}$	42000	100
1.	**Sunaudota šiluma** Naudingai sunaudota šiluma augalo terminiam sunaikinimui	Q_1	420	1,0
2.	Šilumos nuostoliai dėl dirvos paviršiaus sluoksnio δ = 2 mm šildymo, kaitinimo laikas – 2 s	Q_2	17935	42,7
3.	Šilumos nuostoliai dėl garo nutekėjimo pro nesandarias vietas	Q_3	7895	18,8
4.	Šilumos nuostoliai per skleidiklio konstrukciją į aplinką	Q_4	1890	4,5
5.	Šilumos nuostoliai garo tiekimo linijoje	Q_5	1260	3,0
6. 7. 8. 9.	Iš katilo išeinančių dujų išnešama šiluma Cheminiai nevisiško sudegimo nuostoliai Šilumos nuostoliai į aplinką nuo katilo paviršių Šilumos nuostoliai, susiję su katilo pašildymu ir prapūtimu	Q_2^k Q_3^k Q_4^k Q_5^k	12600	30

Iš pateiktų 11.1 lentelėje duomenų matyti, kad visas technologinis piktžolių terminio naikinimo procesas yra lydimas energijos nuostolių.

Terminio piktžolių naikinimo įrenginyje naudingai panaudojama labai maža (apie 1 %) kuro išskirtos šilumos dalis. Beveik visa šiluma, išskirta kuro arba patekusi į piktžolių naikinimo įrenginį, prarandama dėl įvairių nuostolių.

Šilumos balansas gali būti sudaromas vien tik terminio piktžolių naikinimo įrenginiui. Šiuo atveju 100 % šilumos kiekiu laikoma šiluma, gaunama iš garo katilo, t. y. atmetus šilumos nuostolius, susijusius su garo gamyba. Abu terminio piktžolių naikinimo įrenginio energijų balanso atvejai pateikti 11.3 paveiksle.



11.3 pav. Terminio piktžolių naikinimo įrenginio energijų balanso schema, naudojant garo gamybai kietojo, skystojo arba dujinio kuro įrangą: q_1 – naudingai sunaudota šiluma terminiam piktžolių sunaikinimui; q_2 – šilumos nuostoliai, susiję su dirvos paviršiaus šildymu; q_3 – šilumos nuostoliai dėl oro šildymo ir garo nutekėjimo per skleidiklio apsaugos su dirva nesandarias vietas; q_4 – šilumos nuostoliai per skleidiklio konstrukciją į aplinką; q_5 – šilumos nuostoliai garo tiekimo linijoje; q_2^k – iš katilo išeinančių dūmų išnešama šiluma; q_3^k – cheminiai nevisiško sudegimo nuostoliai; q_4^k – šilumos nuostoliai į aplinką nuo katilo paviršių; q_5^k – nuostoliai, susiję su katilo pašildymu ir prapūtimu

Piktžolių naikinimo įrenginio balansas akivaizdžiai rodo, kad dalies šilumos nuostolių išvengti negalima, o sumažinti labai sunku. Tai šilumos nuostoliai, kurie susieti su pačiu technologiniu procesu, t. y. šiluma sunaudojama dirvai šildyti q_2 = 42,7 % (61,0 %), skaičiuojant nuo šilumos, patekusios į piktžolių naikinimo įrenginį, nuostoliai į aplinką per skleidiklio konstrukcijas q_4 = 4,5 % (6,4 %) ir šilumos nuostoliai tiekimo linijoje q_5 = 3 % (4,3 %). Šilumos balanso narys q_3 = 18,8 % (26,8 %) parodo šilumos nuostolius, kurie yra dėl skleidiklio konstrukcijos ir paties technologinio proceso netobulumo. Tai šilumos sąnaudų mažinimo rezervas. Pažiūrėję į energijų balanso schemą matome, kad labai didelius šilumos nuostolius sudaro dirvos paviršiaus šildymas – q_2 = 42,7 % (61,0 %). Trumpinant dirvos kaitinimo laiką šie procentiniai nuostoliai augs, nes didės agregato judėjimo greitis, kartu ir kaitinamos dirvos plotas, taip pat jie didės didėjant dirvos paviršiaus drėgniui. Taigi šie nuostoliai q_2 yra kintami. Jiems didėjant šilumos nuostoliai dėl garo nutekėjimo pro nesandarias vietas q_3 mažėja. Šilumos nuostoliai q_3 gaunami dėl skleidiklio konstrukcijos ir technologinio proceso netobulumo.

Turint omenyje, kad laboratorinėmis sąlygomis terminio piktžolių naikinimo įrenginyje po vieno skleidiklio gaubtu plikinama 0,15 m pločio juosta, judėjimo greitis v = 0,15 m/s, tuomet per 1 valandą bus nuplikinamas dirvos plotas F_{dirvos} = 81 m^2/h. Tam bus sunaudota 3,7 kg/h drėgnojo vandens garo, 0,307 kg/h skystojo kuro – dyzelino. Taigi 1 ha ištisiniam plikinimui bus sunaudojama 37,9 kg dyzelino ir 457 kg vandens. Plikinant piktžoles vandens garu palaikymo laikas priklauso nuo piktžolių amžiaus. Todėl plikinant dygstančias piktžoles, palaikymo laiką galime trumpinti, tuomet ir sąnaudos sumažėja.

Tyrinėdami ištekėjimo procesą iš skleidiklių kanalų pastebėjome, kad ištekėjimo metu svarbu siekti, kad laminarinis garo srautas judėtų dirvos paviršiumi ir sumažėtų garo maišymasis su aplinkos oru. Šilumos balansas patvirtino ankstesnes teorines prielaidas, kad siekiant technologinio proceso ekonomiškumo ir jo kokybės, reikia tobulinti garo skleidiklį ir augalus naikinančios lokalizuotos aukštos temperatūros aplinkos sudarymą.

Šilumos nuostoliai, susiję su dirvos paviršinio sluoksnio šildymu, kuriuos sudaro q_2 = 42,7 % (61,0 %), terminį piktžolių naikinimo procesą veikia teigiamai. Kaip matėme (6 skyrius), termiškai naikinant piktžoles drėgnuoju vandens garu sunaikinamos ne tik dirvos paviršiuje

esančios, bet ir paviršiniame dirvos sluoksnyje (iki 1,5 mm) dygstančios piktžolės, nes paviršinis dirvos sluoksnis (iki 1,5 mm) įkaista daugiau kaip 58 ^{o}C temperatūros.

11.4. Mobilusis terminio piktžolių naikinimo įrenginys

Terminio piktžolių naikinimo įrenginys, kaip ir daugelis kitų žemės ūkio mašinų, turi būti transportabilus. Jis turėtų būti kaip atskiras pakabinamas traktoriaus agregatas. Terminio piktžolių naikinimo įrenginys – tai iš esmės naujas agregatas pasėlio priežiūrai, kurio veikimas paremtas šilumos apykaitos tarp augalo ir aukštatemperatūrės aplinkos dėsningumais, kurie aptarti šioje monografijoje. Šilumos poveikio (aplinkai, augalui, technologiniams procesams ir kt.) dėsningumai ir įrenginių veikimo principai iš esmės skiriasi nuo mechanikos principais veikiančių žemės ūkio mašinų. Piktžolių terminio naikinimo metu vertinti procesus, vandens garo aplinkoje, gana sudėtinga. Tam reikia specialaus pasiruošimo ir žinių augalijos, vandens garo ir dujų termodinamikos mokslų sandūroje. Procesai vykstantys aukštatemperatūrėje aplinkoje (vandens garo ir oro maišymosi, garo kondensacijos temperatūros, terminio poveikio augalui, vėjo ir ir kt.) yra sudėtingi ir kintantys. Piktžolių terminio naikinimo agregato schema su pagrindiniais įrenginio mazgais parodyta 11.1 pav. Pagal vykstančių procesų paskirtį terminio piktžolių naikinimo agregato sudėtines dalis galime skirti:

- Priemonėms kurios skirtos vandens garo gamybai.
- Priemonėms kurios skirtos pagaminto vandens garo paskleidimui ir aukštatemperatūrės augalus termiškai naikinančios aplinkos sudarymui.

Priemonės skirtos vandens garo gamybai. Kuriant agregatą termoinžineriniu požiūriu yra įvykdyta daug specifinių žemės ūkio gamybos reikalavimų. Įvertinti termoinžineriniai, augalų biologiniai ir pasėlio priežiūros technologiniai reikalavimai. Kalbant apie vandens garo gamybos techniškąją dalį galima nurodyti:

- Terminio piktžolių naikinimo agregatas yra pakabinamasis kaip ir kitos žemės ūkio mašinos. Garo gamyba visiškai automatizuota.

- Garo gamybos katilas yra mažų matmenų, 10–25 kW galios.
- Terminės piktžolių naikinimo įrenginio katiliukų skaičius ir jų išdėstymas agregate yra keičiamas pagal piktžolių naikinimo technologijos poreikius.
- Darbų saugos požiūriu – apsaugos vožtuvai sureguliuoti 120 kPa. Yra išorinis šilumos izoliacijos ir apsauginis plieno (skardos) apdangalas. Tarp katilo ir garo skleidiklių nėra jokios uždaromosios armatūros, o tai neleidžia gaminti didesnio slėgio vandens garo.
- Katile mažas vandens tūris.Maitinamasis vanduo – vietinio artimiausio šaltinio (upelio, šulinio ir t. t.)
- Garo katilas surenkamos konstrukcijos – nuoviros valomos išardžius mechaniškai.
- Katilas turi garo separatorių ir perkaitintuvą. Šildomųjų paviršių plotai katile suderinti gaminti sausą sotųjį garą.
- Kiekvienas katiliukas gali būti naudojamas atskirai. Todėl galima panaudoti atskirai kaip rankinį įrenginį nemechanizuotai, mažų plotų augalų priežiūrai.
- Yra reali galimybė pakeitus pakurą šilumos gamybai naudoti vietinį kurą.

Šie techniniai sprendimai priimti įvertinus terminio piktžolių naikinimo įrenginio darbo sąlygas, žemą aptarnaujančiojo personalo kvalifikaciją ir realius reikalavimus, kuriuos galima įgyvendinti žemės ūkyje.

Priemonės pagaminto vandens garo paskleidimui ir aukštatemperatūrės augalus termiškai naikinančios aplinkos sudarymui. Garo gamyba problemų nesudaro, tai technikos objektas. Kuriant terminio piktžolių naikinimo agregatą reikia maksimaliai pasinaudoti atsiekimais šioje technikos srityje. Pagaminto vandens garo paskleidimo ir aukštatemperatūrės augalus termiškai naikinančios aplinkos sudarymo priemonės technologiškai nėra sudėtingos, tačiau kiekvienu atveju reikalauja žinių ir išradingumo, be to, tyrimų biologijos ir (termo)inžinerijos mokslo sričių sandūroje.Tai priežastis stabdanti terminių technologijų naudojimą ir plėtrą žemės ūkyje. Termiškai sunaikinti augalą paprasta, bet sunaikinti piktžoles apsaugant žemės ūkio augalą nuo sunaikinimo yra problemiška.

Drėgnojo vandens garo įrenginiuose, skirtuose piktžolėms naikinti, garas iš skleidiklių išleidžiamas prie žemės paviršiaus (dažniausiai 3–4 cm aukštyje) mažu greičiu, siekiant sumažinti garo maišymąsi su aplinkos oru. Taip išleistas garas iš karto turi sąlytį su šaltais augalo ir dirvos paviršiais, kondensuojasi. Tačiau garo kondensacijos temperatūros matavimai rodo, kad vyksta paduodamo vandens garo ir oro maišymasis. Kaip matome iš 7.8 skyriaus, garo srauto temperatūra dirvos paviršiuje 0–1 cm aukštyje yra aukščiausia. Garo sklaidai ore sumažinti, kai leidžia technologinės galimybės, naudojami įvairių konstrukcijų gaubtai. Pavyzdžiui, ištisiniam piktžolių naikinimui lygiame dirvos paviršiuje naudojamas gaubtas, kurio priekinė ir galinė dalis sandarinama lanksčiomis užuolaidomis (11.4 pav.).Padidinus garo skleidiklių skaičių tikslinga naudoti patobulintą gaubtą ištisinio ploto kaitinimui (11.5 pav.).

Naikinant piktžoles tarpueiliuose ir norint apsaugoti žemės ūkio augalų vagutes, tenka naudoti mažus gaubtus su ratukais, kurie kopijuoja dirvos paviršių (11.6 pav.). Gaubtų naudojimas kai kuriais atvejais padeda termiškai sunaikinti piktžoles sumažindamas garo sklaidą į aplinkos orą. Tuo atveju, kai nėra galimas šoninis sandarinimas skarda, įsmigusia į dirvą, dirvos paviršių kopijuoja šepetėliai (11.7 pav.). Pasėlyje, kada žemės ūkio augalai atsparūs karščiui (pvz. svogūnai) tikslinga naudoti gaubtus be šoninio sandarinimo (11.8 pav., 11.9 pav.)

Aptardami paskutiniuosius automatizuotos garo gamybos eksperimentinius terminio piktžolių naikinimo agregatus (11.9 ir 11.10 pav.) neabejojame, kad jų pavyzdžiu galima pradėti serijinę agregatų gamybą. Pateikti tyrimo duomenys rodo, kad termoinžineriniu ir technologiniu požiūriu jie visiškai pasiteisina. Šiuo metu juos galima naudoti gamybiniams bandymams kuriant naujas terminio piktžolių naikinimo technologijas, taip pat gamybinėmis sąlygomis vykdant agronominius ir termobiologinius tyrimus, kurių pagrindu būtų toliau tobulinamos skirtingų pasėlių terminio piktžolių naikinimo technologijos**.**

Mūsų sukurto terminio piktžolių naikinimo įrenginio paskutinis (penktasis) variantas pateiktas 11.9 pav. Tai ilgamečių tyrimų rezultatas. Iš esmės tai naujas, teoriškai ir eksperimentiškai pagrįstas terminio piktžolių naikinimo agregatas, naikinantis piktžoles drėgnuoju vandens garu. Jame panaudoti mūsų gauti Lietuvos patentai (Patentai: TPK ind.: A01C 7/00. LT 5499 B. 2008; TPK ind.: A01M 21/00. LT 5532 B. 2008; TPK ind.: A01M 21/00, A01M 21/04, B 05 B 3/00. LT 5620 B. 2009).

11.4 pav. Ištisinio piktžolių naikinimo garinimu gaubtas lygiame dirvos paviršiuje

11.5 pav. Terminio piktžolių naikinimo įrenginys paruoštas darbui ištisiniam plotui kaitinti (Kauno r., 2011 m.)

11.6 pav. Gaubtas piktžolėms naikinti garinimu tarpueiliuose, kai gaubtas kopijuoja dirvos paviršių

11.7 pav. Gaubtas piktžolėms naikinti garinimu tarpueiliuose, kai dirvos paviršių kopijuoja šepetėliai

11.8 pav. Atviri gaubtai piktžolėms naikinti svogūnų tarpueiliuose

11.9 pav. Terminio piktžolių naikinimo įrenginys paruoštas darbui svogūnų tarpueiliams termiškai apdirbti (Vilkaviškis, 2011 m.)

11.10 pav. Terminio piktžolių naikinimo įrenginys bandymų metu profiliuotame morkų pasėlyje (LŽŪU Bandymų stotis, 2006 m.)

Teorinių ir eksperimentinių tyrimų pagrindu pagamintas, nuolat tobulintas ir gamybinėmis sąlygomis išbandytas terminio piktžolių naikinimo drėgnuoju vandens garu mobilusis įrenginys tenkina ekologinės agrotechnikos reikalavimus ir gali būti naudojamas įvairiuose pasėliuose piktžolėms termiškai naikinti. Pateikiama naujų, patentuotų, terminės piktžolių kontrolės technologijų ir įrangos visuma sudaro prielaidas naudoti naujas termines technologijas ir įrangą ekologinėje ir įprastinėje žemdirbystėje pasėlių priežiūrai, mažinant gaminamų produktų ir aplinkos taršą herbicidais.

Apibendrinimas

Pokyčiai, vykstantys gamtoje, yra žmogaus veiklos padarinys, kartu ir vienas iš didžiausių žmonijos išbandymų. Todėl aplinkos taršos mažinimas saugant žmogaus sveikatą, tausojant gamtą ir jos biologinę įvairovę yra kompleksinė pasaulinio masto problema, kuri turi būti spendžiama visose žmogaus veiklos srityse (Europos aplinka, 2011). Šiuo požiūriu naujos ekologiškos piktžolėms naikinti terminės technologijos (galinčios visiškai pakeisti įprastas chemizuotas pasėlių priežiūros technologijas) sukūrimas ir taikymas yra aktualus ekologinio ūkininkavimo plėtrai.

Piktžolių terminis naikinimas paremtas augalų energine apykaita su aplinka, jos rezultatas pasireiškia lokalioje augalo audinių temperatūroje. Augalai, skirtingai negu gyvūnai (šiltakraujai), yra labiau priklausomi nuo aplinkos temperatūros. Augalo dalies audinių temperatūrą bet kuriuo momentu nusako lokalus jos energijų balansas. Augalų energinės apykaitos su aplinka procesų ir dėsningumų išaiškinimas (žiūr. *Augalų energinė apykaita*, Akademija, 2011) ir taikymas augalų energinei apykaitai aukštatemperatūrėje aplinkoje sudarė galimybę kurti piktžolių terminio naikinimo technologiją ir tam tikslui skirtą įrangą.

Remiantis augalo energinės apykaitos ir šilumos pernašos procesų teoriniais ir eksperimentiniais tyrimais aukštatemperatūrėse aplinkose, taip pat šilumos pernašos procesais, vykstančiais augalo audiniuose piktžolių terminio naikinimo metu, buvo sukurta iš esmės nauja, teoriškai ir eksperimentiškai pagrįsta piktžolių terminio naikinimo drėgnuoju vandens garu technologija ir tam skirta įranga (Patentai: TPK ind.: A01C 7/00. LT 5499 B. 2008; TPK ind.: A01M 21/00. LT 5532 B. 2008; TPK ind.: A01M 21/00, A01M 21/04, B 05 B 3/00. LT 5620 B. 2009).

Piktžolių terminis naikinimas pasėlyje vandens garu yra efektyvus ir naikina visus augalus (žemės ūkio ir piktžolinius), todėl iškyla ne piktžolių sunaikinimo, bet žemės ūkio augalų apsaugos nuo terminio sunaikinimo problema. Tyrimai augalų apsaugai taikant įvairias priemones (mechaninių apsaugų, dirvos profiliavimo, stabilių putų panaudojimo ir kt.) rodo, kad saugant žemės ūkio augalus nuo terminio sunaikinimo prasiplečia terminio piktžolių naikinimo technologijos panaudojimo galimybės.

Taikant piktžolių terminio naikinimo technologiją pasėlio priežiūrai iškyla biologinių, technologinių ir energinių veiksnių suderinamumo problema. Paaiškėjo, kad kiekvienam žemės ūkio pasėliui būtina naudoti pritaikytą, minėtų veiksnių suderinamumo pagrindu sukurtą pasėlio priežiūros technologiją. Monografijoje pateikėme bendruosius piktžolių terminio naikinimo teorinius pagrindus ir ištirtas technologijas svogūnų ir morkų pasėliui Ekologiška piktžolių terminio naikinimo technologija iš esmės skiriasi nuo dabar naudojamos, mechanikos principais grįstos technologijos. Terminė pasėlio priežiūros technologija remiasi visai kitais principais ir dėsningumais. Terminiai šilumos pernašos procesai, vykstantys piktžolių terminio naikinimo metu tarp augalo ir aplinkos, yra nematomi. Naudojant drėgnojo vandens garo technologiją šilumos pernaša piktžolėms naikinti labai efektyvi, procesas trumpalaikis, vyksta kintant vandens garo agregatiniam būviui. Šilumos pernašos procesų vertinimui ir valdymui aukštatemperatūrėje, augalus termiškai naikinančioje aplinkoje, reikia specialaus pasiruošimo.

Šilumos pernaša tarp augalo ir juos naikinančios aukštatemperatūrės aplinkos yra labai sudėtinga. Termiškai sunaikinti piktžolinį augalą nepakanka. Reikia suderinti biologinių agrotechnologinių ir terminių veiksnių kompleksinį poveikį pasėliui. Kiekvienam pasėliui būtina tyrimų rezultatais pagrįsta piktžolių terminio naikinimo technologija, įvertinanti ne tik piktžolių naikinimo rezultatus, bet ir terminio streso poveikį žemės ūkio augalams, derliui.

Drėgnojo vandens garo termodinaminės savybės sąlygoja jo terminį efektyvumą. Todėl šioje monografijoje pateiktus piktžolių terminio naikinimo teorinius pagrindus, principus ir priemones galima sėkmingai taikyti augalų kenkėjų naikinimui, sėklų beicavimui, dirvos sterilizavimui, augalų desikacijai.

Sukurti naują terminio piktžolių naikinimo technologiją ir tam pritaikytą įrangą yra sudėtinga, būtini ne tik moksliniai tyrimai, bet ir materialiniai resursai. Viena aišku – ekologiškos terminės technologijos agrotechnikoje gali visiškai pakeisti įprastas chemizuotas pasėlių priežiūros technologijas, mažinti maisto produktų ir aplinkos taršą.

Dėkodamas visiems kurie prisilietė prie šios monografijos gimimo tikiu, kad joje pateikta informacija prisidės prie gilesnio šilumos pernašos procesų augalijoje ir terminėse žemės ūkio technologijose supratimo ir vertinimo. Monografijoje stengėmės pateikti piktžolių terminio naikinimo problemas ir jų sprendimo galimybes. Kaip tai mums pavyko, galite spręsti Jūs, gerb. Skaitytojai.

Literatūra

Monografijoje apibendrinti autorių darbai

Publikacijos

1. СИРВИДАС, А. Об измерении температуры листьев растений. *LŽŪA mokslo darbai*. 1959, T.6, p. 48– 63.
2. СИРВИДАС, А. О температурных колебаниях листьев растений. *LŽŪA mokslo darbai*. 1959, T.6, p. 64–71.
3. СИРВИДАС, А. Зависимость температуры некоторых органов растений от их геометрической формы. *LŽŪA mokslo darbai*. 1960, T.7, p. 175–185.
4. СИРВИДАС, А. О температуре некоторых органов растений в естественных условиях. *LŽŪA mokslo darbai*. 1960, T.7, p. 185–206.
5. SIRVYDAS, A. Augalų lapų temperatūros matavimo klausimu. *LŽŪA mokslo darbai*. 1963, T.10, Sąs.3, p. 109–117.
6. SIRVYDAS, A. Mikroklimato stebėjimai polietilenine plėvele dengtuose šiltnamiuose. *Vienuoliktosios LŽŪA dėstytojų mokslinės konferencijos sutrumpintų pranešimų rinkinys*. Vilnius, 1965, p. 74–75.
7. СИРВИДАС, А.; ПЕТКЕВИЧЕНЕ, Л.; БРИЗАГАЛОВ, Б. А. Изменение микроклимата в тоннелях, покрытых полиетиленовои пленкой. *Записки Ленинградского СХИ*. 1965, т.100, с.126–132.
8. PETKEVIČIENĖ, L.; SIRVYDAS, A. Polietileninės plėvelės priedangų įtaka mikroklimatui ir daržovių derliui. *Polimerinių medžiagų tyrimai ir panaudojimas.*VI *respublikinės mokslinės konferencijos medžiaga.* Vilnius, 1965, p. 36–43.
9. СИРВИДАС, А.; ПЕТКЕВИЧЕНЕ, Л. Влияние пленочных укрытий на микроклимат и урожай овощных культур. *LŽŪA mokslo darbai*. 1966, T.13, Nr.3, p. 85–92.
10. PETKEVIČIENĖ, L.; SIRVYDAS, A. Polietileninės plėvelės priedangų įtaka temperatūriniam režimui ir daržovių derliui. *Keturioliktosios dėstytojų mokslinės konferencijos medžiaga.* LŽŪA. Kaunas, 1968, p.188.
11. SIRVYDAS, A.; STEPANAS, A. Grunto sterilizacijos vandens garu proceso tyrimai. *Penkioliktosios LŽŪA, dėstytojų mokslinės konferencijos medžiaga*. Kaunas, 1969, p.238-240.
12. SIRVYDAS, A.; STEPANAS, A. Dirvos sterilizavimas šiltadaržiuose. Vilnius, 1971, 20 p.

13. PETKEVIČIENĖ, L.; SIRVYDAS, A. Temperatūros režimas polietilenine plėvele dengtuose šiltnamiuose šalnos metu. *Sodai ir daržai tyrėjų akimis.*Vilnius, 1972, p. 58–62.
14. SIRVYDAS, A. Augalų šilumos mainų ir transpiracijos procesų energinės teorijos klausimu. *Aštuonioliktosios dėstytojų mokslinės konferencijos medžiaga.* LŽŪA. Kaunas, 1972, p. 34–36
15. СИРВИДАС, А.; СТЕПАНАС, А. Термическая стерилизации почвы в теплицах. *Картофель и овощи*. 1973, No. 12. с.18–20.
16. СИРВИДАС, А.; ЮШКА, В. Измерение температуры растений в микроклиматических и физиологических исследованиях. *Лит. НИИ лесного хоз-ва*. Каунас, 1973. 34 с.
17. СИРВИДАС, А. Энергетический обмен растений в защищенном грунте. В сб. *Дополнителное освещение растений в защищенном грунте*. Рига. 1974, с.87–97.
18. СИРВИДАС, А. Графическое изображение и анализ процесса энергетического обмена растений *LŽŪA mokslo darbai*. 1974, T.20, Nr.3, p. 147–159.
19. SIRVYDAS, A.; STEPANAS, A. Grumstuotumo įtaka temperatūrinio lauko pasiskirstymo tolygumui sterilizuojamame dirvos sluoksnyje. *LŽŪA mokslo darbai*. 1974, T.20, Nr.3, p. 141–145.
20. SIRVYDAS, A.; STEPANAS, A. Garą tiekiančios skylutės skersmens įtaka temperatūrinio lauko susidarymui sterilizuojamame dirvos sluoksnyje. *LŽŪA mokslo darbai*. 1975, T.21,Nr.2, p. 57–61.
21. СИРВИДАС, А.; СТЕПАНАС, А. Исследование передвижных устройств для термической стерилизации почвы в защищенном грунте. *LŽŪA mokslo darbai*. 1979, T.24, Nr.3, p. 35–42.
22. СИРВИДАС, А.; СТЕПАНАС, А. Исследование шатровых устройств для термической стерилизации почвы в защищенном грунте. *LŽŪA mokslo darbai*. 1979, T.24, Nr.3, p. 43–53.
23. СИРВИДАС, А.; ЮШКА, В. Регулирование исскуственного тумана. *Lietuvos miškų ūkio MTI darbai.* 1985, T.25, p. 180–186.
24. SIRVYDAS, A.; STEPANAS, A. Dirvos aušinimo fazės tyrimai. *Žemės ūkio inžinerija*. LŽŪI Instituto ir LŽŪU mokslo darbai. 1997, T.29(2), p.33–42.
25. SIRVYDAS, A.; LAZAUSKAS, P.; ČĖSNA, J. Physical Changes in the Weed Plant in Thermal, Weed Control. *3 rd EWRS Workshop on Physical Weed Control Wye College*. University of London, UK. 23-25 March, 1998. p. 17.
26. SIRVYDAS, A.; STEPANAS, A. Kaip sterilizuoti šiltadaržių dirvą. *Agroinžinerija ir energetika*. 1999, Nr.1, p. 82–84.
27. SIRVYDAS, A.; ČĖSNA, J. Energetinių procesų piktžolių audiniuose modeliavimas jas termiškai naikinant. *Žemės ūkio inžinerija*. LŽŪI Instituto ir LŽŪU mokslo darbai. 2000, T. 32 (1), p. 53–72.
28. SIRVYDAS, A.; STEPANAS, A. Dirvos sterilizavimo vandens garais techninės priemonės. *Agroinžinerija ir energetika*. 2000, Nr.2, p. 25–29.

29. SIRVYDAS, A.; ČĖSNA, J.; KERPAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R. Piktžolių terminio naikinimo aukštatemperatūrėje aplinkoje tyrimai. *Aplinkos inžinerija*. 2000, T.8(1), p. 28–37.
30. SIRVYDAS, A.; ČĖSNA, J.; KERPAUSKAS, P.; STEPANAS, A. Šiluminių energijos procesų, vykstančių terminiame peilyje ir jo aplinkoje, naikinant piktžoles tyrimas. *Aplinkos inžinerija*. 2000, T.8(1), p. 3–7.
31. KERPAUSKAS, P. Šilumos mainų ypatumai augalo (piktžolės) pasienio sluoksnyje naikinant vandens garu. *Šilumos energetika ir technologijos*. KTU. 2001, p.401–406.
32. SIRVYDAS, A.; STEPANAS, A.; ČĖSNA, J. Hidroponinių šiltnamių substrato terminės regeneracijos proceso tyrimas. *Vagos: mokslo darbai*. LŽŪU, 2001, Nr. 49(2), p.76–81.
33. SIRVYDAS, A.; STEPANAS, A.; ČĖSNA, J. Mobili techninė priemonė dirvai sterilizuoti vandens garais. *Agroinžinerija ir energetika*, 2001, Nr. 5, p. 47–50.
34. LAZAUSKAS, P.; SIRVYDAS, A. Weed control with water steam in barley. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pfanzenschutz*. Stuttgart, Hohenheim, Bd.XVIII, 2002, s. 633–638.
35. SIRVYDAS, A.; LAZAUSKAS, P., VASINAUSKIENĖ, R.; KERPAUSKAS, P. Innovative weed control in organic agriculture. *Informacinis biuletenis*. LŽŪU, 2002, p. 1–2.
36. SIRVYDAS, A.; LAZAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R.; KERPAUSKAS, P. Thermal weed control by water steam. 5th. European Weed Research Society. *Workshop on Physical Weed control*. Pisa, Italy, 2002. p. 253–262.
37. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; STEPANAS, A. Aplinkos piktžolių terminiam naikinimui formavimo teoriniai pagrindai. *Vagos:* mokslo darbai. LŽŪU, 2002, Nr. 54(7), p. 86–95.
38. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; STEPANAS, A. Garo išleidimo kanalų, piktžolių terminio naikinimo įrenginyje, teorinis pagrindimas. *Konkurencingų žemės ūkio produktų gamybos problemos integruojantis Lietuvai į Europos sąjungą*. LŽŪU, 2002, p. 62–64.
39. SIRVYDAS, A.; STEPANAS, A. Pusiau mobilios techninės priemonės - metaliniai ir plėveliniai gaubtai dirvai sterilizuoti vandens garais *Agroinžinerija ir energetika*.. 2002, Nr. 6, p. 58–61.
40. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R.; ČEKANAUSKAS, S. Lokalizuotas aukštatemperatūrinės aplinkos formavimas ir energetinis balansas termiškai naikinant piktžoles. *Konkurencingų žemės ūkio produktų gamybos problemos integruojantis Lietuvai į Europos sąjungą*. LŽŪU, 2002, p. 65–66.
41. SIRVYDAS, A.; LAZAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R.; KERPAUSKAS, P. Thermal weed control by water steam. *Plant protection in the Baltic region in the context of integration to EU. Proceeding of the Scientifics international conference*. Kaunas, Akademija, 2002, p.111–113.
42. SIRVYDAS, A.; LAZAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R.; KERPAUSKAS, P. Thermal weed control by water steam. European Weed Research Society. *5th EWRS Workshop on Physical and Cu1tural Weed Control.* Pisa, Italy, 2002, 2003, p. 253–262.

43. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R.; JANULEVIČIUS, A. Terminio piktžolių naikinimo įrenginių naudojančių drėgnąjį vandens garą energetinis įvertinimas. *Vagos:* mokslo darbai. LŽŪU, 2003,Nr. 60(13), p.59–65.
44. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R. Piktžolių terminio naikinimo proceso drėgnuoju vandens garu tyrimas. *Šilumos energetika ir technologijos*. KTU, 2003, p. 341–346.
45. GYLYS, J.; JAKUBCIONIS, M.; SINKUNAS, S.; SIRVYDAS, A. Heat transfer of tube bank in upward foam flow. *Hefat 2nd International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics.* 24–26 June 2003, Victoria Falls, Zambia Paper number: GJ1.
46. SIRVYDAS, A.; STEPANAS, A.; KERPAUSKAS, P. Thermal disinfection of soil by water steam. *6th EWRS on Physical and Cultural Weed Control*. Lillehammer, Norway. 2004, p.174–178.
47. SIRVYDAS, A.; LAZAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R.; KERPAUSKAS, P. Weed control in onions by steam. *Zeitschrift für Pfalanzenkrakheit und Pflanzenschutz*. 2004 Sonderheft XIX, p. 581–587.
48. SIRVYDAS, A.; LAZAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R.; STEPANAS, A.; KERPAUSKAS, P. Thermal weed control by water steam in bulb onions. *European Weed Research Society. Proceedings of 6th EWRS on Physical and Cultural Weed Control*. Lillehammer, Norway. 2004, p.170-173
49. SIRVYDAS, A.; ČINGIENĖ, R. Drėgnojo vandens garo poveikis svogūnų pasėlyje. *Šilumos energetika ir technologijos*. KTU, 2004, p.237–242.
50. СИРВИДАС, А.; ЛАЗАУСКАС, П.; КУСТА, А.; КЕРПАУСКАС, П. Влажный водяной пар как средство борьбы с сорной растительностью. *Проблемы сорной растительности и методы борьбы с ней*. БГСХА, Горки, 2004, с. 88–90.
51. SIRVYDAS, A.; LAZAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R.; ČEKANAUSKAS, S.; KERPAUSKAS, P. Thermal weed control by water steam in bulb onions. *European Weed Research Society. Abstract 6 th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control.* Lillehammer, Norway, 2004, p. 48.
52. KERPAUSKAS, P.; SIRVYDAS, A.; STEPANAS, A.; VASINAUSKIENĖ, R.; ČEKANAUSKAS, S. Procesų, vykstančių piktžolių terminio naikinimo įrenginyje, termodinaminė analizė. *Žemės ūkio inžinerija*. LŽŪI Instituto ir LŽŪU mokslo darbai. 2005, Nr. 37 (1), p. 49–59.
53. KERPAUSKAS, P.; SIRVYDAS, A. Transpiracijos proceso termoenerginiai aspektai. *Vandens ūkio inžinerija*. LŽŪU ir LVŪI mokslo darbai. 2005 Nr. (48)1, p. 38–46.
54. SIRVYDAS, A.; VASINAUSKIENĖ, R.; ČEKANAUSKAS, S.; VIRBICKAITĖ, R. Drėgnojo vandens garo poveikio augalui tyrimai. *Šilumos energetika ir technologijos*. KTU. Kaunas, 2005, p. 93–96.
55. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R.; NADZEIKIENĖ, J.; ČEKANAUSKAS, S. Analysis of the thermal weed extermination processes: devices and their theoretical validation. *Proceedings of the international conference Development of agricultural technologies and technical means in ecological and energetic aspects*. Raudondvaris, 2006, No.11, p. 332–344.

56. SIRVYDAS, A.; LAZAUSKAS, P.; STEPANAS, A.; NADZEIKIENĖ, J.; KERPAUSKAS, P. Plant temperature variation in the thermal weed control process. *Zeitschrift für Pfalanzenkrakheit und Pflanzenschutz.* Sonderheft XX, 2006, p. 355–361.
57. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; NADZEIKIENĖ, J.; STEPANAS, A.; TEREŠČIUK, V.S. Temperature measurements in research of thermal weed extermination. *Proceedings of the international conference Development of agricultural technologies and technical means in ecological and energetic aspects*. Lithuania. Raudondvaris. 2006, No.11, p. 321–331.
58. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P. Energinių procesų agrofito aplinkoje aspektai. *Energetika*: Lietuvos MA leidykla. 2006, Nr.4, p. 9–15.
59. VIRBICKAITĖ, R.; SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R. The comparison of thermal and mechanical ways of weed control. *Agronomy research*. 2006, 4, p.451–455.
60. KERPAUSKAS, P.; SIRVYDAS, A.; LAZAUSKAS, P.; VASINAUSKIENE, R.; TAMOSIUNAS, A. Possibilities of Weed control by water steam. *Agronomy research:* 4, 2006, p. 221–255.
61. ŠINKUNAS, S.; GYLYS, J.; SIRVYDAS, A. Study of thermohydromechanical proceses in gravitational liquid film flow. *Proceedings of international conference on energy and environment* 2006. University Tenaga nasional, Kajang, Selangor, Malaysia. p. 68–72.
62. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; ČEKANAUSKAS, S.; ČINGIENĖ, R. Vandens garo sklaida profiliuotame dirvos paviršiuje termiškai naikinant piktžoles. *Vandens ūkio inžinerija*. LŽŪU ir LVŪI mokslo darbai, 2006, Nr.30(50), p.28–35.
63. KERPAUSKAS, P.; SIRVYDAS, A. Agrofito aplinkoje vykstančių energinių procesų termodinaminė analizė. *Žemės ūkio mokslai*. Lietuvos MA leidykla. 2006 Nr. 1. p. 39–46.
64. KERPAUSKAS, P.; SIRVYDAS, A. Transpiracijos proceso saulėtu paros metu termoenerginė analizė. *Vandens ūkio inžinerija*. LŽŪU ir LVŪI mokslo darbai. 2006 Nr. (49)29, p. 75–82.
65. КЕРПАУСКАС, П.; ЛАЗАУСКАС, П.; СИРВИДАС, А.; ВАСИНАУСКЕНЕ Р. О перспективах применения водяного пара в борьбе с сорной растительностью. Защита растений, 2006, Вып.30 ч.1, с. 104–107.
66. KERPAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R.; SIRVYDAS, A.; ČEKANAUSKAS, S. Piktžolių terminis naikinimas morkų pasėlyje drėgnuoju vandens garu. *Sodininkystė ir daržininkystė*: LSDI ir LŽŪU mokslo darbai. 2007, Nr. 26(1), p.127–135.
67. KERPAUSKAS, P. Šiluminiai procesai piktžolių terminio naikinimo technologijose. Habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga. KTU, Kaunas, 2007. 24 p.
68. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; ČEKANAUSKAS, S.; ČINGIENĖ, R. Vandens garo sklaida profiliuotame paviršiuje termiškai naikinant piktžoles. Vandens ūkio inžinerija. LŽŪU ir LVŪI mokslo darbai. 2007, Nr.50(30). p.40–47.
69. KERPAUSKAS, P.; STANIULIENĖ, R.; ČINGIENĖ, R. Piktžolių terminės kontrolės karštomis dujomis ir drėgnuoju vandens garu metodų efektyvumo palyginimas. *Žmogaus ir gamtos sauga* 2008. LŽŪU, P. 76–79.

70. ČINGIENĖ, R.; SIRVYDAS, A.; VASINAUSKIENĖ, R. Statiškai stabilių putų taikymas ekologinėje žemdirbystėje. *Žmogaus ir gamtos sauga* 2008. LŽŪU, p. 67–68.
71. SIRVYDAS, A.; VASINAUSKIENĖ, R.; KERPAUSKAS, P.; ČINGIENĖ, R.; SINKEVIČIENĖ, J.; STANIULIENĖ, R. Skrotelinių piktžolių terminės kontrolės ypatumai. *Vagos*: LŽŪU mokslo darbai. 2008. Nr. 79(32). p. 153–157.
72. DABKEVIČIUS, Z.; SINKEVIČIENĖ, J.; SEMAŠKIENĖ, R.; SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P. The effect of thermal treatment on spring barley seed infection and germination. *Žemdirbystė-Agriculture.* 2008; T.95, Nr.4. p.172–181.
73. KERPAUSKAS, P.; SINKEVIČIENĖ, J.; SIRVYDAS, A.; VASINAUSKIENĖ, R. Terminio impulso įtaka vasarinių miežių sėklos daigumui ir užterštumui mikromicetais. *Žemės ūkio inžinerija.* LŽŪI Instituto ir LŽŪU mokslo darbai. 2008, 40(2), 52–65.
74. KERPAUSKAS, P.; SINKEVIČIENĖ, J.; SIRVYDAS, A. Vandens garo terminis poveikis grūdo mikrobiotai. *Šilumos energetika ir technologijos.* Kaunas, KTU. LEI, 2008, p. 179–182.
75. SIRVYDAS, A.; VASINAUSKIENĖ, R.; ČINGIENĖ, R.; KERPAUSKAS, P. Terminio ir mechaninio piktžolių naikinimo būdų palyginimas. *Šilumos energetika ir technologijos*. Kaunas, KTU. LEI, 2008, p. 259–262.
76. DABKEVIČIUS, Z.; SIRVYDAS, A.; SINKEVIČIENĖ, J.; ŠALUCHAITĖ, A.; VASILIAUSKAITĖ, I. Fizinių veiksnių ir cheminių priemolių svarba išvengiant vasarinių miežių ligų. *Žemės ūkio mokslai.* Lietuvos MA leidykla. 2008, T. 15 Nr. 4. p. 28–34.
77. SIRVYDAS, A.; ČEKANAUSKAS, S.; RUTKAUSKAS, G.; NADZEIKIENĖ, J.; KUČINSKAS, V. Piktžolių terminio naikinimo karštomis dujomis proceso poveikis dirvai. *Žemės ūkio inžinerija*. LŽŪI Instituto ir LŽŪU mokslo darbai. 2008, 40(1), 30–41.
78. SIRVYDAS, A.; ČEKANAUSKAS, S.; KERPAUSKAS, P.; NADZEIKIENĖ, J.; STEPANAS, A.; ČINGIENĖ, R. Vandens garo kondensacijos dirvos paviršiuje tyrimai. *Žemės ūkio inžinerija*. LŽŪI Instituto ir LŽŪU mokslo darbai. 2009 Nr. 41(1-2). p. 7–18.
79. KERPAUSKAS, P.; SIRVYDAS, A.; VASINAUSKIENE, R.; TAMOSIUNAS, A. Influence of thermal effect duration on onion yield. *Agronomy Research.* 2009, Vol. 7, p. 323-327.
80. NADZEIKIENĖ, J.; SIRVYDAS, P. A.; ČINGIENĖ, R.; VASINAUSKIENĖ, R.; KERPAUSKAS, P. Plant protection by foam in the thermal control process. *Agronomy Research.* 2009, Vol. 7, p. 425-429.
81. KERPAUSKAS, P.; SIRVYDAS, A.; VASINAUSKIENĖ, R.; NADZEIKIENĖ, J. Technological Aspects of Thermal Weed Control. *Proceedings of the fourth international scientific conference Rural development*. Lithuania. Akademija. 2009 Vol. 4, b. 2 p. 344-350.
82. KERPAUSKAS, P.; KUČINSKAS,V.; SIRVYDAS, A. Augalų energinės apykaitos procesų diagrama ir jos analizė. *Šilumos energetika ir technologijos.* Kaunas, KTU. LEI, 2009, p. 193–198.

83. KERPAUSKAS, P.; KUČINSKAS, V. Augalo lapo energinės apykaitos kitimas dėl aplinkos temperatūros. *Žemės ūkio mokslai*. Lietuvos MA leidykla. 2010. T. 17. Nr. 1–2. P. 41–46.
84. KERPAUSKAS, P.; ČEKANAUSKAS, S.; ŪKSAS, T. Temperatūros kitimas dirvos paviršiuje piktžolių terminio naikinimo procese. *Šilumos energetika ir technologijos.* Kaunas, KTU. LEI, 2010, p. 249–254.
85. KERPAUSKAS, P.; STANIULIENĖ, R.; VASINAUSKIENĖ, R.; ŪKSAS, T. Sunkiai termiškai sunaikinamų (skrotelinių) piktžolių terminė kontrolė. *Žmogaus ir gamtos sauga.* LŽŪU, 2010, D.1, P. 93–95.
86. NADZEIKIENĖ, J.; KERPAUSKAS, P. Influence of thermal weed control on topsoil temperature variation. *Современные технологии сельскохозяйственного производства:* XIII международная научно-практическая конференция: материалы конференции. Т. 1. Гродно, 2010, p. 241–243.
87. ČINGIENĖ, R.; KERPAUSKAS, P.; ŪKSAS, T. Putų taikymas žemės ūkio augalų apsaugai. *Žmogaus ir gamtos sauga.* LŽŪU, 2010, D.1, P. 76–78.
88. KERPAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R. Influence of weed biological factors in thermal weed control process. *Современные технологии сельскохозяйственного производства:* XIII международная научно-практическая конференция: материалы конференции. Т. 1. Гродно, 2010, p. 239-241.
89. KERPAUSKAS, P.; SIRVYDAS, A.; ČEKANAUSKAS, S.; ŪKSAS, T. Temperatūros matavimas augalo stiebe termiškai naikinant piktžoles. *Žemės ūkio inžinerija*. LŽŪI Instituto ir LŽŪU mokslo darbai. 2010, Nr. 42(1). p. 37-47.
90. SIRVYDAS, A.; KUČINSKAS,V.; KERPAUSKAS, P.; NADZEIKIENĖ, J.; KUSTA, A. Solar radiation energy pulsations in a plant leaf. *Journal of Environmental Engineering and landscape management.* 2010, Vol. 18, No. 3. P. 188-195.
91. SIRVYDAS, A.; KUČINSKAS,V.; KERPAUSKAS, P.; NADZEIKIENĖ, J. Theoretical modeling of temperature pulsations in plant leaf which are caused by leaf swing with respect to the sun. *Journal of Environmental Engineering and landscape management.* 2011. Vol. 19(3). P. 251–259.
92. KERPAUSKAS, P.; ČINGIENĖ, R.; VASINAUSKIENĖ, R. ČEKANAUSKAS, S.; BALTRĖNAITĖ, E. Statiškai stabilių putų panaudojimas pasėlių apsaugai termiškai naikinant piktžoles profiliuotame dirvos paviršiuje. *Žemės ūkio inžinerija*. ASUI Instituto ir ASU mokslo darbai. 2011, Nr. 43(2). p. 32–39.
93. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; KUČINSKAS, V.; ŪKSAS, T. Temperatūros matavimo augalo stiebe eksperimentinis modeliavimas. *Šilumos energetika ir technologijos*. Kaunas, KTU. LEI, 2011, p. 111–114
94. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; KUČINSKAS, V. Augalų energinė apykaita. Monografija. Akademija, 2011, 224 p.

Patentai. Išradimai

95. СИРВИДАС, А.; СТЕПАНАС, А. А.с. 331776 СССР. А 01g 11/00. Устройство для стерилизации почвы в защищенном грунте. Заявл. 24.12.1970, опубл. 14.03.1972. Бюл. No.10
96. СИРВИДАС, А.; СТЕПАНАС, А. А.с.341446 СССР. А 01g 11/00. Устройство для стерилизации почвы в защищенном грунте. Заявл. 09.07.1970, опубл. 14.06.1972. Бюл. No.19.
97. ЯСЮКАЙТИС, Л.; ЮШКА, В.; СИРВИДАС, А. А.с.1213404 СССР. А 4G 01 N 25/56.Устройство для определения момента высычания зеленного листа Опубл.1992. Бюл. No.7.
98. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; VASINAUSKIENĖ, R.; ČEKANAUSKAS, S.; VIRBICKAITĖ, R. Sėjos būdas ir įrenginys jo įvykdymui.TPK ind.: A01C 7/00. LT 5499 B. 2008-05-26. *Valstybinio patentų biuro oficialus biuletenis*. 2008, Nr.5
99. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; STEPANAS, A.;ČEKANAUSKAS, S. Mobilus piktžolių terminio naikinimo įrenginys TPK ind.: A01M 21/00. LT 5532 B. 2008-12-29. *Valstybinio patentų biuro oficialus biuletenis.* 2008, Nr.12.
100. SIRVYDAS, A.; KERPAUSKAS, P.; ČINGIENĖ, R.; SABIENĖ, N.; VASINAUSKIENĖ, R.; VIRBICKAITĖ, R. Terminis piktžolių naikinimo būdas ir įrenginys.TPK ind.: A01M 21/00, A01M 21/04, B 05 B 3/00. LT 5620 B. 2009-12-28. *Valstybinio patentų biuro oficialus biuletenis.* 2009, Nr.12

Disertacijos

1. **СИРВИДАС, П. А.** К вопросу о температуре и теплообмене растений. Дисертация кандидата биологических наук. Вильнюскй Гос. университет, 1961. 202 с.
2. **SIRVYDAS, P. A**. Termoenerginiai procesai augaluose ir jų aplinkoje. Habilitacinis darbas. Technikos mokslai LŽUA. Kaunas-Akademija, 1993. 351 p
3. **STEPANAS, A**. Techninių priemonių, skirtų uždaro grunto dirvos sterilizavimui vandens garais, tyrimai: Disertacija technikos mokslų kandidato laipsniui įsigyti. Mokslinis vadovas doc. **Sirvydas P. A**. LŽŪA, 1971. 176 p.
4. **ČĖSNA, J**. Piktžolių naikinimo aukštatemperatūrėje aplinkoje tyrimai. Dakaro disertacija. Technologijos mokslai. Mokslinis vadovas prof. habil. dr. **Sirvydas P.A**. LŽŪU, Akademija, 2000, 102 p.
5. **KERPAUSKAS, P**. Lokalizuotos aplinkos terminiam piktžolių naikinimui formavimas ir tyrimas. Dakaro disertacija. Technologijos mokslai. Mokslinis vadovas doc. dr **Stepanas A**. LŽŪU, Akademija, 2003. 119 p.
6. **VASINAUSKIENĖ, R.** Terminės aplinkos poveikio augalams tyrimai ir agrotechnologinis įvertinimas. Dakaro disertacija. Technologijos mokslai. Mokslinis vadovas prof. habil. dr**. Sirvydas P. A.** LŽŪU, Akademija, 2004. 99 p.

7. **KERPAUSKAS, P.** Šiluminiai procesai piktžolių terminio naikinimo technologijose. Habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga Technologijos mokslai. KTU, Kaunas, 2007. 24 p.
8. **ČEKANAUSKAS, S**. Aukštatemperatūrės aplinkos veiksniai termiškai naikinant piktžoles. Dakaro disertacija. Technologijos mokslai. Mokslinis vadovas prof. habil. dr. **Sirvydas P. A.** LŽŪU, Akademija, 2007. 100 p.
9. **ČINGIENĖ, R.** Statiškai stabilių putų taikymas terminėje piktžolių kontrolėje. Dakaro disertacija. Technologijos mokslai. Mokslinis vadovas prof. habil. dr. **Sirvydas P. A.** LŽŪU, Akademija, 2009. 87 p.
10. **STANIULIENĖ, R**. Aukštatemperatūrės aplinkos poveikis sunkiai termiškai sunaikinamoms piktžolėms. Dakaro disertacija. Technologijos mokslai. Mokslinis vadovas doc. dr. **Kerpauskas P**. LŽŪU, Akademija, 2010. 113 p.

Monografijoje cituoti kitų autorių darbai

1. ANERNHAMMER, H. Precision Farming – The Environmental Challenge. *Computers and Electronics in agriculture*. 2001, 30. p.31–43.
2. ASCARD, J. Comparison of flaming and infrared radiation techniques for thermal weed control. European Weed Research Society, *Weed Research*, vol. 38, 1998, p.69–76.
3. ASCARD, J. Dose–response models for flame weeding in relation to plant size and density. *Weed Research* 34, 1994, p.377–385.
4. ASCARD, J. Effects of flame weeding on weed species at different developmental stages. *Weed Research* 35, 1995, p. 397–411.
5. ASCARD, J. Flame weeding: effects of open and coverd flamers. *Termal Weed control by Flaming Dissertation Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering*. Report 200. Alnarp, 1995, p. 1–37.
6. ASCARD, J. Thermal Weed Control in Flame Treatment A Useful method for Row-cultivated crops and Halum-Killing in Potatoes. *29 th Swedish Weed Conference*. Uppsala, 1988, Vol.1, p.194–207.
7. ASCARD, J. Thermal Weed Control in seeded onions. *30 th Swedish Crop Protection Conferrence. Weeds and weed control*: Reports Swedish University of Agricultural Science, 1989, p.35–50.
8. ÅSTRAND, B. Vision based perception for mechatronic weed control. PhD-thesis, Department of Computer Science and Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. 2005
9. ÅSTRAND, B.; BAERVELDT, A.J. A mobile robot for mechanical weed control. *International Sugar Journal*. 2003, Vol. 105, No. 1250, February, pp. 89–95, ().
10. AUŠKALNIENĖ, O.; AUŠKALNIS, A. Įvairių veiksnių įtaka piktžolių sėklų kiekiui dirvoje. *Naujausi agronomijos tyrimų rezultatai. Konferencijos pranešimai*. Lietuvos Žemdirbystės Institutas, 2007,Nr. 39, 57 p.
11. AUŠKALNIENĖ, O.; AUŠKALNIS, A.; BUČIENĖ, A.; ANTANAITIS, Š. Vasarinių miežių ir žieminių kviečių piktžolėtumas ir grūdų derlius taikant įvairaus inten-

syvumo žemdirbystės sistemas. *Žemdirbystė*. LŽI, LŽŪU mokslo darbai. Akademija, 2002, 73 (3). p. 123–130.

12. BALTRĖNAS, P.; BUTKUS, D.; OŠKINIS, V.; VASAREVIČIUS, S.; ZIGMONTIENĖ, A. Aplinkos apsauga. Vilnius: Technika, 2008, 564 p.
13. Basic investigation and developments of flamers Non Chemical Weed Control. *Communications of the Fourth International Conference I.F.O.A.M.*, Dijan (France), 1993. p. 22.
14. BĖČIUS, V. Pašarinių morkų priešsėjinis sėklų paruošimas ir sėja. Monografija. LŽŪA, Akademija, 1995, 212 p.
15. BERTRAM, A. Geräte und verfahrenstechnische Optimierung der thermischen Unkrautbekämfung. Weihenstephau, 1996, 196 S.
16. BLIZNIKAS, Z.; BREIVĖ, K.; TAMULAITIS, G.; KURILČIK, G.; NOVIČKOVAS, A.; ŽUKAUSKAS; A.; DUCHOVSKIS, P.; ULINSKAITĖ, R.; BRAZAITYTĖ, A.; ŠIKŠNIANIENĖ J. Puslaidininkinė lempa augalų fotofiziologiniams procesams tirti ir valdyti. *Elektronika ir elektrotechnika*. Kaunas: Technologija. 2004, Nr. 7(56). p. 74–79.
17. BONTSEMA, J.; VAN ASSELT, C.J.; LEMPENS, P.W.J.; VAN STRATEN, G. Intra-row weed control: a mechatronics approach. In: N. Sigrimis and P. Groubos (Eds.), Control Applications and Ergonomics in Agriculture, Proceedings 1st IFAC Workshop, Athens Greece, 1998, p. 93-97.
18. BRAZAUSKIENĖ, D.M. Agroekologija ir chemija. Kaunas, 2004. 207 p.
19. BRIDGE, T. Controlling New Zealand pygmyweed *Crassula helmsii* using hot foam, herbicide and by burying at Old Moor RSPB Reserve, South Yorkshire, England. Conservation Evidence 2**,** 2005, p. 33-34.
20. BROMET, N.M.; TULLBERG, J.N. Video assessment tecniques to monitor physical weed management. *European Weed Research Society. 5th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Pisa, Italy, 2002, p.293-297.
21. BROWN, H.T.; ESCOMBE, F. Researches on some of the processes of green leaves. *Proceedings of the Royal Society*. London, 1905, series B, 76, No 507 p. – 92-118.
22. CASINI, P.; CALAMAI, P. Flaming for weed control in sunflower (*Helianthus annuus* L.): results of a four year research. *Proceedings of the 13th International Sunflower Conference*. Pisa, 1992, p.64-73.
23. CASTILLE, C.; GHESQUIERE, P. Flame weeding trials on seeded onions. *Proceedings of the International meeting of Flame Cultivation for Weed control*. Namur, 1985, p. 26-33.
24. CHAPPELL, W. E.; DANIELL, J. W. Flame cultivation studies in soybeans and corn in Virginia. *Proceedings of the 3th Annual Symposium on Thermal Agricultur*. NLGPA, 1966, p. 42-43.
25. CHEN, C.K.; LIN, Y.T. Laminar film condensation from a downward-flowing steam-air mixture onto horizontal circular tube. *Applied Mathematical Modelling*, 2009, v.33, p.1944-1956.
26. COLLINS, R. M. Australian developments in thermal weed control. 4th *EWRS Workshop on Physical Weed Control* Elspeet, the Netherlands 20-22 March, 2000.

27. COLLINS, R. M.; BERTRAM, A.; ROCHE, J-A.; SCOTT, M. E. Preliminary studies in the comparison of hot water and hot foam for weed control. *European Weed Research Society. 5th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control* Pisa, Italy, 11-13 March 2002. 2003, p.204-215.
28. CZERN, L. Influence of injection system on the effect of 'activated' soil disinfection on *Brassica juncea*(L.). *Proceedings of 7th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Salem, Germany, 2007, p 138-142.
29. ČĖSNA, B. Heat transfer and hydrodynamics in gas - cooled fuel road assemblies. Begell house, LEI, 2005. 238 p.
30. ČIUBERKIS, S. Organinių trąšų įtaka sėjomainos pasėlių piktžolėtumui. *Kaimo plėtra*: konferencijos pranešimų rinkinys. Akademija, 2003, p.193-194.
31. ČIUBERKIS, S. Piktžolių žalingumas bulvėms vakarų Lietuvoje. *Žemdirbystė.* LŽI mokslo darbai, 2002, Nr. 3, (79), p. 170–177.
32. DAGYS, J; BLUZMANAS, P.; BORUSAS, S.; ŠLAPAKAUSKAS, V. 1974. Augalų fiziologija. Vilnius, 389 p.
33. DAHLQUIST, R. M.; PRATHER, T. S.; STAPLETON, J. J. Time and Temperature Requirements for Weed Seed Thermal Death. *Weed Science.* Vol. 55, 2007, p. 619-625.
34. DANIELL, J.W.; CHAPELL, W.E.; COUCH, H.B. Effect of sublethal and lethal temperatures on plant cells. *Plant Physiology*. 1969, N 44, p. 1684-1689.
35. DAWSON, J.R.; JOHNSON, R.A.; ADAMS, P.; LAST, F.T. Influence of steam/air mixtures, when used for heating soil on biological and chemical properties that seedling growth. *Annals Applied Biology*. 1965, 56, 243-251.
36. DENGLIANG, Z.; HONG, X.; YAN, S.; BAOJIN, Q. Numerical heat transfer analysis of laminar film condensation on a vertical fluted tube. *Applied Thermal Engineering*, 2010, v.30, p.1159-1163.
37. DOUGHER, T. A.; BUGBEE, B. G. Is blue light good or bad for plants? *Life Support Biosphere Sciences*, 1998, 5, p. 129-136.
38. DROBAVIČIUS A., GARBARAVIČIUS J., GIMBUTIS G. Bendroji šiluminė technika. Vilnius. Mintis, 1974. 570 p.
39. ELIAS, F.; FLAEMT, C.; GLAZIER, J.; GRANER, F.; JIANG, Y. Foams out of stable equilibrium: cell elongation and side swapping. Philosophical Magazine Letters, Vol.79, No.11, 1999, p. 887-896.
40. ELLWAGNER, T.; BINGHAM, Jr.; CHAPELL, S. We and Tolin SA. Cytological effects of ultra-high temperatures on Corn. *Weed Sciennce*, 1973, N 21 (4),p. 299-303.
41. ENGEL, R. Versuche zur Unkrautbekampfung durch Abflammen im Weinbau. Der deutsche Weinbau, 1968, p 526.
42. European weed Research Society. *3 rd EWRS Workshop on Physical Weed Control*. Wye College, University of London, 1998, 30 p.
43. European weed Research Society. *4 rd EWRS Workshop on Physical Weed Control*. University of Wage, Elspeet, 2000, 65 p.
44. European weed Research Society. *5 rd EWRS Workshop on Physical Weed Control.* Pisa, Italy, 2002, 316 p.

45. European Weed Research Society. *6 th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Lillehammer, Norway, 8–10 March, 2004, 69 p.
46. European Weed Research Society. *7 th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Salem, Germany, 11–14 March, 2007, 175 p.
47. European Weed Research Society. *8 th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Zaragoza, Spain, 9–11 March, 2009, 147 p.
48. European Weed Research Society. *9th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*, Samsun, Turkey, 28–30 March 2011,97 p.
49. EUROPOS APLINKA. *Būklė ir perspektyvos. 2010 m apibendrinimas.* Kopenhaga, 2010, 222 p.
50. FITZGERALD, L.W.; ANDERSON, L.E.; LARSON, G.H. Flame cultivation of corn and grain sorghum. *Proceedings of the 1th Annual Symposium on Reserch on Flame Weed Control*. NGPA. 1964. p. 22-24.
51. FONTANELLI, M.; FRASCONI, C.; LULLI, L.; SORELLI, F.; CARLESI; S.; BIGONGIALI, F.; ANTICHI, D.; PERUZZI, A. Innovative operative machines for physical weed control on organic cauliflowerin Central Italy. *Proceedings of 8th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Zaragoza, Spain, 2009, p.
52. FONTANELLI, M.; RAFFAELLI, M.; GINANNI, M.; LULLI, L.; FRASCONI, C.; SORELLI, F.; PERUZZI, A. Non-chemical weed control on open-field fresh market tomato in the SerchioValley (Central Italy). *Proceedings of 8th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Zaragoza, Spain, 2009, p. 49-56
53. FONTANELLI, M.; RAFFAELLI; M.; GINANNI, M.; LULLI, L.; FRASCONI, C.; SORELLI, F.; PERUZZI, A. Innovative operative machines for physical weed control on processing tomato in the Serchio Valley (Central Italy). *Proceedings of 8th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control.* Zaragoza, Spain, 2009, p. 41-48
54. FREISE, J. F.; HEITLAND, W. The Waipuna Hot Foam System: a chance for Cameraria ohridella control? *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes.* 2003,Vol. 55, No.10, p. 242-244.
55. GEIER B. System der Abflammtechnik und mogliche Arbeitsersparnis. *Beikrautregulierung statt Unkrautbekamptung*. Karsruhe, 1989. S. 143-149.
56. GYLYS, J. Hidrodinamika, šilumos masės mainai statiškai stabilių putų sistemose. *Monografija*. Kaunas: Technologija, 1998, 388 p.
57. GYLYS, J.; GABRIELAITIENĖ, I.; ŽDANKUS, T.; JONYNAS, R.; GYLYS, M. Plokščio paviršiaus šilumos mainų dvifaziame putų sraute eksperimentinis tyrimas. *Šilumos energetika ir technologijos*. Kaunas, KTU. LEI, 2011, p. 128–133.
58. GYLYS, J.; JAKUBČIONIS, M.; ŠINKŪNAS, S.; ŽDANKUS, T. Statiškai stabilių putų savybės, stabilumas ir irimas. *Mechanika.* mokslo darbai. Kaunas, 2001, Nr.6 (32), p. 18–23.
59. GYLYS, J.; ŽDANKUS, T.; MILIAUSKAS, G.; ŠINKŪNAS, S. Influence of vertical foam flow liquid drainage on tube buble heat transfer intensivy. *Exspermental heat transfer*. Suite, 2007, Vol.20, ISS 2, p. 15–169.
60. GYLYS, J.; ŽDANKUS, T.; ŠINKŪNAS, S. Influence of the Foam Flow Turn on the Staggered Tube Bundle Heat Transfer Intensity. *Proceedings of the 4th WSEAS*

Int. Conf. on heat transfer, thermal engineering and environment, Elounda, Greece, August 21–23, 2006, p. 317–322.

61. GOBOR, Z.; SCHMITTMAN, O.; SCHULZE LAMMERS, P. Mechanical weeding – concept of inter-row and intra-row hoeing. *5 European Conference on Precision Agriculture, Book of abstracts*. Uppsala (Sweden) June 9-11. 2005, p. 99-101
62. GOURD, T. Controlling weeds using propane generated flame and steam treatments in crop and non croplands. Final report. Organic farming research project report submitted to the Organic Farming Research Foundation. Colorado State University, 2002. p. 30.
63. GUO YU QIU, BEN-ASHER, J.; YANO, T.; MOMII, K. Estimation of Soil Evaporation Using the Differential Temperature Method. *Soil Science Society of America J*. 1999. Vol.. 63, p. 1608-614.
64. GUO YU QIU; KOICHI MIYAMOTO; SADANORI SASE; YONG GAO; PEIJUN SHI; TOMOHISA YANO. Comparison of the three- Temperature Model and Conventional Models for Estimating Transpiration. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 2002. 36 (2), p. 73-82.
65. HANSON, D.; ASCARD, J. Influence of developmental stage and time of assessment on hot water weed control. *Weed Research*. 2002, N. 42, p.307-316.
66. HANSSON, D. Hot water for weed control on urban bard surface areas. *European Weed Research Society. 5th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control* Pisa, Italy, 11-13 March 2002. 2003, p. 242-243.
67. HANSSON, D.; SVENSSON, S. E. Steaming soil in narrow strips for intra-row weed control in sugar beet. *European Weed Research Society. Proceedings of 6th EWRS on Physical and Cultural Weed Control*. Lillehammer, Norway. 2004. p. 152.
68. HANSSON, D.; SVENSSON, S. Effect of flame weeding at different time intervals before crop emergence. *European Weed Research Society. Proceedings of 9th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*, Samsun, Turkey, 2011, p. 65-78.
69. HANSSON, D.; SVENSSON, S. Steaming soil in narrow bands to control weeds in row crops.*Proceedings of 7th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Salem, Germany, 2007, p 137.
70. HARRY, A.; RAJAMANNAN, A. H. J. Method of using hot air foam to kill vegetation. United States, Patent No.:US 2005/0116071 A1. 2005 07 02.
71. HEO, J.; LEE, C.; CHAKRABARTY, D.; PAEK, K. Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a Light-Emitting Diode (LED). *Plant growth Regulation*. 2002, 38, p. 225–230.
72. HERVE, COCHARD; LLUIS, COLL; XAVIER, LE ROUX; THIERRY, AMEGLIO. Unraveling the Effects of Plant Hydraulics on Stomatal Closure during Water Stress in Walnut. *Plant Physiology*. 2002, Vol. 128, p. 282-290.
73. HOFFMANN, M. Abflammtechnik. Münster – Hiltrup: Landwirtscha-ftsverlag, 1989.

74. HOFFMANN, M. Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft der Abflammtechnik. *Beikrautregulierung statt Unkrautbekamptung*. Karsruhe. 1989, S. 137-142.
75. HOFFMANN, M. Maisunkräuter Abflammen. 1975.
76. HOLMOY, R.; STOREHEIER, K. J.; BERGE, A. Selective Flaming – Fundamental Measurements and Practical Use. *4th EWRS Workshop on Physical Weed Control* ELSPEET, the Netherlands, 20-22 March, 2000, p.42-47.
77. HOLMOY, R.; STOREHEIER, K.J. Selective flaming in the plant row and
78. INCROPERA, F. P.; DEWITT D. P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 5th Edition. Hardcover, 2001. 1008 p.
79. INCROPERA, F.P.; DEWITT D. P. Fundamentals of Heat Transfer. New York, Brisbane, Toronto, Singapore, 1981. 819 p.
80. ІЛЬКУН, Г.М. Енергетичний баланс рослин. Киев, 1967. 234 с.
81. JODAUGIENĖ, D.; RAUDONIUS, S.; ŠPOKIENĖ, N. Piktžolių ekologija. Akademija, 2008. 108 p.
82. KAJALAVIČIUS, A. Medienos hidroterminis apdirbimas ir konsevavimas. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidykla. 1992. 323 p.
83. KAJALAVIČIUS, A.; ALBREKTAS, D. Medienos hidroterminio apdorojimo teorija ir įranga. Technologija. 2010, 163 p.
84. KAJALAVIČIUS, A.; ALBREKTAS, D. Pjautinės medienos kamerinis konvekcinis džiovinimas. Technologija. 2010, 212 p.
85. KLESCHNIN, A F. Die Pflanze und das Licht. Akademieverlag, Berlin, 1960, 620 p.
86. KNEZEVIC, S.; COSTA, C.; ULLOA, S.; DATTA, A. Response of corn (*Zea mays* L.) types to broadcast flaming. *Proceedings of 8th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control.* Zaragoza, Spain, 2009, p. 92-97.
87. KNEZEVIC, S.; DATTA, A.; STEPANOVIC, S.; BRUENING, C.; NEILSON, B.; GOGOS, G. Weed control with flaming and cultivation in maize. *European Weed Research Society. Proceedings of 9th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control,* Samsun, Turkey, 2011, p. 79.
88. KNEZEVIC, S.; DATTA, A.; ULLOA, S. Growth stage impacts tolerance to broadcast flaming in agronomic crops. *Proceedings of 8th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control.* Zaragoza, Spain, 2009, p. 86-91.
89. KNEZEVIC, S.; NETO, J.; ULLOA, S.; DATTA, A. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) tolerance to broadcast flaming. *Proceedings of 8th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control.* Zaragoza, Spain, 2009, p. 104-110.
90. KNEZEVIC, S.; ULLOA, S.; DATTA, A.; BRUENING, C.; GOGOS, G. Weed control and crop tolerance to propane flaming *European Weed Research Society. Proceedings of 9th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control,* Samsun, Turkey, 2011, p. 66-79.
91. KURFESS, W. Untersuchungen zum Einsatz von Heißwasser zur thermischen Unkrautregulierung. Stuttgart, 2000. 126 S.
92. KURFESS, W.; GUTBERLETT, B.; KLEISINGER, S. Hot water on weeds. *Landtechnik*. 1999, N.54, p.148-149.
93. LAGUE, C.; GILL, J.; PELEQUIN, G. Thermal control in plant protection. Berlin. Springer, 2001, p.35-46.

94. LAMBERS, H. Plant physiological ekology. New York. Springer, 2006. 540 p.
95. LARCHER, W. Physiological Plant Ecology. Springer, 1995. 506 S.
96. LAZAUSKAS, P. Agrotechnika prieš piktžoles. Vilnius. Mokslas, 1990, 214 p.
97. LAZAUSKAS, P.; PILIPAVIČIUS, V.; KUČINSKAS, J.; DANILČENKO, H. ir kt. Ekologinis žemės ūkis. Akademija, 2008. 377 p.
98. LAZAUSKAS, P. Pasėlių produktyvumo dėsnis, paversiantis žemdirbystės discipliną mokslu. *Žemės ūkis*. 2010, Nr. 12, p. 8–12.
99. LEROUX, G. D.; DOUHERET, J.; LANOUETTE, M. Flame weeding in corn. Berlin. Springer, 2001, p.47-60.
100. LESKAUSKAS, BALANDIS, A.; ŠINKŪNAS, S.; VAICKELIONIS, G.; VALANČIUS, Z. Chemijos inžinerija. II knyga. Technologija. 2007. 536 p.
101. LEVITT, J. Response of plants on environmental stresses: Academic Press. New York, 1972. 697 p.
102. LEVITT, J. Response of plants on environmental stresses. Academic Press. New York,1980. Bd 1.
103. LICHTENHAHN, M.; KOLLER, M.; DIERAUER, H.; BAUMANN, D. Weed control in organc vegetable cultivation. *Technical guide. Organic Agriculture Centre of Canada.* English Translation of the Swiss Version, 2005, p. 12.
104. Lietuvos energetika. Lietuvos ūkio ministerija. Vilnius, 1998, 2006. 18 p.
105. LIETUVOS ŽEMDIRBYSTĖS INSTITUTAS. Šių dienų augalų apsauga mokslo ir agroverslo kontekste. Kaunas: Arx-Baltica, 2007. 268 p.
106. LIUTIKAS, N.; GUDZINSKAS, J. Termohidromechanika. Kaunas: Technologija, 2001. 377 p.
107. MADER, S. S. Biologija. Vilnius: Alma littera, 1999. 276 p.
108. MAKAREVIČIUS, V. Šilumos pernešimo procesų esant faziniams virsmams stilizatoriuose tyrimas. *Energetika*. Lietuvos MA leidykla 2001, Nr. 1, p. 54-65.
109. MARCINKEVIČIENĖ, A.; BOGUŽAS, V. Piktžolėtumo kontrolė žemės dirbimu ir tarpiniais pasėliais. *LŽŪU mokslo darbai*. 2006, Nr. 71 (24), p. 40-45.
110. MEYER, J. Semi-automatic machine guidance system. *5th EWRS Workshop on Physical Weed Control* Pisa, Italy. 2002, p. 287-291.
111. MEYER, J.; BERTRAM, A. Strategies for optimizing the physical weed control integrated and organic farming, Weed Control. *3rd EWRS Workshop on Physical Weed Control*: University of London, UK: Abstracts. March 23-25, London, 1998, p. 23.
112. MELANDER, A.; HANSON, D. Weeds are not just weeds. *Conference on Sustainable Weed Management on Hard Surfaces in Urban Areas*. University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark 2007.
113. MELANDER, B.; HEISEL, T.; JØRGENSEN, M.H. Band-steaming for intra-row weed control. *5th Workshop of the EWRS Working Group: Physical and Cultural Weed Control*, Pisa, Italy, 2002. p. 216-219.
114. MELANDER, B.; JØRGENSEN, M. H. Soil steaming to reduce intra row weed seeding emergence. *Weed Research*. 2005, 45, p. 202-211.
115. MELANDER, B.; JORGENSEN, M. H.; ELSGAARD, L. Recent results in the development of band steaming for intra-row weed control. *6th EWRS Workshop on Physical Weed Control.* Lillehammer, Norway, 8-10 March, 2004, p. 154.

116. MISRA, A. K.; DANIEL, H.; TILL, R.; BLAIR, G. Effect of long term crop rotations and re-wetting of soil on stability. *Soil use and management*. 1999, vol. 15, p. 254-255.
117. MONSTVILAITĖ, J. Laukų piktžolėtumo problemos. Dotnuva–Akademija, 1996. 86 p.
118. MONSTVILAITĖ, J. Piktžolės ir herbicidai. Vilnius, 1986, 337 p.
119. MOONEN, A.C.; BÀRBERI, P.; RAFFAELLI, M.; MAINARDI, M.; PERUZZI, A.; MAZZONCINI, M. Soil steaming with an innovative machine – effects on the weed seedbank. *5th EWRS Workshop on Physical Weed Control.* Pisa, Italy, 2002, p. 230-236.
120. NOBEL, P. S. Physicochemical and Environmental Plant physiology. Academic press, 2005. 567 p.
121. NOBEL, P. S. Physiological and Environmental Plant physiology. Academic press, 1991. 635 p.
122. ORSOLYA, P.; PETER, P.; PETER, R. Thermal method to control dangerous weeds. *Cereal Research Communications*. 2007, Vol. 35, (2) p. 885-888.
123. PEDIŠIUS, A.; ŠLANČIAUSKAS, A. Heat transfer augmentation in turbulent flows. New York-Kaunas, Begell house, 1995. 266 p.
124. PERUZZI, A. I controllo fisico delle infestanti su spinacio in coltivazione biologica ed integrata nella bassa valle del serchio. *Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali „E. Avanzi“* – Universita di Pisa Comune di San Giuliano Terme e Comune di Vecchiano, 2006. 111 S.
125. PERUZZI, A. La gestione fisica delle infestanti su carota biologica. *Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali „E. Avanzi“* – Universita di Pisa e ARSSA-Arbuzzo. 2005. 143 p.
126. PERUZZI, A.; RAPPAELIN, M.; DI CIOLO, S. Selective flame weeding in maize sunflower and soybean, Weed Control. *3rd EWRS Workshop on Physical Weed Control*. University of London, UK: Abstracts. March 23-25, London, 1998. p. 25.
127. PERUZZI, A.; BORELLI, M.; MAZZONCINI, M.; RAFFAELLI, M.; GINANNI, M.; BARBERI, P. Weed seeds by steam and substances in exothermic reaction. *6th EWRS Workshop on Physical Weed Control* Lillehammer, Norway, 8-10 March, 2004, p. 155-165.
128. PERUZZI, A.; FONTANELLI, M.; FRASCONI, C.; RAFFAELLI, M.; SORELLI, F. Broadcast flaming in warm-season turfgrasses. *European Weed Research Society. Proceedings of 9th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*, Samsun, Turkey, 2011, p.80.
129. PERUZZI, A.; GINANNI, M.; RAFFAELLI, M.; BORELLI, M. Physical weed control in organic spinach production. *6th EWRS on Physical and Cultural Weed Control*. Lillehammer, Norway. 2004. p. 15-23.
130. PERUZZI, A.; GINANNI, M.; RAFFAELLI, M.; FONTANELLI, M. Physical weed control in organic fennel cultivated in the Fucino Valley (South Italy). *Proceedings of 7th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Salem, Germany, 2007, p 32-40.

131. PERUZZI, A.; GINANNI, M.; RAFFAELLI, M.; FONTANELLI, M. Physical weed control in organic chicory cultivated in the Fucino Valley (South Italy). *Proceedings of 7th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Salem, Germany, 2007, p. 22-31.
132. PERUZZI, A.; GINANNI, M.; RAFFAELLI, M.; FONTANELLI, M.; FRASCONI, C.; LULLI, L. Physical weed control in organic carrot in the Catania plain (Sicily-South Italy). *Proceedings of 7th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Salem, Germany, 2007, p 41-52.
133. PERUZZI, A.; RAFFAELLI, M.; GINANNI, M.; BORELLI, M. Physical weed control in organic carrot production. *6th EWRS on Physical and Cultural Weed Control*. Lillehammer, Norway, 2004, p. 24-38.
134. PETRUŠEVIČIUS,V.; RAILA, A. Augalininkystės produktų džiovinimas storame nejudančiame sluoksnyje. Akademija, 2009. 262 p.
135. PILIPAVIČIUS V. Augalininkystės technologijos ekologinės gamybos ūkiuose, metodinė priemonė ekologinės gamybos įmonių darbuotojams ir ūkininkams Programos Leader ir žemdirbių mokymo metodikos centras, Lietuvos žemės ūkio universitetas, Lietuvos Respublikos žemės ūkio rūmai. Vilnius, 2009. 72 p.
136. PILIPAVIČIUS, V. Ausfall von Unkrautsamen in Abhangigkeit von Unkrautbiomasse und Unkrautdichte. *Journal of Plant Diseases and Protection*. Supplement XVIII. 2002. p. 239-245.
137. PILIPAVIČIUS, V. Piktžolių plitimo dėsningumai ir adaptyvumas. *Habilitacijos procedūrai teikiamų mokslo darbų apžvalga*. LŽŪU–Akademija, 2007. 26 p.
138. PILIPAVIČIUS, V.; ROMANECKIENE, R.; RAMASKEVICIENE, A.; SLIESARAVICIUS, A. Effect of CO_2 and temperature combinations on *Chenopodium album* L. early growth. *Agronomy Research*. Vol. 4, special issue. 2006. p. 311-316.
139. PUPALIENĖ, R. Įvairaus intensyvumo žemdirbystės sistemų poveikis vasarinių miežių agrocenozei. Dr. disertacija. LŽŪU, Akademija, 2004, 126 p.
140. RAFFAELLI, M.; FILIPPI, F.; PERUZZI, A.; GRAIFENBERG, A. Flaming for intra-row weed control in Globe Artichoke. *6th EWRS on Physical and Cultural Weed Control.* Lillehammer, Norway. 2004. p. 166-169.
141. RAFFAELLI, M.; PERUZZI, A.; FONTANELLI, M.; GINANNI, M.; LULLI, L.; FRASCONI, C. Development of a new self-propelled flaming machine for treatment in urban areas. *Proceedings of 7th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Salem, Germany, 2007, p 169-173.
142. RAILA, A. J. Termoenerginiai procesai sandėliuojamų augalininkystės produktų sluoksnyje. Habil.darbas. LŽŪU, 1995. 74 p.
143. RAJAMANNAN, A. H. J. Method of using hot foam to kill vegetation and pests. United States, Patent 5,575,111. 1996.
144. RASCHKE, K. Über die physikalischen Beziehungen zwischen Wärmeübergangszahl. Strahlungsaustausche, Temperatur und Transpiration eines Blattes. *Planta*. 1965, Nr. 48. p. 200-238.
145. RASK, A.; KRISTOFFERSEN, P.; ANDREASEN, C. Can image analysis be a tool to measure changes in vegetation cover after flame treatments? *European*

Weed Research Society. Proceedings of 9th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Samsun, Turkey, 2011, p.81.

146. RASMUSSEN, J. Punch planting, flame weeding and stale seedbed for weed control in row crops. *Weed Research*. Vol. 43. No. 6. 2003, p.393-403.
147. REVANKAR, S.T.; POLLOCK, D. Laminar film condensation in a vertical tube in the presence of noncondensable gas. *Applied Mathematical Modelling*, 2005, v.29, p. 341-359.
148. RIFAI, M. N.; ASTATKIE, T.; LACKO-BARTOSOVA, M.; GADUS, J. Effect of two different thermal units and three types of mulch on weeds in apple orchards. *J. Environmental. Engineering and Science.* Vol. 1, Canada, 2003, p. 331-338.
149. RIFAI, M. N.; MILLER, J.; GADUŠ, J.; OTEPKA, P.; KOŠIK L. Comparison of infrared, flame and units for their use in plant protection. *Research Agriculture Engineering.* 49, 2003 (2), p.65-73.
150. ROBERTS, H. A.; DAWKINS, P. A. Effect of cultivation on the numbers of viable weed seeds in soil. *Weed Research*. 1967, Vol.7, N.4, p. 290-301.
151. ROBERTS, H. A.; POTTER, M. E. Emergence patterns of weed seedlings in relation to cultivation and rainfall. *Weed Research.* 1980, Vol. 20, N.6, p.377-386.
152. SCHLICHTING, H.; GERSTEN, K. Boundary Layer Theory. 8th, Ed. Berlin, Springer Verlag, 2000, 799 p.
153. SCHON, H. Landtechnik, Bd.3. Munchen, Wien, Zurich. 1998, p. 223-233.
154. SCHOPFER, P. Pflanzenphysiology. Munchen, 2006. Elsevier. 700 S.
155. SIVESIND, E.C.; LEBLANC, M.L.; CLOUTIER, D.C.; SEGUIN, P.; STEWART, K.A. Weed response to flame weeding at different developmental stages. *Weed Technology*. 2009. Vol. 23, No. 3, p. 438-443.
156. SJURSEN, H.; NETLAND, J. Thermal weed control by steaming in vegetable crops. *European Weed Research Society. Proceedings of 6th EWRS on Physical and Cultural Weed Control*. Lillehammer, Norway. 2004. p.179.
157. SKRINSKA, A. Heat transfer. Vilnius: Technika, 2006. 237 p.
158. SLAUGHTER, D. C.; GILES, D. K.; DOWNEY, D. Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2008. Vol. 61 Issue 1, p. 63-78.
159. SONNEVELD, C.; VOOGT, S. The effects of strerilisation with steam-air mixtures on the development of some glasshouse crops. *Plant and soil*.1973, T.38, p.415-423.
160. SPITTERS, C.J.T.; AERTS, R. Simulation of competition for light and water in crop weed associations. *Aspects of applied Biology*. 1983, p. 467-484.
161. STANCEVIČIUS, A.; ŠPOKIENĖ, N. Piktžolių sėklų dygimo dinamika vegetacijos laikotarpiu. *LŽŪA mokslo darbai*. 1972, T.18. sąs.1(47), p.15-24.
162. STAŠAUSKAITĖ, S. Augalų fiziologijos laboratoriniai ir lauko bandymai. Vilnius: Aldorija. 1999. 415 p.
163. STAŠAUSKAITĖ, S. Augalų vystymosi fiziologija. Vilnius, 1995. 226 p.
164. STRAVINSKIENĖ, V. Aplinkos bioindikacija. Kaunas. Vytauto Didžiojo universitetas, 2009. 332 p

165. STRAVINSKIENĖ, V. Ekologijos įvadas. Kaunas. Vytauto Didžiojo universitetas, 2001. 155 p.
166. SULLIVAN, J.M. The geometry of burbles and foams. *Foams and Emulsijon*, 1997, p. 379-402.
167. ŠINKŪNAS, S. Šilumos pernašos procesai. *Chemijos inžinerija. II knyga*. Technologija. 2007, p. 2-122.
168. ŠINKŪNAS, S.; KIELA. Heat transfer for film cobdensation of vapour. *Mechanika*. Kaunas: Technologija, 2011, Nr.1, p.8-13.
169. ŠLAPAKAUSKAS, V. Augalų ekofiziologija. Kaunas: Lututė, 2006. 413 p.
170. ŠVENČIANAS, P.; ADOMAVIČIUS, A. Inžinerinė termodinamika. Kaunas: Technologija, 2011. 309 p.
171. TEI, F.; STAGNARI, F.; GRANIER, A. Preliminary results on physical weed control in spinach. *European Weed Research Society. 5th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control.* Pisa, Italy, 11-13 March 2002.2003, p. 164-171.
172. TINDALL, D.W.; REID, D.G.; JAMES G.W. Method for weed control with hot foam. E01H 11/00, A01H 25/16, A01M 21/04. Auckland. Nr.: WO2003/026414, European patent. 2003.
173. URBIENĖ, S. Maisto toksikologijos pagrindai. Akademija, 2010, 372 p.
174. URBONAVIČIŪTĖ, A.; SAMUOLIENĖ, G.; BRAZAITYTĖ, A.; JANKAUSKIENĖ, J.; KURILČIK, A.; DUCHOVSKIS, P.; ŽUKAUSKAS, A. Augalų fotofiziologiniai tyrimai aukštosioms technologijoms. *Sodininkystė ir daržininkystė*.LSDI mokslo darbai 27(3). 2008. p. 253-261.
175. VAITIEKŪNAS, P. Konvekcinio pernešimo skaitinis modeliavimas. LEI, 1998. 263 p.
176. VALDE, K. New Flame equipment and brush weeder for small areas, Weed Control. *3rd EWRS Workshop on Physical Weed Control* Wye College, University of London, 1998. p. 27.
177. VAN der WEIDE, R.; BLEEKER, P.; ACHTEN, V.; LOTZ, L.; FOGELBERG, F.; MELANDER, B. () Innovationin mechanical weed control in crop rows. *Weed research.* 2008, 48, p 215-224
178. VAND ROOD, A.C. Thermische Neutralisierung der Pilzkrankheit Phytophora Intertans im Kartoffelbau. *Beikrautregulierung statt Unkrautbekamptung*. Karsruhe, 1989, p.150-153.
179. VANHALA, P. Relationship between the timing of seedbed preparation and efficacy of preemergence flaming. *4th EWRS Workshop on Physical Weed Control.* Elspeet, the Netherlands, 2000, p.1-5.
180. VANHALA, P.; KURTSJENS, D.; ASCARD, J.; BERTRAM, A.; CLOUTIER, D. C.; MEAD, A.; RAFFAELLI, M. Guidelines for physical weed control research: flame weeding, weed harrowing and intra-row cultivation. *6th EWRS on Physical and Cultural Weed Control.* Lillehammer, Norway. 2004. p.208-239.
181. VASINAUSKAS, P. Bendroji agrotechnika. Mokslas, 1989. 231 p.
182. VELIČKA, R. Rapsai. Monografija. Kaunas, 2002. 320 p.
183. VIDOTTO, F.; DE PALO, F.; LETEY, M.; MANCUSO, T. Cost comparison between soil steaming and conventional methods for weed seed control. *Procee-*

dings of 9th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Samsun, Turkey, 2011, p. 82-83.

184. VIDOTTO, F.; LETEY, M.; RICAUDA-AIMONINO, D. Effects of soil steaming on weed seed viability. *Proceedings of 8th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Contro.l* Zaragoza, Spain, 2009, p. 113-114.
185. WEAIRE, D.; HUTZLER, S.; COX, S.; KERN, N.; ALONSO, M.D.; DRENCKHAN,W. The fluid dynamics of foms. *Journal of Physics*, 2003, No.15, p.65–73.
186. WEAIRE, D.; PHELAN, R.; VERBIST, G. The strukture and geometry of foams. *Foams and Emulsion*, 1997, p. 1-19.
187. WHITNEY, J.D. Flaming weeds and Grasses in Young Nonbearing citrus Trees. *Proceedings of the 5th Annual Symposium on Thermal Agriculture*. NGPA, 1968, p. 57-62.
188. WILKERSON, G. G.; JONES, J. W.; COBLE, H. D.; GUNSOLUS, J. L. Soyweed: a simulation model of soybean and common coclebur growth and competition. *Agronomy Journal*, Vol. 82, 1990, p.100-110.
189. WSZELAKI, A.L.; DOOHANA, D.J.; ALEXANDROU, A. Weed control and crop quality in cabbage (*Brassica oleracea* (capitata group) and tomato (*Lycopersicon lycopersicum*) using a propane flamer. *Crop Protection* 26, 2007. p. 134-144.
190. ŽEKONIENĖ, V.; DAUGELIENĖ, N.; BAKUTIS, B. Mokslinių rekomendacijų taikymo ekologiniame ūkyje pagrindai. Lietuvos žemės ūkio universitetas, 2006, 146 p.
191. ŽUKAUSKAS, A. High - performance single-phase heat exhangers. N.Y. London, 1989. 515 p.
192. ŽUKAUSKAS, A.; ŽIUGŽDA, J. Cilindro šilumos atidavimas skersiniame skysčio sraute. Vilnius: Mokslas, 1979. 238 p.
193. АЛЕКСИНА, Н. Д. Физиология расстений. Москва, 2007. Академия, 634 с.
194. АУДЗЕВИЧЮС, В.А. Интенсификация процесса искуственной сушки красног клевера на сушльной установке барабаного типа. Автореф.дисс. канд. тех. наук. LŽUA, Каунас, 1967, 20 с.
195. БЛОХ, А. Г. Основы теплообмена излучением, Госенергоиздат, Москва, 1962, 408 с.
196. ВАЛУШИС, В. Основы высокотемпературной сушки кормов. Москва, 1977. 302 с.
197. ВЕРЕТЕННИКОВ, А. В. Физиология расстений. Москва, 2006. 479 с.
198. ВОЮЦКИЙ, С.С. Курс коллойдной химии. Москва: Химия, 1984, 574 с.
199. ВУКАЛОВИЧ, М .П.; НОВИКОВ, И. Техническая термодинамика. Москва, 1968. 496 с.
200. ДВОЙШНИКОВ, В. А.; ДЕЕВ, Л. В.; ИЗЮМОВ, М. А. Конструкция и расчет котлов и котельных установок. Москва, Машиностроение, 1988. 263 с.
201. ДЗЮБЕНКО, Б. В.; АШМОНТАС, Л. В.; МЯКОЧИН, А. С. Термо-динамика. Вильнюс, 2006. 302 с.
202. ДРАГАНОВ, Б. Х. Теплотехника. М., Энергоатомиздат, 2006,432 с.
203. ДРАГАНОВ, Б. Х.; КУЗНЕЦОВ, А.В.; РУДОБАШТА, С. П. Тепло-техника и применение теплоты в сельском хозяйстве. Москва Агропромиздат, 1990, 464 с.

204. ЖУКАУСКАС, А. Конвективный перенос в теплообменикаx. Москва: Наука, 1982, 472 с.
205. ЖУКАУСКАС, А.; ЖЮГЖДА, И. Теплоотдача цилиндра в поперечом потоке жидкости. Вильнюс, 1979. 238 с.
206. ЖУКАУСКАС, А.; МАКАРЯВИЧЮС, В.; ШЛАНЧЯНСКАС, А. Теплотдача пучков труб в поперечном потоке жидкости. Вильнюс, 1968. 190 с.
207. ЖУКАУСКАС, А.; МАРТИНЕНКО, О. Успехи теплопередачи. Вильнюс, 1988. 187 с.
208. ИЛЬКУН, Г. М. Энергетический обмен растений со средной и его физиологическая роль. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. д-ра. биол. наук. Киев, 1966. 32 с.
209. КЛЕШНИН, А. Ф. Физиологические основы светокультуры расстений: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. д-ра. биол. наук. Ленинград, 1960. 32 с.
210. КЛЕШНИН, А.Ф.; ШУЛГИН, И.А.; БОКОВАЯ, М.Н. Об уделной теплоемкости и связанной воде растении. *ДОК АН СССР*. 1958, т.122, Вып.5, с.940-943.
211. КУТАТЕЛАДЗЕ, С. С. Основы теории теплообмена. Москва. 1957
212. ЛЫКОВ, А.В. Теория сушки. Москва, 1968. Енергия, 471с.
213. МИХЕЕВ, М. А. Основы теплопередачи. Москва. 1956, 1977, 343.с.
214. НАЩОКИН, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача. М., 1975. 495 с.
215. НЕВОЛИН, Ф. В. Химия и технология синтетических моющих средств. Москва Пищевая промышленность, 1971, 424 с.
216. АДЧЕНКО, С. И. Температурные градиенты среды и растения. М. – Л.: Наука, 1966. 386 с.
217. Справочник по теплообменникам. Т.1-2. Москва: Энергоиздат, 1987.
218. ТИХОМИРОВ, В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. Москва: Химия, 1983, 263 с.

Turinys

	ĮVADAS	9
1.	TERMINĖ PIKTŽOLIŲ KONTROLĖ	11
1.1.	Piktžolių kontrolės problema	12
1.2.	Piktžolių terminio naikinimo procesų teorinis pagrindas	18
1.3.	Piktžolių jautrumas aukštatemperatūrei aplinkai. *P.A.Sirvydas* (0,5), *R..Staniulienė* (0,5)*	21
1.4.	Piktžolių terminio naikinimo istorija ir šiandieninė patirtis	24
2.	AUGALO AUDINIŲ TERMINIO PAŽEIDIMO PROCESAS	33
2.1.	Augalo dalių temperatūrinis apykaitos su aplinka sluoksnis	33
2.2.	Augalo terminio pažeidimo būdai	44
2.3.	Augalo paviršiaus audinių šilimo procesas	47
2.4.	Augalo audinių terminio pažeidimo procesas. *P.A.Sirvydas* (0,5), *J.Čėsna* (0,5)	53
3.	AUGALO ENERGIJŲ BALANSAS TERMIŠKAI NAIKINANČIOJE APLINKOJE	63
3.1.	Augalo energijų balansas	63
3.2.	Augalo energijų balanso nariai aukštatemperatūrėje aplinkoje	67
3.3.	Augalo energijų balansas karštų dujų aplinkoje	76
3.4.	Augalo energijų balansas vandens garo aplinkoje	79
3.5.	Augalo, termiškai pažeisto “žiedu” letalaus proceso energijų balansas	80
3.6.	Augalo, termiškai pažeisto „žiedu”, sukeliant dalinį audinių pažeidimą, energijų balansas	82
4.	AUGALUS TERMIŠKAI NAIKINANTI APLINKA	85
4.1.	Aukštatemperatūrė aplinka	85
4.2.	Karštų dujų aplinka	88
4.3.	Vandens ir vandens garo aplinka	94
4.4.	Karštų dujų ir drėgnojo vandens garo mišinio aplinka	101
4.5.	Putų aplinka. *P.A.Sirvydas* (0,5), *R.Čingienė* (0.5)	108

* Autoriaus indėlio dalis poskyryje

5. AUGALUS TERMIŠKAI NAIKINANČIOS APLINKOS SUDARYMAS 115
5.1. Garo gamybos metu vykstantys termodinaminiai procesai 118
5.2. Garo tiekimo sistemoje ir skleidiklyje vykstantys termodinaminiai procesai 122
5.3. Terminiam piktžolių naikinimui reikalingų vandens garo parametrų termodinaminis pagrindimas 130
6. AUGALUS TERMIŠKAI NAIKINANČIOS APLINKOS POVEIKIS DIRVAI 137
6.1. Temperatūros lauko modeliavimas viršutiniame dirvos sluoksnyje. *P.A.Sirvydas* (0,5), *J.Nadzeikienė* (0,5) 138
6.2. Terminio piktžolių naikinimo karštomis dujomis poveikis dirvai. *P.A.Sirvydas* (0,5), *J.Nadzeikienė* (0,25), *S.Čekanauskas* (0.25) 142
6.3. Terminio piktžolių naikinimo drėgnuoju vandens garu poveikis dirvai. *P.A.Sirvydas* (0,5), *J.Nadzeikienė* (0,25), *S.Čekanauskas* (0.25) 149
6.4. Šilumos sąnaudos dirvos viršutiniam sluoksniui šildyti. *P.A.Sirvydas* (0,5), *J.Nadzeikienė* (0,25), *S.Čekanauskas* (0.25) 160
7. PIKTŽOLIŲ TERMINIO NAIKINIMO TECHNOLOGINIS PROCESAS 165
7.1. Temperatūros kitimas terminio piktžolių naikinimo metu 165
7.2. Paruošiamasis periodas 170
7.3. Terminio poveikio piktžolėms periodas 173
7.4. Augalo audinių aušimo ir termiškai pažeisto augalo pasekmių periodai 175
7.5. Terminis piktžolių naikinimas naudojant skirtingų temperatūrų zonas 176
7.6. Garo sklaida aplink augalą 180
7.7. Garo sklaida dirvos paviršiuje 185
7.8. Garo srauto temperatūros kitimas lygiame dirvos paviršiuje. *P.A.Sirvydas* (0,5), *S.Čekanauskas* (0.25), *P.Kerpauskas* (0,25) 191
8. AGROTECHNINIAI VEIKSNIAI, VEIKIANTYS TERMINĮ PIKTŽOLIŲ NAIKINIMĄ 197
8.1. Garo srauto temperatūros kitimas profiliuotame dirvos paviršiuje Profiliuoto. *P.A.Sirvydas* (0,5), *S.Čekanauskas* (0,5) 197
8.2. Temperatūros kitimas statiškai stabiliose putose lygiame dirvos paviršiuje. *P.A.Sirvydas* (0,5), *R.Čingienė* (0,5) 205

8.3. Statiškai stabilių putų naudojimas profiliuotame dirvos paviršiuje. *P.A.Sirvydas* (0,5), *R.Čingienė* (0,5) 210
8.4. Dirvos profiliavimas sėjos metu. *P.A. Sirvydas* (0,5), *S. Čekanauskas* (0,5) 212
9. BIOLOGINIAI VEIKSNIAI, VEIKIANTYS TERMINĮ PIKTŽOLIŲ NAIKINIMĄ 215
9.1. Augalo dygimo energijų ir maisto medžiagų balansas 215
9.2. Augalo morfologinių požymių įtaka šilumos plitimui laidžiu piktžolės audiniais. *P.A. Sirvydas* (0,5), *J. Nadzeikienė* (0,25), *R. Staniulienė* (0,25) 218
9.3. Dviskilčių piktžolių terminio naikinimo ypatumai 231
9.4. Miglinių piktžolių terminio naikinimo ypatumai. *P.A.Sirvydas* (0,5), *R.Vasinauskienė* (0,25), *R..Staniulienė* (0,25) 238
9.5. Skrotelinių piktžolių terminio naikinimo ypatumai. *P.A. Sirvydas* (0,5), *R. Vasinauskienė* (0,25), *R. Staniulienė* (0,25) 246
10. TERMINIO PIKTŽOLIŲ NAIKINIMO TECHNOLOGIJOS 257
10.1. Piktžolių terminio naikinimo technologija svogūnų pasėlyje. *P.A. Sirvydas* (0,5), *R. Vasinauskienė* (0,25), *P. Kerpauskas* (0,25) 258
10.2. Piktžolių terminio naikinimo technologija morkų pasėlyje. *P.A. Sirvydas* (0,5), *R. Vasinauskienė* (0,25), *P. Kerpauskas* (0,25) 268
11. TERMINIO PIKTŽOLIŲ NAIKINIMO ĮRENGINYS 281
11.1. Piktžolių terminio naikinimo įrenginių, naudojančių drėgnąjį vandens garą, energijų balansas 282
11.2. Terminio piktžolių naikinimo įrenginio energijų balanso narių vertinimas 284
11.3. Terminio piktžolių naikinimo įrenginio, dirbančio vandens garu, energinis vertinimas 289
11.4. Mobilusis terminio piktžolių naikinimo įrenginys. *P.A. Sirvydas* (0,5), *P. Kerpauskas* (0,25), *S. Čekanauskas* (0,25) 293
APIBENDRINIMAS 300
LITERATŪRA 302
Monografijoje apibendrinti autorių darbai 302
Publikacijos 302
Patentai, išradimai 308
Disertacijos 309
Monografijoje cituoti kitų autorių darbai 310

Content

	INTRODUCTION	9
1.	THERMAL WEED CONTROL	11
2.	THE PROCESS OF THERMAL VIOLATION OF PLANT TISSUES	33
3	THE BALANCE OF PLANT ENERGIES IN THERMAL EXTERMINATING ENVIRONMENT	63
4.	THERMAL ENVIRONMENT EXTERMINATING PLANTS	85
5.	FORMATION OF THERMAL ENVIRONMENT EXTERMINATING PLANTS	115
6.	IMPACT OF THERMAL ENVIRONMENT EXTERMINATING PLANTS TO SOIL	137
7.	TECHNOLOGICAL PROCESS OF THERMAL WEED CONTROL	160
8	AGROTECHNICAL FACTORS INFLUENCING THERMAL WEED CONTROL	197
9.	BIOLOGICAL FACTORS INFLUENCING THERMAL WEED CONTROL	215
10.	TECHNOLOGIES OF THERMAL WEED CONTROL	257
11.	DEVICE OF THERMAL WEED CONTROL	281
	SUMMARY	300
	CITED LITERATURE	302

Оглавление

	ПРЕДИСЛОВИЕ	9
1.	ТЕРМИЧЕСКОЕ УНИЧТОЖЕНИЕ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ	11
2.	ПРОЦЕСС ТЕРМИЧЕСКОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ТКАНЕЙ РАСТЕНИЙ	33
3	ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС РАСТЕНИЙ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СРЕДЕ	63
4.	СРЕДЫ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО УНИЧТОЖЕНИЯ РАСТЕНИЙ	85
5.	СОЗДАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СРЕД	115
6.	ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СРЕД НА ПОЧВУ	137
7.	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС УНИЧТОЖЕНИЯ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ	160
8	АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕРМИЧЕСКОЕ УНИЧТОЖЕНИЕ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ	197
9.	БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕРМИЧЕСКОЕ УНИЧТОЖЕНИЕ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ	215
10.	ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОГО УНИЧТОЖЕНИЯ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ	257
11.	ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО УНИЧТОЖЕНИЯ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ	281
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	300
	ЛИТЕРАТУРА	302

P. A. Sirvydas, P. Kerpauskas. **Terminis piktžolių naikinimas**.
Aleksandro Stulginskio universitetas. Kaunas, Akademija, 2012.

ISBN 978-609-449-014-9

Algimantas.Sirvydas@asu.lt
Pauliu.Kerpauskas@asu.lt

SL 399. 2012.02.08. Sp. l. 20,5. Tiražas 100. Užsakymo Nr. 4. Leido ir spausdino ASU Leidybos centras – 2012. Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno r.