

Langtids effekten af dyb jordløsning - samt indflydelse på sammendyrkning.

Bachelorprojekt i jordløsning
Af Lone Urbrand Larsen L10232



Vejleder: Lektor Jesper Rasmussen
Institut for Jordbrugsvidenskab
Økologisk jordbrug
Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole
August 2003

Resumé

Formålet med dette projekt har været at undersøge langtidseffekten af dyb jordløsning på plantevæksten og jordstrukturen. Det blev gjort ved at måle fremspiring, reflektans, udbytte, tusindkornsvægt og procentfordelingen af kløvergræs samt penetrometermodstanden. Den dybe jordløsning blev udført i sommeren 2001 med gennemgravning af hele parcellen og ved grubning med en tandet redskab, som reference blev der pløjet. Der blev i parcellerne plantet to forskellige sammendyrknings systemer og alle med udlæg i form af kløvergræs.

På baggrund af litteraturstudiet kunne der forventes, at en dyb jordløsning ville forbedre jordstrukturen. Desuden at dette kunne øge vækstbetingelserne for planterne som blandt andet kunne resultere i et højere udbytte.

En sæson efter jordløsningen blev udført viste penetrometermodstanden en lavere modstand i de løsnede parceller i forhold til pløjning. Forskellen var dog ikke så markant, som det år, hvor løsningen blev udført. Endvidere gav gennemgravning af parcellerne strøøe løsningseffekt end grubning.

Tidligere undersøgelser viser, at mindre penetrometermodstanden også tyder på en laver volumenvægt og højer volumetriske vandindhold. Derfor menes det at kunne overføres til dette forsøg.

På trods af den mindre penetrometermodstand for jordløsning var der ingen merudbytte, ligeledes ingen forskel på fremspiring, tusindkornsvægt, andel moden lupin eller procentfordelingen af lupin og kløvergræs. Både udbyttet og fremspiringen var meget lav for alle parceller. Sammenligningsgrundlaget er derfor dårligt, og konklusionen vil derfor være usikker.

Den manglende respons på den lavere penetrometermodstand i parcellerne med dyb jordløsning, kunne blandt andet forklares med sygdomsangreb på kornafgrøderne, ugunstige klimaforhold, dårlig lupin sort eller den sene såning

Reflektansmålinger viste en lille respons på den dybe jordløsning for alle afgrøder. Lupin/havre havde den største respons i de grubbede parceller, og for ært/byg var det i de gennemgravede parceller.

Der kunne anes en svag effekt af den biologiske jordløsning, da penetrometermodstanden i de øverste 10 cm var mindende i de parceller, hvor der tidligere havde været raps. Effekten optrådte kun i de øverste 10 cm. Dette kunne forklares med den korte vækstperiode for raps, og afgrøderne havde derfor ikke fuldt udviklede rødder.

Abstract

The aim of this thesis is to investigate the long term effect of subsoiling on plant grow and soil structure. By measuring germinate, reflectance, yield, and weight of thousand corns and percent distribution of clover mixture and penetration resistance. The operation of the subsoiling was completed in the summer of 2001, by excavation, lift loosening and as reference ploughing. Two kind of intercropping was seeded, both of them with clover mixture.

From literature it was expected that subsoiling would improve the soil structure and that it would make the growing conditions better for the plants and that the yield would be increased ect.

One season after subsoiling the penetration resistance showed that subsoiling gave a superior loosening effect then ploughing. The difference was not as large as the year of the subsoiling. The loosening effect became higher with the excavation than with use of lift loosening.

Earlier research show that improvement in penetration resistance give lower bulk density and higher soil moisture content, and this can probably be transferred to this experiment.

There was no response of germinate, yield, weight of thousand corn, part of ripe lupine and percent-distribution of clover mixture and lupine of the better penetration resistance with subsoiling. There was a low yield and germinate of all crops and the standard of reference was as a result thereof low and the conclusion is consequently unreliable.

Corn disease, unfavorable climax conditions, bad lupine sorts and the late seeding can be the reason of the non response on the lower penetration resistance where subsoiling have been done.

There was a little response on subsoiling when the reflectance was measured. Lupine/oats had the best response by lift loosening and peas/barley by excavation.

In the upper 10 cm there was a small biological soil loosening effect when the penetration resistance was measured. The effect was in the area, which earlier had been seeded with rape. The period of growth had ended premature and is perhaps the reason why the effect only was reflected in the upper 10 cm.

Forord

Bachelorprojektet er en del af min uddannelse som agronom på Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. Opgaven er skrevet på Institut for Jordbrugsvidenskab, Faggruppen for Økologisk Jordbrug.

Projektet skrives i forlængelse af en tidligere opgave skrevet i faget plantevækstfaktorer og afgrødelære B, som jeg fulgte i efteråret 2001. Dele af min bachelorprojekt er omskrivninger fra denne opgave. Dette gælder afsnit 2.2, 2.3 og 2.5. Derudover er afsnit 5 uddrag fra Freya Grossmans speciale, som blev færdiggjort i 2002.

Jeg vil i forbindelse med projektets tilblivelse takke Jesper Rasmussen for vejledning og hjælp med det eksperimentelle arbejde, samt tålmodighed og vejledning til opgaven. Endvidere vil jeg takke Freya Grossmann, som har startet forsøget, samt rådgivet mig i startfasen. Der skal også lyde en tak til personalet på Højbakkegård, der under forsøget har været meget behjælpelig.

København, August 2003.

L10232 Lone Larsen

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. INDLEDNING.....	6
1.1. PROBLEMFOMULERING.....	6
1.2. AFGRÆNSNING	7
2. JORDPAKNING.....	8
2.2. JORDPAKNINGS EFFEKT PÅ JORDENS STRUKTUR	8
2.3. JORDPAKNINGS EFFEKT PÅ JORDENS FYSISKE EGENSKABER	9
2.4. JORDPAKNINGENS INDFLYDELSE PÅ DEN BIOLOGISKE AKTIVITET	11
2.5. RØDDERNES REAKTION PÅ JORDPAKNING.....	11
2.6. JORDPAKNINGENS INDFLYDELSE PÅ UDBYTTET	14
3. JORDLØSNING	15
3.1. PLØJNING	15
3.2 GRUBNING.....	16
3.2 GRAVNING.....	17
3.3. BIOLOGISK JORDLØSNING.....	19
4. SAMMENDYRKNING AF BÆLGPLANTER OG IKKE-BÆLGPLANTER	20
5. FREYA GROSMANN’ RESULTATER.....	22
5.1. FORSØGET	22
5.2. RESULTATER OG KONKLUSION	22
6. EKSPERIMENTELT ARBEJDE.	24
6.1. INDLEDNING.	24
6.2. MATERIALE OG METODE.....	24
6.2.1. <i>Forsøgsareal.</i>	24
6.2.2. <i>Undersøgelser.</i>	26
6.2.3. <i>Databehandling.</i>	28
6.4. DISKUSSION OG KONKLUSION AF EKSPERIMENTELT ARBEJDE.....	33
7. DISKUSSION	34
7.1 DYB JORDLØSNINGS LANGTIDSEFFEKT PÅ JORDSTRUKTUREN	34
7.2 DYB JORDLØSNINGS EFFEKT PÅ AFGRØDERNE	34
7.3 BIOLOGISK JORDLØSNING.....	35
8. KONKLUSION	36
9. LITTERATURLISTE	37

1. Indledning

I forbindelse med plantedyrkning er det nødvendigt med færdsel og jordbearbejdning på dyrkningsarealerne. Denne færdsel og jordbearbejdning udsætter jorden for trykpåvirkninger, som i større eller mindre grad kan medføre komprimering eller pakning af jorden. Jordpakning i sammenspil med jord, maskiner, redskaber, afgrøder og vejret er på verdensplan et stort økonomisk og miljøproblem i landbruget.

Trykpåvirkningen fra maskinerne menes ikke at blive mindre, da der er en tendens til at benytte større og større maskiner. I perioden fra 1992 til 1997 er antallet af solgte store maskiner, som har en egenvægt på over 7,5 tons, steget fra under 4 procent til over 15 procent. Der forhandles i dag gyllevogne med op til 40 tons egenvægt, dog har den mest solgte vogn en aksebelastning fra 10 til 14 tons. Undersøgelser viser, at en aksebelastning på omkring 10 tons vil give varige pakningsskader. Hvilket i modsætning til tidligere antaget ikke vil blive udbedret af naturens egen (frost/tø og udtørring/opfugtning) (Schønning 1998).

Ved at benytte bedre dæk samt mindre dæktryk kan man reducere trykpåvirkningen i de øverste ca. 35 cm. Problemet bliver dog ikke afhjulpnet i dybden ved at ændre dækudrustningen. For at reducere trykpåvirkningen i dybden skal der ske en reduktion af aksebelastningen, hvor Per Schønning i en artikel af Dalgaard 2000 anbefaler ikke at benytte køretøjer med en aksebelastning på over 6 tons.

Det er anslået, at udbyttet på 1-3 % af det danske landbrugsareal er negativt påvirket af jordpakning i dybden, og at det vil stige til 10 %, hvis problemet ikke bliver udbedret. På de bedre jorde er udbyttetabet på 2-3% ved jordpakning i dybden (Sandal 2003). Det er derfor vigtigt af finde en løsning på problemet med jordpakning i dybden. Dette kan løses på to måder, enten ved at undgå jordpakning eller ved at udbedre skaden, når den er sket. For at undgå at jordpakningen opstår, skal der ske en ændring af maskinerne ved at benytte maskiner med en aksebelastning på under 6 tons. Dette kunne f.eks. være indtrækningsmaskiner eller gyllenedfælder som er forbundet med en slange til en stationær tank (Dalgaard 2000). Ved at benytte bugserede maskiner vil man kunne mindske trykskaden fra traktorerne, da det blandt andet vil nedsætte kravene til traktorens vægt. Generelt gælder det om at minimere antallet af overkørsler og sørge for, at jorden er tør også i underjorden.

Denne projekt belyser nogle måder hvorpå man kan udbedre skaden når den er sket, og hvilke problem der er forbundet med det. Endvidere belyses nogle af de problemer der er forbundet med jordpakning.

1.1. Problemformulering

Jordpakning har indvirkning på jordens struktur og fysiske egenskaber. Dette kan have en negativ indflydelse på rodvæksten og hermed udbyttet. Dyb jordløsning kan udbedre skaden af jordpakning i dybden, men vil denne effekt ophøre det efterfølgende år, og vil afgrøderne i givet fald påvirkes af denne jordløsning? Vil en gennemgravning give en bedre effekt end grubning året efter jordløsning?

1.2. Afgrænsning

Opgaven omfatter et litteraturstudie og et eksperimentelt arbejde. Litteraturstudiet belyser jordpakningens indflydelse på jordens struktur, jordens fysiske egenskaber og den biologiske aktivitet i jorden. Endvidere bliver der set teoretisk på røddernes reaktion på jordpakning, og hvilken betydning jordpakning har på udbyttet. I litteraturstudiet ses ligeledes på hvordan man kan udbedre skaden ved jordpakning mekanisk eller biologisk. De økonomiske udgifter ved jordløsning og tab ved jordpakning vil der ikke blive set på. Endvidere belyses samspillet ved sammendyrkning af bælgplanter og ikke-bælgplanter. Resultatet fra et tidligere forsøg beskrives ligeledes. Litteraturstudiet er baseret på primær og sekundære kilder, lærebøger og artikelsamlinger. Ved det eksperimentelle arbejde undersøges to forskellige dyb jordløsningsmetoder med pløjning som reference. Der blev målt penetrometermodstand, fremspiring, reflektans, udbytte, tusindkornsvægt, procent modne lupin og procentfordelingen i kløvergræs.

2. Jordpakning

Når der sker en belastning af jorden, vil den deformeres. Det kan eksempelvis skyldes tung trafik eller husdyrs færden. I almindelighed vil der ske en kombination, sammentrykning, udvidelse og forskydning af jorden. Jordpakning kan både være forbundet med en positiv og negativ effekt. Eksempelvis anvendes tromling og furepakning, som en positiv pakning af overjorden. Når det drejer sig om uønsket jordpakning, kan det være hensigtsmæssigt at skelne mellem pakning i og under pløjelaget. Denne opgave beskæftiger sig primært med pakning under pløjelaget, hvilket anses som den mest alvorlige form for pakning, da den er vanskelige at ”reparere” og kan give anledning til varige skader. Jorden har kun ringe evne til at regenerere efter pakning i dybden og det er både vanskeligt og omkostningskrævende at løsne jorden mekanisk.

2.2. Jordpakkings effekt på jordens struktur

Mellem jordens primærpartikler og aggregater er der porer, der enten er fyldt med vand eller luft. Porøsiteten er et udtryk for det relative porevolumen, der normalt ligger mellem 0,30 og 0,60. Pakning af jorden medfører at porevolumen bliver mindsket, og derved en ændring i porøsitet (Kooistra & Tovey 1994).

Jordens porer inddeles i poreklasser efter radius, i små ($r < 0,1 \mu\text{m}$), mellem ($15 \mu\text{m} \geq r \leq 0,1 \mu\text{m}$) og store ($r > 15 \mu\text{m}$). Udover disse findes i nogle jorde makroporer ($r > \text{ca. } 1500 \mu\text{m}$), disse er skabt af regnorme, rødder, sprækker og revner i jorden.

Ved jordpakning bliver det volumetiske indhold af store porer og makroporer betydeligt mindre, og indholdet af mellem og små porer svagt øget (Hillel 1998). Dette ses i tabel 2.1. Ved markkapacitet er der sket afdræning af de store porer, og de små porer fastholder vandet så kraftig, at de ikke afdrænes. Dette medfører at det volumetiske vandindhold er højere ved markkapacitet i en pakket jord end i en mindre pakket jord (Jensen & Jensen 2001).

Tabel 2.1.: Porestørrelsesfordeling i volumenprocent i en lerjord efter pakning ved forskellig marktryk. (Efter Rasmusen 1985)

Porestørrelse Porediameter, μm	Stor > 30	Mellem 30-0,2	Små < 0,2	Total porøsitet
4 – 8 cm dybde				
Upakket	22,0	23,9	9,8	55,7
100 kPa	10,2	26,0	11,6	47,8
240 kPa	2,0	27,5	12,7	42,2
14 – 18 cm dybde				
Upakket	10,3	27,9	11,3	49,5
100 kPa	4,9	26,8	12,4	44,1
240 kPa	2,8	25,3	13,0	44,1

Store porer er normalt luftfyldte, men er jorden vandmættet vil store dele af vandbevægelsen i jorden foregå i disse porer, dog tømmes de store porer også hurtigt for vand. Mellemporer kan fastholde plantetilgængeligt vand i jorden, mens små porer fastholder vandet så kraftigt, at det ikke kan optages af planterne (Petersen 1994).

Jordens porer kan deles op i et inter- og intraaggregatsystem. Interaggregatsystemet består af regnormehuller, rodkanaler og revner som er grovere og mere kontinuere end intraaggregatsystemet, som er finere og er mindre kontinuert. Ved pakning påvirkes såvel inter- og intraggregatsystemet, porestørrelsesfordelingen og kontinuiteten (Horn & Lebert 1994).

Jordpakning har betydning for fordelingen af luftfyldt og vandfyldt porøsitet i jorden. En komprimering af en tør jord vil medføre afgivelse af luft, mens en vandmættet jord vil afgive vand. Ved et intermediært vandindhold vil jordpakning først bevirke en luftafgivelse, derefter vil jorden langsomt opnå vandmætning, dernæst vil der ske en vandafgivelse (Jensen & Jensen 2001).

2.3. Jordpaknings effekt på jordens fysiske egenskaber

Jordpakning påvirker bl.a. jordens hydrauliske ledningsevne, infiltration, vandretention og strømning af jordvand (Horton *et al.* 1994). Dermed har jordpakning stor indflydelse på jordens hydrauliske egenskaber, som spiller en stor rolle for andre af jordens fysiske egenskaber, såsom luftskifte og mekaniske egenskaber.

Vandbevægelser i jorden.

Vandbevægelser i jorden er vigtige med henblik på jordens aktuelle vandindhold. Efter markvanding eller nedbør er vandets nedsivning og afdræning af overskudsnedbøren vigtige processer, der afhænger af jordens vandbevægelsesevne. Vandbevægelsen foregår i jorden, ved forskelle i den hydrauliske potentialer, både som vandmættet og umættet vandbevægelse.

Da vandbevægelsen foregår i jordens porer, afhænger den hydrauliske ledningsevne af porevolumen og især af porernes størrelse. I mættet jord kan vandbevægelsen foregå i hele porevolumen, dvs. både i store og små porer, om end de største porer typisk bidrager mest til jordens samlede ledningsevne. Når jorden tørrer ud, vil vandet stadig findes i de mindre porer. Dette skyldes af kræfterne, der fastholder vandet vokser med aftagende porestørrelse. Dette gør at vandbevægelse i en umættet jord sker i de små porer. Det vil sige, at den hydrauliske ledningsevne falder med faldende vandindhold. Dette gør, at vandtransport i våd jord ved jordpakning forringes, da jordens indhold af store porer formindskes. Betydningen heraf kan bl.a. være at afdræningen forsinkes (Horton *et al.* 1994).

Luftskifte.

Luftskifte i jorden foregår som to former for gastransport: diffusion og konvektion. Konvektion er en bevægelse, hvor den drivende kraft er en gradientforskel i det totale lufttryk, denne form for transport udgør max. 10 % af den samlede gastransport. Hovedparten af gastransporten foregår ved diffusion. Her følger transporten gradienten i gassernes partialtryk (koncentration) og ændres i forhold til forbrug/produktion af gasser i jorden (Jensen & Jensen 2001).

Gassers diffusionskoefficienter gennem vand er 10^4 gange lavere end hastigheden gennem luft. Dette bevirker, at vandindholdet har stor betydning for jordens luftskifte (Hillel 1998).

Ved jordpakning bliver jordens struktur, som før nævnt, ændret. Dette medfører en lavere porøsitet, højere volumenvægt, samt at dræning og porekontinuiteten begrænses.

Diffusion af gasser i jord afhænger af diffusionsvejens beskaffenhed. Hvis porøsiteten sænkes vil diffusionen blive begrænset, fordi der er færre porer til rådighed som diffusionvej. Manglende porekontinuitet har samme begrænsende effekt på diffusionsvejene og reducerer dermed også luftskiftet. Derudover vil vandfyldte porer, som resultat af dårlig dræning, sænke diffusionshastigheden gennem porerne (Stepniewski *et al.* 1994).

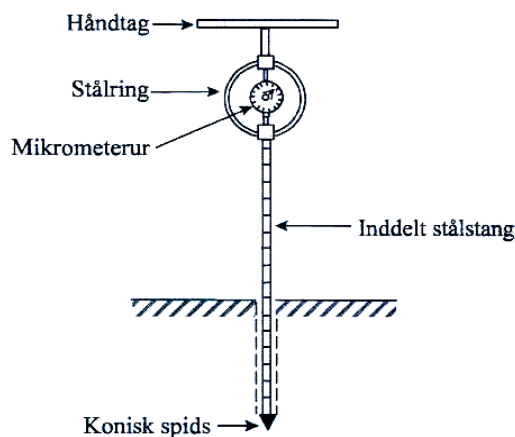
Mekaniske egenskaber.

Jordens reaktion på påvirkning udefra, afhænger af jordens indre styrke og konsistens. Jordens styrke er et udtryk for den kraftpåvirkning eller maksimale spænding, jorden kan modstå uden at den brydes. Er jordstyrken stor, og har jorden en stor bæreevne, vil jorden kunne modstå stor kraftpåvirkning uden at deformeres (Horn & Leber 1994). Jordens bæreevne afhænger af jordens vandindhold. Ved et stort vandindhold kan der forekomme jordpakning selv ved lav trykpåvirkning. Dette resulterer i øget risiko for lav bæreevne i marken det følgende år, da den pakkede jord vil have et højere volumetisk vandindhold end før pakning.

Jordens konsistens er et udtryk for de sammenhængskræfter i jorden der virker under forskellig vandindhold. Disse kræfter modvirker deformation. I tør jord kan sammenhængskræfterne i aggregaterne være store, og jorden kan pulveriseres ved intensiv bearbejdning. Er jorden for våd kan kohæsionen være lav, og jorden bliver plastisk. Under bearbejdning vil der opstå en æltning af jorden, som under udtørring vil blive hård. Det er derfor vigtigt, at jordbearbejdning foregår, når jordens konsistens er optimal (Jensen & Jensen 2001).

Penetrometermålinger.

Med et penetrometer måler man den rumlige variation i jordens mekaniske modstand ved at nedpresse et metalspyd i jorden, se figur 2.1. Den vertikale kraft er proportional med baseareal og kaldes cone index (CI) eller penetrometermodstand, og angives med enheden MPa (Koolen & Kuipers 1983).



Figur 2.1.: Skematisk illustration af penetrometer (efter Hillel 1998).

Penetrometerens udformning har indflydelse på modstanden. Her tænkes primært på keglespidens vinkel, diameter og rugheden af metalspydet. Penetreringshastigheden har ligeledes indflydelse på den målte modstand.

Vinklen på keglespidsen bestemmes ud fra stigende mekaniske fordele ved en mindre vinkel og større friktion på grund af større overflade areal. Denne optimale vinkel er bestemt til at være på 30° , anbefalet af Bradford (1986) og Koolen & Kuipers (1983). Diameteren af metalspydet afhænger af den intraaggregat styrke, hvor den har størst indflydelse i de øverste centimeter af jorden. Hvis diameteren er relativ lille vil der opstå stor variation i modstanden, da de intraaggregat kræfter ikke ville kunne modstå presset fra metalspydet (Bradford 1986).

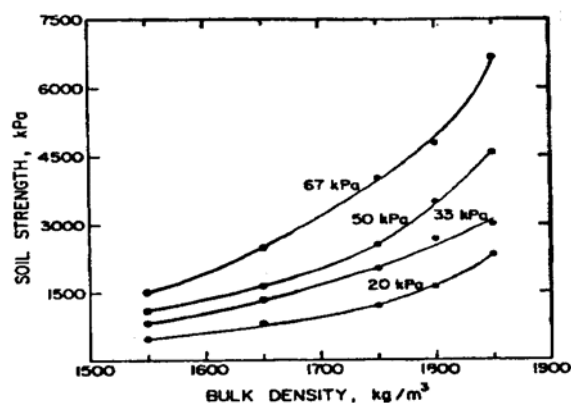
Rugheden af metalspyden har indflydelse på friktion mellem metalspydet og den omkringliggende jord, der ønskes derfor en spyd med så lille friktion som muligt. Dette kan opnås ved at benytte stål.

Penetreingshastigheden er som diameteren afhængig af jordtypen (Koolen & Kuipers 1983).

Der er flere jordfaktorer, der har indflydelse på penetrometermodstanden. Såsom jordens vandindhold, volumenvægt, jordstyrke samt jordstruktur (Bradford 1986).

Sammenhængen mellem nogle af disse faktorer er illustreret på figur 2.2.

Figuren viser hvordan penetrometermodstanden stiger kraftigt, når volumenvægten øges og vandindholdet falder.



Figur 2.2. Penetrometermodstanden udtrykt som jordstyrke, som funktion af volumenvægten ved forskellig vandpotentiale (Taylor & Gardner 1962).

2.4. Jordpakningens indflydelse på den biologiske aktivitet

Jordpakning har ikke den store direkte indflydelse på den mikrobielle biomasse, da de pga. deres størrelse ikke direkte påvirkes af jordpakning, men den indirekte effekt kan være stor, da livsbetingelserne ændres radikalt. Den indirekte effekt kunne være en reduktion i den totale porevolumen, og en ændring i vandindholdet som kan have en negativ indflydelse på mikroorganismene og hermed også omsætningen i jorden (Jensen *et al.* 1996).

Makroorganismene syntes af bliver mere påvirket af jordpakning, dette gælder især regnorm. Da nogle arter benytter samme gange hele livet, når disse gange ødelægges ved jordpakning må det påvirke ormenes bevægelse i jorden (Joschko *et al.* 1991).

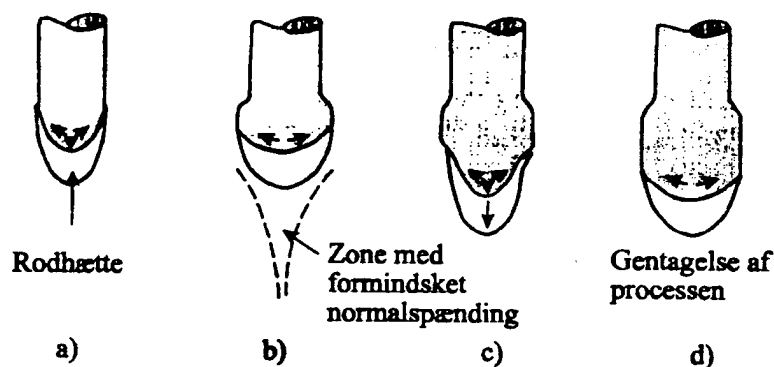
2.5. Røddernes reaktion på jordpakning

De forskellige processer som indgår i rodsystemets udvikling, både på cellulær og molekylært niveau, kan påvirkes af jordens fysiske egenskaber. Derudover har jordens vandindhold også direkte og indirekte indvirkning på rodvæksten. I tabel 2.2 er anført hvilke parametre i rodsystemet som påvirkes af jordens fysiske egenskaber.

Table 2.2. Rodsystemets karakteristika, som kan påvirkes af jordens fysiske egenskaber (Efter Atkinson & Dawson 2001)

Karakter	Parameter
Anatomi	Cellestørrelse, cortex, balance af xylem-celletyper, udformning af epidermis-væg og rodens form.
Individuelle træk	Diameter, vækstrate, vinkel, længde, masse, rodhårs længde og penetrerings tryk.
Forgrenings mønster	Mængde, densitet, antal forgreningsordener, position og afstand mellem forgreninger.
Rodsystemet generelt	Horisontal og vertikal samt absolut og relativ distribution, længde og masse.
Funktion	Absorption af næringsstof og vand, fastholdelse af planter og syntese af biologisk aktive molekyler (f.eks. enzymer)

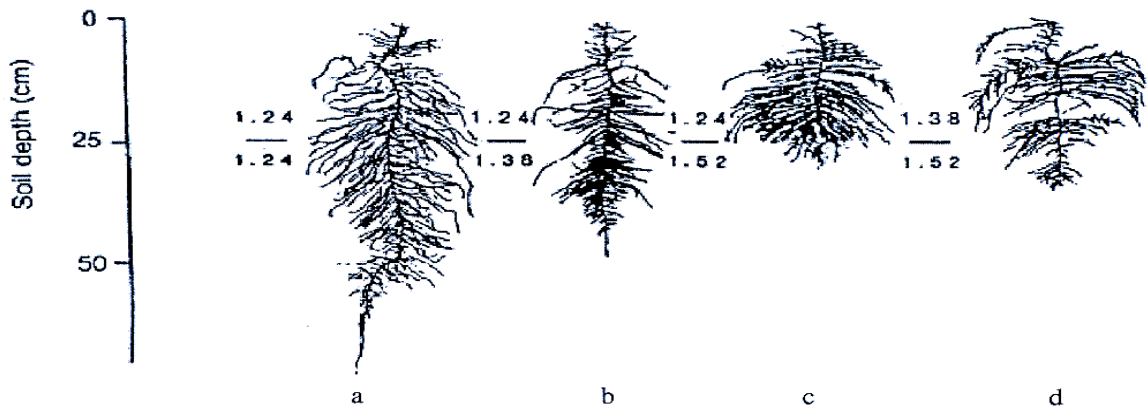
Når rødderne møder mekanisk modstand i jorden, har rødderne en mekanisme, som gør det nemmere for dem at gennemtrænge det kompakte lag. Denne mekanisme har den fordel, at en skiftevis tykkelses- og længdevækst vil sænke den mekaniske modstand i jorden umiddelbart foran rodspidsen, og der vil forekomme en forøgelse af roddiameteren, som det fremgår af figur 2.3.



Figur 2.3.: Rodstrækning ved rodfortykkelse (Efter Adballa *et al.* 1969).

I relativt kompakt jord vil rødderne ofte findes som belægninger på aggregater i store porer og makroporer, såsom regnormhuller og gamle rodkanaler. Rodvæksten er foregået som kompensatorisk vækst for manglende rodvækst i andre områder af jorden, hvor rødderne møder ugunstige kår, såsom mangel på ilt eller mekanisk modstand. Planterne synes at have en følsom mekanisme, som sørger for at den enkelte rod vokser i den retning, hvor modstanden er mindst (Jensen & Jensen 2001).

I 1965 undersøgte Schuurman havrerødders reaktion på forøgelse af volumenvægten. Forsøget blev udført på homogene profiler, så volumenvægten, porevolumen og porestørrelse var kendt. Profilerne var lagdelt, sådan at der kunne ske en pludselig ændring af volumenvægten efter 25 cm. Resultatet ses på figur 2.4.

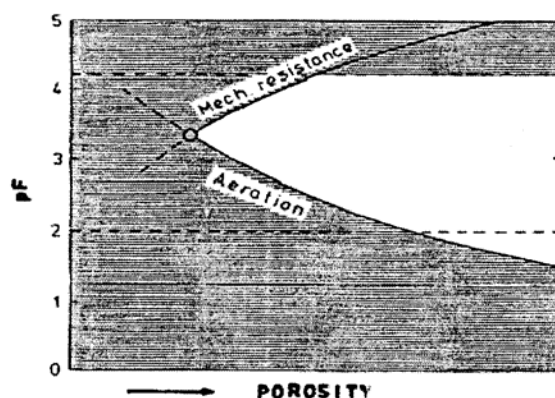


Figur 2.4.: Effekten af volumenvægten (Mg/m^3) i overjorden (0-25 cm) og underjord (>25 cm) på udviklingen af havre rodstemet (Efter Schuurman 1965).

Forsøget tydede på, at rødder, der mødte modstand i overjorden, har lettere ved at gennemtrænge kompakte lag, dette se på figur 2.4d. Forsøget tydede også på, at en brat overgang hæmmede rodvæksten mere end en gradvis overgange til det kompakte lag, dette kan ses på figur 2.4c (Schuurman 1965).

Planter optager vand fra jorden, hvorved modstanden i jorden øges. Rødderne vil herefter vokse nedad i jorden, hvor modstanden er mindre, da vandindholdet er højere. Under visse omstændigheder kan dette være en fordel. Men hvis røddernes væksthastighed i nedadgående retning ikke er høj nok i forhold til rodens vandoptagelse og jordens vandkapacitet, kan den mekaniske modstand blive for stor. Dette medfører, at det komprimerede jordlag under udtørring evt. kan hærdes så kraftigt, at rodvæksten helt vil standse (Jensen & Jensen 2001).

Jordpakning medfører nedsættelse af ilt diffusionsraten og en stigning af jord-rod kontakten. Begge aspekter har en negativ effekt på nødvendige tilførsel af ilt. Da jordpakning medfører en øget mekaniske modstand, vil det medføre, at rodsystemets iltbehov stiger, da roden skal bruge mere energi til at gennemtrænge et kompakt lag (Gliński & Lipiec 1990).



Figur 2.5.: Forholdt mellem jordporositet og vandindhold (pF), hvor jordens luftskifte og mekanik modstand er begrænsende faktorer for rodvæksten. Rodvæksten er utilstrækkelig i de mørke områder og umulig over pF 4,2. Den stiplede linie angiver øverste visnegrænsen og nederst makkapacitet (Bonne 1988).

Vandindholdet er bestemmende for hvorvidt det er den mekaniske modstand eller luftskiftet, der er hæmmende for rodvæksten ved jordpakning. På figur 2.5 kan ses, at ved lavt vandindhold, er det den mekaniske modstand, der er den begrænsende faktor for rodvækst, mens at det for højt vandindhold er luftskiftet der er den begrænsende faktor (Boone 1988).

2.6. Jordpakningens indflydelse på udbyttet

Oussible *et al.* 1992 ændrede de fysiske egenskaber, så volumenvægten blev nedsat, mens jordstyrken og penetrometermodstanden blev øget. Dette påvirkede sammensætningen af bygrødder, således af densiteten af rodlængden ændres, og rødderne i det pakkede jordlag var tydeligere tyndere. Derudover påvirkede det skudvæksten. Disse ændringer i rødder og skudvækst medførte en udbytteforringelse på op til 23 %. Hansen (1995) undersøgte blandt andet jordpakningens effekt af udbyttet af byg og kløvergræs. Dette viste, at jordpakning signifikant reducerede udbyttet med 10 % for byg og 27 % for kløvergræs. Diaz-Zorita (2000) beskriver, at denne udbytte nedgang pga. jordpakning, skyldes en hæmning af længdevæksten i roden. Effekten af jordpakningen på udbyttet afhænger af vandtilstanden og jordens egenskaber, dog oplyser han, at en penetrometermodstand på over 2-3 MPa vil hæmme rodudviklingen. Til forbedring af problemet med jordpakning lavede Evans *et al.* (1996) en undersøgelse af effekten af en enkelt dyb jordløsning på afgrødevæksten, jordpakning og vandindhold. Resultatet herfra viste, at jordløsning havde en lille effekt på væksten og ingen effekt på udbyttet af majs efter 3 sæsoner. Efter jordløsningen var der en lavere volumenvægt og højere volumetriske vandindhold, med i de efterfølgende år var denne effekt forsvundet. Det samme resultat viste penetrometermodstanden.

3. Jordløsning

Effekten af jordpakning i de øverste jordlag kan forsvinde efter en overskuelig tidshorisont (5-8 år), som følge af blandt andet pløjning og frost. Anderledes ser det ud for de dybere jordlag. Her vil forbedringer af jorden kræve længere tid og en dybdegående jordløsning (Alakukku & Elonen 1995).

Der er mange forskellige måder, hvorpå mekanisk jordløsning af de dybere jordlag kan udføres. Problemet med disse jordløsninger er, at de ofte kræver en større arbejdsindsats og investeringer end de traditionelle jordbehandlingsmetoder. Ligeledes kræver de ofte et optimal vandindhold i jorden for at opnå den bedste effekt af jordløsningen. Efter en jordløsning bringes jorden ikke tilbage til det oprindelige stadie før jordpakning.

Ligeledes vil jord have en tendens til hurtigt at blive pakket igen, og jordløsning skal gentages for at opretholde den maksimale effekt (Van der Akker 1994).

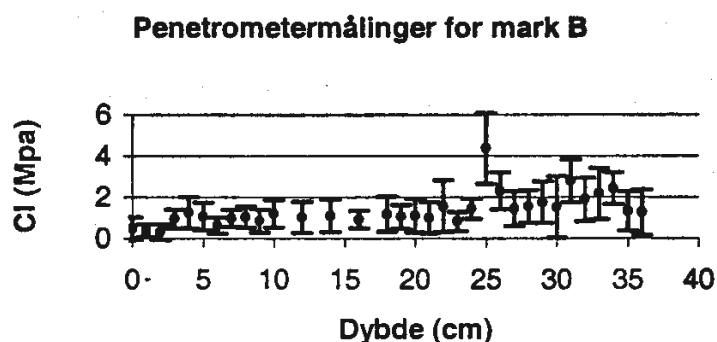
Jeg har valgt at koncentrere mig om grubning og gravning, da det er disse former for jordløsning, jeg benytter i mit forsøg. I forsøgsdelen benyttes pløjning, som kontrol til dyb jordløsning, derfor gennemgås pløjning ligeledes.

Ud over den mekaniske jordløsning vil en række planter have et rodsystem, der i nogle tilfælde vil være i stand til at løsne jorden for de efterfølgende planter.

3.1. Pløjning

Ploven, er et meget almindelig brugt landbrugsredskab, som findes i mange forskellige typer, hvor alle har til formål at forbedre vækstbetingelser for kulturplanterne. Ved en pløjning vil jorden vendes, således at planterester, rodukrudt og husdyrgødning vil nedbringes, så en omsætning vil finde sted. Pløjning vil også løsne og lufte muldlaget, og dette vil give en bedre jordstruktur (Hvam 2002).

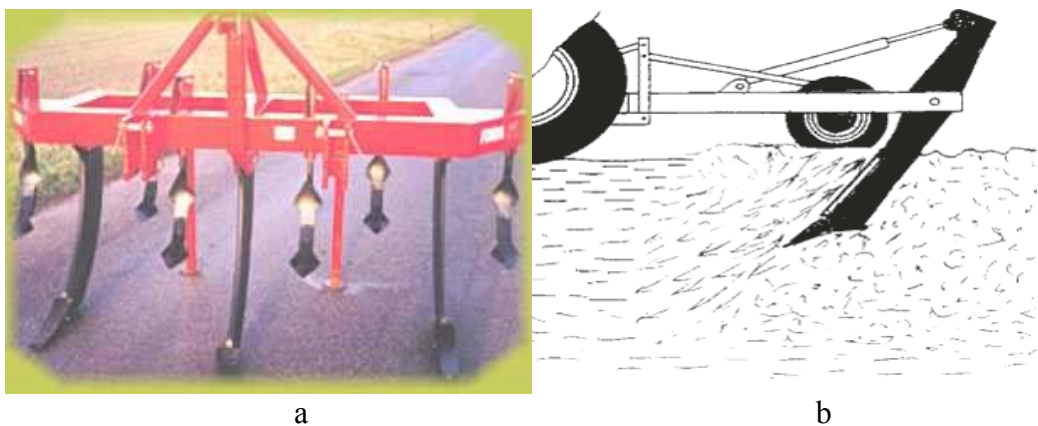
Der er blevet lavet utallige undersøgelser med pløjning, hvor man under pløjelaget har fundet et kompakt lag. Dette lag vil blandt andet have en negativ betydning for afledning af overskudsnedbør, som kan, i ekstreme tilfælde, ses ved, at der står blankt vand på overfladen, samtidig med at drænene var tørre (Schjønning *et al.* 2000). Jeg lavede i 2001 et temaprojekt, hvor vi undersøgte om jordbearbejdning skabte bratte vertikale overgange, som kunne skade afgrødernes rodudvikling. I denne opgave fandt vi, at der i en pløjet mark allerede ved markkapacitet ville være et rodvæksthæmmende lag under pløjelaget, se figur 3.1. Endvidere fandt vi en gammel pløjesål (sidst pløjet i 1996), der ligeledes ville være hæmmende for rodvæksten, under markkapacitet.



Figur 3.1.: Penetrometermodstand (CI) som funktion af dybden for en pløjet mark (B), fra ikke udgivet opgave.

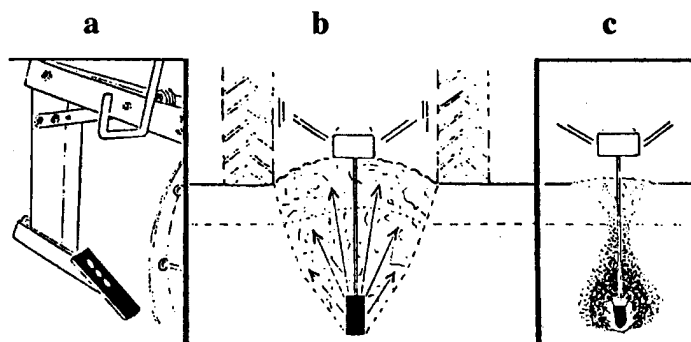
3.2 Grubning

Der findes mange forskellige udgaver af grubbere, som enten kan monteres i front eller bag på traktoren, med en eller flere tænder eller som ekstra tænder der monteres på ploven. Selve udformningen af tanden kan ligeledes variere, og arbejdsdybden kan ofte varieres efter behov. Det giver grubningen mange forskellige behandlingsmuligheder, afhængig af hvilken type gruber man vælger, og hvilken type jordløsning man ønsker. Ved montering af en grubber i forbindelse med såning, vil det hele foregå i en arbejdsgang, som vil mindske arbejdsindsatsen. Det kræver dog, at man har rådighed over stor trækraft. En grubber bestående af flere tænder samt stubharvetænder vil kunne erstatte en pløjning (Udbye 2002), se figur 3.2a. Grubning benyttes også til jordløsning af områder på marken, som er bleven udsat for ekstra pakning, som kunne være i plejesporene eller fugtige områder i marken (Landbrugs Rådgivningscenter 2002).



Figur 3.2.: a. Fler-tandet gruber monteret med stubharvetænder (Udbye 2002) b. En en-tandet gruber (Landbrugs Rådgivningscenter 2002).

Ved grubning er det vigtigt, at jorden er tør, for at opnå den bedst mulige effekt af behandlingen (Østergaard 1991). Jorden vil i nogle tilfælde blive pakket, hvis jorden har for højt vandindhold, da redskabet vil skubbe jorden sammen et andet sted, se figur 3.3c. Det er ligeledes vigtigt, at jorden ikke er for tør, da dette vil danne store knolde (Schulte-Karring & Haubold-Rosar 1993).



Figur 3.3.: a. Normal løftløsning med en løsnede blad. Størrelse, position og hastighed af bladet afgør graden af løsningen. b. Løsningsformen er tunnel-formede. Volumen af de løsnede materiale ved den største dybde svarer kun til bredden af løsningsbladet. Indenfor furen er kvaliteten af løsningen variabel. Intensiteten af løsningen mindskes mod rendzonen. c. I for vådt jord skaber løftløsning jordpakning. (Efter Schulte-Karring & Haubold-Rosar 1993).

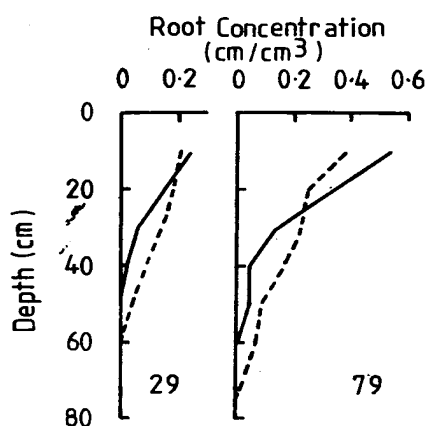
Jemieson *et al.* (1988) anvendte en 1-tandet grubber til at løsne en naturlig kompakt jord. Her fandt de, at rod-dybden og – tæthed var signifikant forbedret i underjorden, samt at udbyttet var forøget med 19 %. Denne forbedring mente de skyldes ændringer i jordens fysiske tilstand og hermed også penetrometermodstanden.

3.2 Gravning

Et alternativ til de traktortrukne redskaber er en gennemgravning af jorden. Hvor man opnår en større forandring i jordstrukturen, end ved de traditionelle metoder. Dette giver især en bedre udnyttelse af vand (Stone & Rowse 1982).

I 1975 anlagde Stone 1982 og Stone & Rosws 1982 et kombineret forsøg med jordløsning og gødning. Jordløsningen foregik ved, at jorden blev fjernet i 30, 60 og 90 cm med en traktortrukken skraber og blev herefter lagvis lagt tilbage. Der blev gødet med kunstgødning i de samme lagdelinger, som jordløsning blev udført i (resultaterne omkring gødning vil jeg ikke omtale i denne opgave).

Resultatet af jordløsning viste en tydelig mindskelse i volumendensiteten og penetrometermodstanden. Disse forbedringer viser sig i dybden og mængde af rødder, se figur 3.4. Der er en tydelig forøgelse af rod-dybden for de gravede jorde allerede efter 29 dage.



Figur 3.4.: Rodfordeling af bønner, 29 og 79 dage efter 50 % spiring, jordløsning (-----) og uden jordløsning (—) (Stone & Rowse 1982).

Der blev målt en udbytteforøgelse på op til 75 % for de jordløsnede jorde. Denne udbytteforbedring kunne ligeledes observeres nogle år senere, se tabel 3.1.

Tabel 3.1.: Det procentvise merudbytte i frisk vægt for jordløsning i forhold til pløjning (Efter Stone & Rowse 1982).

Afgrøde	1978	1979
Bønne	22	63
Kål	18	32
Porre	8	17
Rødbeder	8	22

Denne jordløsningsmetode kan dog ikke direkte overføres til praksis, da den både er tidskrævende og dyr, i forhold til det merudbytte man kan opnå. Dog kan man udnytte den viden til udvikling af nye maskiner der kan løsne jorden på en økonomisk måde. Der er allerede firmaer, der har konstrueret sådanne maskiner. Nogle af disse vil jeg kort beskrive.

Break-of-loosening.

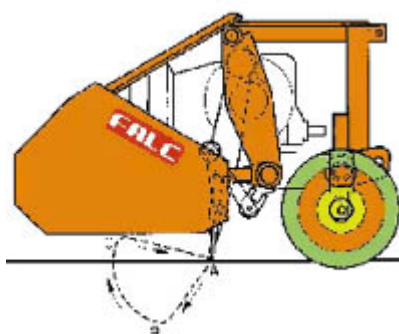
Schult-Karrig & Haubold-Rosar (1993) beskriver en break-of-loosening, se figur 3.5. Den løsner jorden ved at grave nogle tragtformede furer nede i jorden, og hermed forbedre porevolumen, luft og vand gennemtrængelighed og mindske volumendensiteten og penetrometermodstanden.



Figur 3.5.: Break-of-loosening model MM 100 (Schult-Karrig & Haubold-Rosar 1993).

Spademaskine.

Kristensen (2002) benytter en spademaskine, se figur 3.6. Den består af spadeskær, som løsner og vender jorden, uden at strukturen bliver slået i stykker. Hermed kan den effektivt bryde pløjesålen og andre strukturskader. Redskabet stammer fra et Italiensk firma der har et stort udvalg af gennemgravnings-maskiner, som kan ses på www.falc1960.com.



Figur 3.6.: Spademaskine model Leopard 3200 (Kristensen 2002).

Roterende spademaskine.

Imants maskinfabrik (Imants 2002) har en serie roterende spademaskiner, som alle har til formål at forbedre jordens struktur. Efter firmates egen mening er det aggressive erstatninger til ploven, de kræver en lille trækraft, da de trækker sig selv ("walks itself"). Redskaberne består af en vandretliggende rotor med krumme arme, hvorpå der er monteret metalplader, som arbejder som små spader.

Firmaet har udviklet flere modeller, der hovedsagelig adskiller sig ved forskellig arbejdsdybde. I denne her forbindelse er 60 serien (max. arbejdsdybde 70 cm) og deepspader (max. arbejdsdybde 120 cm) mest relevant, se figur 3.7. Disse redskaber kan løsne dybe jordpakninger og blande over- og underjorden.



Figur 3.7.: Venstre: Spademaskine serie 60. Højre: Spademaskine model deepspader i aktion (Imants 2002).

3.3. Biologisk jordløsning

Biologisk jordløsning dækker i bred forstand over løsninger foretaget af både dyr og planter. I dette afsnit vil der udelukkende blive beskrevet effekten af planterødder. Rødderne efterlader makroporer, der vil forbedre vand- og ilttilførsel til den efterfølgende afgrøde, endvidere dannes aggregater omkring rodkanalerne. Disse kunne løsne op for jordpakning (Benbrook 1991). Raps og andre korsblomster har en hurtig og kraftig rodvækst og kunne derfor virke som biologiske jordløsnere (Thorup-Kristensen 1997).

4. Sæmmendyrkning af bælgplanter og ikke-bælgplanter

Sæmmendyrkning defineres af Willey (1979), som dyrkning af to eller flere plantearter på den samme mark. De behøver ikke at være etableret på samme tid, og de høstes sjældent samtidig, men en stor del af deres vækstsæson er sammenfaldende.

Der kræves en stor arbejdsindsats, og det kan være svært at indpasse i dyrkningssystemer, når der benyttes sæmmendyrkning. Fordelene ved at vælge sæmmendyrkning i forhold til renbestand, kan bl.a. være (Ofiori & Stern 1987 og Jensen *et al.* 1985):

- Større udbyttestabilitet. Dette opnås kun, hvis en eller flere af arterne er i stand til at kompensere ved at øge vækst og udbytte, når den anden art svækkes af f.eks. sygdom, skadedyr eller tørke.
- Bedre udnyttelse af vækstfaktorerne (lys, vand og næringsstoffer). Dette optræder kun, hvis planterne på tidspunkter i vækstsæsonen har forskellig behov for vækstfaktorer.
- Reducerede sygdoms- og skadedyrsangreb. Dette optræder kun hvis en eller flere arter ikke er værtsplante for det pågældende angreb, og skadegører vil hermed have sværere ved at udvikle sig.
- Bedre konkurrenceevne overfor ukrudt.

Konkurrence forholdet mellem to plantearter er ikke givet på forhold, da det kan ændre under f.eks. tørke, hvis den ene art er mere tolerant end den anden eller forskellig N-indhold i sæmmendyrkning af bælg- og ikkebælgplanter. Foruden den direkte påvirkning sker der også en indirekte påvirkning pga., ændring i mikroklima såsom temperatur, fugtighed og vindhastighed (Francis 1989).

Bælgplanter kan udnytte atmosfærisk kvælstof via symbiose mellem bælgplantens rodknolde og Rhizobium-bakterier, derudover optager rødderne nitrat- og ammoniumkvælstof fra jorden. Hvor effektivt bælgplanterne udnytter kvælstof, afhænger bl.a. af hvor meget frit tilgængelig N, der findes i jordvæsken. Større mængde frit N i jorden vil nedsætte den biologiske kvælstofbinding.

Bælgplanter og ikke-bælgplanter er en dyrkningsmetode, hvor afgrøderne kan komplementere hinanden med hensyn til vækstfaktorer, idet de kan udnytte forskellige N-ressourcer.

I starten af bælgplanternes vækstperiode optræder der dog konkurrence om uorganisk N-ressourcer, da uorganiske N er nødvendig, indtil rodknoldene i bælgplanteren er i stand til varetage N-behov. Ofte har bælgplanterne en dårligere konkurrenceevne over for ikke-bælgplanter med hensyn til optagelse af uorganisk N (Andersen *et al.* 1983).

Bælgstæd benyttes ikke kun på grund af deres kvælstofforbedring af jorden, men også på grund af det høje proteinindhold i forhold til kornafgrøder, se tabel 4.1.

Tabel 4.1.: Proteinindhold og udbytte, Efter Birkmose *et al.* 2001.

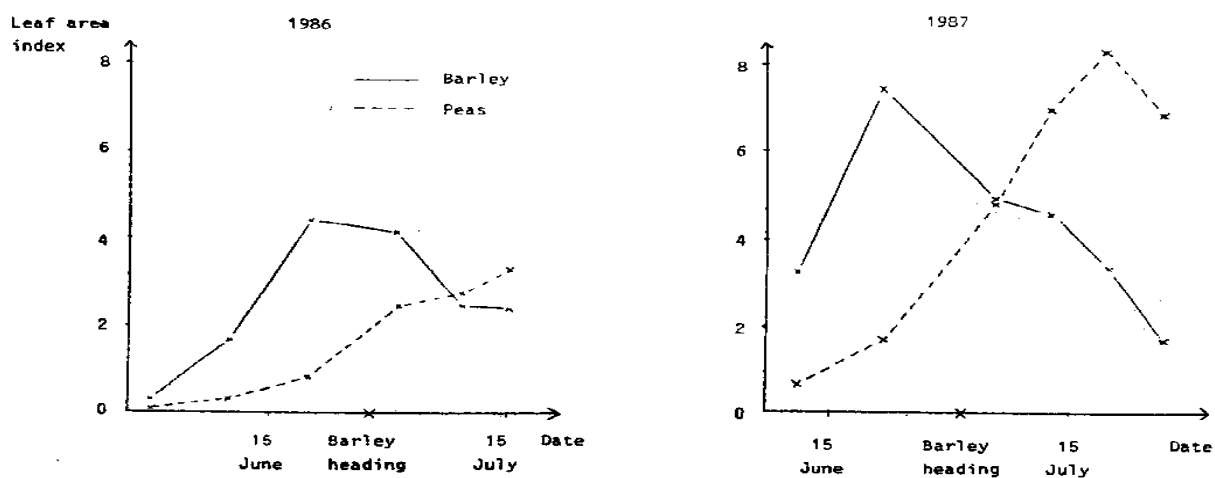
	Protein, %	Udbytte, hkg/ha	Protein, hkg/ha
Ært	24	30	7,2
Lupin	34	23	7,8
Vårbyg	9	45	4,1

Ved sammendyrkning af bælgplanter og ikke-bælgplanter opnås et større proteinindhold end ved ikke-bælgplanter i renbestand. Resultater for ært/byg blandinger viser, at det ikke kun skyldes ærternes højere proteinindhold, men også at bygkerner har en højere proteinindhold, end hvis byg var dyrket i renbestand (Jensen *et al.* 1985).

Lupin danner en lang pælerod, som gør det mulig at nå langt ned i jorden. Hermed har roden mulighed for at optage vand fra dybere jordlag i perioder, hvor der er tørke. Lupin har ligeledes mulighed for at transportere mere vand fra rod til top end f.eks. havre. Pæleroden udsætter en syre, som gør det muligt for lupin at optage fosfor- og jernforbindelser i jorden, som ikke er tilgængelig for andre planter (Siddons *et al.* 1994 og Belteky & Kovacs 1984). Dette kan udnyttes således, at lupin kan dyrkes på marginaljord, hvor andre afgrøder ikke ville kunne trives. Lupin har en dårlig konkurrenceevne over for ukrudt i de første vækststadier, især ved lave temperaturer. Under blomstring har lupin nærmest ukrudtsfremmende effekt, idet rodknoldene dekomposterer, og derved frigiver kvælstof (Belteky & Kovacs 1984). Lupins dårlige konkurrenceevne i starten af vækstperioden og frigivelsen af kvælstof kan formodes at have en positiv effekt på anden afgrøde i blandingskultur. Undersøgelser viser, at en blanding af lupin og havre giver et bedre udbytte, end hvis afgrøderne er dyrket i renbestand (Belteky & Kovacs 1984).

Desværre har lupin en lavt frøudbytte i forhold til ært. Ært har dog ikke særlige stærke og dybe rødder, og er derfor tørkefølsom, især ved blomstring og bælg sætning (midt juni til midt juli) (Steffensen 1998).

Lunnan 1989 undersøgte bladudviklingen for ært og byg. Det viste, at byg groede hurtigst lige efter spiring, og at ært beholdt bladarealet længere og optog mere lys sidst i vækstperioden. Forsøget viste ligeledes, at ært er mere tørkefølsom end byg, og at byg trives bedre i et koldt og fugtigt klima (1987) end ært, dette ses på figur 4.1.



Figur 4.1. Bladareal index for ært og byg (120 kg N/ha) i 1986 og 1987 (Lunnan 1989).

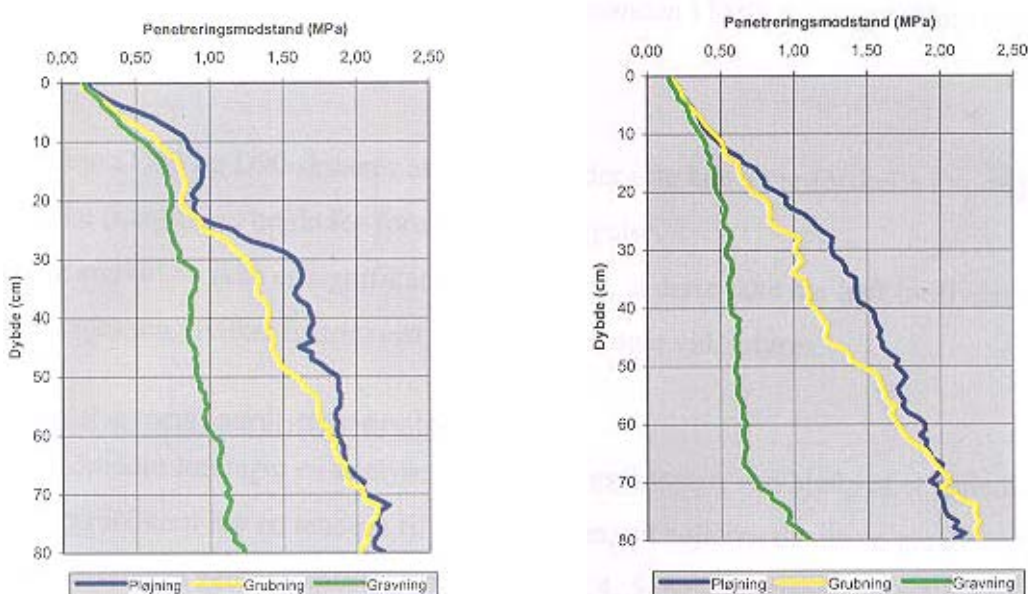
5. Freya Grosmann' resultater

5.1. Forsøget

I sommeren 2001 opførte Freya et markforsøg med jordløsning på Højbakkegård. En forsøgsgård, der tilhører KVL. Forsøget blev anlagt som et randomiseret tofaktorielt forsøg med fire blokke og med jordbehandling og afgrøder som faktorer. Der blev anvendt to forskellige jordløsninger, grubning og gravning, med pløjning som reference. Parcellerne blev tilsået med olieræddiker og byg i maj, men på grund af skadedyr og dårlig fremspiring af olieræddike blev det erstattet med vinterraps i august. Der blev foretaget registreringer af fremspiring, penetrometermodstand, reflektans, udbytte og tusindkornsvægt.

5.2. Resultater og konklusion

Gravning gav signifikant bedre jordløsning, målt i forhold til penetrometermodstand, mens grubning gav en lavere penetrometermodstand end pløjning, se figur 5.1. Der var ingen signifikant effekt af afgrøder (byg og raps), der kan derfor konkluderes at disse ikke har indflydelse på forholdene i jorden.

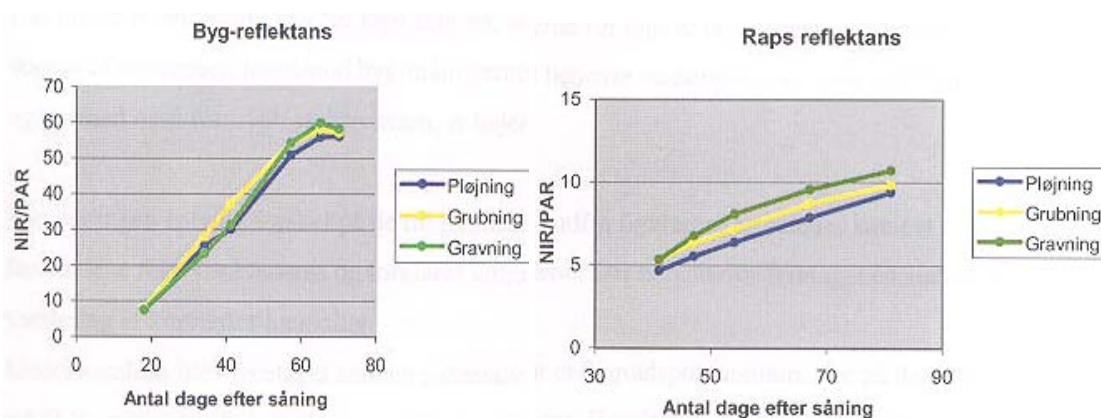


Figur 5.1. Penetrometermodstand ved forårsmålinger og efterårsmålinger (Grosmann 2002).

Målingerne af penetrometermodstand i de grubbede parceller om foråret, viste en tendens til at løsne mest i midten, mens efterårsmålingerne viste en udjævning af mønstret. Derfor må det konkluderes, at effekten af grubning var ophørt efter syv måneder.

Trods den lave penetrometermodstand i de gravede parceller var der problemer med fremspiring. Der var ingen signifikant effekt af jordbehandling for byggen, dog var det visuelle indtryk, at bygplanterne var hæmmet af de store knolde på overfladen. Olieræddike var signifikant hæmmet af det dårlige såbed i de gravede parceller.

De grubbede parceller havde den bedste fremspiring for byg. Dette influerede på reflektansmålingerne, hvor grubning fra starten af vækstperioden havde den højeste reflektans efterfulgt af pløjning, se figur 5.2.a. Jordbehandlingen er dog ikke signifikant forskel, over hele vækstperioden. Der optrådte ligeledes ingen signifikant forskel på udbyttet af kerner og halm. De pløjede parceller havde dog en signifikant højere tusindkornsvægt, mens denne ikke varierede for de løsnede parceller. De løsnede parceller havde derfor enten flere planter eller også satte planten flere aks. Det synes at være tilfældet, at de gravede parceller satte flere aks pr. plante. Der trods den lave fremspiring, nåede op på den samme reflektansniveau med de pløjede og grubbede i slutningen af vækstperioden. De grubbede parceller havde sandsynligvis flere planter end de pløjede parceller, da fremspiringen her var højere. Endvidere måtte de løsnede parceller have flere kerner pr. m² end de pløjede parceller, da de pløjede parceller havde den højeste kernevægt.



Figur 5.2. Reflektans for byg målt i foråret 2001 (a) og raps målt i efteråret 2001(b) (Grosman 2002).

Reflektansmålingerne for raps viste signifikant forskel, hvor de gravede og grubbede parceller lå på samme niveau fra starten, men hvor de gravede parceller lagde afstand til de grubbede parceller, som i slutningen af den målte periode blev indhentet af de pløjede parceller, se figur 5.2.b.

6. Eksperimentelt arbejde.

6.1. Indledning.

Ved det eksperimentelle arbejde blev der undersøgt to forskellige dyb jordløsningsmetoder og med pløjning som reference. Der blev arbejdet ud fra følgerne: Vil effekten af dyb jordløsning ophøre året efter udførelsen? Vil afgrøder påvirkes af dyb jordløsning, og vil dette eventuelt give udslag i et merudbytte? Har gennemgravning en længerevarende effekt en grubning? Reagerer bælgplanter og ikke-pælgplanter i sammendyrkning forskellig på dyb jordløsning?

6.2. Materiale og metode.

6.2.1. Forsøgsareal.

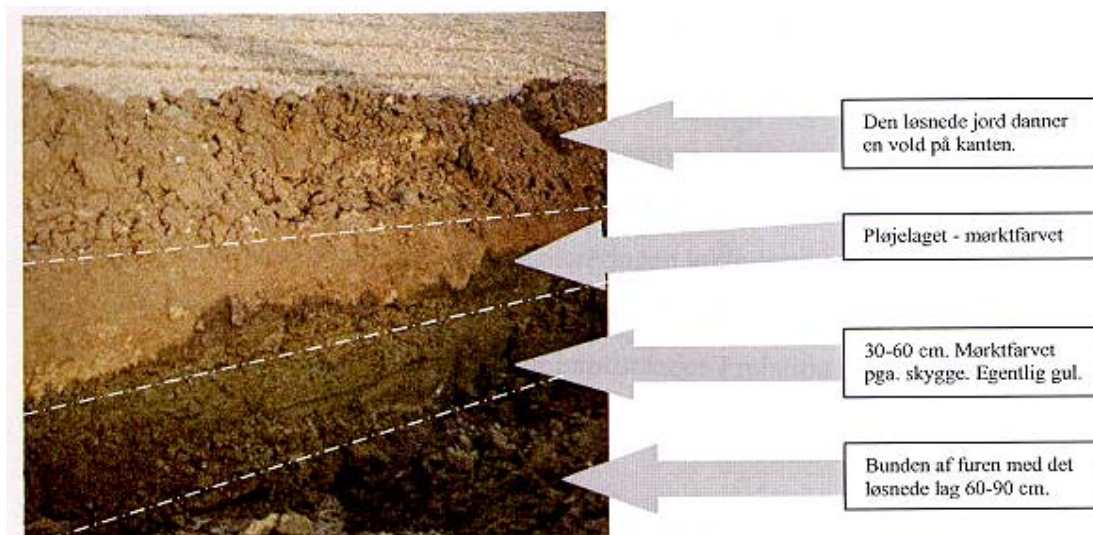
Områdebeskrivelse.

I det tidlige forår i 2001, i forbindelse med Freya Grossmanns speciale (Grossmann 2002), blev der anlagt et fastliggende langtidsforsøg med jordløsning på Højbakkegård, som tilhører Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. Denne jord er klassificeret til en JB nr. 7, som er en lerjord med 15 til 25 % ler.

Freya Grossmann lavede i forbindelse med anlæggelsen af forsøget en beskrivelse af jordprofilerne, som jeg kort vil referere.

Øverest var der en Ap-horisont på 30 cm, som var tydeligt mørkfarvet. Herefter en B-horisont fra 30 til 60 cm, der var gulfarvet og nederst en C-horisont der var gulgrå.

Horisonterne er illustreret på figur 6.1. Blok 2 havde dog en dybere A-horisont end de øvrige blokke, dette forklarede Freya med, at blok 2 lå i en letter lavning.



Figur 6.1.: Jordhorisonterne på forsøgsmarken under gravning (Grossmann 2002)

Forsøgsanlæggelse.

Forsøget var designet med parceller på 12,5 m x 1,20 m, hvor bredden af parcellerne passede med afstanden mellem hjulene på de anvendte landbrugsmaskiner, således at påvirkning af parcellerne med maskinerne kunne forhindres.

Markforsøget bestod af et randomiseret blokforsøg med to faktorer og fire gentagelser. Med dyb jordløsning og afgrøder, som de to faktorer.

Jordløsning bestod af tre behandlinger; ingen jordløsninger (pløjning), grubning og effektiv jordløsning (gravning). Afgrøder bestod af to behandlinger ært/byg og lupin/havre, alle med kløvergræs som udlæg.

Hele forsøgsmarken blev pløjet i januar 2000. Grubningen blev foretaget den 1. april 2001 med en en-tand grubber uden fod (fabrikat: MF). Den havde en arbejdsdybde på 70 cm, se figur 6.2.



Figur 6.2.: Til venstre den anvendte grubber. Til højre grubberen i anvendelse (Grossmann 2002).

Gravningen ned til 90 cm dybde, blev foretaget med en rendegraver den 10. april 2001. Det blev foretaget lagvis med omgående tilbagelægning af jorden, se figur 6.3.



Figur 6.3.: Gravning (Grossman 2002).

Herefter blev parcellerne tilsået med henholdsvis vårbyg og olieræddike den 4. maj. Fremspiringen af olieræddike var imidlertid dårlig, og afgrødens vækst blev afbrudt i slutningen af juni, hvorefter den blev erstattet med raps den 16. august. Der blev tilført kunstgødning den 21. maj i form af 50 kg N/ha.

Jeg overtog herefter forsøget i foråret 2002. I april blev der foretaget en nedharvning af det allerede eksisterende raps pga. skader efter fugle og harer. Jeg valgte i stedet, at så to blandingsafgrøder, ært/byg og lupin/havre og med kløvergræs som udlæg. Der var problemer med fugle på de omkringliggende marker, og derfor blev parcellerne med ært overdækket med et net fra midt i maj til slutningen af juni.

Afgrøder.

Parcellerne blev tilsået den 9. maj 2002 med to blandingsafgrøder og kløvergræs som udlæg. Der blev valgt ært/byg i parcellerne hvor der tidligere havde været byg, og lupin/havre, hvor der tidligere havde været olieræddike og raps. Sort, udsædmængde og plantetal for nogle af afgrøderne fremgår af tabel 6.1, hvor udsædmængde og plantetal for byg og havre er 20 % af normal mængde.

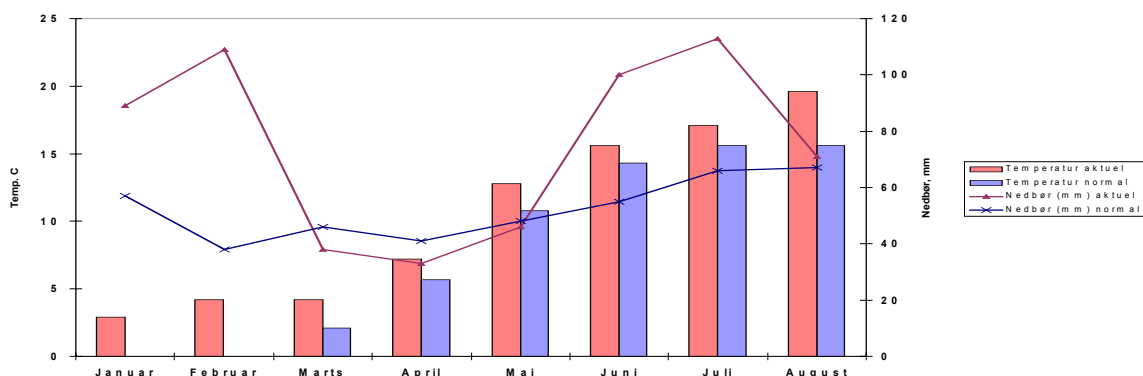
Tabel 6.1.: Sort, udsædmængde og tilstræbt planteantal for de anvendte afgrøder.

Afgrøde	Sort	Udsædmængde (kg/ha)	Tilstræbt plantetal (planter/m ²)
Ært	Athos	280	60
Byg	Otira	32	60
Lupin	Nummersort	33	70
Havre	Revisor	185	50

Kløvergræs består af en blanding af forskellige sorter hvidkløver (Milo og Rivendel) og forskellige sorter rejgræs (Fanda, Napolen, Sameba, Tivoli og Meba), hvor kløver udgjorde 20 %, og græs var de resterende 80 %, i alt var den en udsædmængde på 14 kg/ha.

Klimadata.

Det var ikke muligt at benytte klimadata fra Højbakkegårdens egen klimastadion, derfor benyttes landsgennemsnit fra DMI, se figur 6.4



Figur 6.4.: Klimadata fra Dansk Meteorologisk institut, for vækstsæsonen 2002 (Sørensen 2002).

Normal temperatur og nedbør for de enkelte måneder er gennemsnit fra årene 1961-90. Figur 6.4 viser at temperaturen inden og under vækstperioden ligger over normal, anderledes se det ud for nedbøren. Inden såning var nedbøren under normal og i selve vækstsæsonen var nedbøren over det normale.

6.2.2. Undersøgelser.

Fremspiring

Plantetæthed blev bestemt den 10. juni ved at tælle antallet af planter i 3/4 m² tilfældigt placerede ringe. Der blev foretaget tre optællinger pr. parcel á 0,75 m².

Penetrometermålinger.

Penetrometermodstanden blev målt den 31. maj med et penetrometer, som er beskrevet af Bradford (1986), dog blev der anvendt et elektronisk måleudstyr (Penetrologger). Dette gjorde det blandt andet muligt at aflæse penetrometermodstanden samtidig med målingen, da der løbende var en grafisk fremstilling af data på penetrometerens display. Ligeledes var data elektroniske talværdier, som kunne fremstilles grafisk i det tilhørende program.

Der blev benyttet et 1 cm² stor stålspyd men en 60° kegleformet spids. Nedpresningen af metalspydet skete manuelt med en penetreringshastighed på ca. 2 cm/s med målinger af penetrometermodstanden for hvert centimeter, se figur 6.5. Der blev udført 7 gentagelser tilfældig anbragt i hver parcel, hvor middelværdien af disse gentagelser vil blive brugt i senere fremstilling af data. Målingerne blev målt til en dybde på 73 cm.



Figur 6.5.: Den anvendte penetrometer i aktion.

Under normale forhold skal målingerne foregå med et vandindhold i jorden svarende til markkapacitet. Dette var ikke muligt, og vandindholdet var derfor for lavt (se klimadata). Der opstod problemer med sten i nogle af parcellerne. Dette kunne ses på penetrometerens display, da modstanden steg brat og senere faldt ligeså brat. I disse tilfælde blev målingen taget om et andet sted i parcellen.

Til statistisk analyse af penetrometermålingerne blev der benyttet data fra dybden 0 til 10, 30 til 39 og 60 til 73 cm, som et gennemsnit af de 7 gentagelser i hver parcel. Disse dybder blev valgt ud fra den grafiske fremstilling af data, hvor der ønskes data fra de øverste og nederste jordlag, samt en kontrol mellem disse lag.

Reflektansmålinger.

Reflektansmålinger benyttes som en ikke destruktiv metode til at følge planternes vækst, da det er en nær sammenhæng mellem biomassen og reflektansindeks.

Udstyret, der benyttes i dette forsøg til at måle reflektans, er beskrevet af Mogensen *at al.* (1996). Apparaturet består af et metalstativ, hvor der er monteret fire sensorer og en datalogger. Sensorerne måler i en højde af 120 cm og en flade på 1m² ved jordoverfladen, to af sensorerne måler indstråling (PARI) og reflekteret (PARc) fotosynteseaktive lys mellem 400 og 700 nm (LI-190S point sensor, LI-cor Inc., Lincoln, NE, USA) og to sensorer måler indstråling (NIRi) og reflekteret (NIRc) nær infrarøde lys

mellem 740 og 820 nm (LI-220S point sensor, LI-cor Inc., Lincoln, NE, USA). Den tilknyttede datalogger (model LI-191SB, LI-cor INC., Lincoln, NE, USA) kunne herefter overføre data til en computer, hvor den videre udregning kunne udføres. Til beregning af reflektansindekset (RI) benyttes forholdet mellem PAR og NIR.

$$RI = \frac{NIR_c / NIR_i}{PAR_c / PAR_i}$$

For denne type apparat blev der hvert år udført en kalibrering, hvortil hører der en udregningsfaktor. Denne faktor var i 2002 1,37, og den endelige RI udregnes ved at dividere $RI_{(uden\ omregningsfaktorer)}$ med udregningsfaktoren (p.m. Jørgen Thage, KVL, Institut for Jordbrugsvidenskab).

Der blev udført reflektansmålinger den 10. juni og den 11. juli, hvor der blev foretaget 7 målinger i hver parcel, middelværdien af disse målinger vil blive benyttet i mit senere arbejde. Alle målinger blev udført mellem kl. 10.00 og 14.00, for at sikre at planterne var tørre. Den 23. juli var der planlagt en måling, men på grund af blomstring af både ært og lupin, var det ikke relevant at udføre disse målinger.

Udbytte og tusindkornsvægt.

Lupin blev høstet manuelt i 2 m² af hver parcel, da lupinen havde stor variation i modenhed. Dette blev foretaget den 18. august. I denne forbindelse blev antal modne og ikke modne lupin optalt, og procentdelen af modne lupin blev udregnet. De øvrige afgrøder blev høstet med en mejetærsker den 19. august.

Blandingsafgrøderne blev skilt, hvorefter kerneudbytte blev målt og tusindkornsvægt blev registreret og hermed korrigeret til 85 % tørstof. I nogle tilfælde for lupin var der for få antal kerner til måling af vandindhold. I disse tilfælde sættes vandindholdet til 9 %. Hos de andre afgrøder var der i nogle tilfælde for lidt vand i kernerne til, at apparatet kunne måle vandindholdet. I disse tilfælde sættes vandindholdet til 8 %.

Kløvergræs.

Procentdel kløver og græs i alle parceller blev vurderet den 3. oktober, i en 3/4 m² tilfældigt placerede ringe. Der blev foretaget tre gentagelser pr. parcel á 0,75 m².

6.2.3. Databehandling.

Alle de indsamlede data blev behandlet grafisk i regneark, og standardafvigelserne blev udregnet.

Statistiske analyser blev foretaget vha. SAS-programmet GLM (SAS 1985), hvor data blev behandlet som et tofaktorielt randomiseret blokforsøg. Med 3 forskellige jordløsninger og 2 forskellige blandingsafgrøder i sommeren og 1 blandingsafgrøde i efteråret alle med 4 gentagelser.

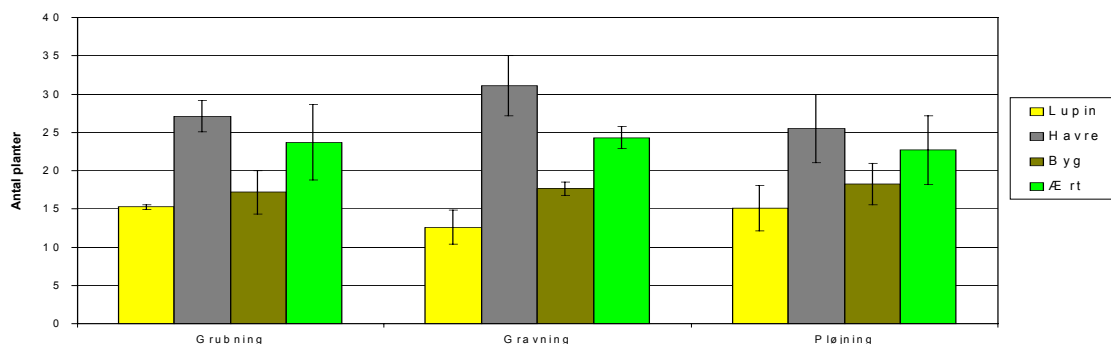
Der blev taget hensyn til statistiske afvigelser i alle udregninger, dog havde ingen af disse afvigelser nogen indflydelse på resultatet og vil derfor ikke omtales yderligere. I resultatpræsentationen angives statistisk signifikans på fire niveauer; 10 procent ($P < 0,1$), 1 procent ($P < 0,05$), 1 procent ($P < 0,01$) og 1 promille ($P < 0,001$).

6.3. Resultat.

Fremspiring.

Jordbehandling har ingen statistisk effekt på fremspiring af byg/ært og lupin/havre ($P > 0,1$), der er ligeledes ingen blokeffekt ($P > 0,1$).

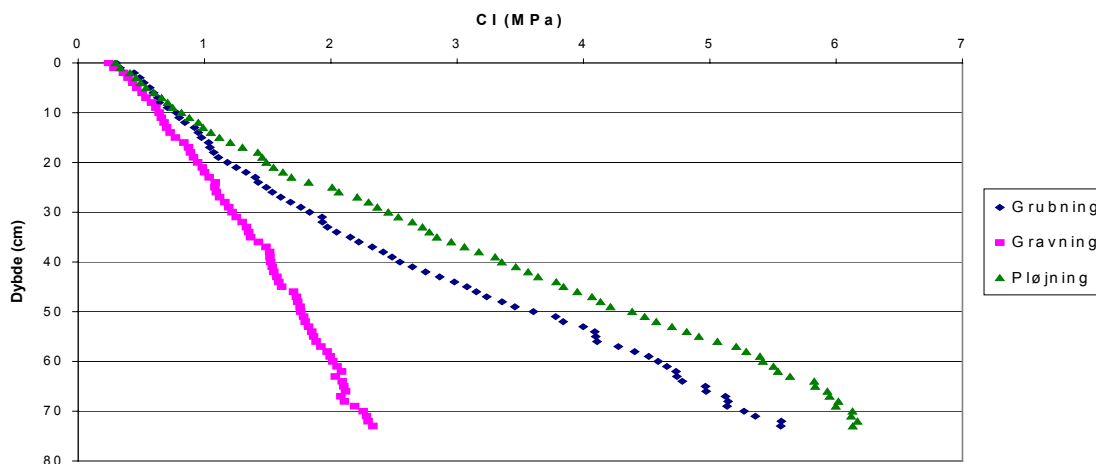
Ved grafisk sammenligning af jordløsning for afgrøderne, fremgår det af figur 6.6, at lupin har den laveste spiring i de gravede parceller og at havre har den største spiring i disse parceller. For byg og ært er der næsten ingen variation i forhold til de forskellige jordløsninger.



Figur 6.6.: Antal spirede planter på 1 m² som funktion af jordløsning, for alle afgrøder.

Penetrometermålinger.

Alle målinger blev justeret til en maksimal måledybde på 73 cm, resultatet af disse målinger kan ses på figur 6.7.



Figur 6.7.: Penetrometermodstand (CI) som funktion af dybden.

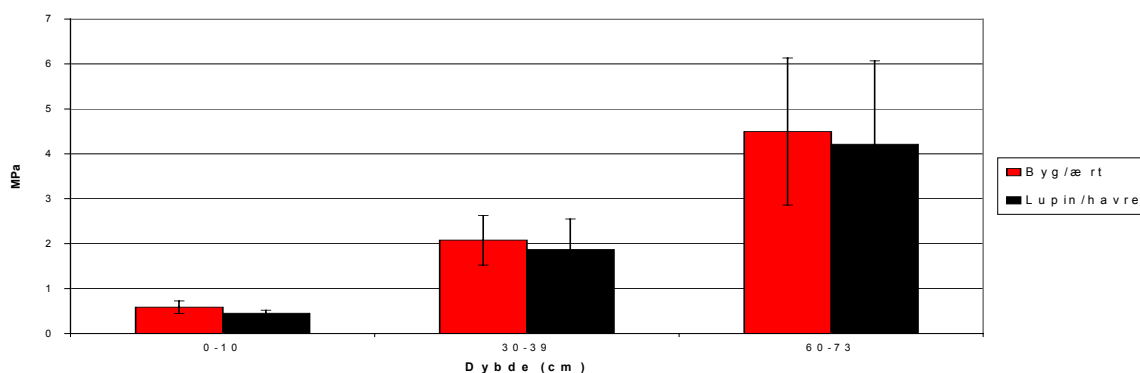
Af figur 6.7 kan ses en tydelig effekt af gravning i dybden, mens effekten af grubning ikke adskiller sig markant fra de ikke løsnede parceller, der er ligeledes en blokeffekt ($P < 0,1$) hvor blok 2 har den laveste penetrometermodstand. Denne effekt kunde skyldes det kuperede terræn, hvor blok 2 lå i en lavning.

Tabel 6.2.: Afgrøder, jordløsning, vekselvirkning mellem afgrøde og jordløsning og blok effekt for penetrometermålinger i henholdsvis 0 til 10, 30 til 40 og 60 til 73 cm dybde.

	0-10 cm	30-39 cm	60-73 cm
Afgrøde	* *	NS	NS
Jordløsning	(*)	***	***
Vekselvirkning	NS	NS	NS
Blok	(*)	(*)	NS

(*), *, ** og *** er signifikants på henholdsvis 10 %, 5%, 1% og 0,1% niveauer, NS ikke signifikant.

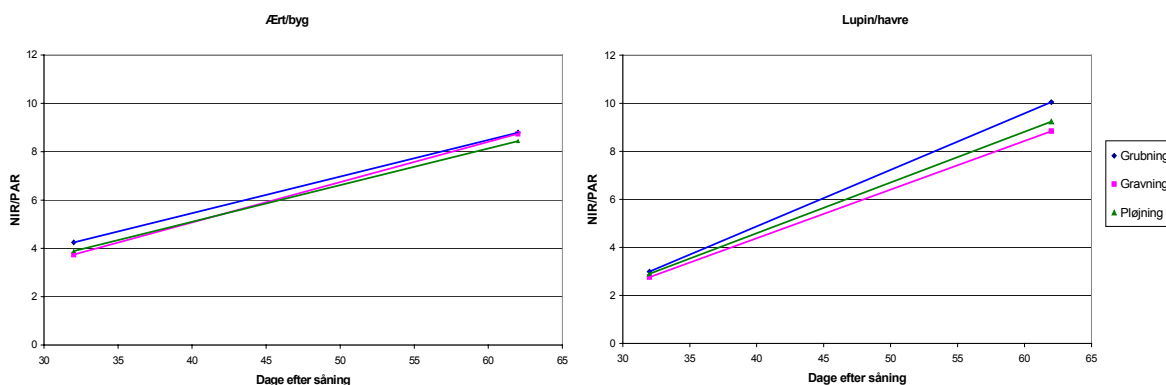
Af tabel 6.2 ses ligeledes at afgrøder har en effekt i de øveste 10 cm dybde, på figur 6.8 ses det, at parceller med raps og olieræddike, som den forgående afgrøde har den laveste penetrometermodstand i 10 cm dybde.



Figur 6.8.: Penetrometermålinger i 10 cm dybde i forhold til før afgrøderne.

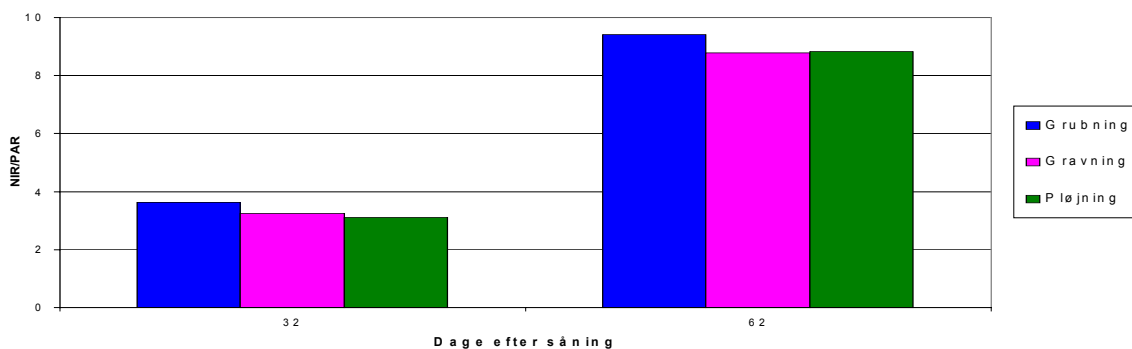
Reflektansmålinger.

I dette afsnit vil datoen hvor der blev udført målinger referer til antal dage efter såning, så den 10 Juni er 32 dage efter såning og 11 Juli er 62 dage efter såning.



Figur 6.9.: Reflektansmålinger for ært/byg og lupin/havre som funktion af antal dage efter såning.

Af graf 6.9 for lupin/havre kan ses, at 32 dage efter såning er der ingen forskel på reflektansen, dog en tendens til at gravning har en negativ effekt på væksten fra ($P < 0,1$). Denne tendens bliver mere tydeligt efter 62 dage, men hvor grubning havde den bedste vækst ($P < 0,1$). For ært/byg har grubningen allerede den største vækst fra starten, men efter 62 dage bliver grubningen indhentet af gravning. Dette betyder altså at gravning har en største vækst forøgelse i den målte periode.



Figur 6.10.: Den samlede reflektans efter 32 og 62 dage.

Samlet har de grubbete parceller den største reflektans både efter 32 og 62 dage ($P < 0,1$). Dette kan ses på figur 6.10 og tabel 6.3. Der kan endvidere ses at gravning og de ikke løsnede parceller havde næsten den samme reflektans, dog er der en lille tendens til at vækstforøgelsen er mindst for gravningen i den målte periode.

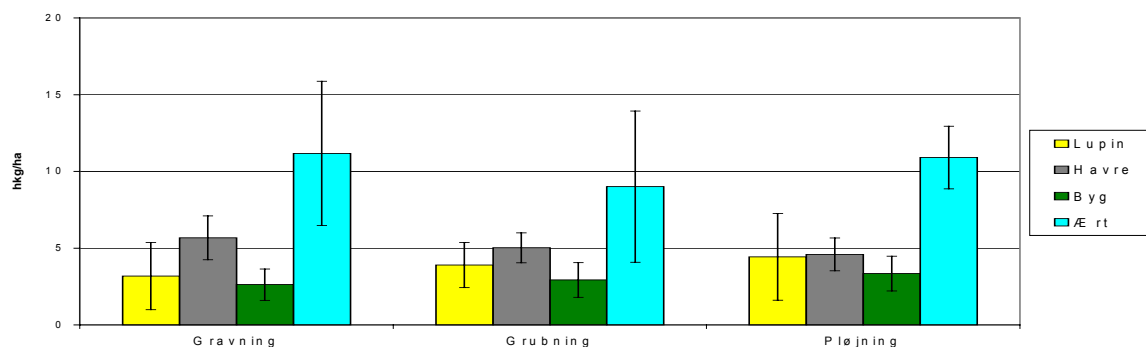
Tabel 6.3.: Afgrøde, jordløsning, vekselvirkning mellem jordløsning og afgrøde og blok effekt på reflektansmålingerne 32 og 62 dage efter såning.

	32 dage	62 dage
Afgrøde	***	**
Jordløsning	(*)	(*)
Vekselvirkning	NS	NS
Blok	**	***

(*), *, ** og *** er signifikants på henholdsvis 10 %, 5%, 1% og 0,1% niveauer, NS ikke signifikant.

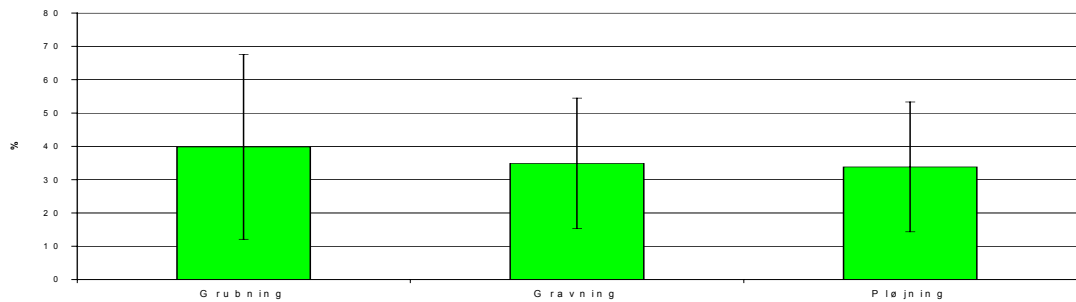
Udbytte.

Sammenligning af udbyttet i de forskellige jordløsninger på kan ses figur 6.11, her kan det antydes at både lupin, havre og ært har den største udbytte ved gravning og den laveste udbytte i parceller med byg. Statisk er denne antydning dog ikke signifikant ($P > 0,1$).



Figur 6.11.: Udbytte som funktion af jordløsning, for alle afgrøder.

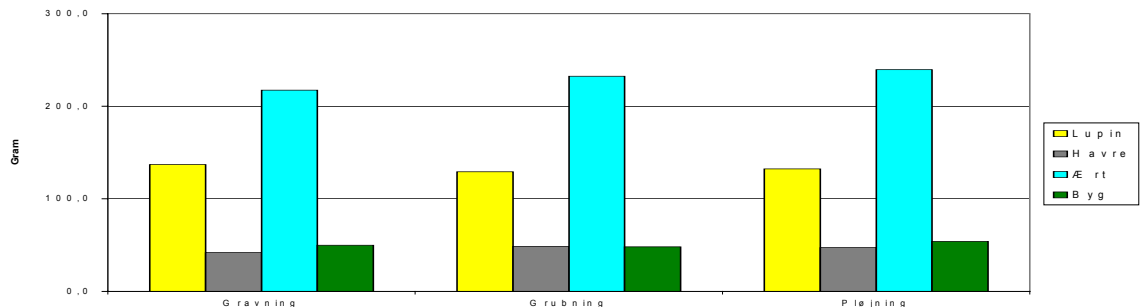
Variationen af lupins modenhed kan ses i figur 6.12. De grubbete parceller har den største procentiske antal modne lupin og den største spredning. Statistisk blev der ikke fundet nogen signifikant forskel på jordløsning ($P < 0,1$).



Figur 6.12.: Procentdel modne lupin som funktion af jordløsning.

Tusindkornsvægt.

Der er en lille variationen inden for de forskellige jordløsninger på figur 6.13. Denne variation kunne ikke ses ved en statistisk analyse ($P > 0,1$), der var ligeledes ingen blokeffekt ($P > 0,1$).



Figur 6.13.: Tusindkornsvægt som funktion af jordløsning, for alle afgrøder.

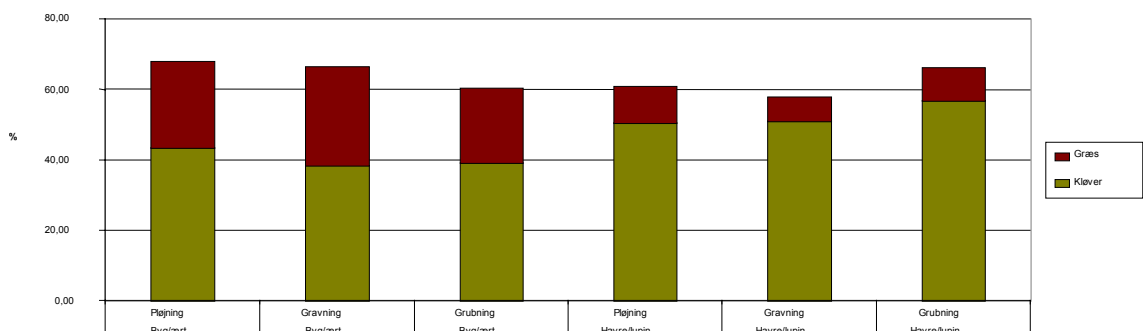
Plantesygdomme.

Den 11 juli blev der i alle parceller registreret bladplet på kornafgrøderne, i nogle få af parcellerne med byg blev der observeret nøgenbygbrand.

Kløvergræs

Jordbehandling havde ingen signifikant effekt på andelen af kløver eller græs ($P > 0,1$), der optrådte heller ikke nogen blokeffekt ($P > 0,1$).

Udlægsafgrøden (ære/byg eller lupin/havre) havde både en signifikant effekt på kløver ($P < 0,01$) og græs ($P < 0,001$), dog ingen effekt på kløvergræs ($P > 0,1$). Ud fra graf 6.14 ses af græs har bedre betingelser hvor ært/byg har været udlægsafgrøde, og at kløver havde de bedste betingelser med havre/lupin.



Figur 6.14. Andel af kløver og græs i procent i forhold til de forskellige jordbehandlinger og udlægsafgrøde.

6.4. Diskussion og konklusion af eksperimentelt arbejde.

Gravning havde stadig den bedste løsning ca. et år efter jordløsningen blev udført, målt i forhold til penetrometermodstand, mens grubning har en lavere modstand end de ikke jordløsnede parceller, dog ikke så markant som for gravning.

Trods den mindre penetrometermodstand for gravning og grubning, var der ingen signifikant forbedring i fremspiring, udbytte, tusindkornsvægt, andel modne lupin og procentfordelingen i kløvergræs i forhold til de ikke løsnede parceller. For reflektansmålinger var der en tildens til effekt af jordløsning, hvor grubning havde den bedste vækst for begge blandinger. Den manglende respons på den lave penetrometermodstand, kunne blandt andet forklares med sygdomsangrebet på kornafgrøderne, ugunstige klimaforhold, en dårlig lupin sort eller den sene såning.

Reflektansmålingerne for lupin/havre viste at grubning gav den største effekt under hele måleperioden, dog blev forskellen mere markant sidst i måleperioden. For ært/byg var forskellen på de tre jordløsninger ikke så markant, dog havde gravning den største vækstforøgelse i den målte periode.

Der optrådte både en dårlig fremspiring og udbytte for alle afgrøder i forhold til landsgennemsnittet (Birkmose *et al.* 2001), hvor udbyttet for lupin var meget dårligt. Den dårlige udbytte og fremspiring for lupin kunne hovedsageligt tilskrives den dårlige sort, samt klimaet. Klimaet giver givetvis også den dårlige fremspiring og udbytte for de andre afgrøder, sygdomsangrebet på kornafgrøderne kunne ligeledes have en negativ indflydelse på udbyttede.

Tusindkornsvægten for lupin og ært var noget under det normale, dette skyldes formentligt den dårlige lupin sort samt klimaet, for kornafgrøderne var det på et normalt niveau.

Kløvergræs viste signifikant forskelle på udlægsafgrøderne, hvor græs havde de bedste betingelser i ært/byg og det omvendte var tilfældet for kløver.

Til penetrometermålinger benyttes et penetrometerspyd hvor spidsen havde en vinkel på 60° , hvor Bradford, 1986 og Koolen, 1983 anbefaler at benytte en vinkel på 30° . Den større vinkel betyder at der måles en højere penetrometermodstanden (CI) end hvis man benytter den anbefalede vinkel. Den større vinkel gør at der opstår en større modstand mod spidsen, når spydet presses gennem jorden. Denne ændring betyder dog kun at penetrometermodstanden i dette forsøg ikke direkte kan sammenlignes med andre forsøg, kurvernes udformning vil stadig kunne sammenlignes med tilsvarende forsøg.

Penetrometermålingerne i de øveste 10 cm viser en signifikant effekt af afgrøder, i de parceller hvor der havde været olieræddik og raps som de foregående afgrøder, disse havde den laveste penetrometermodstand. Den forbedrede modstand optrådte kun i de øverste jordlag, dette kunne skyldes at rapsens vækstperiode blev afbrudt, og hermed blev rodsystemet ikke fuldt udviklet.

7. Diskussion

I 2002 udførte Grosmann dybdegående jordløsningsforsøg, som viste, at jordløsning i form af grubning og gennemgravning gav en signifikant bedre løsning af jorden end pløjning. På trods af dette var der ingen udbytteforskel mellem jordløsning og pløjning. De pløjede parceller gav dog en signifikant højere tusindkornsvægt og grubning en højere fremspiring. Reflektantmålingerne viste ingen signifikant effekt af jordløsning for byg, hvor raps derimod viste en højere reflektants for de gravede parceller ca. 70 dage efter såning. Yderlige målinger blev ikke udført da afgrødernes vækst blev afbrudt (Grosmann 2002).

7.1 Langtidseffekt på jordstrukturen ved dyb jordløsning

Parcellerne med dyb jordløsning viste i 2003 stadig en mindre penetrometermodstand i forhold til de pløjede parceller. Forskellen mellem de to dyrkningsmetoder var dog ikke så markant, som de foregående år. Gennemgravning viser stadig en bedre løsning end de grubbede parceller. En yderligere sammenligning af modstanden med det foregående år kan ikke udføres, da indstillingen af penetrometermåleren ikke var identiske. Der blev i dette forsøg benyttet et metalspyd med en vinkelspids på 60⁰, hvor Grosmann 2002 benyttede en vinkel på 30⁰. Denne vinkel er også den anbefalede (Bradford 1986 og Koolen & Kuipers 1983). Dette betyder umiddelbart kun at den målte penetrometermodstand i dette forsøg vil være højere end den, der ville være opnået, hvis den anbefalede vinkel blev benyttet.

Tidligere undersøgelser med en enkelt dyb jordløsning viste den samme mindskelse af penetrometermodstand 3 år efter løsningen blev udført. Endvidere observeres der en mindre volumenvægt og et højere volumetriske vandindhold (Evans *et al.* 1996). Stone (1982) udførte en gennemgravning, som minder om dette forsøg. Disse penetrometermålinger viste en mindre modstand, i forhold til pløjning 3 år efter det blev udført. Målinger af volumenvægten viste ligeledes en reduktion et år efter. Dog var forskellen fra pløjning ikke så markant, som året hvor gennemgravningen blev udført.

Målinger af den mekaniske modstand med et penetrometer giver dog kun et relativ udtryk for den modstand rødderne møder i jorden. Når penetrometeret måler, sker det i en lige linje gennem jorden, hvor rødderne gror mere kroget gennem jorden for at udnytte allerede dannede store porer (Ehlers *et al.* 1983). Endvidere benytter rødderne sig af en skiftevis længde- og tykkelsesvækst, der vil sænke den mekaniske modstand umiddelbart foran rodspidsen. Dette kunne betyde, at den modstand rødderne reelt møder er mindre end den modstand penetrometrene møder. Alligevel benyttes penetrometeret, da det er en af de bedre metoder til at forudsige den jordmodstand, rødderne vil møde (Bengough & Mullins 1990).

7.2 Effekt på afgrøderne ved dyb jordløsning

Efter litteraturstudierne var det ventet, at alle afgrøder ville øge udbyttet ved forbedring i jordstrukturen året efter gennemgravning og grubningen blev udført. Gennemgravningen vil endvidere give den største forøgelse af jordstrukturen. Derudover kunne der forventes, at lupin ikke vil øge udbyttet så meget i forhold til de andre afgrøder, da lupin

danner en tyk pælerod, som er i stand til at udvikle et stort rodtryk, og dermed nemmere kan trænge gennem kompakt jord.

Der kunne derfor forventes, at jordløsning vil give merudbytte, hvis jordløsningen også vi medføre en forbedring af jordstrukturen.

Men dette var ikke tilfældet. Der var ligeledes ingen forskel på fremspiring, tusindkornsvægt, andel moden lupin eller procentfordelingen af kløvergræs, selv om penetrometermålingen viste en løsnings effekt.

Den manglende respons på dyb jordløsning et år efter den blev udført, kan blandt andet forklares med klimaforholdet. Nedbørsmængden inden og omkring såningen var under normal, og kunne derfor give problemer med fremspiringen af alle afgrøder. I vækstperioden fra juni til august var nedbørsmængden langt over det normale, hvor den i midten af juli var omkring 40 mm over normalt. Dette kunne betyde, at afgrøderne ikke behøvede så mange dybdegående rødder for at optage den tilstrækkelige mængde vand, og at den dybe jordløsning derfor ikke vil give rødderne øget vækstbetingelser i forhold til pløjning i denne sammenhæng.

For alle afgrøder var der et meget lavt udbytte i forhold til landsgennemsnittet. En af forklaringen kunne være den sene såning i en periode med lidt nedbør. Kornafgrøderne blev endvidere angrebet af bladplet, som også kunne have en negativ indvirkning på udbyttet af kornafgrøderne. Lupinsorten var stadig ikke færdig afprøvet, og det kunne tyde på, at sorten ikke var egnet under danske forhold, da udbyttet og tusindkornsvægten var meget lavt.

Det lave udbytte for alle afgrøder giver et dårligt sammenligningsgrundlag og afgrødernes generelle respons på dyb jordløsning et år efter det blev udført, vil derfor være usikkert.

Resultater fra tilsvarende forsøg viser ikke noget entydig langtidseffekt af dyb jordløsning, Stone & Rosws 1982 observerer en klar forøgelse af udbyttet, hvorimod Evans *et al.* 1996 ikke målte nogen udbytterrespons af dyb jordløsning.

Reflektansmålingerne viste i modsætning til udbyttet en langtidseffekt af dyb jordløsning både for lupin/havre og ært/byg. Hvor grubning for lupin/havre havde den største vækst under hele måleperioden, og vækstforøgelsen var størst i de gravede parceller for ært/byg. Der tegner sig derfor en sammenhæng mellem penetrometermodstand og reflektansmålinger. Grosman 2002 observerer ligeledes denne sammenhæng hvor en stigning på 1 MPa i penetrometermodstand gav en reduktion på 1,26 i reflektans. Dette kan dog ikke overføres til dette forsøg, blandt andet på grund af penetrometrets vinkelindstilling.

7.3 Biologisk jordløsning

Der kunne anes en svag effekt af den biologiske jordløsning, da penetrometermodstanden i de øverste 10 cm var mindre i de parceller, hvor der tidligere havde været raps. Denne effekt kan bekræftes af Benbrook (1991), der mener, at korsblomster kan løsne jorden pga. en hurtig og kraftig rodvækst. Effekten optrådte kun i de øverste 10 cm. Dette kunne forklares med den korte vækstperiode for raps, og at afgrøderne derfor ikke havde fuldt udviklet rødder.

8. Konklusion

Projektets formål var at undersøge langtidseffekten af dyb jordløsning på jordstrukturen og afgrøderne. På baggrund af litteraturstudie og det eksperimentelle arbejde kan opstilles følgende konklusion:

- Et år efter jordløsningen blev udført havde parcellerne med dyb jordløsning stadig en mindre modstand end de pløjede parceller. Forskellen var dog ikke så markant, som det år, hvor bearbejdningen blev udført.
- Gennemgravning havde en mindre penetrometermodstand end grubning. Dette var også tilfældet det år, hvor løsningen blev udført.
- Tidligere undersøgelser viser, at en lavere penetrometermodstanden også tyder på en lavere volumenvægt og et højere volumetriske vandindhold. Det menes derfor, at kunne overføres til dette forsøg. De jordløsnede parceller menes, at have en mindre volumenvægt og et større volumetriske vandindhold.
- Dyb jordløsning havde ingen effekt på fremspring, tusindkornsvægt, udbytte, andel modne lupin eller procentfordelingen af kløvergræs.
- Udbyttet for alle afgrøder var meget lavt, og det bevirker at sammenligningsgrundlaget var meget dårligt. Dette betyder at afgrødernes generelle udbytterespons på langtidseffektens af dyb jordløsning vil være usikkert.
- Tilsvarende forsøg med dyb jordløsning viser ikke noget entydigt om langtidseffekt af dyb jordløsning på afgrødernes udbytte.
- Reflektansmålingerne viste en respons på dyb jordløsning, hvor lupin/havre havde den største vækst ved grubning og ært/byg i de gravede parceller i hele måleperioden. Der optræder hermed en sammenhæng mellem ændringer i penetrometermålinger og reflektansmålinger, som ikke afspejles i de fundne udbytter.
- Penetrometermålinger viste en svag biologisk effekt af den foregående afgrøde. Den mindre modstand optrådte kun i de øverste 10 cm. Det skyldes formentligt, at vækstperioden for rapsplanterne blev afkortet, og at rødderne ikke blev fuldt udviklet.

9. Litteraturliste

- Abdalla, A.M., Hettiaratchi d.R.P. & A.R. Reece (1969):** The mechanics of root growth in granular media. *Journal og Agricultural Engineering Research*. 14, pp. 236-248.
- Alukukku, L. & P. Elonen (1995):** Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. *Soil and Tillage Research*. 37, pp. 141-152.
- Atkinson, L.A. & D. Dawson (2001):** Root Growth: Methods of Measurement. I: Smith KA, Mullins CE (editors) (2001): *Soil and Environmental analysis physical methods*. 2. Udgave. Marcel Dekker inc., New York. pp. 435-497.
- Beltent B. & I. Kovacs (1984):** *Lupin the new break*. 1. udgave. Panagri, Bradford.
- Benbrook, C.M. (1991):** Soil management for sustainability. I: Lal R, Pierce FJ (editors) (1991): *Natural resources assessment and policy*. Soil and water Conservation Society Iowa, America. pp. 145-466.
- Bengough, A.G. & C.E. Mullins (1990):** Mechanical impedance to oot growth: a rewiew of experimental techniques and root growth respons. *Journal of soil scienc*. Vol. 41, pp. 341-358.
- Birkmose, T.S., C. Haldrup, L. Møller, K.A. Nielsen, B.S. Nielsen, P.H. Petersen & M. Tersbøl (2001):** *Håndbog I plantedyrkning*. 46. udgave. GP-Tryk, Grenå.
- Boone, F.R. (1988):** Wearher and Other environmental factors Influencing Crop Response to Tillage and Traffic. *Soil an Tillage Research* 11, pp. 283-324.
- Bradford, L.M. (1986):** Penetrability. I: Klut A (editor) (1986). *Methods og soil analysis*. Anden udgave. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Madion, Wisconsin. pp. 463-478.
- Dalsgaard, R. (2000):** Pakningskader under pløjelaget er alvorlige. *Maskinbladet*. Nr. 46.
- Díaz-Zorita, M. (2000):** Effect of deep-tillage end nitrogen fertilization interactions on dryland corn (*Zea mays L.*) productivity. *Soil and tillage reseach*. Vol. 54, pp. 11-19.
- Ehlers, W., U. Kopke, U. Hesse & W. Bohm (1982):** Penetration resistance and root growthh of oats in illed and untillede loess soil. *Soil and tillage resarch*. Vol. 3, pp. 264-275.
- Evans, S.D., M.J. Lindstrom, W.B. Voorhees, J.F. Moncrief & G.A. Nelson (1996):**

Effect of subsoiling and subsequent tillage on soil bulk density, soil moisture and corn yield. *Soil and tillage research*. Vol. 38, pp. 35-46.

- Francis, C.A. (1989):** Biological efficiencies in multiple-cropping system. *Advances in Agronom*, Vol. 42, pp. 1-42.
- Gliński, J. & J. Lipiec (1990):** *Soil Physical Conditions and Plant Roots*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
- Grosmann, F. (2002):** *Forbedring af jordkvalitet efter jordbearbejdning – er løsning løsningen*. 1. udgave. DSR Forlag, København.
- Hansen, S. (1995):** Effects of manure treatment and soil compaction on plant production of a dairy farm system converting to organic farming practice. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. Vol. 56. pp. 173-186.
- Hillel, D. (1998):** *Environmental Soil Physics*. Academic Press, San Diego, California.
- Horn, R., & M. Lebert (1994):** Soil Compactability and Compressibility. I: Soane BD, van Ouwerkerk C (editors) (1994): *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier Science B.V., Amsterdam. pp. 45-69.
- Horton, R., M.D. Ankeny & R.R. Allmaras (1994):** Effect of Compactions on Soil Hydraulic properties. I: Soane BD, van Ouwerkerk C (editors) (1994): *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier Science B.V., Amsterdam. pp. 141-165.
- Hvam, A.S. (2002):** *Markens maskiner*. 4. udgave. GP-Tryk, Grenaa.
- Imants (2002):** *Spaders*. Lokaliseret den 22 november 2002 på World Wide Web: <http://www.imants.com/pages/land-tuinbouw-spitter.htm>.
- Jamieson, J.E., R.J. Morris & C.E. Mullins (1988):** *Effect of subsoiling on physical properties and crop growth on a sandy soil with a naturally compact subsoil*. ISTRO 11th international conference (proceedings, vol. 2). 11-15th July in Edinburgh, Skotland: Tillage and Traffic in Crop Production, pp.499-503.
- Jensen, H.E. & S.E. Jensen (2001):** *Jordfysik og jordbrugsmeteorologi, Det fysiske miljø for plantevækst*. 2. udgave. DSR Forlag, København.
- Jensen, L.S., DJ. McQueen & T.G. Shepherd (1996):** Effect of soil compaction on N-mineralization and microbial C and –N. I. Field measurements. *Soil and Tillage Research* Vol. 38. pp. 175-188.
- Kooistra, M.J & N.K. Tovey (1994):** Effecta of Compactions on Soil Microstructure. I: Soane BD, van Ouwerkerk C (editors) (1994): *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier Science B.V., Amsterdam. pp. 91-111.

- Koolen, A.J. & H. Kruijpers (1983):** *Agricultural soil mechanics*. Spronger-verlag, New York.
- Kristensen, L.K. (2000):** *Jordbearbejdning med spadmaskine*. Lokaliseret den 6. november 2002 på World Wide Web:
<http://www.eksperimenter.dk/eksperimenter/faktasider/xspademaskine.html>
- Landbrugets Rådgivningscenter (2002):** *Undergrundslosning*. Lokaliseret den 23. august 2002 på World Wide Web:
http://lr.dk/bygningerogmaskiner/intormafionsserier/energikat/d2_2_5_undergundslosning.htm.
- Lunnam T. (1989):** Barley-pea mixtures for whole crop forage. Effects of different cultural practices on yield and quality. *Norwegian journal of agricultural science*. Vol. 3, pp. 57-71.
- Mogensen, V.O., C.R. Jensen, G. Mortensen, J.H. Thage, J. Koribidis & A. Ahmed (1996):** Spectral reflectance index as an indicator of drought of field grown oilseed (*Brassica napus* L). *European Journal of Agronomy*. pp. 125-135.
- Ofori, F. & W.R. Stern (1987):** Cereal- legume intercropping systems. *Advances in agronomy*. Vol. 41, pp. 41-92.
- Oussible, M., Crookston, R.K. & Larson, W.E. (1992):** Subsurface compaction and wheat growth and yield. *Agronomy Journal*. Vol. 8, pp. 60-66.
- Petersen, L. (1994):** *Grundtræk af jordbundslæren*. 4. Udgave. DSR Forlag. København.
- Petersen, J.B. (2001):** *Håndbog i plantedyrkning*. 46. udgave. GP-Tryk, Århus.
- Rasmussen, K.J. (1985):** Beretning nr. 1763: Jordpakning ved forskellig belastning. Særtryk af *Tidsskrift for planteavl*. Vol. 1989. pp. 31-45
- Sandal E. (2003):** *Ny viden om jordpakning*. Lokaliseret den 29 maj på World Wide Web: <http://lr.dk/planteavl/informationsserier/planteavlsorientering/p108-037.htm>
- SAS (1985):** *Guide for personal computers, version 6*. SAS institute Inc., Cary, North Carolina.
- Schønning P. (1998):** Jordpakning koster vedvarende udbyttetab. *Landsbladet Mark*. Nr. 10, pp 26-27.
- Schjønning, P., L.J. Munkholm, S. Elmholt, K. Deboz, G.H. Mikkelsen & A.**

- Trauter (2000):** Den danske dyrkningsjods tilstand og kvalitet: konsekvenser af trafik og jordbearbejdning. *Tidsskrift for land, økonomi*. 187. årgang, nr. 4, pp. 293-300.
- Schmidt K. (1997):** Jordens dehandling. I: Nielsen K.M. (editor) (1997). *Økologisk landbrug*. Anden udgave. GP-TRYK, Grenaa. pp, 77-86
- Schulte-Karrig, H & M. Haubold-Rosar (1993):** Subsoiling and deep fertilizing with new technique as a measure of soil conservation in agriculture, viticulture and forestry. *Soil technology*. Vol. 6, pp. 225-237.
- Schuurman, J.J. (1965):** Influence of Soil Density on Root Development and growth of Oats. *Plant and Soil*. Vol. 22, pp. 352-374.
- Siddons, P.A., R.J.A. Jones, J.M. Hollis, S.H. Hallett, C. Huyghe, J.M. Day, T. Scott & G.F.J Milford (1994) :** The use of a land suitability model to predict where autumn-sown, determinate genotypes of the white lupin (*Lupinus albus*) might be grown in England and Wales. *Journal of Agricultural science*. Vol. 123, pp 199-205.
- Steffensen, M.H. (1998):** *Dyrkning af bælgæd og olieplanter*. 3 udgave. GP-Tryk, Grenå.
- Stepniewski, W., J. Gliński & B.C. Ball (1994):** Effects of Compaction on Soil Aeration Properties. *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier Science B.V., Amsterdam. pp. 167-189.
- Stone, D.A. (1982):** The effects of subsoil loosening and deep incorporation on yield of broad beans, cabbage, leek, potatoes and red beets. *Journal of agricultural Science*. Vol. 98, pp. 297-306.
- Stone, D.A. & Rowse, H.R. (1982):** *The response of vegetable crops deep cultivation*. ISTRO 9th international conference. Osijek, Socialistic Federal Republic of Yugoslavia. pp. 52-57.
- Taylor, H.M. & H.B. Gardner (1962):** Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. *Soil Science*. 102, pp. 18-22.
- Thorup-Kristensen, K. (1997):** *Anvendelse af frøngødning og efterafgrøder*. Statens Planteavlsvforsøg. SP-rappor nr. 15, økologisk jordbrug.
- Udbye, K. (2002):** Personlig meddelelse. Dankvic. Hesselballavej 44, 6040 Egtved, telefon: 75554302.
- Van der Akker, J.J.H. (1994):** Prevention of subsoil compaction by truning the wheel load to the bearing capacity of the subsoil.

Willey, R.W. (1979): Intercropping-its importance and research needs. Part 1.
Competition and yield advantages. *Field Crops Abstracts*. Vol. 32, pp 1-10.

Østergaard, T. (1991): *Økologisk landbrug- en håndbog*. 1. udgave. GEC Gads
Forlag, Århus.