



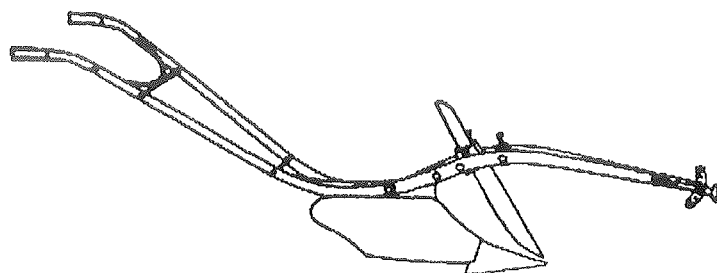
Institutionen för  
Markvetenskap  
Uppsala

# MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,  
S-750 07 Uppsala.

Department of Soil Sciences,

Bulletins from the Division of Soil Management



Nr 35

2001

Asayesh Tawfik

**Packningseffekt på korn- lupin- och  
lucernrötter och rötternas effekt på  
vattengenomsläpplighet**

*Effects of soil compaction on root growth of barley,  
lupin and alfalfa, and the influence of roots on soil  
hydraulic conductivity*

ISSN 1102-6995  
ISRN SLU-JB-M--35--SE

## Innehållsförteckning:

Litteraturgenomgång .....	1
Jordpackning och rottillväxt:.....	3
Packning och gasutbyte:.....	4
Rot funktion: .....	4
Jordtemperatur: .....	5
Skrymdensitet:.....	6
Biologisk alv luckring: .....	7
Experimentets syfte:.....	9
Material och metoder: .....	9
Försöksplan:.....	9
Packning av rör: .....	9
Skörd: .....	10
Mätning och vägning av rötter: .....	11
Mätning av genomsläpplighet före och efter ruttning:.....	11
Resultat:.....	11
Skrymdensitet efter packning: .....	11
Längd och vikt av skott och rötter: .....	12
Vatten genomsläpplighet: .....	14
Diskussion: .....	15
Sammanfattning:.....	16
Summary:.....	17
Referenser:.....	18

## Litteraturgenomgång

Marken består av mineralpartiklar, organiskt material, markvatten och markluft. Dessa komponenter kan variera i hög grad från en mark till en annan och med djupet i en och samma markprofil. Detta gäller särskilt markvattnet och markluften, vilka tillsammans representerar "markens porvolym". Det fasta materialet, vilket består av mineralpartiklar och organisk substans, utgör markens skelett och bildar väggarna till markrummet. I markrummet erhålls i gränssonen mellan vatten och luft en gynnsam miljö för växternas rötter. Man kan säga från fysikalisk synpunkt att jorden har tre fassystem; fast form, vätskeform och gasform. Huvudaspekten för plantproduktivitet är att bevara en lämplig proportion mellan fast fas, vätska och gas. Dessa proportioner är bara optimala i några jordar där klimatförutsättningar och humanaktivitet är passande (Glinski och Lipiec, 1990).

Det porsystem som bildas har framförallt samband med partikelfördelning i jordmaterialet, dvs texturen eller jordarten, och markstrukturen. Markstruktur är det som har med markens byggnad att göra, dvs det sätt varpå ingående enskilda partiklar är lagrade och hopfogade till större eller mindre enheter, s.k aggregat. Lerpartiklar och mullämnen är bindemedel i jorden. En aggregerad lerjord kan ge bra strukturmönster och möjlighet till snabba rörelser av vatten och luft i makroporerna, likaså kan rotsystemet breda ut sig i alvens flätverk av sprickor och kanaler. Grödornas rotsystem kan därför nå och effektivt genomväva stora volymer jord i alven.

Sand-, mo- och i viss mån mjälajordar saknar cementerande substanser och förmåga att bilda en makrostruktur med sprickor och kanaler. De kallas för enkelkornjordar. I dessa jordar stoppas ofta grödans rötter strax under matjorden av olika orsaker, t.ex. mekaniskt motstånd, näringsbrist eller låg lufthalt. Alven är då ej tillgänglig för växtrötterna. En del av det vattenförråd som finns i alven kan transporteras kapillärt upp till rotzonen. På enkelkornjordar krävs därför en struktur i matjorden som ger stark rotutveckling och därmed god rotkontakt med alven i gränssonen mellan matjord och alv.

Tjälning, uppblötning, upptorkning, växter, dagmaskar, dränering och körning med maskiner är några viktiga faktorer för profilutbildning i åkermark. Tung körning med traktorer t.ex. medför jordpackning vilken orsakar förändring i markens funktion. Den primära verkan av packning på marken är minskad total porvolym. I första hand påverkas de grova porerna vilka rötterna använder under tillväxtperioden (Eriksson m.fl., 1974).

För att rötterna ska förlängas måste mekanisk impedans från jorden mot tvärsnittet av roten vara mindre än trycket från själva roten. När det finns tillräckligt stora porer i jorden, tillväxer rötterna genom de här porerna, som resultat av låg mekanisk impedans. Spridning av rötter i jordprofilen är en funktion av profilens djup och mekanisk resistans mot rotgenomträngning. När den mekaniska impedansen är tillräckligt hög för att hindra rottillväxt kan det totala rotsystemet bli inskränkt till övre delen av profilen.

Jordstrukturen och jordaggregaten ändrar också rotspridningen. I en aggregerad jord bildar sprickorna ett komplicerat nätverk med gott sammanhang. Kanaler och sprickor blir därigenom direkt sammankopplade och luftcirkulation och rottillväxt kan ske obehindrat mellan dem.

Rötter som tillväxer under stort mekaniskt motstånd undergår en morfologisk förändring. Förändringen är olika beroende på växtsort, rotclass och rotålder. Förändring i extern rotmorfologi är ibland mycket tydliga så att de kan användas till identifiering av närvaro av

hög mekanisk hållfasthet. Mekaniskt hindrade rötter är kortare, tjockare och mer oregelbundna än tunnare fibrösa rötter som utvecklats under lågt marktryck (Atwell, 1988). Radial rotförtjockning är förbunden med inre morfologi eller anatomi, kortare och bredare celler. Mekanisk impedans kan orsaka ändring i cellstruktur.

Minskning i celllängd vid ökning av mekanisk impedans beror på en mindre skillnad mellan celltryck och den resistens som erbjuds från jordens fasta material (Dexter, 1987).

Hård jord packning orsakar att:

- 1- rotspetsförlängningen hämmas, när roten möter motstånd från jorden.
- 2- meristemiska regionen tillväxer radially, förtjockas 2-3 gånger sin normala tjocklek strax bakom rotmössan.
- 3- radiell (horisontell) förtjockning hjälper och lättar jordmassans motstånd mot själva rotspetsen.
- 4- rotspetsen övervinner sedan motståndet och meristemen förlängs en gång till, när rotspetsen träffar en annan zon med stort mekaniskt motstånd, så att förlängningen hämmas igen.
- 5- cykeln repeteras. (Abdalla. m.fl., 1969).

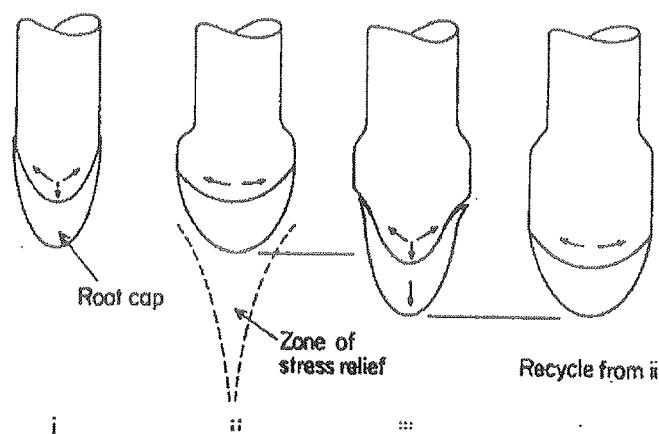


Fig 1. Rotens reaktion vid förhöjt jordmotstånd. Radiell förtjockning som åstadkommer tryckavlänkning framför rotspetsen.

Ökning i rot diameter som svar på jordpackning beror på ökning i barkens tjocklek, medan den inre roten (stelen) har konstant diameter (Atwell, 1988). Packning reducerar också sidorötternas längd. Större dilemma uppstår i rottillväxten genom packad jord vilket yttrar sig i (radiell) svullnad och sidorotsförökning. Den sistnämnda kommer omedelbart under spetsen och så att den svullnade zonen konkurrerar med själva spetsen om energi. (Atwell, 1988).

## Jordpackning och rottillväxt

Packning påverkar framför allt negativt mängden av grova porer, d.v.s porer större än 0,03 mm i jorden och de större sprickorna i olika horisonter (Eriksson m.fl., 1974). Dessa porer är avgörande för rotframkomligheten och de snabba vatten- och luftrörelserna i profilen.

Packning försämrar jordstrukturen. Porernas storleksfördelning och inre sammanhang, kontinuitet, har stor betydelse för jordens funktion och förmåga att utjämna för växlande väderleksförhållanden. Avgörande för de unga rötternas snabba tillväxt är särskilt mängden och fördelningen av grövre, väl luftade, genomgående porer eller kanaler och sprickor. Det grövre porsystemets stabilitet bestämmer i hög grad redistributionen av nya rötter i jorden. Jordar med god struktur har ett öppet spricksystem som ger rotspetsarna fri framväxt.

Fördjupningen av de olika växtslagens rotsystem är i jorden 2-3 cm per dygn under det mest intensiva utvecklingsskedet fram till axgången. Rotfrekvensen är högst i matjorden och i allra översta delen av alven, d.v.s de delar av profilen som får ta emot de största påkänningarna av fordon och maskiner, men ett glesare rotsystem fortsätter ofta till stort djup. Jord i luckert struktur tillstånd har en låg inre hållfasthet och en låg elasticitet. Packning av jord i sådant tillstånd innebär därför i princip en plastisk deformation av jorden. Ju fuktigare jorden är desto hårdare packas jorden och försämrar jordfunktionen. Rotspetsen drivs fram i jorden med en kraft som kan variera mellan olika växtsorter, den uppgår till ungefär 650 kPa hos lupin (Whalley, m.fl., 1993). I ett fast markskelett kan roten endast gå fram i porer som är lika med eller större än rot diametern. Roten har stor förmåga att ta sig fram i tät jord genom följande egenskaper hos rotspetsen:

- roten söker minsta motståndets väg.
- den har en tillväxtmekanism som lättar jordmassans motstånd mot själva spetsen. Rötternas vattenupptagning ger sprickor, roten avsöndrar slem och har en form som ger låg friktion vid framdrivningen.

Innan cellen börjar expandera är vattenpotentialen,  $\Psi_i$ , inuti cellen lika med vattenpotentialen utanför,  $\Psi_u$ .  $\Psi_i = \Psi_p + \Psi_o$ , där  $\Psi_p$  är turgortrycket och  $\Psi_o$  är cellens osmotiska potential. Den första processen är en försvagning av cellväggen. Detta resulterar i att vattenpotentialen utanför cellen överstiger den på insidan. I den andra processen rinner vatten in i cellen, och späder därmed också ut cellvätskan. Vattentillskottet orsakar en expansion av cellväggen, den tredje processen. Slutligen, lösningsämnen ackumuleras i cellen till dess att vattenpotentialerna  $\Psi_u$  och  $\Psi_i$  återigen är nästan lika.

I naturen sker alla processer kontinuerligt. Insidans tryck måste överskrida en tröskel av 0,15-0,60 MPa, innan cellen expanderar irreversibelt i näringslösning. När cellerna finns i jorden, är ytterligare begränsning orsakad av jordpartiklar omkring och måste överkommas av expanderande rötter. Om rotcellerna expanderar intill en tom spricka eller ett maskhål är ytterligare motstånd nästan noll, men om rotspetsen måste trycka åt sidan jordpartiklar för att skapa en väg, kan ytterligare motstånd bli stort. Om jordens motstånd är stort, kan ytterligare molykeler samlas ihop i en förlängningszonen. Denna lösning reducerar osmotisk potential och kan öka trycket i cellen. Ökad jordpackning orsakar större motstånd för expanderande rötter. Jordstyrka, vilket är ett mått av resistans mot deformation, ökar med ökning av jordens skrymdensitet. Vatten måste röras från omgivningen in till rötter i tillräcklig hastighet för att upprätthålla expansion av rotceller. Tillräckligt med vatten måste också levereras för att tillfredsställa rötternas behov (Taylor och Brar, 1991).

Vattenrörelsen i packad jord är mycket begränsad p g a ökning i skrymdensitet och minskning i porvolym. Jordpackning reducerar jordens vattenledande förmåga.

### **Packning och gasutbyte**

En annan viktig faktor som påverkas negativt av jordpackning är markens genomsläpplighet för luft. En luftfylld porositet på 25% (v/v) ger bra genomluftning, 10-25% luftfylld porositet kan begränsa genomluftningen, medan en luftfylld porositet mindre än 10% medför stor risk för dåligt gasutbyte (Stepniewski. och Ball., 1994). Under normala omständigheter har markluften en sammansättning som mycket liknar atmosfärluften. Detta innebär att den huvudsakliga uppdelning på kväve (ungefär 79%) och syre (ungefär 21%) är densamma. Skillnaden i sammansättning åskådliggörs bäst av koldioxidhalten. I atmosfärluften finns normalt 0,03% koldioxid medan koncentrationen i markluften kan vara 100 ggr högre, ca 0,25%, utan att den övriga sammansättningen i markluften nämnvärt påverkas ( Jansson, 1994). Vid stark jordpackning stiger halten koldioxid mycket. Då kan förväntas en betydelsefull ändring av syrgashalten till brist på syre och överskott av koldioxid vilket orsakar hämmad rottillväxt och biologiska processer och aerobisk mikrobiell aktivitet i jorden minskar. Gasutbytet i marken sker såväl genom diffusion som genom s.k. massflöde och beror därför både av diffusionskoefficienten och luftgenomsläppligheten. Båda dessa minskar i hög grad om jorden packas. Gasens diffusionskoefficient är en väsentlig parameter som karakteriserar jordens förmåga för gasutbyte. Diffusionskoefficienten beror inte bara på gassort, temperatur, trycksituation, luftfylld porositet, utan också på mängd och krokigheten av porer. Den bestäms nämligen genom ordning av jordpartiklar och vattenfilmer, jordstruktur och vattenpotential. Diffusion av gas bestäms som relativ gasdiffusion koefficient  $D/Do$ .  $D$  är gasens diffusionskoefficient i jorden och  $Do$  är diffusionskoefficienten av samma gas i atmosfären i samma situation av tryck och temperatur.  $D/Do$  ökar med minskning av vatten i jord och minskar fort med ökning av jordens skrymdensitet. Jordpackning har stor effekt på relationen mellan  $D/Do$  och jordfuktighet (Stepniewski m.fl., 1994).

### **Rotfunktion**

Rotsystemet hos årliga växter i tex spanmålsgrödor har som funktion att:

- hålla fast växten i jorden.
- absorbera och förflytta vatten och näring.
- syntetisera regulatorer för tillväxt och för andra organiska ämnen.

Överallt bestämmer volymen av jord som ockuperas av rotsystemet den maximala mängden av vatten och näring som kan bli tillgänglig för växten. Eftersom ämnen som fosfor är orörliga och sprids långsamt i jorden, har joner som är få millimeter bort små chanser att nå rötter. Både teoretiska bedömningar och experimentella resultat tyder på att rottäthet, rothår och mykorrhiza är viktiga för utnyttjandet och upptagningen av näringsämnen inom rotzonen. Näringsstillgänglighet och upptagning av rötter har samband med jordpackning. Detta förklaras dels av att rötternas tillväxt och funktion påverkas av packningstillstånd, dels av att näringsämnenas bindning, mineralisering och transport påverkas. Upptagning av N, P, K, Ca, Mg och Na minskar vid brist på syre (Glinski och Lipiec, 1990). Men i jordar med manganbrist observeras ofta att bristsymptomen är mindre i packad jord. Manganbrist uppträder främst, där syretillgången i jorden är god, eftersom manganet då oxideras till

svårlöslig form. Packning minskar syretillgången och förbättrar manganets tillgänglighet (Håkansson, 2000). Funktionen av rottillväxt under mekanisk impedans (hinder) kan på många sätt blockeras så att korta, grunda rötter och mindre celldelning i rotsystemet skall exploatera (bearbeta) mindre jordvolym för växtnäring och vatten. Kortare rötter per jordvolymenhet eller mindre rottdensitet kräver högre upptagning än normalt av näring och vatten per rotlängdsenhet för att bevara upptagningshastighet. Detta kan orsaka snabb tömning av jordnäring omkring rötterna. Alla dessa faktorer har negativ påverkan och begränsar hastigheten av utsträckning och förgrening av rötter. Därför är de skadliga för växtproduktiviteten. Rotaktiviteten hindrar planttillväxten under fröstadiet när rötterna är sårbara för ogynnsamma förhållanden i de ytliga jordlagren. När rotsystemet är väl etablerat kan ett angrepp av ogynnsamma förutsättningar, som uttorkning av ytjorden framkalla en snabbare utbredningstakt i gynnsamma zoner av jordprofilen. De senaste åren har det blivit allt tydligare att ogynnsamma markfaktorer kan orsaka minskning av skörden på ett sätt som inte är direkt relaterat till absorberingen av vatten och näringsämnen utan snarare till rotens roll som syntetiskt organ. Mycket av det icke organiska kväve, fosfor och sulfat som har absorberats av rötter, omvandlas där till organiska former innan de transporteras till skotten. Rötter syntetiserar också cytokininer och giberelliner, tillväxtregulatorer som tycks vara väsentliga för normal skotttillväxt och utveckling. Rötter tar i sin tur kolhydrater och tillväxtregulatorer från skottet, det finns alltså ett ömsesidigt beroende mellan roten och skotttillväxt. Det har föreslagits (antagits) att syntes av tillväxtregulatorer i rötter sker i den växande apex (rotspetsen) (Drew och Goss.,1973).

Inte bara de unga rotspetsarna kan absorbera vatten och näring, men laboratorieexperiment i lösningskultur har visat att de relativt äldre delarna av rötterna, belägna upp till 50 cm bakom rotspetsarna, kan fortsätta att absorbera vatten och transportera fosfor, kalium och vatten. De finare sidogrenarna kan också bli effektiva i absorberande och transport och medverka tydligt till att ge näring till plantan. Isotopteknik har visat att under gynnsamma villkor absorberas näring mycket från de översta 20 cm, i proportion till relativ fördelning av rötter ned i jordprofilen. Under torka kan absorbering ske på större djup. Förändring i den fysiska miljön i de översta 20 cm av jorden har troligen den största effekten på rottillväxten.

### **Jordtemperatur**

Rottillväxten är mycket känslig för temperaturväxling och omfattande olikheter i optimal jordtemperatur har visats mellan olika sorter och varianter. Jordtemperaturen modifieras genom olika bearbetning, t.ex. dränering, lutning, bevattning, täckning etc. Temperaturen varierar med djup och tid. Olika svårigheter kan uppstå i livcykeln beroende på plantans tillväxtrytm. Forskning uppvisade ökning av hastigheten av jonupptagning och rotandningen hos rötter med ökande temperatur (Drew och Goss, 1973). Orörda rötter absorberar också snabbare, breder ut sig snabbare, och förgrenar sig oftare med ökning av temperaturen upp till optimum.

Det har hävdats att området för stråsåd i Storbritannien har vidgats norrut p.g.a. användning av fosfatgödsel (Drew och Goss, 1973) och experiment med kontrollerad jordtemperatur har visat att de ogynnsamma effekterna av jordtemperaturer under det optimala vid tidig tillväxt av kornskott verkligen delvis eller helt har mildrats av fosfatanvändning. Men det är tydligt att växtnäring bara delvis svarar för hur känslig planttillväxten är för rottemperaturen.

När korn odlades med jordtemperatur som hölls på 9, 15,5 och 22° C var den högsta tillväxthastigheten hos skotten som hade temperaturen 22 ° C. Vid skörd var kornets torra skottvikt, näringsinnehåll och avkastning lika hög eller högre än för plantorna med 15 °C

(vilket är den jordtemperatur som vanligen anses optimal för kornproduktion, enligt Drew och Goss, 1973).

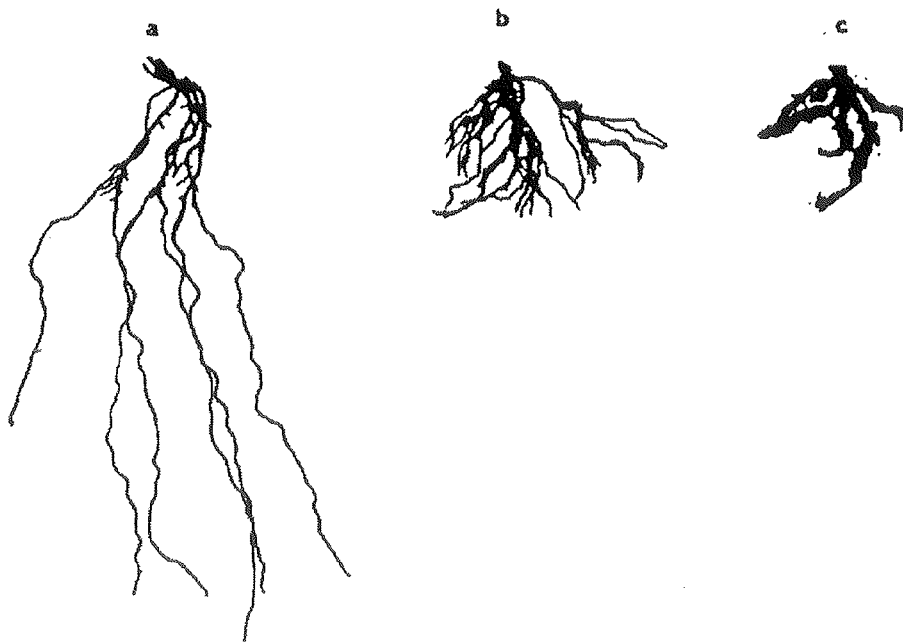
### **Skrymdensitet**

Skrymdensitet utgör ett mått på packning av jorden. Den utgör inte ett grundläggande mått på resistensen mot planttillväxt. Det finns inte en allmän skrymdensitet vid vilken växtrötternas tillväxt kan väntas upphöra. Ökning i skrymdensitet behöver inte nödvändigtvis innebära en försämring av rotmiljön, även i jordar av relativt låg skrymdensitet och bara måttlig styrka, kan rottillväxten bli reducerad genom mekanisk impedans. I praktiken är skrymdensiteten inte alltid tillfredsställande för att mäta packning, man kan t.ex. misslyckas att upptäcka begränsande skikt vilka kanske bara är av millimetertjocklek. Små ändringar i skrymdensitet kan ibland utöva mycket stor påverkan på jordens styrka. I ett experiment var en ökning i skrymdensitet i jordskikt på 10% tillräcklig för att halvera skörden av potatis. Men samma skrymdensitet i olika jordtyper hindrar tillväxten i olika omfattning. De högre gränserna för skrymdensitet som rötter inte kan tränga igenom i relativt fuktiga jordar uppges ofta som 1,75 g/cm<sup>3</sup> för sand och 1,46-1,63 för leror. Rötter har observerats tränga igenom jordar med skrymdensitet så hög som 2,0, medan skrymdensitet så låg som 1,1 kan begränsa rotens genomträngning (Drew och Goss, 1973).

Jordstyrkan mätt med penetrometer kan utgöra en nyttig vägledare till mekanisk impedans som rötterna stöter på och kan ibland vara en förklaring för reducerad plantskörd och som orsak till misslyckande av frö att komma upp. Trycket som utövas på penetrometers topp och på rottopp kan inte förväntas överensstämma numeriskt.

Figur 2 illustrerar de stora förändringar i rotsystemets form som inträffar när förlängningshastigheten reduceras, beroende av på vilken sida rottillväxten begränsas av porstorlek och väggtryck. Vid ett tillämpad tryck på 0,5 bar ( $1 \text{ kp/cm}^2 = 1 \text{ bar} = 1 \text{ atm}$ ), rot b, stimuleras tillväxten av sidogrenar jämfört med kontroll, rot a, som växer till samma storlek men utan överdriven stress. Under dessa sistnämnda villkor kan de fina sidorötterna tränga in och växa i porutrymmet med litet motstånd. Genom att använda mindre porstorlekar kan tillväxten av sidorötter liksom frörötter hindras, vilket resulterar i ett mycket reducerat rotsystem, rot c. Tillväxten av rotsystemet beror alltså på både porstorlek och porstyhets.





Figur 2. Effekten av jordmotstånd på rötter (Drew och Goss, 1973).

a- kontroll, jord tryck 0

b- jord tryck 0,5 bar vid minsta pordiameter 0,15 mm

c- jord tryck 0,5 bar vid minsta pordiameter 0,06 mm

### **Biologisk alvluckring**

Jordpackning begränsar rötternas genomtränglighet och kan begränsa plantornas förmåga att absorbera vatten från alven särskilt i halvtorra miljöer. När rötter inte kan genomtränga jorden djupt p.g.a. packning är plantorna känsliga för torka och detta leder till reducerad skörd. Djupplöjning är ett sätt att behandla packning för att öka rotdjupet. Plantornas reaktion på djupplöjning blir ofta varierande och jorden kan ompackas till en densitet lika med eller större än förut. Man har provat djupplöjning och det har givit förbättringar i alv med låg porositet. I några fall har fördelen av djupplöjning blivit kort men också höga kostnader för djupplöjning har begränsat den här metodens användning för stora arealer. "Biologisk borring" har föreslagits som alternativ till djupplöjning vilket förbättrar kompakt alv (Cresswell, m.fl., 1995). Penetration eller genomträngning av plantrötter genom kompakt jord är en naturlig process som kan förbättra en kompakt jords bördighet effektivt. Jordens fysikaliska egenskaper kan ändras om rötterna tränger ner genom jorden. När rötterna trängt igenom jorden, medför det att porer utvecklas och bildar kanaler, speciellt under tillväxtperioden. När sedan rötterna ruttnat, lämnar de bioporor efter sig, som ökar vattenrörelserna och gasdiffusionen. Jordens kompakthet är ett problem för planttillväxt i fälten om penetrometerresistensen är större än 2,0 MPa. Ett penetrationsmotstånd av 3 MPa är ofta en kritisk övre gräns för rötternas tillväxtpotential (Håkansson, 2000).

Plantrötter förlängs när insidans tryck av nya celler är tillräckligt för att övervinna genomträngande av porväggar. Generellt anses att dikotyledoner, tvåhjärtbladiga växter med stor diameter, lättare kan förlängas i packad jord än monokotyledoner (Matereshera, Dexter och Alston, 1991). Relation mellan hård jord och rottillväxt beror både på jordens och växtens egenskaper. Varje plantsort har sin egen rottillväxt vilken kan anpassas avsevärt genom miljöförbättringar.

Plantor med djupa rötter kan användas för att tränga igenom packade jordlager. Perenna plantrötter kan träffa på äldre rotkanaler från tidigare år i matjorden och alven, medan annuella plantor med större jordbearbetning ofta förstör äldre rotkanaler i matjorden.

Rottillväxten kan bli reducerad när rötterna träffar mycket sur jord p.g.a. toxicitet av sura kationer eller genom direkt pH-effekt på rötternas morfologi och funktion.

Bioporer kan främja utvecklingen av rotsystemet i djup, tjock jord. Det finns betydande bevis för att rötter ockuperar äldre rotkanaler i tjock jord. Det finns stor variation mellan plantsorter i byggnadssättet av rotsystemen, både ur genetisk synpunkt och ur miljösynpunkt. Förmågan till genomträngning av tjock jord kan bero på planttyp (perenna och annuella), rotsystemets morfologi (pålrot eller fibröst rotsystem) eller bestämd fysiologisk eller morfologisk karaktär av roten som ökar genomträngningsförmågan (t.ex. rotspetryck, motstånd till rotböjning). Perenna växtarter som lucern (*Medicago sativa*, L.) uppnår djup genomträngning under många säsonger och rötter som är millimetertjocka i diameter observerades till djup av 2-3 m i jorden (Cresswell och Kirkegaard, 1995). Både djup och storlek av lucernens rotsystem medför ett extensivt nätverk av jordens makroporer. Perenna plantor har utmärkta egenskaper för lyckosam biologisk borring. Hairiah och Van Noordwijk (1989) visade förbättring av skörden av majs, vilken odlades efter baljväxter. Förbättringen av majsskörd var förknippad med ökning av vattenmagasinering och förbättring i rotdjup och densitet i alven. Henderson studerade fördelen av biologisk borring av lupinrötter i förhållande till vetepantor när det gäller kvävetillförsel och reducering av rotdensitet. Han fann en ökning i beståndstäthet från 50 till 200 plantor per kvadratmeter (Henderson, 1989).

För att biologisk borring ska bli framgångsrik, måste plantorna kunna dra nytta av bioporer.

Experiment av Dexter (1986) visade att plantrötter i packad alv var avböjda till horisontalläge tills de råkar på vertikala hål och att proportionen av rötter vilka går in i hålen minskar med minskning av håldiameter. Dexter föreslog att rötter föredrar att växa mot bioporer när jordstrukturen är dålig, i en situation av svag genomluftning, sannolikt som svar på förändring av syrekonzentration. Strizaker (1992) föreslog att rötter föredrar att växa mot bioporer p.g.a tidigare misskötsel av jorden som leder rötterna mot svaga zoner som sprickor och bioporer. När frörötter eller sidorötter är inne i bioporer kan de få svårigheter p.g.a. att böjningsvinkeln är låg. Sidorötter som genomtränger bioporer i vinkel nära 90° har sannolik chans till genomträngning (Dexter, 1986). Rötter har observerats klumpa ihop sig i bioporer som utgör kanaler för att genomtränga djupare genom markprofilen. Rothår är viktiga för näringsupptagning men de kan inte forma sina egna porer. Därför tränger de in i porer lika med eller större än sig själva, ca 10 µm diameter (Champion och Barley, 1969).

Passioura och Stirzaker (1993) demonstrerade att rötter i stora bioporer av misstag kan förlora vatten som resultat av att rötterna har svag kontakt med jordpartiklar. Passioura (1991) föreslog också att bioporer kan koncentrera patogena mikroorganismer vilket är till skada för planttillväxten. Rotens egenskaper är ärftliga, vilket gör det möjligt att genom växtförädling eller genteknik utveckla rotsystem med förbättrad förmåga att förändra jordens egenskaper (Cresswell och Kirkegaard, 1995).

En studie av rottillväxt genom poröst pulverformat material (Scholeefield och Hall, 1984) har gjorts med syftet att undersöka möjligheten om rötter av gräs kan genomtränga små porer för att observera den mekaniska påverkan mellan individuella rotspetsar och styva porer av exakt känd storlek. Gräsrötter befanns ha förmåga att genomtränga porer formade i nättråd så små som nästan en tredjedel av deras nominella tjocklek genom att pressa sig samman. De kunde också förlängas med långa kapillärrör när de var sammanpressade. Graden av sammanpressning var antagligen begränsad av storlek på rotmössa och på tjocklek av stelen (centralcyllindern) vilken förblev oförändrad även i hårt sammanpressande områden. Etylen kunde inte upptäckas i närheten av penetrerande rötter. Stora primära rötter av perenn rajgräs som var lika med eller mindre än 800 mikrometer kunde penetrera styva porer lika med eller större än 315 mikrometer, vilken var storleken av porer härledda till att vara avgörande för tillväxt av plantan, så när de här rötterna hämmades genom mindre nät ändrades rotmönstret hos plantan tydligt medan proliferationen (förökning genom celledelning) av sidorötter kunde uppehålla skottillväxt för nät lika med eller större än 160 eller mindre än 315 mikrometer. Rötterna försörjdes nästan säkert med tillräcklig mängd av vatten och näring i det här speciella experimentet.

Också majsrötter har viss förmåga till att pressa sig genom porer och sedan vidga sig intill porhål (Scholeefield och Hall, 1985).

Vissa forskare hävdar att etylen har viktig roll i hämmande av rottillväxt (Tardieu, 1994).

### ***Experimentets syfte***

Syftet med detta examensarbete var att i laboratorieförsök undersöka packningseffekten på korn, lupin och lucernrötter, samt undersöka rötternas förmåga att tränga genom packad jord och förbättra jordens fysikaliska egenskaper, framförallt genomsläppligheten för vatten.

## **Material och metoder**

### ***Försöksplan***

#### ***Packning av rör***

Vi preparerade 80 rör, för att odla tre olika grödor: korn (*Hordeum vulgare*, L.), lucern (*Medicago sativa*, L.) och lupin (*Lupinus luteus*, L.). Varje rör består av två halva cylindrar som tejpades och skruvades ihop med slangklämmor, efter att de limmats med sand på insidan. Orsaken att använda limmad sand är att bygga en tunn vägg mellan jord och röret för att hindra rötter att växa längs med rörets insida. Vi använde två olika sorter av sand till limmad rörvägg, finsand 0,2-0,5 mm tjocklek och grovsand 0,5-1,0 mm tjocklek. Rören med finsand användes för genomsläpplighetsmätning och i rören med grovsand tog vi ur rötterna och mätte längd och diameter. 40 rör packades för varje nivå. Rörlängden var 40 cm, inre diameter 67-68 mm. Vi använde två nivåer av packning: 100 kPa och 400 kPa. Vi fyllde varje rör med 75-80 g jord åt gången, ungefär 1,5-2 cm per tryckning, för att ge en homogen jordmiljö i hela röret. Vi behöll trycket en 1 minut per gång. Packning utfördes med en tryckluftskolv. Alla rören fylldes med jord till ungefär 35,5-36,5cm.

En given jord ger högst skörd vid en viss skrymdensitet eller porositet. Den optimala skrymdensiteten eller porositeten är emellertid olika för olika jordar. Optimala förhållanden för grödans tillväxt erhålls vid en viss skrymdensitet och både högre och lägre skrymdensitet sänker skörden. Vi räknade med att 100kPa är ungefär den optimala skrymdensitet för

grödorna. 400 kPa avviker mycket från optimala värdet och är hög packningsgrad för jorden, vilken negativt påverkar grödorna.

Vi lämnade ungefär 4 cm i rörets topp tomt för såbädd och bevattning. Vi odlade i totalt 72 rör: 24 rör med korn, 24 rör med lucern, 24 rör med lupin och bevarade 8 rör som kontroll, utan att odla något frö i, men som i övrigt behandlades på samma sätt.

Korn, lucern och lupinfrö odlades i vardera 12 rör packade till 100 kPa och 12 rör packade till 400 kPa, respektive. I varje rör placerades 5 frö över packad jord och sedan tillsattes ungefär 2 cm sand jord motsvarande 100 g till varje rör för att täcka fröet med ett tunt skikt. För varje rör mättes vikt efter packning. De två första veckorna bevattnades varje rör med 25 ml vatten, två gånger i veckan. Under den här perioden efter odling lyckades frön att gro och etablera sig. Därefter togs de två svagaste plantorna bort så att det blev 3 plantor kvar i varje rör. Sedan bevarades rören under tillväxtperioden i kontrollerad miljö, klimatkammare med dag-natt temperatur 24 respektive 21°C, ljus 16 timmar per dag och 80-90 % relativ luft fuktighet. Bevattning skedde varannan dag, på så sätt att vi behöll vikten på varje rör så att vikten på varje rör jämfördes med rörvikten vid initialt packningsstadium. Detta gav storleken på evapotranspirationen och gjorde säkert att vattentillgänglighet inte begränsade tillväxten. Hela tiden behandlades alla rören på samma sätt.

Jorden hade följande kornstorleksfördelning:

Ler 30%, mjäla 42% (fmj 12%, gmj 30%), mo 18,1% (fmo 16,1%, gmo 2%), sand 3,2% (ms 1,9%, gs 1,3%) och mullhalt 6,4%. Vattenhalten i jorden när vi packade var 20%(g/g).

### **Skörd**

Efter drygt fem veckor av odling, den 11-1-2000, skördades 24 rör, 12 rör korn, 12 rör lucern ; 6 rör för varje växtslag och packningsnivå:

6 rör finsand korn, 3 rör 100kPa, 3 rör 400kPa.

6 rör grovsand korn, 3 rör 100kPa, 3 rör 400kPa.

6 rör finsand lucern, 3 rör 100kPa, 3 rör 400kPa.

6 rör grovsand lucern, 3 rör 100kPa, 3 rör 400kPa.

Målet var att undersöka om åldern har någon effekt på genomträngning av rötter i packad jord.

Vi mätte först längden på den ovanjordiska delen av varje planta, sedan klipptes korn och lucern och växtresterna lades i degel. Fuktig vikt mättes på de färska proven och därefter torkades proven i ugn i 105 °C i 24 timmar och torrsvikt noterades.

Lupin fick odlas om en gång p.g.a att klimatkammaren gick sönder under julen 1999 och lupinplantor skadades allvarligt. Efter drygt 5 veckor, den 17-2-2000 tog vi 12 rör av lupin:

6 rör finsand lupin, 3 rör 100 kPa, 3 rör 400 kPa.

6 rör grovsand lupin, 3 rör 100 kPa, 3 rör 400 kPa.

Vi mätte först längden på ovanjordiska delen, sedan skördades de på samma sätt som ovan.

Det betyder att vi tog hälften av odlade rören, 36 rör och resten tilläts att växa 7 veckor till.

Efter 3 månader av odling, skördade vi resten av plantorna i 36 rör, och gjorde samma mätning som vid första skörd.

## **Mätning och vägning av rötter**

Jordkolumner av varje rör av de som limmats med grovsand på insidan genomskärdes till 10 cm längd, första början från topp av packad jord, efter att vi öppnade rören. Rötterna i varje del tvättades och togs omsorgsfullt från jorden. Rotlängd och diameter uppmättes med bildanalyssystem RHIZO version 4,0 A. Sedan torkade vi rötterna i ugn i 105 °C under 24 timmar och mätte deras torrsvikt .

## **Mätning av genomsläpplighet före och efter ruttning**

Vi tog 22 rör, 5 veckor efter odling: 18 rör av dem som innehåller limmad finsand på insidan, efter att de skördats, och 4 rör av kontroll (utan plantor), två från varje packningsnivå. Rören ställdes i vattnet drygt en vecka, först i grundvatten cirka 10-12 cm höjd sedan höjde vi vattennivån så att vattnet nådde mer än hälften av rörlängden, därefter mättes genomsläpplighet på dem och rören ställdes tillbaka i klimatkammaren. Under den här perioden började rötterna dö, eftersom de klipptes från skottet och vi behöll rören i en vattenmättad miljö flera dagar, och lät dem stå kvar tills de torkat, krympt och multnat. 6 veckor efteråt vattenmättades rören en gång till och vi mätte genomsläpplighet på dem. Vi gjorde samma process med rören från andra skörden.

## **Resultat**

### **Skrymdensitet efter packning**

Skrymdensitet ökade med hög packning 400 kPa upptill  $1,3\text{g/cm}^3$ , i vissa rör jämfört med mindre packning 100 kPa, som var högst  $1,17\text{g/cm}^3$  (tabell 1).

**Tabell 1. Skrymdensitet i rören packade med 100 och 400 kPa**

Gröda	Packning	Skrymdensitet medelvärde
Korn	100 kPa	$1,14\text{ g/cm}^3$
Korn	400kPa	1,28
Lupin	100kPa	1,13
Lupin	400kPa	1,28
Lucern	100kPa	1,14
Lucern	400kPa	1,28

## Längd och vikt av skott och rötter

Längden av ovanjordiska delen av växterna efter första och andra skörd presenteras i tabell 2 och 3.

Längden av ovanjordiska delen hos korn och lupin var mycket större än lucernens vid första skörd efter 5 veckor. Vid skörd efter 3 månader (andra skörd) var också längden av den ovanjordiska delen hos korn och lupin större än lucernens, men skillnaden var mindre jämförd med den vid 5 veckors skörd. Vi fick också vid mindre packning (100 kPa) lite längre plantor i bägge skördarna jämfört med försöket med högre packning. Skillnaden var inte så stor och betydande.

**Tabell 2. Medelvärde på längd av ovanjordiska delen, första skörd**

planta	Packning 100 kPa	Packning 400 kPa
	Längd (cm)	Längd (cm)
Korn	31,8	29,4
Lucern	6,9	6,7
lupin	30,75	24,25

**Tabell 3. Medelvärde på längd av ovanjordiska delen, andra skörd**

planta	Packning 100 kPa	Packning 400 kPa
	Längd (cm)	Längd (cm)
Korn	52,68	52,12
lucern	24,1	20,3
lupin	41,1	40,7

Tabell 4 visar att vid högre packning (400 kPa) halverades längden av rötter hos korn, hos lupin och lucern blev längden en tredjedel av längden vid normal packning till (100 kPa). Rötterna blev kortare, tjockare och mer eller mindre oregelbundna.

Rotlängd i olika skikt efter andra skörd visas i tabell 5.

**Tabell 4. Medelvärde på rötternas längd, andra skörd**

Gröda	Packnings grad kPa	Längd cm
Korn	100	14613,84
Korn	400	7265,03
Lupin	100	4432,72
Lupin	400	1554,47
Lucern	100	3746,25
lucern	400	1120,94

**Tabell 5. Rotfördelning i olika skikt vid 3 månaders tillväxtperiod**

Tryck, djup	Gröda 3 månader, Rötter cm			Relativtal (korn=100)			
	100kPa	korn	lucern	lupin	100kPa	korn	lucern
0-10cm	12408,0	2305,56	3198,86	0-10	100	18,5812	25,7805
10-20cm	1852,74	898,38	808,808	10-20	100	48,4894	43,6548
20-30cm	344,360	540,507	338,715	20-30	100	156,959	98,3606
30-cm	8,7242	1,79703	36,3406	30-	100	20,5983	989,668
400kPa	Korn	Lucern	Lupin	400kPa	Korn	Lucern	Lupin
0-10cm	7226,89	822,582	1515,89	0-10	100	11,3823	20,9758
10-20cm	37,3636	291,566	38,5739	10-20	100	780,349	103,239
20-30cm	0,287	3,6861	0	20-30	100	1284,35	0
30-cm	0,48967	3,1055	0	30-	100	634,207	0

Tabell 5 visar att korn efter 3 månaders tillväxt producerade högsta totala rotlängd oberoende av packningsnivå. I jordrören som packats till 400 kPa, var kornrötterna och lupinrötterna inskränkt till toppens 10 cm av jordröret. Lucernens totala rotlängd var lägst och relativt mer reducerad genom packning, men lucernröret hade högre rotdensitet under 10 cm djup vid packningsnivå 400 kPa än korn. Lucern och lupinrötter förtjockades och fördjupades ner i rörprofilen, i vissa rör djupare än 30 cm, men sidorötterna var mycket mindre och man kunde se lucern- och lupin rötter djupare än 30 cm i rören packade med 100 kPa.

Lucernrötter växte ner till 30 cm och i vissa rör mer än 30 cm. Relativ tal för lucern under 10 cm djup är mycket högre än för korn.

**Tabell 6 Medelvärde på skott och rötternas vikt**

5 veckor	100 kPa färsk skott	Torr skott	Rötter torr	
	Korn 2,47 g	0,29 g	0,14 g	
	Lucern 0,18 g	0,03 g	0,03 g	
	Lupin 10,56 g	1,0 g	0,20 g	
	400 kPa			
	Korn 2,15 g	0,26 g	0,09 g	
	Lucern 0,15 g	0,03 g	0,01 g	
	Lupin 6,0 g	0,58 g	0,1 g	
3 månader	100 kPa färsk skott	Torr skott	Rötter torr	
	Korn 13,34 g	3,58 g	0,56 g	
	Lucern 1,61 g	0,43 g	0,51 g	
	Lupin 23,72 g	5,2 g	1,16 g	
	400 kPa			
	Korn 9,14 g	2,65 g	0,28 g	
	Lucern 1,08 g	0,29 g	0,24 g	
	Lupin 15,48 g	3,49 g	0,70 g	

Tillväxthastigheten var märkbart olika mellan de arter som användes i experimenten. Både färskvikt och torrsvikt av ovanjordiska delen hos olika arter och sorter var betydande olika, vikten minskade i ordningen lupin>korn>lucern. Efter fem veckors försök, förstaskörden, var torrsvikten hos rötterna hos årliga växter betydligt högre än lucernens. I andraskörden, när växter tillväxt i tre månader, var det inte så stora skillnader i rötternas torrsvikt mellan korn och lucern, rötternas färskvikt och torrsvikt vid 100 kPa packning var högre än rötternas färskvikt och torrsvikt vid 400 kPa.

Korn producerade högst total rotlängd vid båda packningsnivåerna följt av lupin. Lucern som tilläts tillväxa bara 5 veckor kunde inte nå djupare delen av jorden i rören även med den mindre packningsgraden 100 kPa. Korn och lupin tillväxte mer stabilt och båda kunde penetrera jordrören i djupare skikt. Korn och lupin växte nästan enbart i de översta 10 cm i de hårdast packade rören med 400 kPa. I toppen av de 10 cm hos rören var jorden mest störd, p.g.a. växlande vatteninnehåll, och full med rötter.

Det var skillnad i tillväxthastigheten mellan arterna, genom skillnad i transpiration vid olika tillväxtperiod. Under de första 4 veckorna efter odling var transpirationen hos korn och lupin mycket större än lucernens, ungefär sex gånger större.

### Vattengenomsläpplighet

**Tabell 7. Medelvärde på genomsläpplighet ( K värde )**

planta	Genomsläpplighet (cm/tim)	
	100 kPa	400 kPa
Första skörd		
Lucern	0,4317	0,0293
Korn	0,3377	0,0751
Lupin	0,3651	0,0667
kontroll	0,3513	0,0376
Andra skörd		
lucern	0,4807	0,0501
korn	0,2772	0,016
lupin	0,2353	0,0505
kontroll	0,2768	0,3619
Efter ruttning		
lucern	10,3338	0,0217
korn	3,1464	0,0043
lupin	3,3101	0
kontroll	5,8493	1,5893

K-värdet var högre i rören packade med 100 kPa, och hade mindre värden i de hårt packade rören. Detta betyder att vattnet rann saktare i den hårt packade jorden.



Efter ruttning, fick vi högsta k-värde hos kontrollrören. Det kan förklaras med att vi har haft ett rör med mycket högt k-värde bland kontrollrören, vilket orsakade en höjning av medelvärdet.

Vi tillsatte blått färgat vatten till toppen av rören och lät det rinna genom jordröret. Detta gjorde att vi kunde kontrollera rören om det har runnit vatten mellan jorden och rörens vägg, vilket om det skett kan leda till stora fel i genomsläpplighetsvärdena. Blått färgat vatten rann i rören med 100 kPa packning, vilket gör att vi där inte kan dra några säkra slutsatser.

## Diskussion

I vårt experiment lyckades alla växtfrön att gro. Rötterna spred ut sig i rör packade med 100 kPa ganska bra och utan stora hinder. Detta beror på att packningsgraden inte var så stor. Vid 400 kPa packning lyckades också frön av växterna att gro, även korn som är känslig för packning jämfört med lucern och lupin. Lucernens och lupinens rötter förtjockades och blev mer eller mindre oregelbundna och fördjupades ner i rörprofilen, i vissa rör djupare än 30 cm, men sidorötterna var mycket mindre. Vi kunde se lucernens och lupinens rötter normalt i 0-30 cm djup, i rören packade till 100 kPa. Kornrötterna utbredning och täthet var bara i 0-10 cm av profildjupet i rören packade med 400 kPa, de förtjockades mindre jämfört med lucern och lupin och kunde ej genomtränga djupt i rören.

Rottillväxten påverkas, av ett komplicerat samspel mellan samtliga tillväxtfaktorer som markfysikaliska (temperatur, syre, vatten, mekaniskt motsånd), markkemiska (näringstillgång, växtnäringsfördelning i profilen, stimulerande eller tillväxthämmande ämnen, pH) och markbiologiska (mikro- och makroorganismer, såväl skadliga som nyttiga). Rottillväxten påverkas dessutom av växtslagets egna art- och sorts specifika genetiskt och fysiologiskt betingade egenskaper.

Tillväxtmönstret hos de tre växter som användes i experimenten var mycket olika. Tillväxthastigheten hos korn och lupin var mycket högre än hos lucernen. I rören som mättes efter 5 veckor, kunde inte lucernrötterna genomtränga profilsikt av jorden även i lågt packad jord. Detta betyder att lucernen behöver lång tid för att utveckla sin förmåga till etablering av rotsystemet i packad jord. Båda växternas totala rotlängd och maximala rotlängd minskar med ökad packningsgrad. Rotkoncentrationen var relativt hög i de övre 10 cm av rören packade till 400 kPa. Orsaken kan vara bevattningsåtgärden. Bevattningen utfördes genom tillsättning av vatten till rörens jordtopp. Låg infiltration av vattnet gjorde att toppdelen av rören innehöll mycket mer vatten jämfört med resten av rören. Detta ändrade jordstyrkan och tillät jordsvällning och fyllde porerna istället för rötter, vilket gav mindre skrymdensitet. Vid tre månaders skörd hade procenttal av rotlängd hos korn minskat vid hög packning (400 kPa), mindre än lucernens och lupinens, men rotlängden under 10 cm djup var högre hos lucernen och lupinen jämfört med kornet. Detta visar skillnader mellan olika växtslag vid genomträngning av packad jord. Lucern hade större förmåga än korn att penetrera packad jord.

Det var ingen stor skillnad i genomsläpplighet mellan rören vilka innehåller olika växtslag efter skörd av den ovanjordiska delen. Rören som innehåller ett bra utvecklat rotsystem har en tendens till att ha låg genomsläpplighet, även efter ruttandet av rötter var det inte så stor skillnad mellan rören. Orsaken kan vara ett högt siltinnehåll i jorden, mer än 50 % är silt (mjåla och finmo), den har enkelkornstruktur, jordpartiklarna är små och de flyttas lätt om vid

mekanisk påverkan. Vid en vattenmättad situation, kan jorden blir mycket ostabil och strukturen kollapsar bara genom att man rör rören lite. Detta var en svag punkt i experimenten, det hade varit bättre med en jord med stark struktur vid vattenmättnad. Å andra sidan kunde inte rötterna tränga ända ner i rören, vilket gäller båda packningsnivåerna, de trängde bara ner till 30 cm djup i allmänhet, så troligen finns det ett skikt där i rören som hindrade vattnet att rinna ner i rören så att man kan säga att längre ner i rören fanns mer packad jord och utan grova porer.

Jordens pH justerades till pH 7 och det tillfördes tillräckligt med näring innan vi packade den. Andra förutsättningar var ganska optimala i klimatkammaren som vi lämnade rören i, gällande temperatur, ljus-, fuktighet- och vattentillgång. Tyvärr gick klimatkammaren sönder under odlingsperioden och vi tvingades flytta rören till en annan plats med sämre villkor gällande fuktighet och ljus. Speciellt lupin påverkades mycket kraftigt under den här perioden, så att vi tvingades odla om lupinen. Efter ungefär 10 dagar ställdes rören tillbaka rören i klimatkammaren efter att reparation skett. Troligtvis var det mekaniska motståndet den markfysikaliska faktor som huvudsakligen begränsade rötternas framkomstmöjligheter. Orsaken till att grödorna växer sämre, när jorden packas över det optimala är för högt penetrationsmotstånd hos jorden och för dålig syretillgång i marken (Håkansson, 2000). Ett annat problem som vi hade med experimenten, var att blåfärgat vatten rann ner i rören mellan jorden och rörväggen, så vi kunde inte få perfekta (tillförlitliga) värden på genomsläppligheten. En möjlighet vore att byta rörens tillverkade material till andra ämnen, istället för plast t.ex. använda trä och så kunna ändra formen på rören (till t.ex. rektangulära). Detta kan vara ett förslag till en bättre metod för ett bättre resultat.

Markens minskande genomsläpplighet för vatten kan leda till ökad ytavrinning och jorderosion i praktiken. Rotdjup och rottäthet i marken minskar. Därigenom utnyttjas växtnäringen sämre. Genomluftning av marken försämras och denitrifikationen och frigörelsen av vissa växthusgaser kan öka, t.ex. koldioxidhalten. Det leder till att mera växtnäring lämnas kvar i marken vid växtsäsongens slut och riskerar att lakas ut (Arvidsson, 1997). Antalet dagmaskar minskar och sjukdomsangreppen på grödornas rötter kan öka. Packning påverkar alla organismer i marken och deras livsvillkor och det organiska materialets nedbrytningshastighet förändras. Det vore därför mycket värdefullt att fortsätta utveckla denna laboriemetod för att finna växter som kan förbättra markstrukturen.

## Sammanfattning

Metoden att förbättra packad alv är viktig för markens bördighet, eftersom lantbruket sedan andra världskriget har genomgått en mängd förändringar vilket bl.a har lett till att det i dag används större och tyngre maskiner. I det här examensarbetet har man syftat till att undersöka förmågan vissa växter har att genomtränga packad jord, och att skapa biologiska porer för att stabilisera markens struktur.

Korn (*Hordeum vulgare*, L.), lupin (*Lupinus luteus*, L.) och lucern (*Medicago sativa*, L.) odlades i rör på laboratorium. Jorden i rören packades till två olika nivåer, med packning 100 kPa respektive 400 kPa. Efter tillväxtperioder på 5 veckor respektive 3 månader, mättes rotlängd och vattengenomsläpplighet. Lucern visade större förmåga att etablera rotsystem i packad jord jämfört med korn. Vattengenomsläppligheten i rören var inte betydande olika mellan de olika växtslagen.

Laboratoriemetoden visar på olika växsorters förmåga att penetrera packad jord. Trots att metoden hade begränsade möjlighet att undersöka förändringar i markstrukturen, så kan små ändringar i experimentets uppbyggnad vara tillräckliga för att påtagligt förbättra resultaten.

## Summary

The method to improve compact subsoil is very important to the soil fertility. This is because agriculture since the second world war has been through a lot of changes, and today bigger and heavier machines are used. In this work the ability of different plant species to penetrate soil and stabilize soil structure was screened.

Barley (*Hordeum vulgare*, L.), lupin (*Lupinus luteus*, L.) and lucerne (*Medicago sativa*, L.) were grown in tubes. The soil in the tubes was compacted to create two different compaction levels, by applying pressures of 100 kPa and 400 kPa, respectively. After a growth period of five weeks and three months respectively, root length and saturated hydraulic conductivity were measured. Lucerne had a greater ability to establish root systems in compact soil compared to barley. Saturated hydraulic conductivity of the tubes was not very different between plant species.

The laboratory method show on different abilities between species to penetrate compact soil. The method had some limitations in its ability to detect soil structural changes, but this can probably be overcome by small changes in the setup of the method.

## Referenser

- Abdalla, A.M., D.R. Hettiaratchi, 1969. The Mechanics of Root Growth in Granular Media. *Journal of agricultural Engineering Research* 14:236-248.
- Amanda Cook, C.A. Marriott, W. Seel and C.E. Mullins, 1996. Effects of soil mechanical impedance on root and shoot growth of *Lolium Perenne* L., *Agrostis Capillaris* and *Trifolium repens* L. *Journal of Experimental Botany*, 47, 1075-1084.
- Atwell, B.J., 1988. Physiological responses of Lupin roots to soil compaction. *Plant and soil* 111, 277-281.
- Bathke, G.R., D.K. Cassel, W.L. Hargrove and P.M. Porter, 1992. Modification of soil physical properties and root growth response. *Soil Science*, Vol. 154, No. 4, 316-329.
- Castillo, S.R., R.H. Dowdy, J.M. Bradford, W.E. Larson, 1982. Effects of Applied Mechanical Stress on Plant Growth and Nutrient Uptake. *Agronomy Journal*, Vol. 74.
- Cresswell, H.P., J.A. Kirkegaard, 1995. Subsoil amelioration by plant roots—the process and the evidence. *Aust. J. Soil Res*, 33, 221-239.
- Dexter, A.R., 1987. Mechanics of root growth. *Plant and soil*, 98, 303-312.
- Drew, M.C., M.J. Goss, 1973. Effect of soil physical factors on Root Growth. *Chemistry and Industry*, 21.
- Eriksson, J., 1982. Markpackning och rotmiljö. Rapport 126. Institutionen för markvetenskap, avdelningen för lantbrukets hydroteknik.
- Eriksson, J., I. Håkansson, B. Danfors, 1974. Jordpackning- markstruktur-gröda. Meddelande nr 354, JTI, Uppsala.
- Glinski, J., J. Lipiec. *Physical conditions and Plant roots*. CRC Press.
- Greacen, E.L., 1986. Root response to soil mechanical properties. *Transaction of the 13<sup>th</sup> Congress of the I.S.S.S, Hamburg*, vol. 5, 20-47.
- Hallgren, G., 1960. *Grundförbättring*, nr 3, årg. 13.
- Hallgren, G., 1961. *Grundförbättring*, nr 4, årg. 14.
- Komplementlitteratur i Markfysik. MV1. 1994. Institutionen för markvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Materechera, S.A., A.R. Dexter, A.M. Alston, 1991. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. *Plant and Soil*, 135: 31-41.
- Materechera, S.A., A.M. Alston, J.M. Kirby, A.R. Dexter, 1993. Field evaluation of laboratory techniques for predicting the ability of roots to penetrate strong soil and of the influence of roots on water sorptivity. *Plant and soil*, 149, 149-158.
- Rydberg, T., 1987. Studier av plöjningsfri odling i Sverige. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 76. Institutionen för markvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Scholefield, D., D.M. Hall, 1985. Constricted growth of grass roots through rigid pores. *Plant and soil* 85, 153-162.

Tardieu, F., 1994. Growth and functioning of roots and of root systems subjected to soil compaction. Towards a system with multiple signalling. *Soil and Tillage Research* 30, 217-243.

Taylor H.M. and G.S.Brar.1991. Effect of soil compaction on root development. *Soil and Tillage Res.*, 19, 111-119.

Vetenskapliga synpunkter på jordpackning. En Information Från Ana-Maskin AB.

W.R.Whalley, A.R.Dexter, 1993. The maximum axial growth pressure of roots of spring and autumn cultivars of lupin. *Plant and Soil* 157, 313-318.

W.Stepniewski, J. Glinski, B.C. Ball, 1994. Effects of Compaction on Soil Aeration properties. *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.

## MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Nr	År	
1	1992	Johan Arvidsson, Sixten Gunnarsson, Lena Hammarström Inge Håkansson, Tomas Rydberg, Maria Stenberg, Bo Thunholm: 1990 års jordbearbetningsförsök. 40 s.
2	1992	Mats Tobiasson: EKOODLAREN - En studie av ett kombinationsredskap för sådd och ogräshackning, utförd våren och sommaren 1991. Examensarbete. 19 s.
3	1993	Mats Tobiasson: Såbillar för reducerad bearbetning. Undersökningar av nya såbillar för odlingsystem med reducerad bearbetning, utförda 1991 och 1992. 23 s.
4	1993	Anna Borg: Flöden av kväve och fosfor i Forshällaåns avrinningsområde - beräkning av olika källors bidrag till växtnärlingsläckaget. Examensarbete. 45 s. <i>Flows of nitrogen and phosphorus in the Forshällaån watershed - estimations of the contributions from different sources to the leaching of plant nutrients.</i> 45 pp.
5	1993	Thomas Grath: <i>Effects of soil compaction on physical, chemical and biological soil properties and crop production.</i> 101 pp.
6	1993	Estela Pasuquin: <i>Tillage influences on soil conditions and crop response under dry weather in the Philippines and in Sweden.</i> 62 pp.
7	1994	Hans Pettersson: Radhackning i stråsäd med ny hackutrustning. Examensarbete. 28 s. <i>Rowhoeing in cereals with new hoeing equipment.</i> 28 pp.
8	1994	Jörgen Lidström och Lars Olsson: Nya såmaskiner för reducerad bearbetning. Examensarbete. 57 s. <i>New drills for reduced tillage.</i> 57 pp.
9	1994	Sara Lindén: Tidig start och tillväxt avsockerbetor. Examensarbete. 37 s. <i>Early start and growth of sugarbeets.</i> 37 pp.
10	1994	Sasa Ristic och Tomas Rydberg. Optimering av bearbetningsintensitet och jordpackning samt studier av markfysikaliska orsaker till ojämna bestånd i oljevaxter. 13 s.
11	1994	Jennie Andersson: Vattenhaltsmätningar med TDR (time domain reflectometry) och neutronsond i försök med tidig sådd av korn. 37 s. <i>Soil moisture measurements with TDR (time domain reflectometry) and neutron probe in a field experiment of early sown barley.</i> 37 pp.

Nr	År	
12	1994	Anders Gustafsson: Totalinnehåll och djupfördelning av organisk substans i mångåriga plöjningsdjupsförsök. Examensarbete. 25 s. <i>Total content and vertical distribution of organic matter in long-term experiments with different ploughing depths. 25 pp.</i>
13	1995	Sixten Gunnarsson och Göran Kritz. Olika bearbetningssystem i potatisodlingen. 12 s. <i>Different tillage systems and potato growth. 12 pp.</i>
14	1995	Daniel Johansson: Groning och plantetablering vid låga temperaturer i kärlförsök och i fältförsök med tidig sådd. 35 s. <i>Germination and plant development at low temperature in pot and field experiments. 35 pp.</i>
15	1995	Åse Littorin Johansson: Radhackning i stråsäd. 28 s. <i>Row hoeing in cereals. 28 pp.</i>
16	1995	Johan Arvidsson: Återpackning vid sådd i plöjningsfri odling. 12 s. <i>Recompaction in ploughless tillage. 12 pp.</i>
17	1995	Inge Håkansson, Editor: <i>Reports of project works by participants in the course "Soil Tillage and Related Soil Management Practices". 73 pp.</i>
18	1995	Johan Arvidsson & Virginius Feiza: Låga ringtryck i odling med och utan plöjning. 20 s. <i>Low inflation pressure in conventional and ploughless tillage. 20 pp.</i>
19	1995	Anna Lena Carlsson: Näring, kadmium och bakterier i hushållsavlopp - En fältstudie av ett urinsorterande avloppssystem med lecabädd i Östhammar. 50 s. <i>Plant nutrients, cadmium and bacteria in household wastewater - A field study of a urine separation system combined with a leca-filter in Östhammar. 50 pp.</i>
20	1996	Carl Blackert: Plöjningsfri odling och strukturkalkning på lerjordar. Effekter på markfysikaliska egenskaper och avkastning. 29 s. <i>Ploughless tillage and structural liming on clay soils. Effects on soil physical characteristics and yield. 29 pp.</i>
21	1996	Johan Bengtson: Concorde - En utvärdering av ett redskap för harvning och sådd. 26 s. <i>Concorde - An evaluation of an implement for harrowing and sowing. 26 pp.</i>

Nr	År	
22	1996	Rickard Ivarsson: Plöjningsfri odling och strukturkalkning på lerjordar. Effekter på markbiologiska, markkemiska och markfysikaliska egenskaper, samt ogräs och skörd. 51 s. <i>Ploughless tillage and structural liming on clay soils 51 pp</i>
23	1996	Sasa Ristic: Tryck och tryckverkningar under olika traktorhjul. 24 s. <i>Soil compaction under different tractor wheels. 24 pp.</i>
24	1998	Thomas Wildt Persson: Markfysikaliska undersökningar på sockerbetsodlande gårdar. 37 s. <i>Soil physical investigations in sugar beet fields. 37 pp.</i>
25	1998	Lennart Olsson och Patrik Persson: Förändring i markvattenhalt vid odling av sockerbeter och vårstråsäd. 20 s. <i>Changes in soil water content in sugarbeet and spring-sown cereal crops. 37 pp.</i>
26	1999	John Löfkvist: Såbäddens betydelse för sockerbetans uppkomst och tillväxt. 45 s. <i>The importance of the seed bed for the emergence and growth of the sugar beet. 45 pp.</i>
27	1999	Urban Svantesson: Markfysikaliska undersökningar på sockerbetsodlande gårdar 1998. 39 s. <i>Soil physical investigations in sugar beet fields 1998. 39 pp.</i>
28	1999	Erika Sjöberg, Lennart Olsson & Patrik Persson: En modell för beräkning av markens packningskänslighet under vegetationsperioden – mätningar och simuleringar på två skånska moränjordar. 32 s. <i>A model for calculation of soil compactability during the growing period – measurements and simulations on two moraine soils in southern Sweden.</i>
29	1999	Maria Stenberg, Helena Aronsson, Tomas Rydberg, Börje Lindén och Arne Gustafson: Inverkan av olika bearbetnings-tidpunkter på kväve mineraliseringen under vinterhalvåret och på kväveutlakningen i odlingssystem med och utan fånggröda. Resultat 1993-1999 från fältförsök R2-8405 i Halland. 18 s. <i>Influence of early or late autumn tillage on nitrogen Mineralization and nitrogen leaching in cropping systems with and without a catch crop. 18 pp.</i>
30	1999	Åsa Myrbeck: Växtnäringsflöden och balanser på gårdar med olika driftsriktningar – En studie av 1300 svenska gårdar. 53 s. <i>Nutrient flues and balances in defferent farming systems – A study of 1300 Swedish farms. 53 pp.</i>



Nr	År	
31	2000	Magnus Melin: Sockerbetans uppkomst och tillväxt i olika såbäddar – en parstudie. 34 s. <i>The emergence and growth of sugarbeet in different seed Beds – a pair study. 34 pp.</i>
32	2000	Annika Hamilton Malmros: I huvudet på en sockerbetsodlare – en intervjuundersökning om beslutsgrunder hos sockerbetsodlare i Skåne. 59 s. <i>In the head of a sugar-beet grower – interviews to study the basis for decision-making among sugar-beet growers in Skåne. 59 pp.</i>
33	2000	Lars Pålsson: Försök med Kvernelands såplog. 32 s. <i>Field trials with the Packomat Seeder. 32 pp.</i>
34	2001	Nina Nordström: Jordbearbetningstidpunkt på hösten – inverkan på skörd, markstruktur och kväveutlakning. 23 s. <i>Time of primary tillage in the autumn – influences on yield, soil structure and nitrogen leaching. 23 pp.</i>
35	2001	Asayesh Tawfik: Packningseffekt på korn- lupin- och lucernrötter, och rötternas effekt på vattengenomsläpplighet. 20 s. <i>Effects of soil compaction on root growth of barley, lupin and alfalfa, and the influence of roots on soil hydraulic conductivity. 20 pp.</i>

