



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för mark och miljö

Markpackning och regenerering av markstruktur

Soil compaction and regeneration of soil structure

Susanne Alexandersson

Kandidatuppsats i biologi
Agronomprogrammet – mark/växt

Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU
2017:14

Uppsala 2017

Markpackning och regenerering av markstruktur

Soil compaction and regeneration of soil structure

Susanne Alexandersson

Handledare: Thomas Keller, institutionen för mark och miljö, SLU

Examinator: Björn Lindahl, institutionen för mark och miljö, SLU

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i biologi - kandidatarbete

Kurskod: EX0689

Program/utbildning: Agronomprogrammet – mark/växt 270 hp

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2017

Serietitel: Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU

Delnummer i serien: 2017:14

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: markegenskaper, markprocesser, markfysikalisk förändring, markporositet, skrymdensitet, daggmask

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för mark och miljö

Sammanfattning

I denna studie undersöks markpackning och dess effekt på markens egenskaper, hur man kan undvika packning samt regenerera en skadad markstruktur. Ett särskilt fokus är att förstå och förklara vilken betydelse som dagmasken spelar för markpackning. Ett fokus på dagmask är intressant eftersom den är viktig för markstruktur och har därav betydelse för markpackning. Därtill, dagmaskens betydelse i ett markpackningssammanhang är ännu ett outvecklat område inom agrar forskning och tillämpade studier. Denna studie baseras på existerande akademisk litteratur och tillämpade studier om markstruktur och markpackning. Utöver detta har det gjorts en särskild insamling av praktiska erfarenheter som samlats in via intervjuer med rådgivningsexpert vid Hushållningssällskapet och Jordbruksverket.

De huvudsakliga resultaten från denna studie visar att markpackning är ett tilltagande problem och att det på sikt kommer att påverka åkermarkens kvalitet, grödtillväxt och miljön. Det finns ingen specifik faktor som bestämmer graden av packning utan flera faktorer som tillsammans bidrar till olika packningsgrader. Studien visar att markpackning kan undvikas och att packad mark kan regenereras. Detta är en viktig insikt då en god och bibehållen markstruktur leder till grödtillväxt och relativt hög avkastningspotential. Studien visar även att dagmask påverkar markstruktur positivt och bidrar på så sätt till att lindra effekterna av markpackning. Markpackning påverkar dagmaskpopulationen negativt. Dagmaskens roll i regenerering av packad mark är inte entydig. Sammantaget finns behov av kunskap om markpackning, hur det kan undvikas och hur mark kan återställas efter packning. Att dagmaskens betydelse inte är entydig kan ses som en indikation på att det behövs fler studier som fokuserar på detta.

Nyckelord: markegenskaper, markprocesser, markfysikalisk förändring, markporositet, skrymdensitet, dagmask

Abstract

This study examines soil compaction and its effect on soil properties, how to avoid compaction and how to regenerate damaged soil structures. One central focus that the study deals with is what importance earthworms have in soil compaction processes. The focus on earthworms is interesting because they are important for the soil structure and therefore they play an important role in soil compaction processes. Furthermore, the importance of earthworms in soil compaction processes is yet an understudied area in agricultural research and related applied studies. This study is based on existing academic literature and applied studies on soil structure and soil compaction. In addition to this, the study also presents novel information of practical experiences which have been collected through interviews with professionals in Sweden.

The main results show that soil compaction is an increasing problem and that in the long term it will affect the quality of arable land, crop growth and the environment. There is no specific factor that determines the degree of compaction, however, there are several factors that together contribute to different degrees of compaction. Soil compaction can be avoided and compacted soils can be regenerated. This is an important insight as a good and sustained soil structure leads to crop growth and relatively high yield potential. The study also shows that earthworms positively influence soil structure and thus contribute to alleviate the effects of soil compaction. Yet, soil compaction also impacts negatively on earthworms and reduce the earthworm populations. The role of earthworms in regeneration of compacted soils is not straightforward. Overall, there is a need for knowledge about soil compaction, how it can be avoided and how soils can be regenerate after compaction. Since the importance of earthworms is unclear, it can be seen as an indication that more studies that focuses on this is needed.

Keywords: soil properties, soil processes, soil physiological change, soil porosity, bulk density, earthworm

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
2	Markstruktur och markpackning	7
2.1	Markstruktur	7
2.2	Kännetecknen för en god markstruktur	8
2.3	Inre och yttre påfrestningar leder till markpackning	8
2.4	Faktorer som bestämmer markpackningens omfattning	9
2.5	Effekter av markpackning	10
3	Förbättring av markstruktur efter packning	14
3.1	Markpackning kan undvikas	14
3.2	Från identifiering av packning till regenerering av markstruktur	15
3.2.1	Fysikaliska processer	18
3.2.2	Kemiska processer	18
3.2.3	Biologiska processer	19
3.2.4	Odlingsåtgärder	19
4	Daggmaskens betydelse för markstruktur	21
4.1	Daggmaskens betydelse för bildning och stabilisering av markstruktur	21
4.2	Daggmasken påverkas negativt av markpackning	23
4.3	Hur daggmaskpopulationen kan gynnas	25
5	Praktiska erfarenheter från markpackningsarbete	27
5.1	Inledning	27
5.2	Metoder för att undersöka markpackning	27
5.3	Konsekvenser av markpackning	28
5.4	Förbättring av markstruktur efter packning	29
5.5	Daggmasken är betydelsefull för markstruktur	30
5.6	Behov av ny och mer kunskap och teknik	30
6	Diskussion och slutsatser	32
	Referenser och källor	34
	Bilaga 1 – Intervjufrågor	37

1 Inledning

Under de senaste decennierna har markens struktur och kvalitet försämrats i många länder. En generell orsak till detta är hur jordbruket har utvecklats och marken förvaltats. En ökad användning av större och tyngre maskiner, ökad markanvändning och ensidiga växtföljder är exempel på faktorer som resulterat i ökade problem med markpackning. Negativa effekter på jordens bördighet till följd av markpackning har givit upphov till ett större problem. För att bevara jordbruket och miljön för framtiden krävs produktionssystem som bevarar markkvalitet, men även att vi arbetar för att regenerera mark efter packning (Doran & Zeiss 2000, Capowiez 2009).

Denna studie syftar till att undersöka markpackning och dess effekt på markens egenskaper och hur man kan undvika packning samt regenerera en skadad markstruktur. Ett särskilt fokus är att förstå och förklara vilken betydelse som daggmasken spelar för markpackning. Detta då daggmasken är viktig för markstruktur och spelar därför roll för packning, i och med att de bidrar till en förbättrad, mer stabil struktur och hjälper till i återhämtandet av en packad mark. Dessutom är kunskapen om daggmaskens betydelse i markpackningssammanhang inte lika välstuderad som andra faktorer. Studien genomförs med bas i existerande akademisk litteratur, forskning på området och tillämpade studier. Dessutom görs en insamling av praktiska erfarenheter från arbete med markpackning, regenerering av markstruktur samt bedömning av daggmaskens betydelse.

Studien är organiserad på följande sätt. I Kapitel 2 förklaras innebörden av markstruktur och markpackning och dess implikationer. Kapitel 3 handlar om regenerering av markstrukturen, hur packning kan undvikas och förebyggas samt åtgärder för regenerering av nedbruten struktur. I Kapitel 4 görs en särskild studie av daggmaskens betydelse för markstruktur och relationen mellan förekomsten av daggmask och markpackning. Kapitel 5 är en

intervjustudie och sammanfattar praktiska erfarenheter från arbete med markpackning, regenerering av markstruktur samt bedömning av dagmaskens betydelse. Diskussion och slutsatser finns i Kapitel 6.

2 Markstruktur och markpackning

Markpackning innebär att marken utsätts för tryck och packas samman. För att förstå markpackning behöver vi först förklara innebörden av markstruktur.

2.1 Markstruktur

Marken består av fast material och porer. Det fasta materialet utgörs av mineralpartiklar (oorganiskt material) och organiskt material (Arvidsson & Pettersson 1995). Porer är de hålrum, kanaler eller sprickor, som finns runt om och mellan det fasta materialet. Porerna är fyllda med vatten och luft i varierande proportioner beroende av yttre omständigheter och markens vattenhalt som styrs av en viss tension. Porer kan vara stora (makro) och små (mikro). De större porerna utgörs främst av maskkanaler, rotkanaler, grövre sprickor och håligheter mellan jordkockor och aggregat. Hur de olika markpartiklarna och de associerade porerna är rumsligt arrangerade och förhåller sig till varandra definierar markens struktur.

Till definitionen läggs strukturens stabilitet i och med att markstruktur inte är en statiskt utan en dynamisk egenskap som kan deformeras till följd av inre och yttre påfrestningar. I vilken utsträckning och på vilket sätt marken påfrestas bestäms av biotiska och abiotiska faktorer. En stabil struktur står emot påfrestningarna bättre (Ekholm 2016, Oades 1993, Lundberg & Wellander 14:1). Markens textur, mineralssammansättning och mullhalt, klimatet samt den biologiska aktiviteten har stor betydelse för markstruktur, markens egenskaper och för dess stabilitet (Eriksson et al. 2011).

2.2 Kännetecknen för en god markstruktur

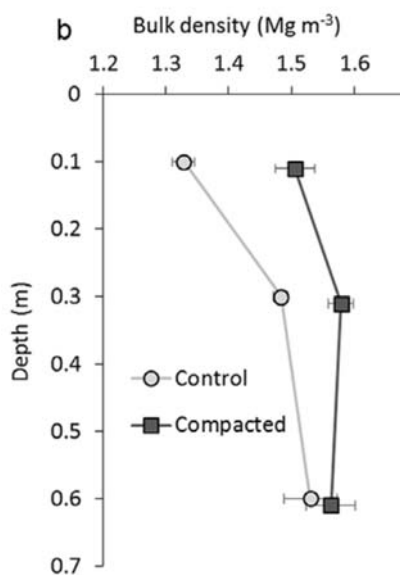
Marken är ett levande system och dess struktur är av stor betydande ur odlingssynpunkt. För en väl fungerande odlingsjord är en god och stabil struktur en viktig förutsättning. Det som kännetecknar en god markstruktur ur odlingssynpunkt är en jord som ger förutsättningar för en god etablering av grödan och rotutveckling. En god markstruktur upprätthåller dessutom en hög växtproduktivitet och växthälsa. I en mark med en god markstruktur fungerar dessutom försörjningen av vatten, näring och luftutbytet på ett bra sätt (Berglund & Gustafson Bjuréus 2008).

Ett annat kännetecken av en god markstruktur är att marken ska vara uppbyggd så att den förmår forsla bort överflödigt vatten. Det är eftersträvsamt att marken ska vara lättarbetad men samtidigt stabil. En lättarbetad mark har ett lägre dragkraftsbehov och är marken mer stabil kan den bättre motstå påfrestningar och bibehålla sin struktur. Markstrukturen har även stor betydelse för att upprätthålla eller främja biologisk aktivitet som generellt har positiva effekter på markens egenskaper (Doran & Zeiss 2000). Har man en god markstruktur kan insatta produktionsmedel som mineralgödsel och stallgödsel utnyttjas mer effektivt. Sammantaget leder en god markstruktur till en säkrare och högre skörd och därmed högre lönsamhet (Arvidsson & Pettersson 1995, Berglund & Gustafson Bjuréus 2008).

2.3 Inre och yttre påfrestningar leder till markpackning

När en markyta utsätts för en yttre påfrestning till exempel i form av tryck från maskiner riskerar marken att packas. Packning uppträder om trycket som marken utsätts för är större än markens bärförmåga. En låg bärförmåga har marken till exempel om marken är våt och aggregatstrukturen är instabil (Håkansson 2000). Markpackning kan beskrivas som en fysikalisk förändring som leder till att markens totala porvolym, dvs porositet, minskar till följd av att luften pressas ut samtidigt som det leder till en ökad skrymdensitet.

Med skrymdensitet avses vikten av en viss volym jord. Jorden blir alltså mer kompakt vid packning (Capowiez et al. 2012, Lundberg & Wellander 14:1). Figur 2.1 illustrerar skrymdensiteten med djupet i en packad och en opackad jord. Det vi kan se är att skrymdensiteten ökar vid packning och att effekten av packning minskar med djupet.



Figur 2.1. Medelvärde för skrymdensiteten vid olika djup på packad och opackad mark. Mätningarna är gjorda två veckor efter packningshändelsen. Källa: Keller et al. (2017)

Formförändringen i marken kan efter tryck delvis eller helt återgå till sin ursprungliga struktur och benämns då som elastisk deformation. En strukturförändring som kvarstår benämns plastisk deformation (Arvidsson & Pettersson 1995). Plastisk deformation sker när trycket överstiger det högsta tryck jorden tidigare utsatts för, förkosolideringstrycket. Vid tryck lägre än förkosolideringstrycket sker en elastisk deformation, det vill säga ingen packning sker. Risken för packning är stor om stressen på jorden är hög, det vill säga trycket eller om markens hållfasthet är låg (Arvidsson et al. 2001, Keller 2016).

Den enskilt största bidragande orsaken till packning är användandet av tunga maskiner. Markpackning har blivit och är ett tilltagande problem i och med utvecklingen av högre och intensifierad trafik och ökade maskinvikter (Capowiez et al. 2012).

2.4 Faktorer som bestämmer markpackningens omfattning

I tabell 2.1 sammanfattas centrala faktorer som påverkar graden av packning vid yttre tryck. Denna sammanställning visar att markpackningens omfattning inte beror på en specifik orsak utan på en kombination av olika

typer av orsaker som tillsammans bidrar till olika packningsgrader. För att skapa en förståelse för dessa faktorer så beskrivs dessa kortfattat i tabellen.

Tabell 2.1. Faktorer som bidrar markpackning

Faktor	Beskrivning
Jordart	Beroende av jordart och fuktighet har marken olika hållfasthet.
Vattenhalt	Högre vattenhalt ökar risken för packning, bortsett från vattenmättad mark som inte kan packas på grund av att vatten har en konstant densitet.
Aggregatens hållfasthet	En jord med icke-stabila aggregat har sämre förmåga att utstå tryck och kan skadas lättare.
Tidigare packning	Det krävs höga tryck för en jord att packas ytterligare om den redan är kraftigt packad.
Tryckets storlek	Upp till ett visst tryck blir deformationen elastiskt. Ökande tryck leder till plastisk deformation.
Tiden trycket verkar	En överfart får normalt inte marken att packas så mycket som när trycket får verka längre. Ökat antal överfarter resulterar i tilltagande markpackning.
Däckens egenskaper	Liten kontaktyta genom t ex smala däck stressar marken. Högt ringtryck ökar risken för packning.

Källa: Egen sammanställning från Arvidsson & Pettersson (1995), Arvidsson et al. (2001)

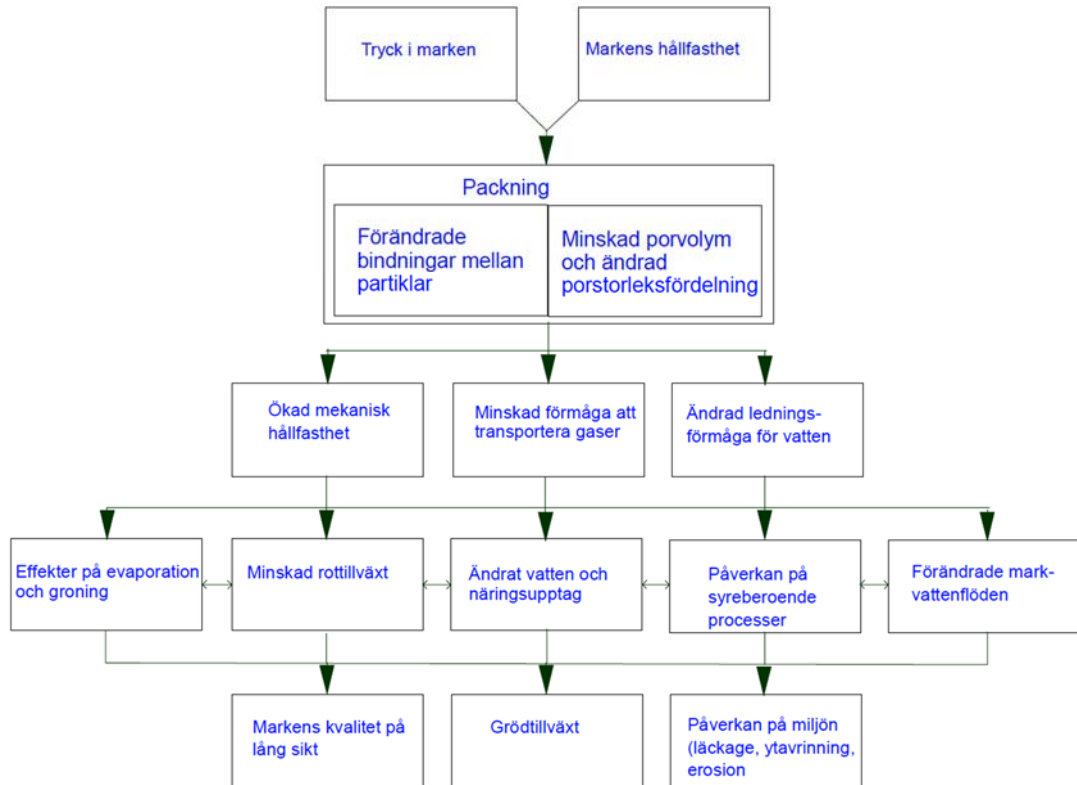
Det vi kan se är att graden av packning riskerar bli större vid fuktigare förhållanden, hos jordar med svaga aggregat, höga tryck samt längre verkan av tryck och med smalare däck och höga ringtryck. Trenderna med maskinernas ökade storlek och tyngd har lett till att packningen når längre ned i de djupare alvlagren.

2.5 Effekter av markpackning

Markpackning medför en strukturell degradering som innebär nedbrytning av strukturen vilket leder fram till en försämring av markens egenskaper (Oades 1993).

Figur 2.1 är en schematisk beskrivning över effekter av markpackning. Som vi kan se är effekterna av markpackning många och inte enbart markfysikaliska i form av minskad markporositet, en förändring av porstorleksfördelning och i bindningarna mellan markpartiklarna. Förändrad markstruktur påverkar i princip alla markens egenskaper och processer,

såväl fysikaliska, biologiska som markkemiska (Arvidsson et al. 2001, Capowiez et al. 2012). I slutändan påverkas även grødtillväxten, markens kvalitet och miljön (Håkansson & Reeder 1994).

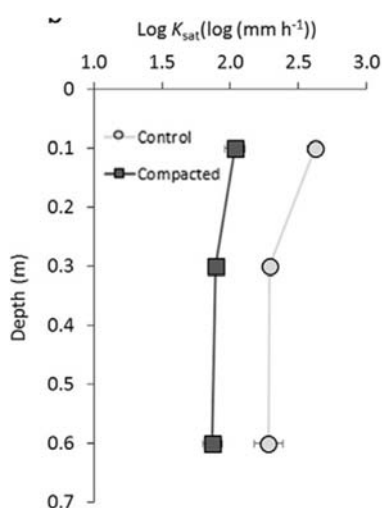


Figur 2.1. En schematisk beskrivning över effekter av markpackning. Källa: Arvidsson et al. (2001).

Packad mark förändrar ledningsförmågan för vatten. Vattengenomsläppligheten (den mättade hydrauliska konduktiviteten) blir sämre och därmed markens dräneringsegenskaper. Markpackning medför främst en minskning av markens makroporer medan andelen mikroporer till och med kan öka. Det kan leda till en ökad omättad hydraulisk konduktivitet. Den svagaste länken i markens uppbyggnad är makroporerna och det är dessa porer som först förstörs vid packning. Makroporerna står för den huvudsakliga transporten av vatten och luft. Arvidsson & Pettersson förklarar att den hydrauliska konduktiviteten för en por är proportionell mot pordiametern upphöjt i fyra. Vatten transporteras därför lättare i grova porer och dessa porer är även mer effektiva på att syresätta jorden. (Arvidsson et al. 2001, Lundberg och Wellander 14:1).

Markpackning kan orsaka vattenmättnad i de övre lagren, vilket leder till syrebrist och försämrat luftutbyte, gas diffunderar nämligen sämre i vatten än i luft (Arvidsson & Petterson 1995, Keller et al. 2017). Är infiltrationen i marken dålig ökar risken för ytavrinning och erosion. Markpartiklar, växtnäringsämnen och organiskt material följer med vattnet och det påverkar miljön, i och med att det hamnar i vattendrag, sjöar och hav. Vattenförsörjningen och växtnäringsstatusen försämras i och med hämmad transport och upptagning. (Berglund & Gustafson Bjuréus 2008, Sahl 2016, Bertrand et al. 2015).

Figur 2.2 visar exempel på den mättade hydrauliska konduktiviteten, K_{sat} , vid olika djup i markprofilen i en packad och en opackad mark. Genom hela markprofilen är infiltrationen lägre i den packade marken till följd av den ökade skrymdensiteten. Mest effekt har packningen på det övre lagret.



Figur 2.2. Den mättade hydrauliska konduktiviteten, K_{sat} , i en packad och en opackad markprofil. Keller et al. (2017).

Rottillväxt sker lättast i grova porer och när dessa porer reduceras till följd av markpackning ökar det mekaniska motståndet för rötterna (Arvidsson et al. 2001). Vid packning blir avstånden mellan markpartiklarna kortare och bindningarna förstärks. Strukturen medför större bearbetnings- och dragkraftsbehov i och med att den kompaktare jorden har en högre hållfasthet. Det kommer att åtgå mer energi och bränsle, vilket ökar kostnaderna för att bearbeta jorden (Berglund & Gustafson Bjuréus 2008, Lundberg & Wellander 14:1).

Markpackning innebär att grödetableringen blir mera osäker eftersom en försämrad markstruktur ger en sämre så- och grobädd och en sämre markstruktur medför ofta mer ogräsproblem. Skördevariationerna mellan åren kan därmed bli större (Berglund & Gustafson Bjuréus 2008, Håkansson 2000). På lång sikt kan packningsskador påverka åkermarkens kvalitet, grödtillväxt och miljön. Att undvika packning är nyckeln till en god och bibehållen grödtillväxt samt hög avkastningspotential (Lundberg och Wellander 14:1). Efter plöjning kan en viss återpackning behövas, då plöjning kan lämna jorden för lucker. En för lucker jord kan ha negativ effekt på skörden, i och med att avstånden mellan rötter och markpartiklar blir stor, vilket försämrar näringsupptaget. En bidragande orsak till försämrat näringsupptag är en försämrad vattentransport till rötterna på grund av en ökad omättad hydraulisk konduktivitet. Återpackning gör så att kontakten mellan rötter och markpartiklar blir bättre (Håkansson 2000).

3 Förbättring av markstruktur efter packning

Här förklaras åtgärder för att återställa en packad mark. Innan vi går in på detta behöver vi först förstå att markpackning kan undvikas genom en rad olika förebyggande åtgärder.

3.1 Markpackning kan undvikas

För att undvika markpackning krävs planering och att man jobbar förebyggande. Keller (2016) argumenterar för att packning kan undvikas genom att minska trycket på marken, öka markens hållfasthet och planera användandet av maskiner och köra på marken när hållfastheten är hög. Tabell 3.1 sammanställer olika förebyggande åtgärder för att undvika eller åtminstone minska riskerna av markpackning.

Tabell 3.1 Förebyggande åtgärder som minskar uppkomsten av markpackning

Åtgärd	Beskrivning
Planerad körning av maskiner och minskad belastning	<ul style="list-style-type: none">- Kör när jorden torkat upp ordentligt. Undvik körningar på våt mark då risken för packning tilltar med ökad vattenhalt. Trycket går längre ned när marken är blöt, och kan därmed ge ett högre tryck på alven.- Använd fasta körspår. Det kan vara bra att använda maskiner som kan kombineras med olika redskap och därmed minska antalet överfarter. Tryckets storlek riskerar dock att öka, men det ger reducerad körintensitet på resterande fältytor. Största skadan sker vid första överfarten. Effekten minskar vid efterföljande överfarter.

Däckutrustning	<ul style="list-style-type: none"> - Sänkt hjullast minimerar risken för alvpackning. - Använd dubbelmontage eller breda däck för att få en större anliggningsyta, vilket minskar trycket. - Sänkt ringtryck minimerar risken för matjordspackning.
Dränering	<ul style="list-style-type: none"> - En snabb och jämn upptorkning är möjlig vid god dränering, vilket ger färre och/eller mindre fuktiga förhållanden. - Mindre risk för vattenmättnad och därmed mindre risk för syrebrist.
Tillförsel av organiskt material	En bra halt av organiskt material kan bidra till att öka markens motståndskraft mot packning eftersom det bidrar till att bygga upp en god struktur.

Källa: Lundberg och Wellander 14:1, jordbruksinformation 7 – 2005

3.2 Från identifiering av packning till regenerering av markstruktur

Indikationer på dålig markstruktur är en kompakt matjord där skikten är förtätade, rötterna är förtjockade och böjer av i markprofilen. Andra indikatorer är begränsad rottillväxt och att dagmaskförekomsten är liten. Är dagmaskarna färre än 2-4 i ett spadtag är de få (Berglund 2016). Stående vatten på fältet efter kraftiga regn på grund av dålig infiltration tyder också på en dålig markstruktur. För att undersöka om marken är packad studerar man också aggregeringen och aggregatstabiliteten. Stabiliteten ökar vanligen med ökad ler- och mullhalt (Dexter 1988, Berglund & Gustafson 2008).

Regenerering av packad mark är möjligt genom naturliga abiotiska och biotiska processer. Cykler av processer som tjäle och upptining och biologiska aktiviteter är några bidragande faktorer för att återställa en packad jord, men det kan ta många år innan de negativa effekterna på grödorna försvinner eller blir oväsentliga (Drewry 2006).

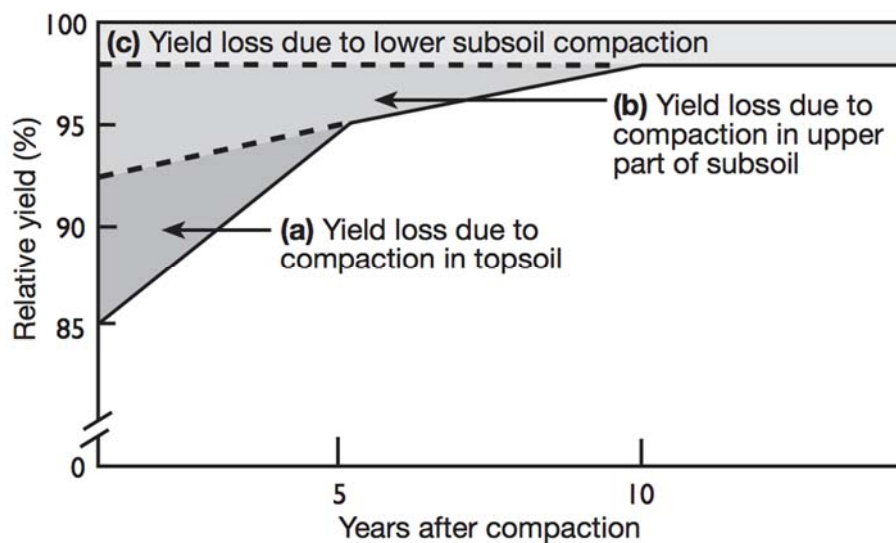
Man ska skilja på packning och effekternas varaktighet i matjorden respektive i alven samt beroende av olika jordarter. Jordbearbetning har visats lindra effekterna av packning i matjorden i sandiga jordar på ett år. Hos andra jordar krävs mer jordbearbetning och flera upprepade frysning- och torkningscykler för att lindra effekterna av packning i matjorden. När det

kommer till packning i alven har forskning visat att frysning- och torkningscykler inte lindrar effekterna på någon av jordarna (Duiker 2004).

De strukturfrämjande processernas intensitet avtar med djupet, vilket gör att packningseffekternas varaktighet ökar med djupet. Det tar alltså längre tid för skador djupare i markprofilen att regenerera, om det ens är möjligt i alven (Håkansson 2000).

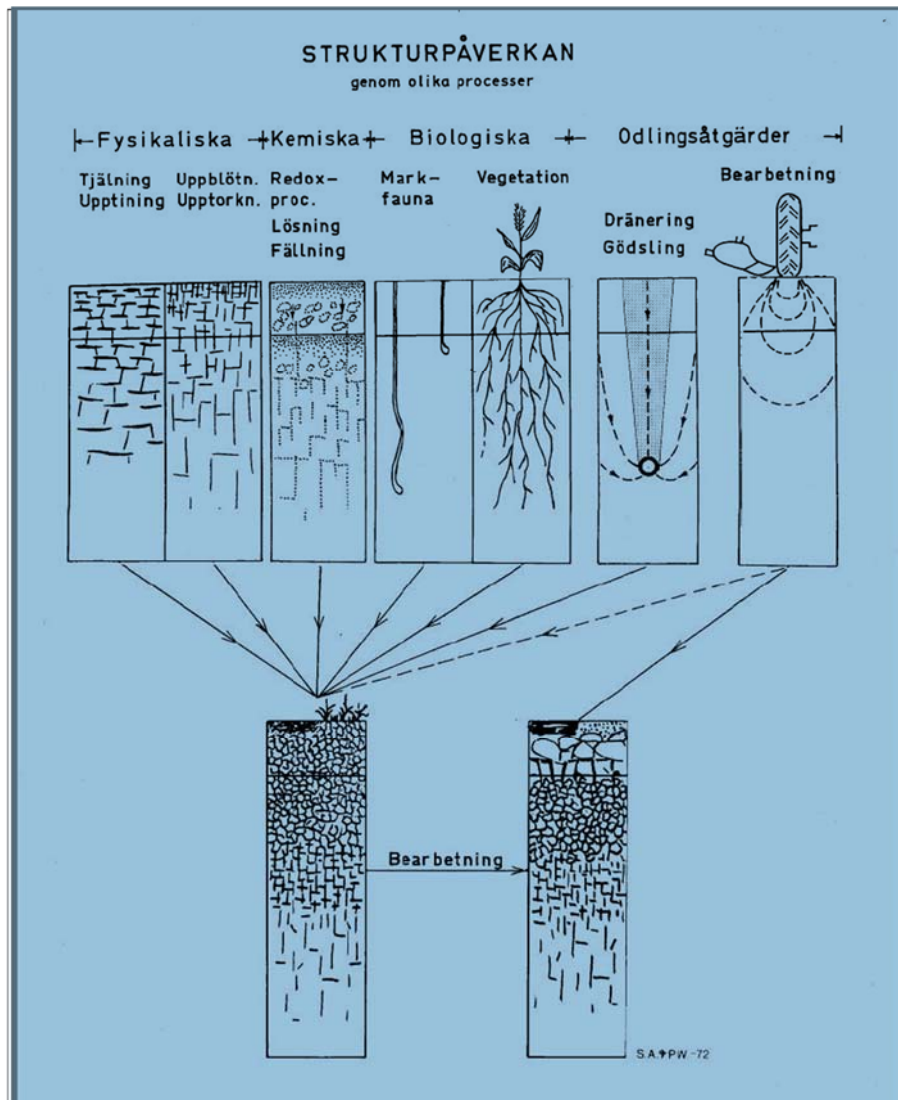
Figur 3.1 visar exempel på varaktigheten på relativa skördeförlost som beror av packning i matjorden, i övre alven samt längre ned i alven. De första årens skördeförlost ansågs främst bero av packning i matjorden. Effekterna från packningsskadorna i alven har dock en längre varaktighet och kan till och med bli permanenta (Duiker 2004).

Matjordspackning kan i jämförelse med packning i alven lättare åtgärdas med till exempel jordbearbetning och kan generellt läka på ungefär fem år. Alven ligger under det normala jordbearbetningsdjupet. Alvpackning är svår att reparera och skadorna är allvarliga. Det är därför viktigt att i största utsträckning försöka undvika alvpackning (Lundberg och Wellander 14:1, Arvidsson et al. 2001, Håkansson & Reeder 1994).



Figur 3.1. Relativa skördeförlost på packad mark i jämförelse med icke packad mark. Figuren visar skördeförlosterna orsakade av packning i matjorden, övre alven och längre ned i alven. Källa: Håkansson & Reeder (1994).

Figur 3.2 ger en översikt av fysikaliska, kemiska, biologiska processer samt odlingsåtgärder som tillsammans har ett dynamiskt samspel och påverkar markstruktur (Drewry 2006). Processerna kan i olika utsträckningar antingen leda till en förbättring eller en försämring av markstruktur. Med en kombination av åtgärder är det möjligt att påverka markstrukturen i en positiv riktning.



Figur 3.2 Schematisk illustration av processer som påverkar markstruktur. Källa: Berglund & Gustafson Bjuréus 2008

I det följande ges en översiktlig beskrivning av några av dessa processer.

3.2.1 Fysikaliska processer

En process som påverkar markstruktur är när det blir tjäle och isen sedan tinas upp. När det blir tjäle fryser markens vatten till is, vattnet fryser först i sprickorna och bildar en islin. Islinerna växer genom vattenrörelse från omgivande jord och vatten som genom kapillär upptransport dras till islinerna. Islinerna börjar växa och markens porvolym vidgats genom vattnets expansion vid frysning. Sedan tinas islinerna upp, vilket lämnar sprickor i marken (Arvidsson & Pettersson 1995, Heinonen 1986).

En annan process som har strukturpåverkan är vätning och upptorkning som leder till krympning och svällning av jorden, vilket skapar sprickor. Vattnet i marken är mer eller mindre hårt bundet till markpartiklarna. Hur hårt vattnet är bundet till markpartiklarna beror av ytspänningen, tensionen. När en jord torkar, till följd av till exempel dränering eller att växterna tar upp vatten, krymper den och bildar sprickor. Jord som blir våt sväller och stänger torkningssprickorna (Arvidsson & Pettersson 1995).

En snabb upptorkning ger små sprickor som är varandra nära. Är upptorkningen långsam blir sprickornas avstånd större och sprickorna blir bredare. Sprickorna blir viktiga vägar för vatteninfiltrationen, luftning och penetrering av rötter som annars skulle stöta på för stort mekaniskt motstånd (Dexter 1991). Kraftig uttorkning som drar samman partiklarna och gör bindningarna starkare gör aggregaten stabilare. Upprepade cykler ökar stabiliteten hos aggregaten och minskar deras storlek och processens effekt ökar generellt med lerhalten i marken. (Arvidsson & Pettersson 1995, Oades 1993).

3.2.2 Kemiska processer

Kemiska processer som stabiliserar och destabiliserar aggregatstrukturen i marken är fällningar och lösningar. I enkelkornjordar är jorden homogen och markpartiklarnas bindningar till varandra är svaga, vilket gör dem i princip fristående från varandra. Lerjordar som fogar samman markpartiklar till större enheter, så kallade aggregat är så kallade aggregatjordar (Arvidsson & Pettersson 1995, Håkansson 2000). Aggregatbildningen är kopplad till lerinnehållet. Ler har negativt laddade ytor och binder till sig lösa positivt laddade joner. Lerpartiklarna förmår tack vare sin elektriska laddning att binda hårt till varandra genom adsorption av positiva joner mellan sig.

Aggregaten stabiliseras av utfällningar av olika ämnen på aggregatens ytor, som t ex järnoxider som har en hög stabiliseringsförmåga. Kalciumjoner adsorberade på lerpartikelytorna medför att partiklarna bildar stabila föreningar med varandra. Natriumjoner får däremot lerpartiklarna att dispergera (Dexter 1991). Destabiliseras gör aggregaten av påfrestningar som regn, jordbearbetning och packning, vilket en svag aggregatstruktur är mer känslig för. Aggregatstabiliteten beror av flera faktorer som bl. a det organiska materialet, lerinnehållet, pH, dagmaskar, mikroorganismer, växtrötter och svamphyfer (Arvidsson & Pettersson 1995).

3.2.3 Biologiska processer

Markfaunan, i första hand växtrötter, dagmaskar samt andra makroorganismer är av central betydelse för markstrukturen. Aktiviteterna från större markorganismer i marken har stor påverkan på strukturen genom att göra jorden mer lucker och förbättra markens dräneringsegenskaper. Andelen makroporer ökar rejält och bidrar på så sätt till återställandet av en packning (Oades 1993, Väderstad 2017). Rottillväxten bidrar också med makroporer och rötternas vattenupptag kan leda till flera cykler av upptorkning och uppblötning under en säsong och därmed skapa sprickor. Rötterna tenderar att binda stora aggregat tillsammans och rötternas exsudat är viktiga för stabilisering av mikroaggregat. Vissa grödor kan dock minska stabiliteten hos markaggregaten (Monnier et al. 1985, Lynch 1984, Dexter 1991). Olika grödor är olika bra på att förbättra strukturen i en packad, skadad mark. Vall och trindsäd är exempel på grödor som påverkar markstrukturen på ett positivt sätt (Jordbruksinformation 7 – 2005).

3.2.4 Odlingsåtgärder

Brukaren kan påverka markstrukturens utveckling i en positiv riktning eller en negativ riktning beroende på de odlingsåtgärder brukaren använder sig av. Odlingsåtgärder för att upprätthålla en bra markstruktur är en väl fungerande dränering, reducerad jordbearbetning, tillförsel av organiskt material, en växtföljd positiv för markstruktur och strukturkalkning på lerjordar (Berglund 2016).

Jordens organiska substans bidrar till god markstruktur på alla jordar men främst på lättare jordar eftersom inte leret bidrar med en aggregatstruktur. Det är därför en bra åtgärd att tillföra mer organiskt material, gärna rikligt och regelbundet. Dessutom bidrar det organiska materialet med att öka

vattenhållandeförmågan och förmågan att leverera näringsämnen. Den optimala mullhalten varierar för olika jordarter, men bör enligt Jordbruksinformation 7 (2005) ligga på omkring 3,5-4 procent. Åtgärder för att öka mullhalten kan vara att använda stallgödsel, inblandning av skörderester och en växtföljd med grüngödsling.

Växtföljden har stor betydelse för strukturen i marken. Djuprotade växter skapar porer ned i markprofilen. Transporten av näringsämnen från djupare jordlager blir bättre. Fleråriga grödor som vall och trindsäd och höstsådda grödor är exempel på grödor som påverkar markstrukturen på ett positivt sätt. En ensidig växtföljd och barmark har en negativ påverkan på markstrukturen (jordbruksinformation 7 – 2005, Berglund 2016).

Reducerad jordbearbetning har generellt en positiv påverkan på markstrukturen. Marken får vila vid minskad intensitet och till viss del minskar de långsiktiga packningsverkningarna. Bearbetning har till exempel negativ påverkan på daggmasken och deras hålsystem förstörs, vilket är negativt för markstrukturen. En god dränering och strukturkalkning på lerjordar för stabilisering av aggregat är andra åtgärder som ger förutsättningar för en förbättrad markstruktur och minskar därmed packningens negativa effekter (Berglund 2016, Håkansson 2000).

4 Daggmaskens betydelse för markstruktur

4.1 Daggmaskens betydelse för bildning och stabilisering av markstruktur

Daggmasken är bland de viktigaste jordlevande markorganismerna och deras aktiviteter påverkar både biotiska och abiotiska markegenskaper, vilket i sin tur påverkar tillväxten hos grödan (Groenigen & Lubbers. 2014, Bertrand et al. 2015). Sammantaget är daggmaskens effekt på markstrukturen positiv, och gör vanligtvis jorden mer lämplig för jordbrukets användning (Dexter 1991, Bertrand et al. 2015). Eftersom att markpackning medför minskad markporositet, och daggmaskarna ökar porositeten, kan de bidra till att återhämta en packad mark. Daggmasken bidrar till att lindra nedbrytning av markstruktur är särskild betydelsefull om reducerad jordbearbetning tillämpas (Duiker 2008, Bertrand et al. 2015). Det som är intressant och frågan man ställer sig är i vilken utsträckning daggmaskarna regenererar en packad mark.

Daggmasken har en stor betydelse för bildning och stabilisering av markstruktur genom att de bildar porer och stabiliserar aggregat (Oades 1993). De hålsystem som daggmaskarna bildar spelar stor roll för markdynamiken, både fysiska och kemiska. Hålsystemen kan också vara gynnsam för rottillväxten och för rörelsen av andra ryggradslösa djur samt påverka gas och vattencirkulationen i marken. De bidrar i allra högsta grad till att förbättra markstruktur och skulle därmed kunna bidra till att regenerera en packad mark (Jégou et al. 2002, Kay & Munkholm 2011).

Hålen konstrueras genom påtryckningar som utövas av daggmaskarna för att trycka marken åt sidan och därmed förstora håldiametern eller genom att fukta jorden med saliv och sedan inta jorden och därmed göra tunnlar. När daggmaskarna ska gräva kräver de i princip en strukturerad mark där porerna kan utökas under byggandet eller en fuktig mark så de kan inta jordpartiklarna (Dexter 1991, Oades 1993).

Vid riklig förekomst av daggmaskar kan deras hålsystem vara så stora att de dominerar markporositeten. Vatteninfiltreringen kan öka tiofaldigt och ibland betydligt mer i marker med höga populationer av daggmask i jämförelse med jordar med få daggmaskar (Oades 1993). Daggmaskarna utviner näring från jordpartiklar de äter. Det osmälta materialet som passerar matsmältningskanalen blandas med utsöndrat slem i kanalen. Den processade födan elimineras och deponeras av daggmasken på markytan eller i hålsystemen (Campbell et al. 2015, Oades 1991).

Daggmaskarnas aggregering av markpartiklar är en mycket stabil struktur och oftast är dessa mer stabila än andra jordaggregat. Den ökade stabiliteten kan bero av komplex av lera och organiskt material. Ökad stabilitet av aggregaten gör marken mer motståndskraftig mot markpackning (Duiker 2008, Lee & Foster 1991). Oades (1993) nämner att aggregaten har visat sig stå emot 5-54 gånger mer kinetisk energi från nederbördspåverkan före sönderdelning i jämförelse med andra jordaggregat. De har även visat innehålla mer vattenstabila aggregat samt ha större dragfasthållhet än andra jordaggregat.

Daggmaskpopulationen är störst i lerjordar i fuktiga områden och praktiskt taget nästan noll i sandjordar i torra områden (Dexter 1991). Det är i jordar med lägre krymp- och svällkapacitet som daggmaskarna har större betydelse för den strukturella formationen. Om inte jordarna genomgår torkvätningscykler är de biotiska faktorerna från till exempel daggmasken än viktigare (Oades 1993).

Rekolonisering av daggmaskar på packad mark har främst studerats på laboratorium, vilka har visat att de kan rekolonisera packad mark. I en naturlig miljö kan daggmaskarna undvika packad mark, men Capowiez et al. (2012) menar att oftast i laboratorium har daggmaskarna inte haft möjlighet att undvika den packade marken. Det har därmed givit tvivelaktiga resultat om vilken roll de spelar i att rekolonisera en packad mark. Studier gjorda i fält har gett olika resultat. Daggmaskens betydelse för markpackning

är därför inte entydig. Enligt Capowiez et al. (2012) har deras studier visat på stor kontrast till tidigare publicerade studier som säger att daggmaskarna är långsamma på att återkolonisera packade områden.

4.2 Daggmasken påverkas negativt av markpackning

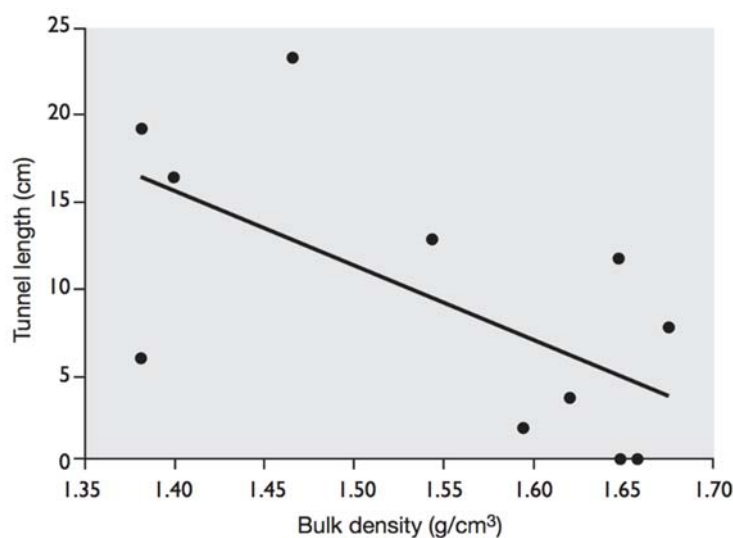
Markpackning är negativt för daggmasken och är den markorganism som påverkas mest av packning. Markpackning begränsar daggmaskpopulationen när det kommer till både täthet och mångfald (Capowiez et al. 2012, Jégou 2002). Den ena bidragande orsaken till en minskad total biomassa och ett minskat antal daggmaskar är att daggmasken kläms på grund av trycket och dör till följd av det. Den andra orsaken är att daggmasken flyr från den packade marken till en mer gynnsam miljö (Capowiez et al. 2012).

Tabell 4.1 visar biomassan för olika ekofysiologiska daggmaskklasser fem månader före och två månader efter packning. Den totala biomassan har efter packning minskat till 38% av den totala biomassan som fanns innan packning. Man kan se att epigeiska arter, som lever närmast markytan är de som påverkats mest negativt av packningen. Även endogeiska arter, som lever i matjorden och aneiska arter, boende i alven påverkas i hög grad. De endogeiska arterna är viktiga för bildning av horisontella kanaler och de aneiska arterna är viktiga för bildning av vertikala kanaler. De sistnämnda arterna kan man säga lever i alven i vertikala hål, men de går upp till markytan dels för att hämta mat, men sen tar de sig ner igen, vilket bildar de viktiga vertikala hålen i markprofilen.

Tabell 4.1. Tabellen visar biomassan för olika ekofysiologiskt klassade daggmaskar fem månader före och två månader efter packning. Källa: Keller et al (2017).

Ecophysiological category	2013	2014		
		Control	Compacted	Compacted/ control
		kg ha ⁻¹		
Epigeic	106.7	114.7	34.6	0.30
Endogeic	499.2	476.2	154.8	0.33
Anecic	1581.5	1483.7	605.0	0.41
Total earthworm biomass	2187.3	2074.5	794.4	0.38

De hålsystem som daggmaskarna har byggt upp påverkas starkt av markpackning. Porerna stängs och dess kontinuitet påverkas. Medellängden hos resterande hål minskar samtidigt som antalet fragmenterade hål ökar. Denna fragmentering och påverkan på hålsystemet har i stor utsträckning en påverkan på hålsystemens funktionaliteter. Effektiviteten av hålsystemens funktionaliteter kan minskas kraftigt genom denna förstörelse av hålsystem. Tester i fält visar att graden av inverkan ökar med graden av packning. Ju högre grad packning, desto mer tydlig är reduktionen av porer och total längden på hålrummen (Jégou et al. 2002). Figur 4.1 visar exempel på förändrade tunnellängder vid olika skrymdensiteter. Vid ökad skrymdensitet minskar total längden av tunnellängderna (Duiker 2004).



Figur 4.1. Figuren visar längderna av daggmaskarnas tunnlar vid olika skrymdensiteter. Källa: Duiker (2004).

De horisontella hålen tenderar vara mer tydligt påverkade av packningen än vertikala och snedställda. Orsaken till det är mest troligen för att marken utsätts av vertikala krafter främst. Störst effekt har packningen på hålsystemen i de övre delarna av marken, och minskad effekt med djupet (Jégou et al. 2002).

4.3 Hur daggmaskpopulationen kan gynnas

Eftersom daggmaskarna generellt har en positiv effekt på markstrukturen har de en betydande roll i att upprätthålla en god markstruktur och produktiviteten hos våra jordar. Det är därför viktigt att förstå dem och få dem att trivas och på så sätt för att bibehålla eller öka deras population, och därmed dra nytta av deras tjänster (Duiker 2008, Bertrand et al. 2015).

Markorganismer är känsliga och svarar lätt på jordbearbetning (Doran & Zeiss 2000). Jordbearbetning är allmänt skadlig för daggmaskpopulationen. Daggmaskarna är mycket känsliga för bearbetning, ju kraftigare bearbetning, desto mer skada på populationen. Ingen eller reducerad jordbearbetning kan därför vara en åtgärd för att gynna populationen och diversiteten. Hur effektiv åtgärden är beror av arterna och bearbetningsperiod och intensiteten (Bertrand et al. 2015).

Daggmaskarna har sin reproduktion i september till oktober och är då extra känsliga för bearbetning (Sahl 2016). Samtidigt är det så att på våren dominerar populationen av juveniler och de är mer känsliga mot bearbetning i jämförelse med vuxna. Det talar för en reducerad jordbearbetning i och med att bearbetning under dessa perioder missgynnar daggmaskarna. Tillämpar man inte reducerad bearbetning blir det svårt att undvika att bearbeta under perioder de är känsliga, då det är både under våren och hösten (Bertrand et al. 2015).

Tillförsel av organiskt material påverkar daggmasksamhället på ett positivt sätt i och med att det utgör källa av mat för dem (Bertrand et al. 2015). Det organiska materialet bör även vara av god kvalitet för daggmaskarna, ett högt C:N är inte smakligt för dem, gödsel gör det mer tilltalande (Duiker 2008).

En del bekämpningsmedel påverkar populationen negativt. Särskilt utsatta för insatta medel är dagmaskarna som lever och äter på eller nära markytan. Därför kan återhållsamhet av vissa bekämpningsmedel och alternativa metoder för att kontrollera skadedjur och patogener vara en åtgärd. Dagmaskarna har visats kunna hjälpa grödorna att vara mer resistenta eller toleranta mot sjukdomar och/eller skadedjur och skulle därmed kunna vara en biologisk kontrollåtgärd mot markpatogener (Duiker 2008, Bertrand et al. 2015).

Att hålla ett tillfredställande kalktillstånd är en åtgärd som gynnar dagmaskarna, då de trivs i neutralt pH. En ytterligare åtgärd för att gynna dagmaskarna är att hålla markytan växttäckt med antingen växtbestånd eller växtrester. Aktiv inplantering anses onödig i och med att erfarenhet har visat att maskarnas uppförökning vid gynnsamma förhållanden genom näringstillförsel och markmiljöförbättring är snabb (Heinonen 1986).

5 Praktiska erfarenheter från markpackningsarbete

5.1 Inledning

I detta kapitel görs en genomgång av praktiska erfarenheter från tre yrkesprofessionella som arbetar med markpackningsproblematik. Vilka är deras råd och tankar kring markpackning och hur ser de på behovet av ny kunskap? Kapitlet beskriver hur de bedömer olika faktorer betydelse för markpackning, hur olika metoder spelar roll för att förebygga packning samt regenerera markstruktur, och sambandet mellan dagmask och packning.

Den information som redogörs för här har samlats in via telefonintervjuer med bas i ett antal fördefinierade frågor, se bilaga 1. Marcus Willert arbetar som växtodlingsrådgivare vid Hushållningsskapet. Marie Lundberg är agronom och rådgivningsexpert vid Hushållningsskapet. Hon är aktiv i projektet Greppa Näringen som rådgivningsexpert på markpackning. Hans Nilsson är agronom på Jordbruksverket. Även Hans medverkar i Greppa Näringen. Alla respondenter har lång erfarenhet av arbete med mark och växtrelaterade frågor och problem.

5.2 Metoder för att undersöka markpackning

Okulär bedömning är den vanligaste metoden för att undersöka om en mark är packad enligt samtliga respondenter. Man tar sig ut på fältet med spade och kniv och gräver i marken. Man kan fokusera på platser som troligtvis är packade, exempelvis på vändtegar, och undersöka brottytorna och känna efter motstånd säger Marie. Hans poängterar att grödan är en mycket bra

indikator på packning. Där grödan växer sämre är markpackning en trolig orsak. Man letar efter täta skikt i jorden och efter rötter som betar sig annorlunda. Marcus säger att man kan även se på växternas rotutveckling och tänka på dragkraftsbehovet som har ökat till följd av ökad mekanisk hållfasthet vid packning.

Penetrometer är en annan bra metod för att undersöka packning. Den mäter penetrationsmotståndet, vilket återger hur kompakt jorden är. Mätningar kan göras vid olika djup. Nackdelen med en penetrometer är att den är dyr, vilket bidrar till att denna metod är mindre vanlig, både bland lantbrukare och rådgivare. Det finns även röntgenmetoder som kan användas för att bedöma markstruktur och förekomsten av packning. Denna metod används främst inom forskning och inte av lantbrukare eller rådgivare. Det är värt att nämna att det finns beräkningsmodeller för att uppskatta om en körning leder till packning eller inte.

5.3 Konsekvenser av markpackning

Lägre skörd är den viktigaste påföljden av markpackning säger samtliga respondenter. Orsaken till en lägre skörd beror på att markstrukturen förstörs vilket leder till försämrad infiltration och genomsläpplighet. Rotutvecklingen och därmed rotsystemet försämras betydligt, vilket kan förklaras av flera orsaker.

Hans poängterar att de första porerna som försvinner vid markpackning är makroporerna, vilka är mycket viktiga för luftutbytet. En packad mark får ett väsentligt sämre luft-och gasutbyte. Försämrat utnyttjandet av växtnäring och ökad denitrifikation på grund av den vattenmättade marken är också en bidragande orsak till lägre skörd. Marcus och Marie nämner båda att med försämrad markstruktur ökar dragkraftsbehovet. Såbäddskvaliteten blir sämre och det blir en sämre etablering av grödan. Marie tar upp att man får en mer svårarbetad jord, det går tyngre med högre jordmotstånd. Bearbetning av en svårarbetad jord kan i vissa fall bidra till en försämring av struktur. Den svårarbetade marken ger en ökad kostnad i och med en ökad dieselförbrukning. En försämrad såbädd och en sämre etablering av grödan ger ökad konkurrens från ogräs och det i sin tur kan leda till ökad användning av bekämpningsmedel.

5.4 Förbättring av markstruktur efter packning

En väl fungerande dränering ses av samtliga respondenter som grunden till att i förebyggande syfte undvika markpackning. Som ett ytterligare steg i att undvika markpackning är rådet att se över maskinparken och hur tung trafik man har på gården. Rådet är att sänka trycket på marken och därmed undvika att stressa marken. Enligt Marie bör man följa de rekommendationer som finns, när det kommer till däcktryck bör trycket vara lägre än ½ bar, och hjullasten bör understiga tre ton/hjul. Timing är viktigt säger Hans, vårbruket är känsligt då en torr yta fortfarande är blöt i alven. Marcus tycker också att det är viktigt att optimera arbetsperioden samt se till maskinkapaciteten och nyttja autostyrning.

För att regenerera en packad mark rekommenderas enligt respondenterna att man först och främst kontrollerar fälten, studerar struktur och får en översyn på dräneringen. Vid behov rekommenderas en förbättring av dräneringen. Maskinparken bör också ses över och förbättras vid behov. Är trafiken för tung, rekommenderas nya maskiner som en åtgärd. Om möjligt är rådet att samla trafiken så att det går att köra med fasta körspår eller minska trycket genom att till exempel använda dubbelmontage. Att samla trafiken är dock inte lätt att tillämpa för någon med liten arrondering, poängterar Marie, som också tillägger att man skulle kunna ställa krav att samtliga som kör på fälten ska använda sig av en GPS och köra efter den.

Alvluckring nämns som en åtgärd, på så sätt släpper man genom vatten. Marcus menar att vid alvluckring bör insatserna riktas under perioder av torra förhållanden och gärna i biologisk kombination med efterföljande gröda som växer ned på djupet. Hur alvluckring fungerar som en åtgärd är mycket individuellt och situationsberoende. Marie säger att alvluckring förekommer, men att det inte är något hon som rådgivare skulle rekommendera. Alvluckring utförs mer av den orsaken att grannen gör det eller hur maskinförsäljningen fungerar tror hon. Däremot ser hon en möjlig vinst i alvluckring för lättare jordar som inte på samma sätt har de fysiologiska strukturbildande processerna så som lerjordar har. Är marken packad ska man undvika att stressa den ytterligare och låta biologiska processer hjälpa till och hon lyfter då vallsammansättningar som en god idé. Hans nämner grödor med pålrötter som går ned på djupet. Han nämner också daggmasken som ett annat exempel på biologisk process som hjälpsamt bidrag till att regenerera en packad struktur. När man bearbetar kan man

beakta perioder då daggmaskarna är mer känsliga och rikta insatserna till vid tidpunkter då de inte är lika känsliga.

5.5 Daggmasken är betydelsefull för markstruktur

Daggmasken har stor betydelse för markstruktur och förekomsten av daggmask är en bra indikator på en god markstruktur menar alla respondenter. Däremot upplever de att daggmasken inte är något som man ofta pratar om. Möjligen att daggmaskens betydelse diskuteras mer i ekologisk odling tillägger Hans. De är otroligt viktiga för struktur och de omsätter organiskt material och ökar mineralisering och frisätter kväve. Marcus anser att det finns en kunskapsbrist och få försöksstudier relaterade till sambandet mellan daggmask och packning. Han undrar i vilken utsträckning daggmaskarna egentligen bidrar till regenerering av en packad mark. Har de möjlighet att befinna sig i en mer gynnsam lucker struktur, tror han att de skulle stanna där och inte ta sig in i en alltför kompakt mark. Allmänna rådet för att gynna daggmaskarna är i alla fall att röra marken så lite som möjligt och se till att ha växttäckning på markytan. De är inte förtjusta i uttorkad mark.

Att aktivt stimulera deras aktivitet och population anses inte vara en åtgärd man direkt diskuterar. Däremot råkar det vara så att de åtgärder man tar till för att bevara och regenerera en god markstruktur, även har en positiv effekt på daggmaskarna. Som exempel nämner Marie att om mullhalten är för låg vinner man mycket på att öka halten och det i sin tur gynnar daggmasken, i och med att mull utgör en matkälla för dem.

Hans menar att det är andra saker som styr vilka åtgärder som tillämpas, och inte i syfte att stimulera eller främja daggmaskaktiviteterna. Man söker lösningar med åtgärder som är praktiska, tekniska och ser till kostnaderna.

5.6 Behov av ny och mer kunskap och teknik

En intressant fråga är hur ska man rikta framtida arbete och vilken kunskap som saknas idag eller skulle kunna förbättras när det gäller markpackning och regenerering av packad mark. Marcus söker verktyg som identifierar och inventerar markpackningsstatusen. En sensor som mäter och kan ge exakta värden som man sedan kan digitalisera på ett smidigt och enkelt sätt så man kan samla detaljer. Något annat som man skulle kunna fokusera

mer på är fingertoppskänsla och fasta körspår, vilket skulle vara lätt etablerat enligt Marcus. Han söker dock fler försök relaterat till fasta körspår. Ett försök har till exempel varit förvirrande då resultat visat åt alla håll, vilket kändes opålitligt. Utveckling och förbättring av olika beräkningsprogram efterfrågas. Till exempel beräkning av risken för packning vid körning.

Marie skulle vilja lyfta fram vallens betydelse. Det är idag dåliga trafiksystem på vallgårdarna. Stor förändring på gårdarna bara de senaste 10 - 15 åren. Stora ekipage sen tidigare men som nu är ännu större, vi kör inte bara en gång utan det körs 3 - 4 ggr/år. Något annat som eftersöks är att i försök i så lång utsträckning som möjligt återspegla verkligheten. Till exempel används ofta för små och därmed vanligen lättare maskiner i försök än vad som är ute på gårdarna i verkligheten.

Det finns för få försök utförda på mo- och mjälajordar, så fler försök på dylika jordar vore intressant. Det finns många fler försök från till exempel slättbygderna med lerjordar. Fler resultat på vad packning medför och hur de regenereras efter packning av biologiska processer och odlingsåtgärder. Lerjordarna har sina fysiologiska läkningsprocesser. Mo- och mjåla jordar spricker och fryser inte på samma sätt vid tjäle som lerjordar.

Information, praktiska råd och utbildning är viktigt säger enligt Hans. Det är något som måste fortsätta och kan även utvecklas och göras i ännu större utsträckning. Det är ju egentligen grundsyftet med Greppa näringen. Markpackning är en av 37 moduler inom Greppa näringen.

Hans är också nyfiken på marklivet. Att marklivet påverkas av kemiska preparat vet vi, men hur allvarligt är det och hur djupt ned i marken har preparaten effekt. Tydliga exempel som visar samband mellan dagmask och skörd eller samband mellan mykorrhiza och skörd etc. Det är säkert svårt att studera och mäta, men det vore intressant.

6 Diskussion och slutsatser

Markpackning innebär att marken utsätts för tryck som överstiger markens bärförmåga. Fenomenet är ett tilltagande problem p g a användning av allt tyngre maskiner och en mer intensifierad markanvändning. Det finns ingen specifik faktor som bestämmer graden av packning utan flera faktorer som tillsammans bidrar till olika packningsgrader. Fuktiga förhållande, svaga aggregat, höga tryck, smala däck och höga ringtryck är faktorer som kan bidra till ökad packningsgrad. Markpackning påverkar åkermarkens kvalitet, grödtillväxt och miljön.

Denna studie visar att markpackning kan undvikas och att packad mark kan regenereras. Man kan även undvika markpackning genom förebyggande åtgärder. Detta är en viktig insikt då en god och bibehållen markstruktur leder till grödtillväxt och relativt hög avkastningspotential. Denna studie visar att med planering och förebyggande åtgärder kan risken för markpackning minska och i bästa fall undvikas.

Studien visar även att daggmasken påverkar markstrukturen positivt. Daggmasken bidrar på så sätt till att lindra effekterna av markpackning. Markpackning påverkar daggmaskpopulationen negativt. Daggmaskens roll i regenerering av packad mark är inte entydig. Resultat från studier i fält har visat olika resultat och försök på laboratorium ger tvivelaktiga resultat i och med att daggmaskarna oftast inte har haft en möjlighet till att undvika den packade marken. Förståelse för att daggmasken är betydelsefull för markstruktur och en bra indikator på god markstruktur finns. Den samlade kunskapen om daggmaskens roll och betydelse för regenerering av packad mark är emellertid begränsad. Dessutom tycks diskussionerna om daggmaskens betydelse vara få bland rådgivare och lantbrukare.

Sammantaget indikerar detta att det finns behov av kunskap om markpackning, hur det kan undvikas och hur mark kan återställas efter packning. Att daggmasks betydelse inte är entydig kan ses som en indikation på att det behövs fler studier som fokuserar på detta.

Referenser och källor

- Arvidsson, J, Pettersson, O. (1995). *Jordpackning och markstruktur*. Aktuellt från lantbruksuniversitet 435. Mark. Växter. Uppsala 1995
- Arvidsson, J., Trautner, A., Sjöberg, E. (2001) *Alvpackning av tunga betupptagare* : slutrapport från försök 1995-2000. Jordbearbetningsrapport 102. Institutionen för markvetenskap. SLU.
- Berglund, K, Gustafson Bjuréus, A. (2008) *Markstrukturtest i fält” Beskrivning och instruktioner*. Institutionen för markvetenskap. Avdelningen för hydroteknik. Rapport 8. SLU
- Berglund, K. (2016). *Markfysikaliska och agrohydrologiska grunder*. Föreläsningsanteckningar 2016-09-09.
- Bertrand, M., Barot, S., Blouin, M. et al. (2015) *Earthworm services for cropping systems*. Agron. Sustain. Dev. 35: 553-567. doi:10.1007/s13593-014-0269-7
- Campbell, N.A., Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, A.T., Minorsky, P.V., Jackson, R.B. (2015). *Biology: A Global Approach*. 10 uppl.
- Capowiez, Y., Cadoux, S., Bouchand, P., Roger-Estrade, J., Richard, G., Boizard, H. (2009) *Experimental evidence for the role of earthworms in compacted soil regeneration based on field observations and results from a semi-field experiment*. Soil Biology & Biochemistry 41, 711–717
- Capowiez, Y., Samartino, S., Cadoux, S., Bouchant, P., Richard, G., Boizard, H. (2012) *Role of earthworms in regenerating soil structure after compaction in reduced tillage systems*. Soil Biology & Biochemistry 55, 93-103
- Drewry, J.J. (2006). *Natural recovery of soil physical properties from treading damage of pastoral soils in New Zealand and Australia: a review*. Agriculture. Ecosystems and Environment 114, 159–169.
- Dexter, A. R. (1988). *Advances in Characterization of Soil Structure*. Soil & Tillage Research 11, 199-238.
- Dexter, A. R. (1991). *Amelioration of soil by natural processes*. Soil & Tillage Research 20, 87-100.
- Doran, JW., Zeiss, MR. (2000) *Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality*. Applied Soil Ecology 15, s. 3–11.
- Drewry, J.J. (2006). *Natural recovery of soil physical properties from treading damage of pastoral soils in New Zealand and Australia: a review*. Agriculture. Ecosystems and Environment 114, 159–169.

- Duiker, S.W. (2004). *Effects of Soil Compaction*. Pennstate. College of Agricultural Sciences Agricultural. Research and Cooperative Extension, 12.
- Duiker, S.W. (2008). *Earthworms*. Pennstate. College of Agricultural Sciences Agricultural. Research and Cooperative Extension.
- Ekholm, R. (2016). *Markpackning-påverkan på markens fysikaliska egenskaper*. Sveriges lantbruksuniversitet. Agronomprogrammet-inriktning mark/växt (Delnummer i serien 2016:14)
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I., Simonsson, M. (2011). *Marklära*. Studentlitteratur.
- Groenigen, J., Lubbers. (2014) *Earthworm increase plant production: a meta-analysis*.
- Heinonen, R. (1986). *Självläkning i marken*. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen nr 71, Sveriges Lantbruksuniversitet. 165-171.
- Håkansson, L & Reeder, R.C. 1994. *Subsoil compaction by vehicles with high axle load- extent, persistence and crop response*. Soil Tillage Res. 29, 277-304.
- Håkansson, I (2000). *Packning av åkermark vid maskindrift*. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 99. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala
- Jégou, D., Brunotte, J., Rogasik, H., Capowiez, Y., Diestel, H., Schrader, S., Cluzeau, D. (2002). *Impact of soil compaction on earthworm burrow systems using X-ray computed tomography: preliminary study*. *European Journal of Soil Biology*, 38, s. 329-336.
- Jordbruksverket (2005). *Jord i god kultur. Råd i praktiken*. Jordbruksinformation 7.
- Kay, D., Munkholm, J. (2011). *Managing the Interactions between Soil Biota and their Physical Habitat in Agroecosystems*. The architecture and biology of soils: Life in inner space. CAB International.
- Keller, T. (2016) *Soil compaction: from soil stress to changes in soil functions*. Föreläsning-santeckningar 2016.
- Keller, T., Colombi, T., Ruiz, S., Pogs Manalili, M., Rek, J., Stadelmann V., Wunderli, H., Breitenstein, D., Reiserer, R., Oberholzer, H., Schymanski S., Romero-Ruiz, A., Linde, N., Peter Weisskopf, P., Walter, A and Or, D. (2017) *Long-Term Soil Structure Observatory for Monitoring Post-Compaction Evolution of Soil Structure*. Volume 16, Number 5. <https://doi.org/10.2136/vzj2016.11.0118>
- Lee, K.E., Foster, R.C. (1991). *Soil fauna and soil structure*. Aust. J. Soil Res 29: 745-775.
- Lundberg, L., Wallander, J. (14:1). *Undvik markpackning*. Greppa Näringens Praktiska Råd nr. 14:1.
- Lynch, J. M. (1984) *Interactions between Biological Processes, Cultivation and Soil Structure*. Plant and Soil, vol. 76, no. 1/3, ss. 307–318.
- Monnier, G, Goss, M.J. (1985). *Soil compaction and regeneration*.
- Oades, J.M. (1993) *The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure*. Geoderma, 56, ss. 377-400.
- Sahl, R. (2016) *Daggmaskens praktiska betydelse i åkermarken*. Yrkehögskolan Novia. Utbildningsprogrammet för lantbruksnäringar och landskapsplanering.

Intervjuer

- Marcus Willert, Hushållningssällskapet: 2017-05-15
 Marie Lundberg, Hushållningssällskapet: 2017-05-16
 Hans Nilsson, Jordbruksverket: 2017-05-16

Internet

Väderstad (2017) : <http://www.vaderstad.com/se/know-how/grunderna-i-agronomi/jordanalys-och-skydd/>

Bilaga 1 – Intervjufrågor

- 1: Hur bedömer man om marken är packad eller ej?
- 2: Vilka metoder använder ni för att undersöka om marken är packad?
- 3: Vilken metod är viktigast och vanligast?
- 4: För och nackdelar med de vanligaste metoderna?
- 5: Vid markpackningsproblem, vilka är de främsta följderna / konsekvenserna för lantbrukare som du kan se?
- 6: Vilka åtgärder ser du som de främsta till att i förebyggande syfte undvika markpackning?
- 7: Vilka åtgärder ser du som de främsta föra att återställa/regenerera mark efter packning har upptäckts?
- 8: I vilket skede bör insatser riktas? Är förebyggande mer effektivt än att arbeta med effektiva åtgärder för att återställa marken?
- 9: Hur skiljer sig åtgärdernas effektivitet när det kommer till olika jordtyper?
- 10: Hur betydelsefull är daggmask för att undvika markpackning och återställa marken efter packning?
- 11: Kan daggmaskaktivitet främjas, stimuleras? Om ja, hur?
- 12: Hur tycker du att man måste rikta framtida arbete för att undvika markpackning? Om man skulle föreslå en kombination av åtgärder, vilka skulle du främst föreslå till markägare?
- 13: Vilken typ av kunskap tycker du saknas idag om markpackning och regenerering av mark efter packning, vilken kunskap behövs?