



# Markstrukturindex – utvärdering av markpackningsfaktorn

**Elise Nilsson**



Examensarbete  
Handledare: Kerstin Berglund

Sveriges lantbruksuniversitet Uppsala.  
Inst. f. markvetenskap,  
Avd. f. lantbrukets hydroteknik

2006



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>REFERAT</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>8</b>
<b>INLEDNING</b>	<b>9</b>
<b>Bakgrund</b>	9
<b>Markstrukturindexet</b>	9
<b>En enkätundersökning</b>	9
<b>Syfte</b>	9
<b>Indexets indelning</b>	10
<b>Grundförbättring</b>	10
<b>Odlingssystem</b>	10
<b>Markstrukturtest</b>	11
<b>MARKPACKNING - HUR OCH NÄR?</b>	<b>11</b>
<b>Definition av packning</b>	11
<u>Tryck eller spänning?</u>	11
<b>Hur sker packning</b>	11
<b>När sker packning</b>	12
<b>JORDBRUKSMARKENS STRUKTURFÖRÄNDRING</b>	<b>12</b>
<b>Från mekanisering till tunga maskiner</b>	13
<b>MARKPACKNINGENS KONSEKVENSER</b>	<b>14</b>
<b>Det mekaniska motståndet hindrar rotens tillväxt</b>	14
<b>Markpackningens påverkan på markbiologin</b>	15
<b>Ekonomiska effekter</b>	15
<b>PACKNING PÅ OLIKA DJUP</b>	<b>15</b>
<b>Matjordspackning</b>	16
<b>Alvpackning</b>	16
<u>Definition av alv och alvpackning</u>	16
<u>Alvens känslighet</u>	17
<u>Lasten påverkar</u>	17
<u>Rekommendationer för maxlast</u>	18
<u>Förebygga istället för att åtgärda</u>	18
<b>ÅTGÄRDER MOT MARKPACKNING</b>	<b>18</b>
<b>Grödval</b>	19
<b>On-land plöjning och bandtraktorer</b>	19

Däcksutrustning	20
Alvluckring	20
<b>VATTENHALT OCH JORDART - INVERKAN PÅ MARKPACKNING</b>	<b>20</b>
<b>Vattenhaltens inverkan på markpackning</b>	<b>20</b>
Luftfyllda porer minskar vid packning	21
<b>Jordartens inverkan på markpackning</b>	<b>21</b>
Friktion och kohesion	21
Strukturbildande processer	22
<b>HUR BERÄKNAS MARKPACKNING OCH ANTALET ÖVERFARTER I INDEXET IDAG?</b>	<b>23</b>
<b>Matjordspackning</b>	<b>23</b>
<b>Alvpackning</b>	<b>23</b>
Antalet överfarter	24
Viktning i indexet för markpackning och matjordspackning (antalet överfarter)	24
<b>BEDÖMNING AV VATTENHALT</b>	<b>24</b>
Bedömning av vattenhalten i matjorden	24
Bedömning av vattenhalten i alven	25
<b>MATERIAL</b>	<b>26</b>
<b>Odling i Balans och dess pilotgårdar</b>	<b>26</b>
Västraby	26
Broby	26
Sjöstorp	27
<b>METOD</b>	<b>27</b>
<b>Markstrukturindexet</b>	<b>27</b>
<b>Bedömning av vattenhalt och körförhållanden</b>	<b>28</b>
Årsmånsklassning	28
Spårbestämning	30
<b>Modellkörning</b>	<b>31</b>
<b>Matjordspackning</b>	<b>31</b>
<b>Markpackning i alven</b>	<b>31</b>
Kritisk belastningsgräns	31
<b>RESULTAT OCH DISKUSSION</b>	<b>33</b>
<b>Matjordspackning i den nya modellen</b>	<b>33</b>
Årsmånsklassning	33

Fuktighetsklassning	33
Spårangivelse	33
<b>Ny viktningskoefficient</b>	<b>34</b>
<b>Alvpackning i nya modellen</b>	<b>35</b>
<b>Hjullaster istället för axellaster</b>	<b>36</b>
<b>FÖRSLAG PÅ FÖRÄNDRINGAR I MARKPACKNINGSDELEN</b>	<b>38</b>
<b>Ifyllningsformulär</b>	<b>38</b>
<b>Indexprogrammets framtida utformning</b>	<b>39</b>
<b>REFERENSER</b>	<b>41</b>
<b>BILAGOR</b>	<b>44</b>
<b>Bilaga 1. Enkät till brukarna på pilotgårdarna inom Odling i Balans 2005</b>	<b>44</b>
<b>Bilaga 2. Formulär</b>	<b>45</b>
<b>Bilaga 2.1</b>	<b>45</b>
<b>Bilaga 2.2. Instruktioner till formuläret</b>	<b>46</b>
<b>Bilaga 2.3. Vad är ett markstrukturindex?</b>	<b>47</b>
<b>Bilaga 2.4. Indata för gården och grundförutsättningar</b>	<b>48</b>
<b>Bilaga 2.5. Grundförutsättningar och växtodling</b>	<b>49</b>
<b>Bilaga 2.6. Arbetsmoment under växtodlingsår</b>	<b>50</b>
<b>Bilaga 2.7. Exempel på: Arbetsmoment under växtodlingsår</b>	<b>51</b>
<b>Bilaga 2.8. Alternativ i rullisterna</b>	<b>52</b>
<b>Bilaga 3. Broby</b>	<b>53</b>
<b>Bilaga 3.1. Broby: indata</b>	<b>53</b>
<b>Bilaga 3.2. Broby: Arbetsmoment under växtodlingsår 2004</b>	<b>54</b>
<b>Bilaga 3.3. Broby: Grundförutsättningar och växtodling</b>	<b>55</b>
<b>Bilaga 4. Västraby</b>	<b>56</b>
<b>Bilaga 4.1. Västraby: Indata</b>	<b>56</b>
<b>Bilaga 4.2. Västraby: Arbetsmoment under växtodlingsår 2003</b>	<b>57</b>
<b>Bilaga 4.3. Västraby: Arbetsmoment under växtodlingsår 2004</b>	<b>58</b>
<b>Bilaga 4.4. Västraby: Grundförutsättningar och växtodling</b>	<b>59</b>
<b>Bilaga 5. Sjöstorp</b>	<b>60</b>
<b>Bilaga 5.1. Sjöstorp: Indata</b>	<b>60</b>
<b>Bilaga 5.2: Sjöstorp: Arbetsmoment under växtodlingsår 2003</b>	<b>61</b>
<b>Bilaga 5.3. Sjöstorp: Arbetsmoment under växtodlingsår 2004</b>	<b>62</b>

**Bilaga 5.4. Sjöstorp: Grundförutsättningar och växtodling \_\_\_\_\_ 63**

**Bilaga 6. Sammanfattning av diskussion 2005-03-30 64**

## REFERAT

En god markstruktur är en grundförutsättning för att upprätthålla ett välfungerande odlings-system. Vid Institutionen för markvetenskap, SLU, utvecklas ett markstrukturindex som ska bedöma jordens fysikaliska status och avgöra vilken inverkan odlingsystemet har på strukturen i marken. Odlingssystemets markstruktureffekter bedöms och summeras i ett odlingssystemindex bestående av tre positiva faktorer, rotproduktion, upptorkning av markprofilen och inblandning av organiskt material samt tre negativa faktorer, bar ofrusen mark, marköverfarter (matjordpackning) samt markbelastning.

I dagens index tar man i markpackningsdelen ingen hänsyn till vilka körförhållanden som råder vid olika överfarter. I detta examensarbete behandlas vilken inverkan körförhållandena bör ha i markpackningsdelen. För att genomföra jämförande studier har olika markpackningsmodeller utformats där man väger in matjordens och alvens vattenhalt. För matjordspackningen har tre olika skattningar av vattenhalten utvärderats. Dessa är årsmånsklassning, fuktighetsklassning och spårangivelser. För alvpackningen har ändringarna bestått i att de kritiska belastningsgränserna har varierat med årsmånen. Två modellvarianter utöver den befintliga har undersökts. I den befintliga modellen tas ingen hänsyn till körförhållanden. I modell två utgår man från forskning som säger att packningsskadorna blir lika allvarliga i torr som i våt jord. Minst blir de i "lagom våt" jord. I den tredje modellen antar man att packningen ökar i omfattning med ökad vattenhalt. För modellkörningarna har data från tre gårdar inom projektet Odling i Balans använts.

I den nya versionen av indexet viktas matjordspackningen beroende på körförhållandena vid överfarten, antingen skattad efter årsmånsklassning eller efter fuktighetsangivning, beroende på vilka uppgifter som finns tillgängliga. Skattning av vattenhalt i alven är mycket osäker och i dagsläget finns det inte tillräckligt med fakta för att vikta den kritiska belastningsgränsen beroende på vattenhalt. Därför kvarstår alvpackningsdelen i modellen som den är, vilket innebär att den kritiska belastningsgränsen endast beror på ringtrycket. Nya forskningsresultat indikerar att hjultrycket inte kan uppskattas enbart med axellast eller den totala vikten utan att trycket från varje hjul är mer fristående. För att i någon mån ta hänsyn till detta kan man nu ange vilken däckutrustning som används vid överfarten. Detta innebär att man kan ta hänsyn till att t.ex. dubbelmontage eller extra breda däck ger minskad alvpackning.

## **ABSTRACT**

A good soil structure is a basic prerequisite for maintaining an efficient farming system. At the Department of Soil Science at the Swedish University of Agriculture an index for soil structure is being developed. This is going to evaluate the physical status of the soil and decide what effect the farming system has on the soil structure. The farming system effects on the soil structure are evaluated and summarized in a farming system index containing three positive parameters, root production, drying of the soil profile and organic material and three negative, bare non frozen soil, number of passages (topsoil compaction) and subsoil compaction.

In the index of today no consideration is taken of the prevailing passage conditions during different passages. This Master degree looks into the influence of the passage conditions on the soil compaction part. To perform comparative studies different soil compaction models have been constructed, where you're able to weigh in the water content in the topsoil and subsoil. For the topsoil three estimations of the water content have been evaluated. These are based on classification of weather conditions each year, soil moisture estimation and field track information. Regarding the subsoil compaction the changes have consisted of different critical load limits depending on weather condition each year. Two different models except for the existing model have been evaluated. In the existing model no consideration is taken of the passage conditions. In model two you start from research saying that the compaction damage is as severe in dry soil as in wet soil and least damage occurs in soil with moderate water content. In the third version you assume that the compaction increases with increasing water content. For the modeling we've used data from three farms in the project Farming in Balance.

In the new version of index, the topsoil compaction is weighed depending on passage conditions, either estimated using the classifications of weather variations between years or the moisture estimation, depending on the information yet available. Estimation of water content in the subsoil is still very uncertain and there is not enough information to estimate the critical load limit depending on the water content. So therefore, the subsoil part in the model will remain as it is, which means that the critical load limit only depends on the tyre inflation pressure. New research results indicate that the soil stress can't be estimated only by the axle load or the total load, but the stress from each wheel is more independent. To be able to consider this to some extent, you're now able to specify what tyre equipment is used during the passage. This means you can for instance take into consideration that dual wheels or extra wide wheels decrease the subsoil compaction.



## **INLEDNING**

### **Bakgrund**

Intresset för och kunskapen om markstrukturens betydelse för odlingen, samt hur viktigt det är att bevara en bra struktur ökar ständigt. Markens struktur påverkar de flesta processer i marken (Dexter, 1988). En jord som odlas är mycket beroende av en god struktur för att fungera väl och en god markstruktur bör inte försämrats utan helst förbättras för att uppnå ett uthålligt odlingssystem. Att genomföra mätningar av fysikalisk markbördighet är idag svårt och dyrt, därför behövs andra vägar för att försöka följa markstrukturens utveckling.

### **Markstrukturindexet**

För att kunna bedöma jordars fysikaliska tillstånd, samt hur odlingsåtgärder påverkar markstrukturen, utvecklas ett markstrukturindex vid Institutionen för markvetenskap, SLU (Berglund et al., 2002). Initiativtagare till indexet är Agr. Dr Kerstin Berglund och professor emeritus Waldemar Johansson (Gustafson- Bjuréus och Karlsson, 2002). I markstrukturindexet vägs, såväl markfysikaliska egenskaper som odlingsberoende faktorer ihop för att ge jordbrukaren och rådgivaren möjlighet att värdera och förutsäga effekten av olika åtgärder på markstrukturen (Berglund et al., 2002). Modellen är uppbyggd i Excel och programmerad av Agr. Örjan Berglund vid Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet (Gustafson- Bjuréus och Karlsson, 2002).

### **En enkätundersökning**

Under arbetets gång gjordes en mindre enkät med lantbrukare inom organisationen Odling i Balans ([www.odlingibalans.com](http://www.odlingibalans.com)) se bilaga X. Resultatet tyder på att intresset för marken och bevarandet av dess struktur är väldigt stort. De bönder som deltog svarade bland annat att de försökte undvika att köra då det är blött samt att de genomfört andra åtgärder för att undvika markpackning. Åtgärderna som tillämpas är exempelvis, att ta hänsyn till ringtryck och körning med dubbelmontage. Även planerad sådd så att transport vid skörd kan ske på markvägar i så stor utsträckning som möjligt var åtgärder som nämndes i svaren. Flera av deltagarna hade också idéer om vad som skulle kunna göras för att ytterligare minska packningen. Fasta spårssystem och slangspredning av gödsel är exempel på detta. En del av lantbrukarna skulle gärna i mån av tid använda ett markstrukturindex om detta var tillförlitligt. Det bör dock påpekas att lantbrukarna, vars gårdar ingår som pilotgårdar inom Odling i Balans, kan anses vara extra engagerade och intresserade av nya lösningar.

### **Syfte**

Examensarbetets syfte är att utvärdera vilken inverkan körförhållanden i form av markens vattenhalt bör ha i markpackningsdelen i markstrukturindexet. En litteraturstudie har genomförts och den befintliga markpackningsmodellen har därefter ändrats efter olika scenarier. Ändringarna har inneburit olika kritiska nivåer (vikter över denna nivå anses orsaka markpackning) beroende på årsmånsklassning och hur överfarterna ska klassas beroende på olika skattningar av vattenhalten i matjorden. Med uppgifter från tre olika Odling i Balans gårdar har vi sedan jämfört resultaten och diskuterat oss fram till den version som vi anser fungerar bäst i dagens markstrukturindex.

## EN ÖVERSIKT ÖVER MARKSTRUKTURINDEXETS UPPBYGGNAD

### Indexets indelning

Markstrukturindexet består av tre delar; en grundförbättringsdel, en odlingssystemdel och ett enkelt markstrukturtest som görs i fält. Markstrukturindexet använder sig idag av en Excel-modell till grundförbättrings- och odlingssystemdelen (Berglund et al., 2002).

### Grundförbättring

I grundförbättringsdelens bedöms de grundläggande markfysikaliska förutsättningarna för odling samt vad brukaren kan göra för att förbättra dessa, med hjälp av åtgärder såsom dränering, strukturkalkning och externt organiskt material. I indexet avgörs behovet och effekten av olika långsiktiga åtgärder för att uppnå en god markstruktur. Behovet av dränering avgörs antingen genom schablonmodeller för olika jordarter och klimatområden, eller genom enkla test av dräneringsbehovet. I Sverige anses dränering vara en förutsättning för en uthållig odling på en stor del av våra jordar. Strukturkalkning kan inverka positivt på lerjordars markstruktur, genom att göra jordarna mer tåliga med hjälp av den goda struktur som man uppnår med tillförsel av kalk. Externt organiskt material kan ha goda effekter på alla mineraljordar, men särskilt på lättare jordar (Berglund et al., 2002).

### Odlingssystem

Odlingssystemdelen, vilken kommer att behandlas i detta examensarbete, avgör hur brukarens årliga åtgärder påverkar markstrukturen. Med odlingssystemindexet ska man kunna simulera de effekter en förändring av systemet har under en längre period. I dagsläget finns 6 olika faktorer som påverkar indexresultatet, tre är positiva; rotproduktion, upptorkning och återförsel av organiskt material, och tre är negativa; bar och ofrusen mark, marköverfarer, och markbelastning (tab.1). Tanken är att varje faktor ska ge ett tal mellan 1-10. Marköverfarer och markbelastning har emellertid en lite annorlunda viktning, då de anses ha olika stor betydelse. Tillsammans ger de dock maxvärdet 20. De olika parametrarna summeras sedan ihop till ett odlingssystemindex, vilket ska avgöra odlingssystemets effekt på markstrukturen. Indexet är uppbyggt så, att om någon parameter ändras och ger upphov till ett ökat indexvärde, är detta bättre för markstrukturen än tidigare alternativ. I indexet idag tas liten hänsyn till skillnader i klimat och jordart mellan olika gårdar, vilket gör det olämpligt att jämföra olika gårdar med varandra (Berglund et al., 2002).

**Tabell 1.** Odlingssystemindexets sex faktorer (med angivna enheter), viktningskoefficienter och de indexvärden de kan anta

Parameter	Viktningskoefficient	Min-värde	Max-värde
Tillförsel av organiskt material (ton ts/ha)	0,5	0	10,0
Rotmängd (ton ts/ha)	0,67	0	10,0
Upptorkning (antal dagar / 365)	24,3	0	10,0
Bar ofrusen mark (antal dagar / 365)	13,0	0	10,0
Markpackning i alven (tonkm/ha)	0,222	0	13,3
Matjordspackning (antal överfarer)	0,335	0	6,7

### Markstrukturtest

Den sista delen är ett markstrukturtest som enkelt kan göras i fält för att bedöma tillståndet i marken. Denna del är till för att lantbrukaren ska kunna följa markstrukturens förändringar och därmed lära känna sin jord bättre och samtidigt öka sina allmänna kunskaper om markstruktur (Berglund et al., 2002).



**Figur 1.** Markstrukturtest i fält.

### MARKPACKNING - HUR OCH NÄR?

Runt om i världen har forskare visat att marken och dess struktur har försämrats inom jordbruket (Dexter, 1988). Markpackning och vatten- och vinderosion anses vara de processer som skadar odlingsmarken allra mest. Markpackning bidrar inte bara till markstrukturförändringar utan har även en mängd andra konsekvenser (Horn och Rostek, 2000). Detta kan i sin tur medverka till ekonomiskt kännbara effekter i form av minskade skördar (Dexter, 1988).

### Definition av packning

Packning av jord kan definieras som att markpartiklarna ändrar läge i förhållande till varandra så att porvolymen minskar (Hartge, 2000; Arvidsson, 2001). Vid packning förblir det fasta materialet volymmässigt oförändrat men kan arrangeras på ett nytt sätt (Soane och van Ouwerkerk, 1994). Det organiska materialet i marken kan ändra form och bindningar mellan jordpartiklar brytas och nybildas när ett tryck läggs på (Koolen, 1994). Generellt sprids varje tryck som läggs på en markyta tredimensionellt nedåt i marken (Horn och Rostek, 2000).

### Tryck eller spänning?

I denna uppsats kommer en jord som utsätts för en kraft att benämnas som att den utsätts för ett tryck. Att använda benämningen tryck i marken är idag allmänt vedertaget men inte helt korrekt. Mark har nästan en oändlig utbredning, därför är det mer korrekt att benämna kraften som spänning som har en riktning. Då en kraft verkar på marken använder man dock enheten tryck, kraft per ytenhet ( $N/m^2$  eller Pa) (Arvidsson, 2001).

### Hur sker packning

Skrymdensitet är ett mått på massan av en viss jordvolym, vilken innefattar både porer och torr jord. Jordprover tas ut med ett mått av känd volym, torkas och vägs (Brady och Weil,

1999). Skrymdensiteten påverkas av varje händelse som inverkar på porvolymen (Brady och Weil, 1999; Håkansson, 2000). Packning sker främst genom att luft drivs ut, vilket förutsätter luftfyllda porer i jordvolymen. Det är ofta de grova porerna, såsom maskgångar, gamla rotkanaler och mellanrum mellan kokor och aggregat som är luftfyllda, som först kollapsar vid packning (Håkansson, 2000). Skrymdensiteten ökar då en jordvolym packas, eftersom porerna minskar i storlek (Brady och Weil, 1999; Håkansson, 2000). Då skrymdensiteten ökar påverkas många olika faktorer i marken, såsom infiltration och perkolation i marken, luftens möjlighet att ta sig fram och rötternas förmåga att penetrera jorden (Brady och Weil, 1999).

### **När sker packning**

Jordens bärande kapacitet kan definieras som jordens förmåga att motstå tryck utan att det tredimensionella arrangemanget ändras. Det kan även uttryckas som jordens motståndskraft mot plastisk deformation (Alakukku et al., 2003). Packning sker när denna bärande kapacitet överskrids (Håkansson, 2000; Alakukku et al., 2003).

Jord med stabila aggregat har större möjlighet att stå emot tryck och en jord som redan är kraftigt packad, exempelvis i form av en trafiksula, kräver ett större tryck för att packas ytterligare. Även faktorer som tryckets storlek samt under vilken tidsram spänningen verkar, påverkar hur allvarlig packningen kommer att bli (Horn och Rostek, 2000). Vid hoptryckning av jorden brukar man prata om elastisk och plastisk deformation. Den elastiska deformationen går tillbaka efter en överfart och den plastiska deformationen kvarstår. Ofta innebär en överfart en kombination av de båda (Arvidsson, 2001). En lucker jord d.v.s. en jord som genomgått en volymökning, är mer känslig för packning än en packad jord. De luftfyllda porerna ökar i omfattning då en jord luckras och under den första överfarten blir därför volymminskningen stor (Håkansson, 2000).

Markpackning sker även vid exempelvis byggnation av hus men det finns stora skillnader mellan denna packning och den markpackning som sker vid överfart av jordbruksmaskiner (Koolen och Kuipers, 1983). Effekter som eftersträvas inom husbyggnation, såsom stabil och hård jord, kan vara de direkta motsatserna mot vad som eftersträvas för en odlingsjord (McKyes, 1989). Andra skillnader kan vara att inom jordbruket passerar däckets på mindre än några sekunder över ytan och drabbar ofta bara en liten del av fältet. Hus däremot packar samma yta under lång tid (Koolen och Kuipers, 1983).

Hur allvarlig packningen blir beror till stor del på vilken typ av jordbruk som bedrivs. Det är skillnad på att köra många gånger med små maskiner eller som ofta är fallet i dagens högmekaniserade jordbruk att köra få gånger med stora maskiner och stor last (Koolen och Kuipers, 1983). Generellt kan man säga att ju styvare jord, desto fuktigare klimat och ju större andel känsliga grödor desto mer bör man undvika tunga körningar i fält (Danfors et al., 1974).

## **JORDBRUKSMARKENS STRUKTURFÖRÄNDRING**

Markpackning är ett ökande problem runt om i världen. Skadorna är särskilt allvarliga på jordbruksmarker och då framförallt i områden med hög nederbörd (O'Sullivan et al., 1999; Isahq et al., 2002; Lipeiec och Hatano, 2003). Under 1997 gjordes en jämförande studie (Moberg, 2001) på 10 jordar för att undersöka hur genomsläppligheten har förändrats under de sista 40 åren. Provpplatserna var belägna på 10 lerjordar; fem i Uppland och fem i Skåne.

Man valde att undersöka platser på stora brukningenheter, då man antagligen kom igång tidigt med mekaniseringen på dessa gårdar. Under perioden 1955 – 1962 undersökte man olika parametrar på jordarna bland annat genomsläppligheten. 1997 upprepades mätningarna på samma platser. Resultatet visade att genomsläppligheten i alven hade försämrats (statistiskt signifikanta skillnader) (tab. 2). Men det kan finnas flera orsaker till varför detta har skett. Odlingslandskapet har förändrats och idag odlas mindre vall men markpackningen spelar säkerligen en stor roll i resultatet. Provtagning av genomsläppligheten på samma sätt och på samma plats efter 40 år är osäker då metoderna för provtagning är annorlunda, men resultatet tyder på att förändring i alven har skett (Moberg, 2001). I Sverige är forskningsverksamheten inom markpackningsområdet en av de mest omfattande i världen (Håkansson, 2000).

**Tabell 2.** Medelvärden på genomsläpplighet för vatten på olika djup för 10 jordar samt värde på P (= sannolikhet att de logaritmerade gamla och nya värdena ej skiljer sig från varandra)

Djup (cm)	Genomsläpplighet 1955- 1961 (cm/h)	Genomsläpplighet 1997 (cm/h)	P
10 - 20	37,46	3,60	0,2179
20 - 30	3,46	2,95	0,2674
30 - 40	17,24	1,98	0,0194 *
50 - 60	73,59	2,68	0,0005 *
70 - 80	118,97	4,37	0,0258 *

### Från mekanisering till tunga maskiner

Den jordbrukstekniska utvecklingen i de industrialiserade länderna har under de senaste decennierna gått i snabb takt. Mekaniseringen har sedan slutet av andra världskriget bidragit till en stor del av jordbruksmarkens strukturförändring. Det är i områden där utvecklingen mot stora maskiner har kommit allra längst som de största problemen återfinns. Den ekonomiska pressen och därmed kravet på rationell bearbetning har frambringat större och tyngre traktorer och maskiner med större arbetsbredder och ökade lagringskapaciteter under körning (Soane och van Ouwerkerk, 1994; Taylor, 1994; Håkansson, 2000; Alakukku et al., 2003; Keller, et al., 2003).

De lättare maskinerna som föregick mekaniseringen drogs oftast av hästar och orsakade i regel endast packning i matjorden. Markpackningen åtgärdades emellertid vid luckring med jordbearbetningsredskap, som exempelvis plojen, samt vid naturliga processer såsom upp-torkning och uppfrysning. Men vid plöjning då hästarna gick i plogfåran uppmärksammades en ökad markpackning som minskade rottillväxten och därmed skörden (Soane och van Ouwerkerk, 1994). Idag är maskinerna betydligt tyngre och packningen når allt djupare ner i jordprofilen, vilket innebär att skadorna blir svårare och ibland t.o.m. omöjliga att återställa (Soane och van Ouwerkerk, 1994; Håkansson, 2000; Isahq, et al., 2002). De allra största maskinerna återfinns på stora gårdar på USA:s prärie och i Australien. I dessa semiarida områdena (torra områden där nederbörden är lika stor som avdunstningen (Nationalencyklopedin, 2005)) råder emellertid relativt torra förhållanden vid skörd och andra tillfällen när man kör på marken. Men även i områden där skördeperioden är våt som i norra Europa blir maskinerna allt större. Det är framförallt maskiner för skörd samt transportfordon som kommer upp i riktigt tunga vikter. Ett exempel på rejält tunga maskiner i norra Europa är sockerbetsupptagaren (Håkansson och Petelkau, 1994). Enligt tillverkaren Vervaet som säljer betupptagare genom Edenhall i Sverige kan deras nioradiga betupptagare komma upp i en totalvikt på 55 ton ([www.edenhall.se](http://www.edenhall.se)).



**Figur 2.** Nioradig betupptagare (Vervaet), den så kallade Beet Eater (Foto: [www.edenhall.se](http://www.edenhall.se)).

Användandet av tunga maskiner och körning då markfuktigheten är hög har ökat risken för alvpackning. Vid körning under kritiska förhållanden bör ringtryck och hjullast anpassas efter de förhållanden som råder, för att till så stor del som möjligt undvika markpackning (Alakukku et al., 2003; Spoor et al., 2003 ).

## **MARKPACKNINGENS KONSEKVENSER**

Vid packning påverkas nästintill alla markens egenskaper; såväl fysikaliska och biologiska som kemiska, i regel i negativ riktning (Håkansson, 2000). Som efterföljande effekter av markpackning nämns i jordbrukssammanhang ofta att rotens tillväxt hindras, att skörden minskar samt att bearbetningskostnaderna ökar (Liepiec och Stepniewski, 1995; Isahq et al., 2002). Packningen kan även få miljömässiga konsekvenser som minskad infiltration, ökad ytavrinning och erosion vilket i sin tur medför ökad transport av exempelvis pesticider och näringsämnen till vattendrag (Håkansson, 2000). Även grödans tillgång och upptag av kväve kan påverkas av markpackning. I de flesta fall begränsas grödans upptag av kväve vid markpackning samtidigt som denitrifikationen ökar. Detta innebär att förlusten av kväve genom läckage och genom avgång till atmosfären ökar vid markpackning (Liepiec och Stepniewski, 1995).

### **Det mekaniska motståndet hindrar rotens tillväxt**

Det är svårt att avgöra hur rottillväxten påverkas av en måttlig packning, då en viss packning kan bidra till förbättrad vattenhållandeförmåga hos en jord. Ju större hållfasthet jorden har under såbädden desto svårare är det för rötterna att ta sig igenom alven (Brussaard och van Faassen, 1994), eftersom det mekaniska motståndet påverkar rotens tillväxt och funktion negativt (Arvidsson, 1997). Det är dock inte bara jordens hållfasthet som avgör hur djupt rötterna når, utan även tillgången på sprickor och bioporer i marken. Bioporer skapas framförallt av rötter och dagmaskar (Brussaard och van Faassen, 1994). I enkelkornjordar, såsom en sand- mo- eller mjälajord, hindras rötterna mycket av det mekaniska motståndet. Rötterna växer ofta endast i matjorden då de inte kan ta sig ner i alven p.g.a. mekaniskt motstånd, en torrfront eller näringsbrist. Packas jorden blir det mekaniska motståndet ännu större och det är därför viktigt att behålla en god struktur för att inte förvärra situationen för växterna (Danfors, et al., 1974).

Då en jord packas är det först de stora luftfyllda porerna som försvinner. Det är även en viss skillnad i packningskänslighet hos horisontella och vertikala porer. Kraften som bildas genom

överfarten på markytan sprider sig till största delen vertikalt i alven, vilket medför att det först och främst är de horisontella porerna och sprickorna som trycks samman. Detta innebär att den vertikala sprickbildningen och de vertikala porer som exempelvis är skapade av rötter och markorganismer är viktiga för markens motstånd mot packning. Ju fler vertikala porer marken har desto större motstånd mot packning har jorden (Jones et al., 2003).

### **Markpackningens påverkan på markbiologin**

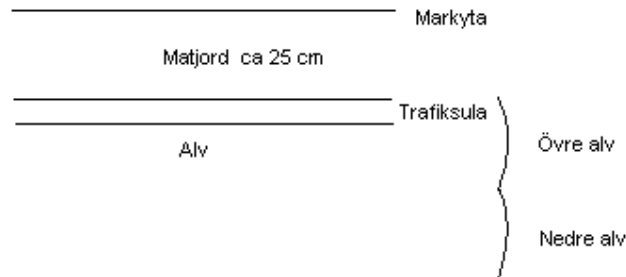
Det har visat sig att en framgångsrik odling är beroende av en rad markorganismer. Marken bidrar med en levnadsmiljö i form av porer och kontrollerar markorganismernas omgivning i form av vattentransport och syretillgång. Vissa av markorganismerna kan i sin tur medverka till aggregatbildning och skapandet av så kallade biopor, samt hålla efter olika växtpatogener (Brussaard och van Faassen, 1994; Soane och van Ouwerkerk, 1994). Vid markpackning förändras dock livsbetingelserna för många markorganismer. Ofta innebär detta att förutsättningarna försämras för faunan, t.ex. genom att porstorleksfördelningen förändras. Detta kan bl.a. medföra att de markförbättrande daggmaskarna minskar i antal. Då porositeten minskar blir det svårare för rötterna att utvecklas, vilket kan leda till minskat växtnäringupptag (Soane och van Ouwerkerk, 1994; Håkansson, 2000; Isahq et al., 2002).

### **Ekonomiska effekter**

Då rötternas tillväxt begränsas till följd av alvpackning kan skörden bli nedsatt. Skördeminskningen märks dock inte i någon större omfattning på en gång. Det allvarliga med alvpackning är emellertid att den har efterverkan under många år (Danfors et al., 1974). Att avgöra hur stora ekonomiska effekter som markpackningen har kan vara svårt då packningen kan påverka grödan på fler sätt än bara i form av minskad skörd. Även skördens kvalitet kan försämras i fråga om mognadstidpunkt och grödans sammansättning, exempelvis i form av proteininnehåll. Effekten på ekonomin kan antingen visa sig direkt, genom minskad skörd, eller indirekt genom icke utnyttjade resurser och insatser (Soane och van Ouwerkerk, 1994; Isahq et al., 2002).

### **PACKNING PÅ OLIKA DJUP**

Jordbruksmark består i de flesta fall av ett matjordslager som bearbetas under året, och den därunder liggande alven, som aldrig eller sällan luckras (Koolen och Kuipers, 1983; Håkansson, 2000). Hur allvarlig packningen blir i matjord respektive alv beror bl.a. på hur stort tryck som verkar på marken och hur stor kontaktyta som trycket fördelas på (Håkansson, 2000). I jordbrukssammanhang i Sverige och andra delar av Europa anser man att alven börjar redan vid omkring 25 cm, beroende på bearbetningsdjup. Alvpackning på jordbruksmark är ofta allvarligast i de övre delarna d.v.s. från bearbetningsdjup till 0,5 m (Keller, 2004).



**Figur 3.** Förenklad bild av hur en jordprofil kan se ut i fält

### Matjordspackning

Bearbetning av matjorden leder till att den luckras och packas om vart annat under året (Koolen och Kuipers, 1983; Håkansson, 2000). Vid plöjning minskar packningsgraden i matjorden speciellt på lerfattiga jordar (Håkansson, 2000). På lerjordar kan åtgärden bara upphäva en del av den packade strukturen. En tidigare packad jord har en grövre och tätare struktur, efter plöjning, än en icke packad (Danfors, 1974; Håkansson, 2000). Detta kan leda till sämre såbäddsberedning. Plöjning av en packad jord går tyngre än på en mindre packad jord och kräver därmed mer bränsle (Danfors et al., 1974).

Med plöjning blir matjorden ofta alltför lucker, vilket kan innebära att kontakten mellan jord och frö eller rötter inte är tillfredställande för ett bra vattenupptag. För att uppnå optimala förhållanden krävs därför en jämn återpackning över fältet (Håkansson, 2000). Matjordspackningen är särskilt beroende av däckens ringtryck och på hur stor del av ytan som traktordäcken packar (Håkansson, 2000; Ishaq et al., 2002). Tidigare ansåg man att ringtrycket var detsamma som kontakttrycket på marken. Emellertid visade det sig att detta inte var korrekt. Däckets relativt stela konstruktion, som bidrar till dess bärande kapacitet, gör att däckets inte flyter ut lika mycket som man sänkt ringtrycket (Koolen, 1994; Keller, 2004). Ett däck ger inte ett jämnt tryck på markytan under hela däcksytan, och kontakttrycket kan därför vara många gånger större än ringtrycket (Keller, 2004). Vid arbete med tunga maskiner krävs ofta en djup bearbetning för att luckra spåren. Undersökningar som utförts i försök både i Sverige och utomlands visar att packningsgraden ökar proportionellt mot logaritmen på marktryck och antal överfarter så länge det finns luft i profilen (Håkansson, 2000).

### Alvpackning

#### Definition av alv och alvpackning

Alven kan delas upp i två delar (fig. 3). Den övre delen av alven, som innehåller trafikulan samt delen under matjordsskiktet som packas vid varje åtgärd på marken. Trafiksulan uppstår framförallt vid plöjning då det ena däckets går nere i plogfåran och trycker på den övre delen av alven. Den nedre delen av alven är den ostörda delen av markprofilen som inte direkt påverkats av bearbetning. Vad man bör tänka på är att dessa lager uppträder på olika djup i marken beroende på vilket bearbetningssystem man använder sig av (Alakukku et al., 2003).



### Alvens känslighet

Inom lantbruket idag blir kunskapen om alvens känslighet allt viktigare. Med större gårdar, och ökad maskinstorlek ökar risken för alvpackning. Det skulle underlätta om man vid varje körning på fältet kunde bedöma hur förhållandena är i alven. På så sätt kunde hjullasterna anpassas till acceptabla nivåer och man skulle ha en bättre möjlighet att undvika alvpackning (Jones et al., 2003). Alvjorden kan vara olika mottaglig för packning (Sporer et al., 2003). Parametrar som kan påverka den bärande kapaciteten kan exempelvis vara jordart, halten organiskt material, aggregatstruktur och jordens vattenhalt (Dexter, 1988; Alakukku et al., 2003).

### Lasten påverkar

Risken för alvpackning är som störst då marken utsätts för krafter som överskrider markens bärande kapacitet, vilken exempelvis påverkas av jordens vattenhalt (Alakukku et al., 2003). I alven är det kontaktrycket på markytan och hjullasten som har störst betydelse för hur allvarlig packningen blir. Kontaktrycket avgör hur mycket tryck som hamnar på markytan och hjullasten påverkar hur långt ner i marken som trycket når (Chamen et al., 2003). Maskinerna som används bör därför anpassas efter körning och förhållande vid bearbetning och skörd (Alakukku et al., 2003; Arvidsson et al., 2003).

Ju större axellast desto djupare går packningen, därför ger utvecklingen av allt tyngre maskiner inom jordbruket packning allt längre ner i marken (Danfors et al., 1974; Koolen och Kuipers, 1983; Håkansson och Petelkau, 1994). Med lätta maskiner får man sällan alvpackning i någon större grad (Koolen och Kuipers, 1983). Övre delen av alven påverkas både av marktrycket från däck och av axellasten, djupare lager påverkas framförallt av axelbelastningen (Håkansson, 2000).

Enligt försöksresultat från Keller och Arvidsson (2004) beror tryck och packning på det enskilda däckets tryck och inte på axellast eller total fordonslast. Interaktionen mellan däck som sitter i dubbelmontage är relativt liten och trycket blir inte större mellan däck jämfört med direkt under däck. Tryck på marken går mer rakt ner än man tidigare trott. På så sätt kan man betrakta olika däck som separata däck och använda sig av hjullaster istället för axellaster.



**Figur 4.** John Deere traktorer med dubbelmontage vid ett besök på Väderstad 2004

### Rekommendationer för maxlast

På asfalterade vägar finns idag restriktioner på hur tunga fordon som får köra på vägen. Restriktionerna är till för att lager under asfalten inte ska skadas. Detta visar hur viktig axellasten är för att undvika packning av alven. Enligt Håkansson och Petalkau (1994) borde restriktioner för maximala axellaster även införas på jordbruksmark. Vid upprättandet av rekommenderade axellaster för jordbruksmark bör man ta hänsyn till klimat och jordens egenskaper (Håkansson och Petalkau, 1994).

Försök att minska markpackningen har gjorts under en längre tid. Danfors och medarbetare (1974) undersökte hur olika axellaster förändrade bl.a. porvolym och luftgenomsläpplighet på olika djup. De konstaterade att axellaster på 6 ton under ogynnsamma förhållanden gav upphov till förändringar i övre delen av alven. En ytterligare ökning av lasten bidrog till att packningen ökade i övre delen av alven och det gick även att mäta förändringar djupare ner i profilen. Skedde körningen vid mer gynnsamma förhållanden kunde man öka axellasten innan mätbara förändringar kunde uppmätas i alven. En fördel med en maxrekommendation på 6 ton/axel är att den är enkel att eftersträva. Dock tar den inte hänsyn till faktorer som marktrycket i ytan, olika markegenskaper samt körning vid torrare förhållanden (Arvidsson et al., 2003). Rekommendationer för maximala axellaster finns även i andra länder (Håkansson och Petalkau, 1994).

### Förebygga istället för att åtgärda

All skadlig markpackning är mer eller mindre problematisk men packning i alven är särskilt svår då effekterna ofta är långvariga och svåra att åtgärda (Håkansson och Petalkau, 1994; Alakukku et al., 2003; Spoor et al., 2003). De långvariga effekterna kan i längden ge allvarliga konsekvenser för växtproduktionen, och i ett hållbart lantbruk bör sådana skadliga effekter undvikas (Håkansson och Petalkau 1994; Arvidsson et al., 2003). Alvpackningen bör undvikas i förebyggande syfte, istället för att man försöker åtgärda den kompakta strukturen i efterhand. Har problem med packning uppkommit bör detta åtgärdas utan att göra jorden mer mottaglig för återpackning (Spoor et al., 2003).

## **ÅTGÄRDER MOT MARKPACKNING**

Det finns många idéer om hur markpackning ska undvikas och åtgärdas. Vissa metoder är teoretiskt enkla, såsom att undvika körning i fält vid hög markfuktighet eller att försöka anpassa ringtryck. För detta krävs inga investeringar, utan det räcker att ta hänsyn till de körförhållanden som råder. En stor del av markpackningen kan undvikas med dessa enkla åtgärder (Håkansson, 2000). Det är emellertid inte alltid lätt att undvika att köra i fält då det är sämre körförhållanden. Detta gäller särskilt vid skörd, då kvaliteten på grödan är en viktig faktor (Keller, 2004). Risken för markpackning kan även minskas om lantbrukaren är uppmärksam vid nyinvesteringar av exempelvis däcksutrustning och maskiner som skonar marken. Hur man bäst undviker och åtgärdar markpackning varierar emellertid mellan olika gårdar (Håkansson, 2000).

## Grödval

Grödvalet kan ha en inverkan på hur allvarlig markpackningen blir. Grödor som har stort rotdjup och täcker marken en stor del av året torkar upp markprofilen bra och gör därför jorden mindre känslig för packning. Upptorkningsprocessen i sig är även positiv ur struktur-synpunkt på strukturbildande jordar. Vall har ofta nämnts som en bra gröda som täcker marken och har strukturfrämjande effekter. Ett problem är dock att vallskördemaskinerna är stora och tunga, samt att kvaliteten hos vallen är en så viktig faktor för att få ett bra foder att man blir tvungen att skörda vallen trots att markfuktigheten är hög.



**Figur 5.** Vallens betydelse som ett positivt inslag för markstrukturen minskar med tunga vallmaskiner. Här vallskörd på Västraby augusti 2004.

Hos ettåriga grödor spelar ofta bearbetningstidpunkten roll. Höstsådda grödor håller marken bevuxen under en större del av året än vårsådda och är därför att föredra ur denna synpunkt. Upptorkningen av marken sker på ett större djup på ett bevuxet fält med hjälp av växternas rötter, än vad som sker på barmark. Det brukar vara mindre fuktigt i marken vid sådd av höstgrödor än vårgrödor vilket kan innebära att körförhållandena är bättre på hösten. Packningen beror även på när och hur ofta man kör i fält. Rotfrukter och potatis har exempelvis hög körintensitet och skörden sker ofta med tunga maskiner då markfuktigheten är hög (Danfors, et al., 1974; Håkansson, 2000).

## On-land plöjning och bandtraktorer

Konventionell plöjning är ett moment som är mycket skadligt för markstrukturen och som ofta ger upphov till alvpackning. Hjulen som går i fåran kör direkt på övre delen av alven och ältar ofta jorden, samt lägger tyngden direkt på alven (Keller, 2004). Konventionell plöjning har fram till nu betraktas som den åtgärd som är allvarligast när det gäller alvpackning (Alakukku et al., 2003). För att försöka minska packning vid konventionell plöjning kan man använda sig av on-land plöjning. Då går traktorn uppe på marken istället för i fåran (Keller, 2004). Keller och medarbetare (2002) utförde ett försök där man jämförde konventionell och on-land plöjning och resultaten visade tydligt att on-land plöjningen minskade markpackningen. Samtidigt undersöktes packningsskillnader mellan en bandtraktor och en vanlig

traktor. Fördelen med en bandtraktor uppnås framförallt då bandtraktorn är välbalanserad, vilket sällan var fallet (Keller et al., 2002).

### **Däcksutrustning**

För att fördela marktrycket på en större yta används ofta bredare däck eller dubbelmontage. Detta minskar packningsgraden men bidrar till att en större yta blir packad. Detta kan dock vara en fördel om ytan blir jämnt packad istället för att bara spåren efter standarddäck blir ordentligt packat. För att utnyttja den bredare anläggningsytan bör man även sänka ringtrycket i däcken för att få full effekt (Håkansson, 2000). Inom däckindustrin har det skett en utveckling för att försöka minska markpackningen. Minskat ringtryck minskar trycket framförallt i markytan, vilket medfört att däcktillverkarna har satsat på däck som kan köras med lägre ringtryck. Även utformningen av däcken har förändrats för att minska packning (Soane och van Ouwerkerk, 1994). För att kunna nyttja möjligheten att ändra ringtrycket, bör system som snabbt och enkelt kan ändra trycket i däck bli vanligare och billigare. Detta skulle vara särskilt praktiskt då man växlar mellan fält- och vägtrafik. För att frångå detta kan man ha olika fordon för fält- och vägtransport, då man kan anpassa ringtrycket och andra egenskaper efter förhållandena för de olika fordonen (Håkansson, 2000, van den Akker et al., 2003).

### **Alvluckring**

Försök att luckra alven med så kallad alvluckrare har gjorts men med varierande resultat. Generellt bör det dock undvikas då effekten är relativt kortvarig. Det finns även försök som visar att marken blivit mer packningsbenägen efter luckringen. Åtgärden är dessutom dyr då den kräver mycket bränsle. Det är alltså bättre att försöka undvika alvpackning än att försöka bli av med den i efterhand (Taylor, 1994; Brady och Weil, 1999; Håkansson, 2000; Isahq et al., 2002; Arvidsson et al., 2003).

## **VATTENHALT OCH JORDART - INVERKAN PÅ MARKPACKNING**

### **Vattenhaltens inverkan på markpackning**

Vattenhalten i marken är en viktig faktor då man vill avgöra en jords motståndskraft mot packning. Man bör därför ta hänsyn till vattenhalten vid rekommendationer för att undvika markpackning (Arvidsson et al., 2003; Jones et al., 2003; Défossez et al., 2003). Logaritmen av markens bärande kapacitet minskar generellt linjärt med minskande vattenhalt i marken (Dexter, 1988; Yavuzcan et al., 2005). Enligt försök blir packningsskadorna allvarligare och djupare vid hög vattenhalt i jorden än vid låg (Danfors et al., 1974; Brady och Weil, 1999).

Enligt Håkansson och Reeder (1994) packas en våt jord mer än en torr jord då de utsätts för samma tryck. Det är emellertid inte bara packningskänsligheten som är större i en våt jord utan även tryckets koncentration. Ju våtare en jord är desto mer koncentrerat och rakt ner går trycket i profilen och det kan därför nå djupare ner i marken. I en torr jord däremot, breder trycket ut sig i sidled och avklingar mot djupet (Håkansson, 2000). Därför är den enklaste rekommendationen att undvika körning då marken är våt för att begränsa packningsskadorna (Håkansson och Reeder, 1994). Situationen är emellertid mer komplex än så.

Enligt Trautner och Arvidsson (2003) visar nya forskningsresultat att allvarlig alvpackning hos lerjordar även kan ske när marken är torr. En jord som är mycket torr har en struktur som gör att trycket inte sprider sig likadant som i en homogen jord. Detta tros vara anledningen till att trycket i en torr matjord, där inga spår kunde observeras på markytan, inte spreds i sidled utan blev mer koncentrerat och mer rakt ner i profilen. Trycket minskade inte med djupet, utan förmedlades utan att reduceras till stort djup. Vid torr matjord kan alven fortfarande vara våt och följaktligen bli packad (Håkansson, 2000; Trautner 2003; Keller 2004).

Vid plastisk deformation förstörs först de svaga kontaktpunkterna i marken. I en torr jord kan kontaktpunkterna vara så starka att de inte deformeras utan trycket fortsätter nedåt och koncentrerar belastningen till små områden i alven (Trautner, 2003).

I ett försök på sockerbetsfält som Arvidsson och medarbetare (2003) utförde på två platser i Skåne 1997 kunde man konstatera att risken för markpackning följde vattenhalten i marken över året. Under våren är risken för markpackning stor för att sedan minska under sensommaren och stiga under hösten igen. På våren är risken för packning större ju längre ner i marken man kommer, då vattenupptaget från rötterna är lägre längre ner. Under hösten är risken högre längre upp eftersom det är denna del som först blir våt. Skillnaden skulle ha varit lägre i en stråsådesgröda, särskilt i en höstsådd gröda där rötterna når längre ner (Arvidsson et al., 2003).

#### Luftfyllda porer minskar vid packning

Vid en hög vattenhalt i marken kan jordpartiklarna röra sig mer i förhållande till varandra, än vid lägre vattenhalt. Detta innebär att trycket inte fördelas lika mycket i sidled utan spänningen går mer rakt ner och ger större tryck i alven. Marken skadas mer vid en hög vattenhalt, emellertid bara till en viss gräns (Arvidsson, 2001; Jones et al., 2003). Om packningen får pågå tills luften i porerna nästintill är slut, kommer packningen att upphöra. Det är de luftfyllda porerna som trycks ihop vid markpackning, vilket innebär att en jord som är helt vattenmättad inte kan packas. Vattenutdrivning är nämligen en väldigt långsam process som sällan sker i lantbruket, utan den kräver längre perioder av tryck, såsom under husgrunder. Vid samma tryck packas vanligen en fuktig jord mer än en torr jord. Detta innebär att packningen upphör vid ett lägre tryck för en jord med hög vattenhalt. Emellertid ökar slirning och ältning då vattenhalten är hög, vilket gör att man även bör undvika att köra på jordar med mycket hög vattenhalt (Håkansson, 2000).

#### **Jordartens inverkan på markpackning**

Då en jord utsätts för tryck, flyttar partiklarna i jorden sig, vilket kan leda till att den packas. Detta beror på storleken av trycket som jorden utsätts för, samt vilken möjlighet jorden har att motstå trycket. Motståndskraften består av två olika komponenter; friktionsmotstånd och kohesivt motstånd. Dessa två kan variera mellan olika jordarter, samt mellan olika rådande förhållande (Jones et al., 2003).

#### Friktion och kohesion

Friktionen beror på jordpartiklarnas storlek och typ, och det kohesiva motståndet beror på vattnets bindningstryck vid uttorkning, samt på lerpartiklarnas elektrostatiske laddning. Kohesionen ökar med lerinnehållet och är därför betydligt lägre i sandjordar än i lerjordar. Den ökar även med vattenhalten. Kohesionen är låg för sandjordar vilket gör dess hållfasthet vid skjuvspänning helt beroende på normalspänningen. Denna beror i sin tur på friktionen mellan partiklarna. Sandjordar kallas friktionsjordar och lerjordar kallas kohesionsjordar (Arvidsson, 2001; Jones et al., 2003).

Hur en viss jord påverkas av pålagda krafter är en av de viktigaste punkterna för markpackning inom lantbruket. Motståndskraften hos en jord bestäms av olika faktorer och ändras efterhand av klimat, jordbearbetning och växtodling. En av de faktorer som påverkar är antalet partiklar per volymenhet, vilket i sin tur påverkar hur långt partiklarna kan flytta sig och vilken kraft de utövar mot varandra. Ju fler partiklar desto mindre kraft är det på kontaktytan mellan partiklarna. Porstorleksfördelningen kan påverka hur känslig jorden är på många olika sätt. Exempelvis är en lucker jord med mycket porer mer känslig än en redan packad jord. Fördelningen av porer beror till stor del på vilken kornstorlek som dominerar. Kornstorleksfördelningen inverkar även på den vattenhållande förmågan som också kan påverka motståndskraften (Koolen och Kuipers, 1983).

Laborations- och fältundersökningar har genomförts för att avgöra olika jordarters beteende vid packning. I laboratoriet testades hur lucker jord av olika jordarter reagerade då ett tryck lades på. Trycket låg emellertid på under en längre tid, och inte bara under den korta tid som det tar för däckets att rulla över en yta. I laboratoriet visade det sig att lerjordarnas packningsgrad, d.v.s. jordens skrymdensitet, ökade mer än hos de lättare jordarterna när trycket ökade. I fält har man visat att packningsgraden hos lätta- och styva jordar ökar ungefär lika mycket. Detta kan eventuellt bero på de olika belastningstiderna i försöket. Är tiden kort sker troligen bara den momentana packningen, vilken är ungefär lika stor hos alla jordar (Arvidsson, 1997).

### Strukturbildande processer

Hos lerjordar sker strukturbildande processer som hjälper till att minska packningens effekter. Sådana effekter är tjälning, vattenhaltsförändring och biologisk aktivitet (Håkansson, 2000). Tjälning innebär att aggregaten i jorden sönderdelas genom den tjälning och upptining som sker i marken och därmed kan spricksystem bildas. Upprepade tjälningar under en vinter påskyndar processen för att uppnå en bättre markstruktur. Ändring i markfuktigheten på svällande och krympande jordar kan även det ge spricksystem och skapa en bättre markstruktur (Danfors, et al., 1974). Effekten av de strukturbildande processerna i alven har tidigare överskattats då man jämfört med den förändring som sker i matjorden (Håkansson och Petelkau, 1994). Processerna blir mindre intensiva med djupet (Håkansson, 2000). Vattenhaltsvariation och temperaturförändring är större i matjorden än i alven vilket gör att större strukturförändringar endast sker i övre delen av markprofilen (Danfors et al., 1974).

Håkansson och Petelkau (1994) nämner olika packningsförsök som genomförts på platser där tjälning sker. Det visade sig att alvpackning på lerjordar kunde stanna kvar under decennier. Lättare jordar har inte denna tjälning eller svällande och krympande effekt, vilket gör att de strukturbildande processerna uteblir (Håkansson och Reeder, 1994). Vid packning av lättare jordar ackumuleras packningen under plöjningsdjup och skadorna förblir troligen permanenta (Håkansson och Petelkau, 1994; Håkansson, 2000).

## HUR BERÄKNAS MARKPACKNING OCH ANTALET ÖVERFARTER I INDEXET IDAG?

### Matjordspackning

Trots att inte alla körningar på ett fält antas medföra markpackning läggs det totala antalet körningar in i indexet. På så sätt kan man jämföra fälten från år till år och även jämföra körmängd mellan olika grödor. Vid ett stort antal överfarter varje år ökar risken att köra vid ogynnsamma förhållanden vilket kan ge upphov till packning och ältning av matjorden (Berglund, et al., 2002). Antalet överfarter används idag i indexet för att bedöma risken för matjordspackning.

### Alvpackning

Lars Törner från Odling i Balans i samarbete med Avdelningen för jordbearbetning, Institutionen för markvetenskap och Danisco Sugar ligger bakom den modell som ligger till grund för hur alvpackning beräknas i indexet. Modellen tar hänsyn till axelbelastningen på traktorn. Då huvuddelen av packningen anses ske under bakaxeln är det den som tas med i indexet. Det går att ställa in hur stor del av traktorns vikt som man vill ska hamna på bakaxeln och hur stor del av redskapets vikt som påverkar bakaxeln på traktorn. Ringtrycket i däckerna avgör indirekt om vikten ska anses som skadlig för marken eller ej. Vid lägre ringtryck höjs den kritiska belastningsgränsen. De axelbelastningar som överstiger belastningsgränsen anses medföra packning. I modellen ingår även en belastningsfaktor. Under vissa körningar varierar lasten hos det fordon som körs, som vid t.ex. stallgödselspridning (Berglund et al., 2002). För att detta inte ska innebära att den tyngsta lasten påverkar hela körningen räknas en genomsnittlig belastning ut på den del som överskrider belastningsgränsen. Denna multipliceras därefter med antalet alvpackande tonkm/ha (se nedan; Antalet överfarter) (Gustafson- Bjuréus och Karlsson, 2002).

Då man utför arbeten som kräver stor dragkraft, förskjuts vikten mot traktorns bakaxel. Exempel på detta är plöjning eller djupkultivering. För att vikta detta i indexet lades en faktor in som multipliceras med traktorns bakaxelvikt för att visa på viktökningen. Än så länge finns denna viktning endast för plöjning (faktor 1,5), djupkultivering (1,35) och harvning (1,25) (Gustafson- Bjuréus och Karlsson 2002), men enligt Gustafson- Bjuréus och Karlsson (2002) borde fler tunga moment viktas.

Det kan vara stora skillnader i arrondering på olika fält och detta påverkar hur mycket dubbla överfarter som görs på oregelbundna fält. För att ta hänsyn till detta har en körsträckefaktor införts som varierar enligt tabell 3 nedan. Körsträckefaktorn tog tidigare endast hänsyn till hur fältet var arronderat. Gustafson- Bjuréus och Karlsson (2002) ändrade detta till att även inkludera vilken typ av körning som utfördes.

**Tabell 3.** Schablon för körsträckefaktorns variation med fältets arrondering och typ av åtgärd

Typ av körning	Regelbundet fält	Oregelbundet	Mkt
			Oregelbundet
Fasta körspår	1,2	1,4	1,6
Ej körspår	1,4	1,6	1,8
Risk för tomkörning	2,0	2,5	3,0

### Antalet överfarter

För att uttrycka körmängden på fältet för att sedan räkna ut alvpackningen använder man sig av tonkm/ha (Berglund et al., 2002) vilket innebär ekipagets vikt i ton multiplicerat med 10 dividerat med arbetsbredden i meter (se nedan) (Gustafson- Bjuréus och Karlsson, 2002). Tonkm är en enhet som vanligtvis används i transportsammanhang för att beskriva en transports omfattning. Emellertid kan den även användas för att uttrycka körmängd på ett fält (Danfors et al., 1974). För att få fram hur lång körsträcka är använder man sig av arbetsbredden och ett schablontillägg för extra körning såsom vändning och dubbelkörning (tab. 3).

$$\frac{\text{Ekipagets vikt i ton} * 10}{\text{Antalet tonkm/ha} = \text{Arbetsbredden på redskapet i meter}}$$

Gustafson- Bjuréus och Karlsson (2002) valde att ta hänsyn till att många överfarter består av sprutning och spridning som sällan bidrar till skada. Därför viktades indexet så att alvpackningen har fått större betydelse i uträkningarna än antalet överfarter (matjordspackning). Tillsammans har dock dessa faktorer fortfarande maxvärdet 20. Författarna ansåg att det borde vara möjligt att vikta körningarna ännu mer noggrant, så att körningar som skadar marken mer skulle viktas högre.

### Viktning i indexet för markpackning och matjordspackning (antalet överfarter)

I indexet viktas de olika parametrarna så att tre av dem är positiva och tre negativa. Då alvpackning anses vara mer skadlig markpackning och svårare att åtgärda än matjordspackning har man valt att vikta den högre. De två packningsfaktorerna har tillsammans ett indexvärde på 20. Alvpackningen viktas till 2/3 av detta d.v.s. max 13,3 och antalet överfarter till max 6,7.

I markstrukturindexet är det maximala alvpackningsvärdet 60 tonkm/ha och högsta antalet överfarter 20. De båda parametrarna kan inte anta värdet 0 i uträkningen, och tillsammans har de som sagt det maximala indexvärdet 20 (tab. 1). Detta innebär att antalet tonkm/ha multipliceras med 0,222 vilket är den faktor som maximalt ger indexvärdet 13,3 ( $0,222 * 60 = 13,3$ ). Antalet överfarter multipliceras med 0,335 som vid maximalt antal överfarter ger indexvärdet 6,7 ( $0,335 * 20 = 6,7$ ) (Gustafson- Bjuréus och Karlsson, 2002).

## **BEDÖMNING AV VATTENHALT**

### **Bedömning av vattenhalten i matjorden**

Stenberg och medarbetare (2002) nämner i sin rapport att forskning om att utföra mätningar av vattenhalt direkt i fält är på gång i Sverige. Med hjälp av NIR (Near Infrared Radiation) tekniken vill man utveckla en metodik som går att använda direkt i fält. Denna skulle även mäta penetrationsmotstånd och bestämma jordart. Idag kan man försöka klassa vattenhalt genom en subjektiv bedömning. Håkansson (2000) har gjort en tabell där han genom en



bedömning av de förhållanden som råder, delar upp markfuktigheten i olika klasser. Årsmånsklassning är ett mer generellt sätt att bedöma markfuktigheten, där man klassar om det vid körtilfallet under vår, sommar eller höst var normalt, vått/kallt eller torrt/varmt (Berglund, 2002).

**Tabell 4.** Subjektiv markfuktighetsskala (Håkansson, 2000)

Klass	Beskrivning
1	Marken mycket torr och hård, för hård för plöjning (t.ex. på sommaren efter långvarig torka)
2	Marken ganska torr och hård; i hårdaste laget för plöjning (t.ex. på sommaren efter ett par veckors ordentlig torka)
3	Marken dränerad och därefter ytterligare upptorkad; optimal fuktighet för plöjning (t.ex. vid slutet av en torr vårbruksperiod)
4	Marken ofullständigt dränerad; markanta körspår bildas utom av hjul med mycket låga marktryck; betydande slirning vid plöjning (t.ex. i besvärliga surhålör vid vårbruk)
5	Marken våt, vanligen med en del ytvatten; djupa spår även av fordon med god hjulutrustning; fordon med höga marktryck kör fast; plöjning knappast möjlig

### **Bedömning av vattenhalten i alven**

Vattenhalt i alven är betydligt svårare att mäta eller bedöma, än vattenhalten i matjorden. Detta försvåras ytterligare av att både torra och våta förhållanden kan öka packningen. Det finns olika metoder för att försöka skatta markfuktigheten i alven. Den tidigare nämnda årsmånsklassningen skulle möjligen kunna användas för att göra en bedömning av vilken vattenhalt det är i alven (Berglund, 2002).

## MATERIAL

### Odling i Balans och dess pilotgårdar

Till modellkörningarna har vi använt data från gårdarna i projektet Odling i Balans. Till vår hjälp för insamlandet av data har vi haft projektledare Lars Törner och gårdarnas brukare. Projektet Odling i Balans startade i början av 90-talet och har som målsättning att kombinera ekonomi och ekologi för en uthållig produktion. Det är inom projektet även viktigt att se hela gården som en enhet med alla åtgärder som genomförs. Odling i Balans samarbetar med 17 olika pilotgårdar som ska representera Sveriges produktionsområden. De är utspridda från Trelleborg i söder till Borlänge i norr.

För modellkörningarna användes uppgifter från tre pilotgårdar, Västraby, Broby och Sjästorps. På dessa gårdar har brukarna fått välja ut 2-3 skiften med relativt många tunga körmoment. I ett formulär har brukarna sedan givit uppgifter om gården odlingen, maskinparken och om vilka överfarter som skett på fältet.

#### Västraby

Strax nordost om Helsingborg ligger Västraby gård som drivs av paret Eric och Ulla Wallin, där Eric sköter lantbruket och Ulla bedriver kursverksamhet. På gården kombineras växtodling med mjölkproduktion, och i dagsläget består brukningsenheten av 645 ha åker, en del naturbete och 223 mjölkkor. De viktigaste grödorna på Västraby är höstvetete och sockerbeter som står för de största arealerna. Vallodlingen anses ur växtsynpunkt vara ett positivt inslag för markstrukturen.



**Figur 6.** Vallskörd på Västraby sommaren 2004, med en Taarup ten X- hack och två Metsjö vagnar.

Då Västraby är beläget i ett lerjordområde är de övervägande jordarterna mellanlera till styvlera. Dessa jordar klarar torkan bra men de kan vara besvärliga vid stor nederbörd. Flytgödselkörning, vallskörd och tröskning är exempel på några rejält tunga överfarter på Västraby. Största riskmomentet för skadlig markpackning är dock sockerbetsupptagningen som utförs med en 6-radig självgående betupptagare.

#### Broby

Broby gård är belägen på den bördiga Vadstenaslätten i Östergötland. Här bedriver familjen Malmström en omfattande äggproduktion med 54 000 höns och en spannmålsdominerad växtodling på 240 ha. Äggproduktionen genererar mycket gödsel, vilket man på Broby har valt att lösa genom att köra ut den övervägande delen som flytgödsel med hjälp av en släpslangspredare. Resterande gödsel lufttorkas och körs ut som fastgödsel på de skiften som ligger längre bort från gården eller säljs vidare.

Åkerarealen på Broby är relativt väl samlad kring gården. Därför väljer man att sprida flytgödseln med en släpslangspredare och då helst i växande gröda på våren.



**Figur 7.** Flytgödselspridning med släpslangsspredare på Broby (Foto: [www.odlingibalans.com](http://www.odlingibalans.com) ).

På så sätt undviker man körning med flytgödseltunna, som är ett tungt moment. Broby har i och med denna spridning relativt få tunga moment på sin areal, emellertid kan spridning av fastgödsel och tröskning anses vara riskfyllda moment för markpackning.

### Sjöstorp

Växtodlingsgården Sjöstorps Norregård ligger strax utanför Dalby i närheten av Lund i Skåne. Siv och Göran Ohlsson har ägt gården sedan 1969 och bedriver nu växtodling med inriktning på höstspannmål, höstraps och fröodling, vilka till största del är avsalugrödor.

På Sjöstorp eftersträvar man att försöka undvika skadlig markpackning. Ett led i detta är användandet av en 4- hjulig motorcykel till vissa överfarter. Det utnyttjas bl.a. i närings-tillförseln på våren, då man kvävegödslar med en specialbygd centrifugalspredare som dras av motorcykeln. Man försöker även köra växtnäringen på lämpliga tidpunkter för att undvika markpackning. På Sjöstorp är det framförallt tröskningen som räknas som ett tungt moment.

## **METOD**

### **Markstrukturindexet**

Endast markpackningsdelen i markstrukturindexet används för utvärderingen. Alvpackningen beräknas enligt en modell från Lars Törner i projektet Odling Balans. Modellen har ändrats så att matjordspackningen påverkas av körförhållanden och alvpackningen varierar efter årsmånsklassningen.

## Bedömning av vattenhalt och körförhållanden

### Årsmånsklassning

En klassning av årsmånen görs redan i indexet för att beräkna andra parametrar, t.ex. uppkomst och antal torkdagar. Det är därför en enkel metod att använda även här. Klassningen delar upp odlingssäsongen i tre delar. Våren sträcker sig från mars till maj, sommaren från juni till augusti och hösten från september till november.

### Årsmånsklassningen i indexet

I dagens index är årsmånsklassningen en återkommande faktor. Den används till att beräkna upptorkningen, antalet barmarksdagar samt sådatum om detta inte finns angivet. För upptorkningen kombineras uppgifter om gröda, jordart och rotdjup för att ge ett indexvärde. För antalet barmarksdagar ger årsmånsklassningen uppkomst och skördedatum och snöfria periodens början och slut, som i sin tur ger antalet dagar utan gröda. För att få fram upptorkningen tas t.ex. temperaturen och nederbörden i beaktande beroende på om man angivit årsmånen som kall/våt, normal eller torr/varm (Fagerberg och Nyman, 1991).

Årsmånsklassningen är grundad på klimatfiler från olika meteorologiska stationer från Lund i söder till Luleå i norr. Dessa är belägna i och ska representera Sveriges 8 olika produktionsområden (tab. 5 och fig. 8) (Fagerberg och Nyman, 1991).

**Tabell 5.** Väderdata grundar sig på observationer från SMHI:s väderstationer belägna inom de olika Produktionsområdena (1-8)

Produktionsområden	Väderstation
1 Götalands södra slättbygder	Lund
2 Götalands mellanbygder	Visby
3 Götalands norra slättbygder	Skara
4 Svealands slättbygder	Uppsala
5 Götalands skogsbygder	Växjö
6 Mellersta Sveriges skogsbygder	Karlstad
7 Nedre Norrland	Härnösand
8 Övre Norrland	Luleå



Källa: SCB  
(<http://www.scb.se/sm/jo15sm0001%5Fkartor.asp#BM>)

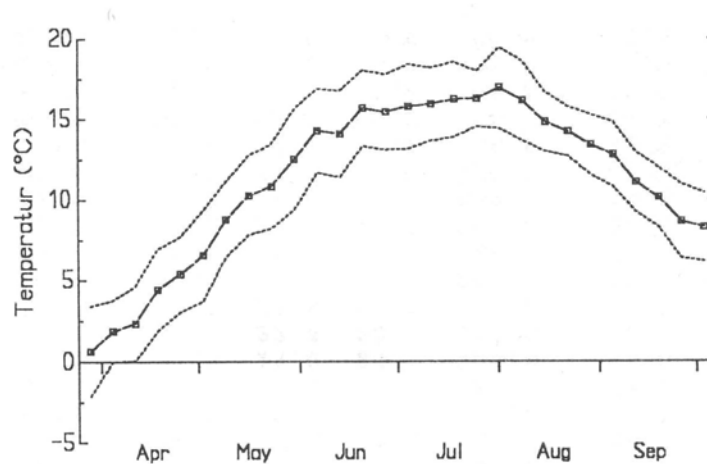
**Figur 8.** Indelning i produktionsområden

Beräkningarna från de olika stationerna är grundad på väderobservationer från 1961-1987. Värdena har bearbetats och ett veckomedeltal har beräknats vilket har gett ett så kallat normalväder. Sedan har standardavvikelsen räknats ut för att få de två vanligaste vädertyperna i Sverige, kallt och vått respektive torrt och varmt. Tillsammans ger uträkningarna 3 olika vädertyper på varje plats (Fagerberg och Nyman, 1991). I tabell 6 värdena för väderstation i Uppsala.

**Tabell 6.** Medelvädret vid klimatstationen i Uppsala (1961-1987) med standardavvikelser som representerar varmt och torrt väder respektive kallt och vått. V= vecka, Datum, Temp= temperatur, NB= nederbörd, Avd= avdunstning, Strål= strålning (Fagerberg och Nyman, 1991)

V	Datum	Varmt torrt				Medel				Kallt vått				
		Temp	NB	Avd	Strål	Temp	NB	Avd	Strål	Temp	NB	Avd	Strål	
13	0325	3,4	2,8	9,2	232,0	0,6	8,0	6,7	188,8	-2,1	4,2	10,6	4,2	145,6
14	0401	3,8	2,8	9,8	251,9	1,9	8,6	7,8	206,7	0,0	5,8	10,6	5,8	161,5
15	0408	4,6	2,8	12,1	280,9	2,3	4,6	10,0	247,1	0,1	7,9	10,6	7,9	213,3
16	0415	6,9	2,8	16,2	319,7	4,4	5,6	13,0	270,6	1,9	9,9	11,0	9,9	221,4
17	0422	7,7	2,8	17,7	338,4	5,4	5,2	14,6	288,8	3,0	11,4	11,4	11,4	239,2
18	0429	9,3	2,8	21,0	399,3	6,5	7,8	17,0	328,7	3,7	13,0	11,8	13,0	258,1
19	0506	11,1	2,7	25,2	448,3	8,8	6,9	20,7	372,8	6,4	16,2	12,1	16,2	297,3
20	0513	12,7	2,9	27,6	459,0	10,3	9,8	22,7	381,2	7,8	17,7	12,1	17,7	303,4
21	0520	13,5	3,1	28,5	488,8	10,8	6,6	24,0	406,0	8,2	19,6	12,1	19,6	323,3
22	0527	15,6	3,2	31,0	495,6	12,5	5,7	24,7	408,0	9,4	18,4	12,1	18,4	320,5
23	0603	16,9	3,4	33,1	541,3	14,3	9,0	28,0	448,2	11,7	22,8	12,3	22,8	355,2
24	0610	16,7	4,1	33,6	536,1	14,1	9,7	27,2	434,2	11,4	20,9	14,7	20,9	332,3
25	0617	18,0	4,8	34,4	561,4	15,7	5,7	29,2	469,7	13,3	24,0	17,1	24,0	377,9
26	0624	17,7	5,5	32,4	472,8	15,4	18,4	26,1	397,7	13,1	19,9	19,5	19,9	322,6
27	0701	18,4	6,1	32,7	498,5	15,8	14,6	25,9	405,2	13,2	19,1	21,8	19,1	311,9
28	0708	18,2	6,5	30,3	472,9	15,9	17,0	24,9	394,8	13,6	19,6	22,4	19,6	316,8
29	0715	18,5	6,8	29,6	470,4	16,2	17,0	23,7	386,1	13,9	17,8	22,9	17,8	301,7
30	0722	18,0	7,2	27,2	412,9	16,2	18,1	22,5	350,9	14,5	17,7	23,5	17,7	288,9
31	0729	19,4	7,5	27,5	457,3	16,9	12,3	22,5	373,4	14,4	17,6	24,0	17,6	289,5
32	0805	18,6	6,9	25,0	403,7	16,1	15,6	20,5	331,2	13,6	16,0	23,8	16,0	258,8
33	0812	16,6	6,3	20,6	363,3	14,8	12,7	17,4	299,4	13,0	14,2	23,5	14,2	235,6
34	0819	15,7	5,7	19,4	338,8	14,2	15,1	15,9	281,4	12,7	12,5	23,3	12,5	224,0
35	0826	15,2	5,1	16,4	272,4	13,4	17,0	13,7	240,4	11,6	10,9	23,1	10,9	208,5
36	0902	14,8	5,1	15,1	254,3	12,8	11,6	12,3	220,5	10,8	9,6	22,4	9,6	186,6
37	0909	12,9	5,1	11,8	219,7	11,1	17,1	10,1	192,8	9,3	8,5	21,7	8,5	165,9
38	0916	12,0	5,1	12,1	207,5	10,2	13,7	9,3	176,6	8,3	6,4	21,0	6,4	145,8
39	0923	11,0	5,1	9,3	169,7	8,7	10,9	6,9	145,2	6,4	4,6	21,0	4,6	120,8
40	0930	10,4	5,1	6,9	152,3	8,3	9,3	5,2	127,6	6,2	3,5	21,0	3,5	102,9

De uträknade värdena presenteras i tabeller (tab. 6) och är plottade i diagram (fig. 9) som anger veckomedelvärdena för vegetationsperioden som en heldragen linje med fyrkanter och standardavvikelsen som streckade linjer (Fagerberg och Nyman, 1991).



**Figur 9.** Veckomedelvärden för lufttemperaturen vid väderstationen i Uppsala (1961-1987). Standardavvikelsen inritad som streckade linjen. Den övre linjen representerar vädertypen, torr/varm, heldragen linje normal och den nedre linjen kall/våt (Fagerberg och Nyberg, 1991).

I Fagerberg och Nymans ursprungliga sammanställning är data sammanställda veckovis men i markstrukturindexet är väderdata uppdelat på dagar istället för veckor för att kunna användas i modellkörningar med dag som tidssteg. Temperaturen är i indexet densamma under hela veckan, nederbörden anses falla på en dag. Klassningen är uppdelad på vår (v. 13-22), sommar (v. 23-35) samt höst (v. 36-40) och kan klassas som torr/varm, normal och kall/våt (Fagerberg och Nyman, 1991).

### Fuktighetsklasser

För att skatta markfuktigheten används en subjektiv skala skapad av Håkansson (2000) som är uppdelad i 5 olika steg (tab. 3)

I markpackningsmodellen komprimeras skalan till tre steg för att stämma överens med ärmånsklassningen. Då slås steg ett och två samt steg fyra och fem ihop.

**Tabell 7.** Fuktighetsklasser som används i utvärderingen

Benämning	Fuktighetsklasserna beskrivning	Faktor
Torr hård	Marken torr och hård: I hårdaste laget för plöjning (ex. på sommaren efter långvarig torka)	0,6
Dränerad	Marken dränerad: Dränerad och ytterligare upptorkad; optimal fuktighet för plöjning (ex. vid slutet av en torr vårbruksperiod)	1,0
Våt	Marken våt: Ofullständigt dränerad, kan förekomma ytvatten. Markanta till djupa spår bildas. Slirning och fastkörning.	1,4

### Spårbestämning

Spårbestämningen är ursprungligen från Lars Törners arbete med pilotgårdarna. Här får brukaren avgöra spårens karaktär efter överfart och klassar dessa i inga spår, lite spår eller svåra spår.

## **Modellkörning**

Markpackningen är en separat del i indexprogrammet. Den är relativt enkel att fylla i då den är kopplad till indatasidan och inmatningen kan till stor del skötas med rullister. Modellen är uppbyggd på olika makron som till slut räknar ut antalet tonkm/ha för traktorn och redskapet och sedan lägger ihop dessa. Antalet tonkm/ha och antalet överfarer flyttas sedan vidare till resultatet och multipliceras med faktorer som slutligen ger ett indexvärde.

## **Matjordspackning**

Vattenhalten i matjorden anses vara direkt kopplad till matjordspackningen. Ju högre vattenhalt det är i marken desto mer matjordspackning. Hittills har vattenhalten inte påverkat resultatet i markpackningsdelen i markstrukturindexet. I projektet testades tre olika system att uppskatta vattenhaltens inverkan: årsmånsklassning, fuktighetsklasser och spårbestämning.

Årsmånsklassningen utgår från de redan angivna skattningarna av årsmånen som gjorts i indexet. Alla överfarer som sker under en och samma årstid får samma klassning i indexet och multipliceras därmed med samma faktor (tab. 10).

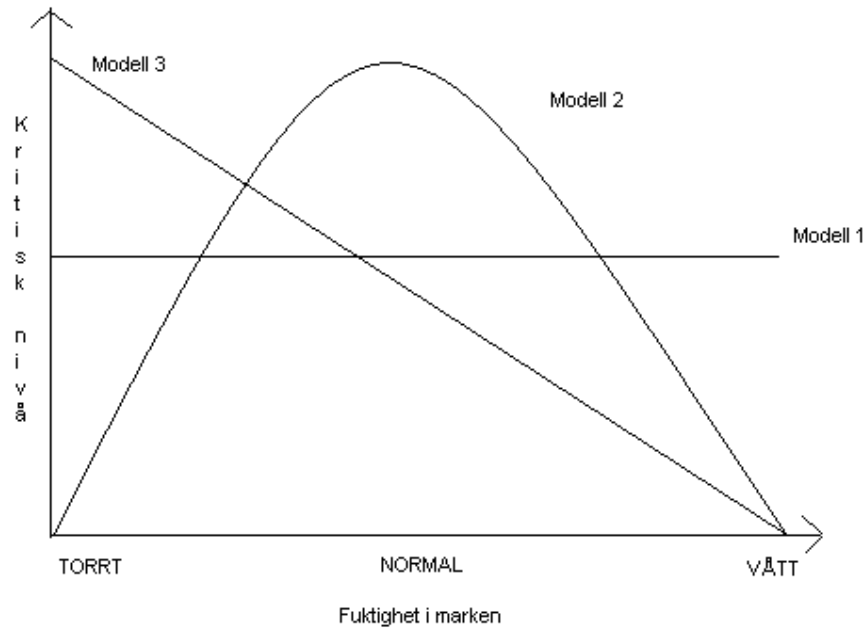
Fuktighetsklassning utgår från en modifierad version av Håkansson's (2000) tabell (tab. 4) över olika fuktighetssteg. Brukaren avgör i vilket av de tre steg som matjordsfuktigheten passar bäst in.

Från Odling i Balans gårdarna har angivelser om spårkaraktären erhållits. De tre olika klasserna har fått en faktor, som multiplicerats med antalet överfarer, och denna har använts som det nya värdet för överfarer i indexet (tab. 11). På så sätt får de olika körningarna olika stor betydelse för indexvärdet.

## **Markpackning i alven**

### Kritisk belastningsgräns

I modellen utgår man ifrån att en last över en viss gräns orsakar alvpackning. Denna kritiska belastningsgräns har under arbetets gång ändrats från att ursprungligen endast berott på ringtrycket till att den har varierat med årsmånsklassningen som har fått representera fuktigheten i alven. De kritiska belastningsgränserna är även beroende på ringtrycket vilket gör att gränsen ändras beroende på vilket ringtryck som angetts för fordonet. Tre olika scenarier har testats (fig. 10).



**Figur 10.** De kritiska belastningsgränserna som har använts i modellen

- **Modellkörning 1** (se bilaga X): Den kritiska belastningsgränsen är oberoende av vattenhalten, som i tidigare modell, och påverkas endast av ringtrycket. Den maximala kritiska nivån 6 ton för en axel, grundar sig på forskningsresultat från Danfors m.fl. (1974).
- **Modellkörning 2** (se bilaga X): Den kritiska belastningsgränsen grundar sig på Trautners (2003) forskning där alvpackning sker även vid låg vattenhalt i marken. I denna modell beror packningen på årsmåsklassningen. Klassningen torr/varm ger samma kritiska belastningsgräns som kall/våt.

**Tabell 8.** Kritiska belastningsgränser för modellkörning 2. Kritisk belastningsgräns beror på ringtryck och årsmåsklassning.

Ringtryck	Varm/Torr	Normal	Kall/Våt
1,5	6000	7500	6000
1,0	7000	9000	7000
0,8	8000	10500	8000

- **Modellkörning 3** (se bilaga X): Den kritiska belastningsgränsen minskar med ökande vattenhalt i marken. Detta innebär lägst kritisk nivå vid kall/våt och högst vid torr/varm. Nivåerna är satta av Håkansson (pers. medd., 2005). Många forskare och lantbrukare anser att denna situation stämmer bäst överens med verkligheten.

**Tabell 9.** Kritiska belastningsgränser för modellkörning 3. Kritisk belastningsgräns beror på ringtryck och årsmåsklassning.

Ringtryck	Varm/Torr	Normal	Kall/Våt
1,5	8000	7000	6000
1,0	9000	8000	7000
0,8	10000	9000	8000



## RESULTAT OCH DISKUSSION

Vid ett möte med professor emeritus Inge Håkansson, Avd. f. jordbearbetning, SLU, projektledare Agr Lars Törner, Odling i Balans, Statsagronom Agr Dr Tomas Rydberg Avd. f. jordbearbetnings SLU, projektledare Agr Dr Kerstin Berglund och undertecknad Elise Nilsson diskuterades markpackningsdelen i indexet. Många värdefulla kommentarer och synpunkter kom fram och vi har utifrån denna diskussion valt att forma indexet enligt nedan. Diskussionen berörde de olika vattenhaltsbedömningarna i matjorden och hur stor påverkan de ska ha i indexet och om och hur den kritiska nivån skulle variera med årsmånklassningen.

### Matjordspackning i den nya modellen

#### Årsmånklassning

Genom att använda årsmånklassningen får man en grov uppskattning av vattenhalten i matjorden. Vattenhalten i matjorden kan variera mycket under en vår från mars till maj och under sommaren beror vattenhalten mycket på vilken gröda som odlas på fältet. En vall har t.ex. en annan upptorkning än en radsådd gröda. Det är däremot ett enkelt sätt att ge en bild av vilka förhållanden som råder och klassningen finns redan angiven i indexet vilket innebär att man inte behöver några nya indata. I tabell 10 anges hur de olika årsmånklassningarna påverkar matjordspackningsfaktorn.

**Tabell 10.** De tre faktorer som används i indexet vid klassning av årsmån.

Årsmånklassning	Faktor
Torr/varm	0,6
Normal	1,0
Kall/våt	1,4

#### Fuktighetsklassning

Fuktighetsklassningen (tab. 4) kan innebära fler möjligheter till att variera förhållandena under årstiden. Men även denna klassning har brister, då man ofta skattar enligt tidigare förhållande. Matjorden är kanske våtare än tidigare men bör fortfarande inte klassas som odränerad. Men skattning enligt fuktighetsklasserna kan ge en relativt bra uppskattning om vilka förhållande som rådde vid överfarten. Är det brukaren som gör uppskattningen, då vet han hur förhållandena har varit under en längre period och kan därmed ge en relativt bra skattning.

#### Spårangivelse

Spårangivelser är mycket beroende på vem som anger dem och behöver inte innebära ett mått på vattenhalten i matjorden. Olika typer av spår kan bero på jordens packningsgrad och hur tunga maskiner som används. En nyplöjd åker ger mer spår än en återpackad jord. Även väderleken spelar en viktig roll. En kortare regnperiod på en torr åker innebär att vattnet finns på ytan av aggregaten men inte hinner tränga in, vilket gör att det kan bildas spår utan att marken kan betraktas som våt.

**Tabell 11.** De tre faktorer som används i indexet vid klassning av spår.

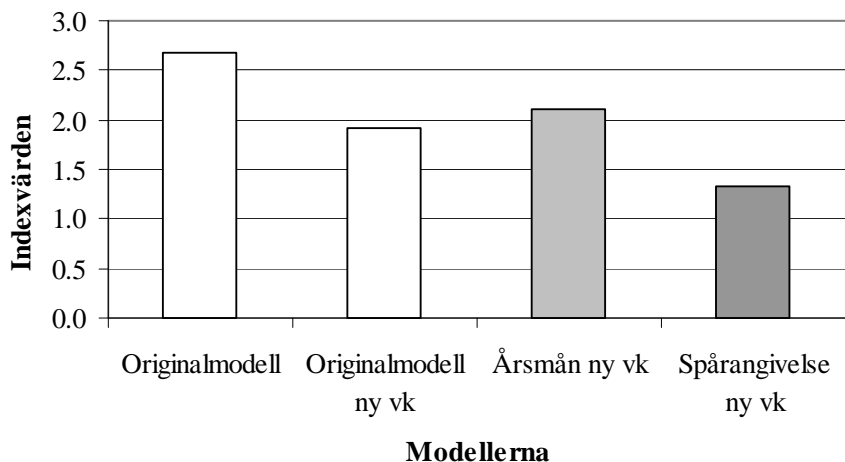
Spårangivelse	Faktor
Inga spår	0,6
Lite spår	1,0
Svåra spår	1,4

### Ny viktningskoefficient

I det nya indexet med årsmånsklassning eller fuktighetsangivelse för överfarterna, stämmer ej den gamla viktningskoefficienten för det maximala indexvärdet. Den tidigare gränsen med totalt 20 överfarter bör därför ändras så att det maximala indexvärdet är lika med att alla överfarter sker under våta förhållanden. Därmed är det maximala värdet  $20 \cdot 1,4 = 28$  vilket innebär att den nya faktorn är 0,239 ( $0,239 \cdot 28 = 6,7$ ). Denna används för att ge det slutliga indexvärdet.

### Matjordspackning

Vid modellkörningarna har det uppkommit vissa skillnader i slutligt indexvärde beroende på vilken skattning av körförhållandena man använde. Tendensen är densamma för alla tre gårdarna (se bilaga x). Om modellkörningen gjordes efter årsmånsklassningen d.v.s. enligt brukarens klassning av väderförhållandena vår, sommar och höst ökade indexvärdet lite jämfört med den tidigare körningen utan klassning (se resultat från Sjöstorp i figur 12). Ökningen berodde i fallet Sjöstorp på att våren klassades som normal och sommaren som våt och kall. Med spårangivelser från brukaren självs minskade däremot värdet jämfört med ursprungsmodellkörningen då många av överfarterna var klassade "inga spår" (tab. 11). Som tidigare nämnts är årsmånsklassningen en relativt grov uppskattning då matjordsfuktigheten kan variera under en årstid. Spårangivelser i sin tur kan påverkas av olika yttre faktorer. Det som är viktigt är dock att visa på skillnader och att det kan vara bra att tänka på hur körförhållandena var vid överfarten. Markstrukturindexet är tänkt som ett pedagogiskt verktyg som visar att det är bättre att köra när det är torrt för att undvika matjordspackning och ska gynna dem som undviker körning vid våta förhållanden.



**Figur 11.** De olika modellkörningarna på Sjöstorp. Originalmodell även med tidigare viktningskoefficient (vk).

Jämfört med original modellen har alla de nya variationerna givit ett lägre indexvärde. Då spårangivelser är en relativt osäker källa som kan påverkas av subjektiva bedömningar och är information som inte alltid kan fås av brukarna bestämde vi oss efter diskussionen att välja bort detta alternativ. För övrigt bör klassningen i fuktighetsklasser användas i första hand och om denna information inte finns kan årsmånsklassningen användas.

### Alvpackning i nya modellen

Den största frågan under diskussionen var om och hur den kritiska belastningsgränsen skulle variera med årsmånsklassningen. Som underlag hade vi de modellkörningar som gjorts. Den första körningen gjordes med ursprungsmodellen som innebär samma nivå oberoende av förhållanden. I den andra körningen varierade nivån enligt Trautners forskning, lägst nivå vid både varm/torr och kall/våt. I den tredje körningen ökade den kritiska belastningsgränsen med minskad vattenhalt i marken.

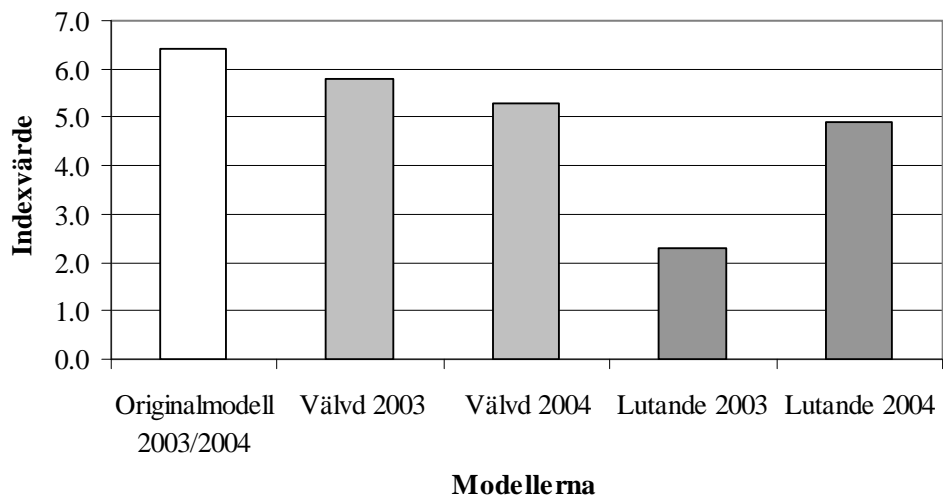
För att jämföra de olika modellerna ses nedan resultatet från körningar med data från ett utvalt skifte från Västraby. År 2003 och 2004 var det vall på skifte 2 och därmed samma arbetsmoment på skiftet båda åren. Detta gör att man kan jämföra de två olika åren beroende på årsmån. Brukaren Erik Wallin klassade årsmånerna för de båda åren vilket gav att hela år 2003 klassades som varmt och torrt och under år 2004 klassades våren normal medan sommar och höst klassades som kall och våt. Växtodlingsåret börjar med en flytgödselkörning på hösten innan själva skördeåret och avslutas med det sista skördetillfället på året. Då ingen klassning finns för hösten 2002 antas den vara normal.

**Tabell 12.** De arbetsmoment som ger utslag på indexvärdet mellan de olika modellerna beroende på vilken årsmån som brukaren skattat för de olika årstiderna.

Fordon	Arbetsmoment	Original	Välvd	Lutande	Tidpunkt	Årsmånsklass
JD 6920 S	Flytgödseltunna	7,2	1,8	4,8	okt	Normal
JD 6920 S	Flytgödseltunna	7,2	6,9	2,2	mars	Torr/varm
JD 6920 S	Hackvagn inkl. transp.	2,5	2,3	0,3	maj	Torr/varm
JD 6920 S	Hackvagn inkl. transp.	2,5	2,3	0,3	juli	Torr/varm
JD 6920 S	Flytgödseltunna	7,2	6,9	2,2	aug	Torr/varm
JD 6920 S	Hackvagn inkl. transp.	2,5	2,3	0,7	sept	Torr/varm
	Summa:	28,9	26,1	10,3		
	Indexvärde:	6,4	5,8	2,3		

Fordon	Arbetsmoment	Original	Välvd	Lutande	Tidpunkt	Årsmånsklass
JD 6920 S	Flytgödseltunna	7,2	6,9	2,2	okt	Torr/varm
JD 6920 S	Flytgödseltunna	2,5	1,8	4,8	mars	Normal
JD 6920 S	Hackvagn inkl. transp.	2,5	0,5	1,4	maj	Normal
JD 6920 S	Hackvagn inkl. transp.	2,5	2,3	2,9	juli	Kall/våt
JD 6920 S	Flytgödseltunna	7,2	6,9	7,8	aug	Kall/våt
JD 6920 S	Hackvagn inkl. transp.	2,5	2,3	2,9	sept	Kall/våt
	Summa:	28,9	23,7	21,9		
	Indexvärde:	6,4	5,3	4,9		



**Figur 12.** Indexvärdetsvariation 2003/2004 år med de tre modellkörningarna. Originalmodellen: ändras ej, lutande: störst packning vid våta förhållande och vältvd: packning lika stor vid torra som vid våta förhållanden.

Originalmodellen ändras inte efter årsmånen och är därmed oförändrad mellan åren som innehåller samma körningar. Körningen med den vältvda kritiska nivån kurvan blir lite lägre år 2004 då en körning mer sker vid årsmånsklassning normal jämfört med året innan. Den kritiska nivån som är högst vid torra förhållande och lägst vid våta förhållande skiljer sig mellan åren då 2003 var varm och torr vilket ger ett lågt indexvärde och 2004 var kall och våt under sommar och höst vilket ger ett högt indexvärde. Då året 2003 var klassat som torrt och varmt har det blivit en mycket stor skillnad mellan modellkörningen med den vältvda kritiskabelastningsgränsen jämfört med den lutande.

Under diskussionen konstaterades att man med dagens forskning inte entydigt kan avgöra hur den kritiska nivån ska variera med vattenhalten. Mer forskning på marktryck vid torra förhållanden måste genomföras. Hur påverkar den marken och hur allvarlig är den i rotzonen? Det är även mycket osäkert att utan mätning fastställa alvens vattenhalt. Utan billig och snabb testutrustning krävs mycket arbete med att avgöra detta. Vattenhalten i alven beror på många olika faktorer som jordart och gröda och att klassa vattenhalten med hjälp av årsmånsklassning är en mycket grov uppskattning. För att få en så trovärdig modell som möjligt, så bör man i indexet inte gå in på allt för många osäkra detaljer. Därför kommer inte den kritiska nivån i markpackningsmodellen att ändras från ursprungsmodellen, den påverkas fortfarande endast av däckens ringtryck.

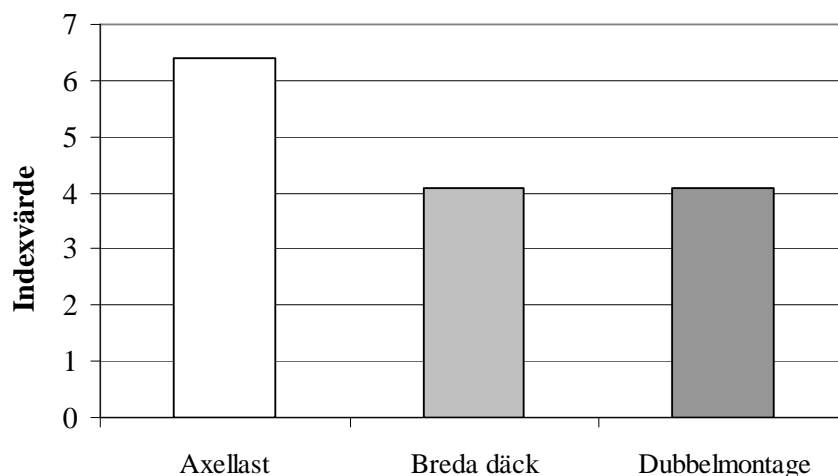
### Hjullaster istället för axellaster

Försök som utförts av Keller och medarbetare (2004) visar att tryck i marken är en funktion av trycket på markytan och kontaktytan. Dessa är i sin tur en funktion av hjullast, hjularrangemang, ringtryck, fördelningen av trycket och markens egenskaper. De konstaterade att trycket i marken inte beror på axellast eller den totala vikten utan att trycket på varje hjul är mer fristående. Med detta som grund har modellen ändrats från att traktorn är beroende av axellasten till att ta hänsyn till om man kör med bättre däckutrustning. Detta är ett steg i rätt riktning då det gynnar de som utnyttjar däckutrustningens möjligheter i form av dubbel-

montage eller extra breda däck. Ännu en fördel med dubbelmontage är att det ofta går att sänka däckens ringtryck och på så sätt minska packningen ytterligare. Det bör dock nämnas att ytan som packas blir större vid dubbelmontage än vid enkla hjul. Hjullastmodelldelen har

Lars Törner, Odling i Balans bidragit med, och denna har satts in i markstrukturindexets alvpackningsdel. För att gynna även de som valt att köra med extra breda däck istället för standard däck eller dubbelmontage kan man skriva in tre däck per axel. I dag anser vi inte att det krävs en liknande omvandling på redskapen då det än så länge är relativt ovanligt med dubbelmontage på redskapen. Det finns emellertid idag dubbelmontage på ena sidan på vissa sockerbetsupptagare.

Ett års flytgödselkörning på skifte två på Västraby jämfördes (fig. 13) för att se hur möjligheten att välja däck påverkar indexvärdet. Första modellkörningen gjordes med 3 däck per axel för att simulera att traktorn kör med extra breda däck. Detta sänkte indexvärdet. I andra körningen simulerades dubbelmontage med 4 däck per axel. Detta gav ingen skillnad från extra breda däck eftersom traktorn inte påverkade indexvärdet, utan det var enligt modellen endast flytgödseltunnan som var över den kritiska belastningsgränsen.



**Figur 13.** Västraby skifte 2. Modellkörning på vallen med tre flytgödselkörningar. Skillnad i indexvärde med och utan möjlighet att välja antal hjul.

## FÖRSLAG PÅ FÖRÄNDRINGAR I MARKPACKNINGSELEN

Markstrukturindexet är fortfarande under uppbyggnad och strävan är att få det så användarvänligt som möjligt. Under arbetet med indexet har det uppkommit idéer om hur utformningen borde läggas upp. Insamlandet av uppgifter bör kunna ske snabbt och enkelt för att underlätta för både brukare och den som sedan ska utföra indexkörningen. Även layouten bör utformas så att man snabbt kan sätta sig in i vad indexet innebär och hur det ska användas.

### Ifyllningsformulär

Insamling av data från gårdarna har hittills skett genom ifyllnad av ett formulär för hand. Utvecklingen av ett formulär som kan skickas per mejl underlättar arbetet och göra det enklare för både brukaren och den som ska fylla i indexet, framförallt nu under teststadiet. Därför har ett formulär utformats med värdefulla synpunkter från pilotgårdarna och Lars Törner. I formuläret kan man på ett enkelt sätt fylla i sina uppgifter om gården, till stor del med förberedda rullister (se bilaga X).

Formuläret grundas på markstrukturindexets utseende och följer mer eller mindre det formulär som Anna Gustafson- Bjuréus utformade 2002. Uppgifterna kan sedan på ett enkelt sätt klistras in från formuläret direkt i indexet och sparar mycket arbete.

Uppbyggnaden är gjord enligt nedan:

- För att få en överblick över vad markstrukturindexet är för något, finns det först en kortfattad översikt.
- För att ifyllningen av formuläret ska gå så lätt som möjligt finns det instruktioner till brukaren.
- I arket "Indata för gården" startar man med att fylla i uppgifter om gården. Traktorer och åtgärder och detaljer som ringtryck och lastvikter fylls i under avsedda rubriker. Åtgärderna är sedan kopplade till de olika skiftena så att det sedan är enkelt att fylla i åtgärderna i respektive Excel-ark. Här finns även förklaring på vad de olika färgerna i cellerna i formuläret innebär. Man behöver endast fylla i de moment och traktorer som används på de skiften som man vill ange överfarter på.
- Det första året man fyller i är det senaste växtodlingsåret. I detta ark fyller man i de uppgifter som efterfrågas framförallt med hjälp av rullister. Finns det sedan uppgifter om tidigare år fyller man även i dessa år.
- Slutligen fylls Excel-arken som behandlar växtodling och grundförutsättningar i.
- Filen kan sedan sparas och skickas tillbaka med e-post till den som ska fylla i markstrukturindexet.

I framtiden skulle formuläret kunna användas för att underlätta rådgivningen och spara tid. Om brukaren får möjligheten att fylla i formuläret tidigare har han eller hon redan funderat och bearbetat frågeställningen när han eller hon träffar rådgivaren för att gå igenom markstrukturindexet. Rådgivaren har haft tid på sig att köra modellen och kanske även funderat ut möjliga förändringar. Då indexet möjligen kommer att ha en annan utformning måste troligen även formuläret ändras men det nuvarande kan ge tips och idéer.

## Indexprogrammets framtida utformning

Markstrukturindexet är tänkt att vara ett pedagogiskt verktyg där rådgivaren och brukaren ska kunna diskutera hur det ser ut idag och vilka förändringar som skulle kunna göras. Då den slutliga versionen av indexet byggs upp kan det vara bra att ha några pedagogiska tips till hjälp. Enligt Mellander (1991) består inlärningsprocessen i stora drag av fem olika steg och med hjälp av dessa steg tänkte jag ge förslag till modellens framtida utformning.

De fem stegen är uppmärksamhet, information, bearbetning, slutledning och tillämpning.

I indexmodellen skulle de detta kunna användas enligt följande:

**Uppmärksamhet:** Den första sidan ska vara överskådlig med en snygg layout som fångar ögat. Dagens huvudsida är bra men för att göra den ännu tydligare och pedagogisk skulle man kunna byta ut de små informationsrutor som dyker upp när man klickar på ikonerna. I den nya rutan för t.ex. odlingsssystemindex finns en överskrift och de sex olika parametrarna som man kan räkna ut, gärna med en kort förklaring vad de beror på (finns av platskäl inte med i förslaget nedan). Det är viktigt att tidigt få svar på frågan; Vad går indexet ut på och varför ska man fylla i det?. På detta sätt fångas intresset hos dem som ska använda indexet.



Figur 14. Dagens Huvudsida



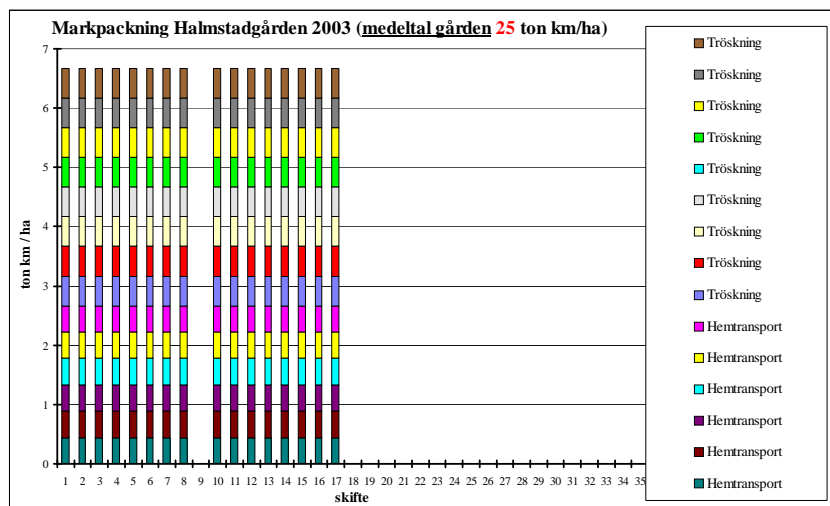
Figur 15. Möjlig länk till odlingsssystem-indexets ikon. Bör få snyggare layout

**Information:** En utförligare informationssida likt den som finns med i formuläret skulle även kunna finnas i själva indexet. Här kommer informationen om indexet och dess tre olika delar. På denna sida skulle man kunna använda texten som idag finns länkade som förklaringsrutor på första sidan eller texten från "Vad är markstrukturindexet" från formuläret.

**Bearbetning:** All ifyllning och uträkning kan betraktas som bearbetning av fakta. Dagens sidor är lättarbetade och tydliga.

**Slutledning:** I slutledningen kommer alla resultat gärna på välplanerade utskriftsvänliga sidor. Här bör man enkelt få möjlighet att visa resultat och skriva ut flera olika typer av sidor. Exempel på sidor som skulle kunna vara intressanta.

- **För grundförbättring och markstrukturtestet:** En sida som enkelt och strukturerat tar upp varje skifte och dess förutsättningar d.v.s. den information som finns i excelarket ”Grundförbättringsindex” i dagens index.
- **För odlingsystemindexet:**
  - En sida som ger indexvärdena från alla skiften under fler år som i dagens ”Res OIS”.
  - En sida som visar ett skifte under flera år mer ingående. Visar på möjliga anledningar till höga indexvärden. Här skulle man kunna använda Lars Törners diagram som visar hur de olika momenten bidrar med alvpackning. På denna sida finns även lite information om förutsättningar t.ex. hur jordarten kan påverka markpackningen.



**Figur 16.** Exempel diagram.

OBS: alla är skiften satta till samma värden. Diagrammet är endast till för att visa själva principen.

**Tillämpning:** En sida där möjliga åtgärder för att förbättra de olika parametrarna tas upp. Kan vara en hjälp för att få igång en diskussion mellan rådgivare och brukare.



## REFERENSER

### Litteratur

- Alakukku, L., Weisskopf, P., Chamen, W.C.T., Tijink, F.G.J., van der Linden, J.P., Pires, S., Sommer, C. & Spoor, G. 2003. Prevention strategies for field traffic- induced subsoil compaction: a review. Part 1. Machine/soil interactions. *Soil Till. Res.* 73, 145-160.
- Arvidsson, J. 1997. Soil Compaction in Agriculture- from Soil Stress to Plant Stress. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Agraria 41.
- Arvidsson, J. 2001. Markmekanik i jordbruket- en introduktion. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst f markvetenskap, Avd f jordbearbetning. Stencil.12 s.
- Arvidsson, J., Sjöberg, E. & van den Akker, J.H. 2003. Subsoil compaction by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden. *Soil Till. Res.* 73, 78-87.
- Arvidsson, J. & Keller, T. 2004. Soil precompression stress I. A survey of Swedish arable soils. *Soil Till. Res.* 77, 85-95.
- Berglund, K. 2002. Kompletterande lägesrapport: Markstrukturindex- ett sätt att bedöma struturtillståndet i din jord. SLF Dnr313/02, Projektnr 0233068. Stencil x s..
- Berglund, K., Berglund, Ö. & Gustafson- Bjuréus, A. 2002. Markstrukturindex- ett sätt att bedöma jordarnas fysikaliska status och odlingssystemets inverkan på markstrukturen. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst f markvetenskap, Avd f lantbrukets hydroteknik. Avdelningsmeddelande 02:4, 132 s.
- Brady, N. & Weil, R. 1999. The Nature and Properties of Soils, 12:th ed. Upper Sadlle River, New Jersey: The Prentice- hall Inc. 144-175.
- Brussaard, L. & van Faassen, H.G. 1994. Effects of Compaction on Soil Biota and Soil Biological Processes. In: B.D. Soane och C. van Ouwerkerk (eds). *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier Science. Chapter 10, 215-236.
- Chamen, T., Alakukku, L., Pires, S., Sommer, C., Spoor, G., Tijink, F. & Weisskopf, P. 2003. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part 2. Equipment and field practices. *Soil Till. Res.* 73, 161-174.
- Defossez, P., Richard, G., Boizard, H. & O'Sullivan, MF. 2003. Modeling change in soil compaction due to agricultural traffic as function of soil water content. *Geoderma* 116, 89-105.
- Danfors, B., Eriksson, J. & Håkansson, I. 1974. Jordpackning- markstruktur- gröda. Inverkan av maskiner och fordon. Jordbrukstekniska Institutet, Uppsala, Meddelande 354. 58 s.
- Dexter, A. R. 1988. Advances in Characterization of Soil Structure. *Soil. Till. Res.* 11, 199-238.
- Fagerberg, B. & Nyman, P. 1991. Handledning för dataprogrammet PCVALL. Del IV Väderdata för vegetationsperioden på 39 orter i Sverige. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst f växtodlingslära. Växtodling 26. 96 s.
- Gustafson- Bjuréus, A. & Karlsson, J. 2002. Markstrukturindex- utvärdering av en metod att bedöma odlingssystemets uthållighet och jordarnas fysikaliska status. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Institutionen f markvetenskap, Avdelningen f lantbrukets hydroteknik. Avdelningsmeddelande 02:2. x s.
- Hartge, K.H. 2000. The effect of Soil Deformation on Physical Soil properties- A discourse on the common background. In: R. Horn, J.J.H. van den Akker & J. Arvidsson (Eds). *Subsoil compaction, Distribution, Processes and Consequenses*. Reiskirchen, Cartena Verlag 2000. s. x-x

- Horn, R. & Rostek, J. 2000. Subsoil compaction processes- state of knowledge. In: R. Horn, J.J.H. van den Akker & J. Arvidsson (Eds). Subsoil compaction, Distribution, Processes and Consequences. Reiskirchen, Cartena Verlag 2000. s. x-x.
- Håkansson, I. 2000. Packning av åkermark vid maskindrift. Omfattning- effekter- motåtgärder Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst f markvetenskap, Avd f jordbearbetning. Rapport nr 99. 123 s.
- Håkansson, I. & Reeder, R.C. 1994. Subsoil compaction by heavy vehicles with high axle load- extent, persistence and crop response. *Soil. Till. Res.* 29, 277- 304.
- Håkansson, I. & Petelkau, H. 1994. Soil Compaction in Crop Production. In: B.D. Soane & C. van Ouwerkerk. *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier Science. Chapter 20, 479-500.
- Ishaq, M., Ibrahim, M. & Lal, R. 2002. Compaction and Crop Yield. In: Rattan. L (Eds.). *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker, Inc. 7 s.
- Jones, R.J.A., Spoor, G. & Thomasson, A.J. 2003. Vulnerability of subsoils in Europe to compaction: a preliminary analysis. *Soil Till. Res.* 73, 131-143.
- Keller, T. 2004. *Soil Compaction and Soil Tillage- Studies in Agricultural Soil Mechanics*. Sverige Lantbruksuniversitet, Uppsala. Agraria 489, 75 s.
- Keller, T. & Arvidsson, J. 2004. Technical solutions to reduce the risk of subsoil compaction: effects of dual wheels, tandem wheels and tyre inflation pressure on stress propagation in soil. *Soil Till. Res.* 79, 191-205.
- Keller, T., Trautner, A. & Arvidsson, J. 2002. Stress distribution and soil displacement under a rubber-tracked and a wheeled tractor during ploughing, both on-land and within furrows. *Soil Till. Res* 68, 39-47
- Koolen, A.J. 1994. Mechanics of Soil Compaction. In: B.D. Soane & C. van Ouwerkerk. *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier Science. Chapter 2. 23-44.
- Koolen, A.J. & Kuipers, H. 1983. *Agricultural Soil Mechanics*. Springer- Verlag, Berlin Heidelberg. 227 s.
- Lipiec, J. & Hatano, R. 2003. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*. 116, 107-136.
- Lipiec, J. & Stepniewski, W. 1995. Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients. *Soil Till Res.* 35, 37-52.
- McKyes, E. 1989. *Agricultural Engineering Soil Mechanics*. Developments in Agricultural Engineering 10. Elsevier. 292 s.
- Mellander, K. 1991. *Länge leve lärandet*. Celemiab International AB, Malmö. 226 s.
- Moberg, J. 2001. Långsiktiga förändringar av jordbruksmarkens fysikaliska egenskaper – en studie av 10 svenska åkermarks profiler. Meddelande från jordbearbetningsavdelningen. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Nr 37. 18 s.
- O’Sullivan, M.F., Henshall, J.K. & Dickson, J.W. 1999. A simplified method for estimating soil compaction. *Soil. Till. Res.* 49, 325-335.
- Soane, B.D. & van Ouwerkerk, C. 1994. Soil Compaction Problems in World Agriculture. In: B.D. Soane & C. van Ouwerkerk. *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier Science. Chapter 1, 1-23.
- Spoor, S., Tijink, F.G.J. & Weisskopf, P. 2003. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. *Soil Till. Res.* 73, 175-182.
- Stenberg, B., Jonsson, A. & Börjesson, T. 2002. Mark- och grödsensorer. Precisionsodling Sverige, Verksamhetsberättelse från arbetsgrupperna. Sveriges Lantbruksuniversitet, Skara. Teknisk rapport nr 3.
- Taylor, J.H. 1994. Development and Benefits of Vehicle Gantries and Controlled- Traffic Systems. In: B.D. Soane & C. van Ouwerkerk. *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier Science. Chapter 22, 521-538.

- Trautner, A. 2003. On Soil Behaviour during Field Traffic. Sverige Lantbruksuniversitet, Uppsala. Agraria 372, 55 s.
- Trautner. & A. Arvidsson, J. 2003. Subsoil compaction caused by machinery traffic on a Swedish Eutric Cambisol at different soil water contents. Soil Till. Res. 73, 107-118.
- Van den Akker, JJH., Arvidsson, J. & Horn R. 2003. Introduction to the special issue on experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Union. Soil Till. Res 73, 1-2.
- Yavuzcan, GH., Matthies, D. & Auernhammer, H. 2005. Vulnerability of Bavarian silty loam soil to compaction under heavy wheel traffic. Impacts of tillage method and soil water content. Soil Till. Res. 84, 200-215.

### **Internet**

- Edenhall. 4 Februari 2005.  
[www.edenhall.se](http://www.edenhall.se)
- Nationalencyklopedin. 7 Februari 2005.  
[www.ne.se](http://www.ne.se)

### **Foto**

Elise Nilsson 2004 om inget annat anges

### **Personliga meddelanden**

- AgrD Kerstin Berglund. 2005. Projektledare, Inst f markvetenskap, Avdelningen f lantbrukets hydroteknik, SLU.
- Professor emeritus Inge Håkansson. 2005. Inst f markvetenskap, Avd f jordbearbetning, SLU.
- AgrD Tomas Rydberg. 2005. Statsagronom, Inst f markvetenskap, Avd f jordbearbetning, SLU.
- Agr Lars Törner. 2005. Verksamhetsledare Odling i Balans. Ormatorp, VALLÅKRA.

## BILAGOR

### Bilaga 1. Enkät till brukarna på pilotgårdarna inom Odling i Balans 2005

#### Hej, du som brukar en pilotgård inom Odling i Balans

Då man exjobbar dyker det ständigt upp nya frågor och en del svar kan jag inte hitta i litteraturen. Jag skulle därför uppskatta lite hjälp till en mindre icke vetenskaplig undersökning som förhoppningsvis kan ge mig lite hum om hur markpackningsfrågan engagerar er lantbrukare. Det skulle glädja mig om du ville fylla i och markera dina svar och sedan skicka tillbaka svaren via mejl till mig.

Tack på förhand!

Hälsningar Elise Nilsson, mark/växt studerande på Ultuna.

Gårdsareal?

Vilken är den dominerande jordarten på enheten?

Vilka åtgärder har du genomfört för att försöka undvika markpackning?

Vilka åtgärder skulle du vilja genomföra? Varför har det inte gått att genomföra dessa åtgärder än?

Tycker du att man bör ta hänsyn till **vattenhalten** för att avgöra markpackningsgraden i ett markstrukturindex?

Tycker du att man bör ta hänsyn till **jordart** för att avgöra markpackningsgraden i ett markstrukturindex?

Lägger du stor vikt vid de körförhållanden som råder vid körning i fält?

Försöker du undvika att köra vid hög markfuktighet?

Alltid          Så ofta jag kan          Sällan          Aldrig

Har du undersökt dina fält genom att gräva och titta på markprofilen?

Alltid          Någon gång          Sällan          Aldrig

Tycker du att det skulle vara rimligt att be lantbrukare att gräva en grop för att optiskt bedöma vattenhalt i alven (ca 0,5m) några gånger i början av användandet av markstrukturindexet?

Skulle du vara intresserad av att använda modeller likt markstrukturindex för att försöka motverka markpackning?

## **Bilaga 2. Formulär**

### **Bilaga 2.1**

Hej

Uppsala 2005-03-17

Som ni säkert hört av Lars håller man på att utveckla ett markstrukturindex på markvetenskapliga institutionen på Ultuna. Min del i det hela är ett exjobb som ska bedöma möjligheterna att väga in körförhållande i markpackningsdelen. Jag skulle nu behöva din hjälp för att kunna testa olika scenarier.

Jag skulle kunna göra detta testet genom att simulera förhållanden men jag skulle gärna använda verkliga värden för att kunna avgöra hur det är i praktiken. Därför skulle jag behöva din hjälp med att fylla i ett excelformulär. Detta kan du göra direkt i excelfilen och sedan spara den och skicka tillbaks den. Vill du hellre fylla i den förhand går detta också bra men tänk då på att använda samma benämningar som jag har gjort.

Testet går sedan till så att jag kör en grundkörning, i vilken jag använder modellen som den ser ut idag. Sedan kör jag modellen med de ändringar som gjorts, för att se vilken skillnad det gör om man tar hänsyn till vilken markfuktighet som rådde i matjorden under körning.

Jag skulle vara tacksam för uppgifter som gäller för 1-3 skiften och hur körförhållandena har varit på dessa 2002-2004 om det finns uppgifter på detta. Välj gärna skiften med tunga arbetsmoment såsom flytgödseltunna eller vallskördemaskiner.

Tack på förhand. Har ni några frågor eller undrar något om formuläret ring mig på 018-671281 under kontorstid eller 070-8751620.

Med vänliga hälsningar

*Elise Nilsson*

## Bilaga 2.2. Instruktioner till formuläret

### Så här fyller du i formuläret

1: Fyll i indata för gården. Dessa data kommer sedan flyttas till rätt ställen. Använder du dubbelmontage på någon traktor under vissa moment? Fyll då i traktorn två gånger så kan du senare precisera när du gör det.

Alternativen i rullisten finns med till höger i excelarket om du snabbt vill se vilka alternativ som finns. Åtgärderna är tagna från Lars maskinunderlagsmodell och saknar du något arbetsmoment kan du fylla i detta i de mörkare blå rutorna i åtgärdslistan som finns till höger i excelarket. På så sätt hittar du de sedan i rullisten under arbetsmoment.

2: Välj **ÅR 2004** i nedrekanten genom att klicka på den fliken, fyll i detta år först så slipper du extraarbete senare. Året syftar på skördeåret dvs 2004= växtodlingsår 2003/2004 för höstvetete. Det finns även ett redan ifyllt exempel dock bara för ett skifte. Värdena är inte verkliga utan är till för att vara till hjälp.

Rött	Förklaring
Gult	Skrivs i av brukaren
Ljus blått	Fylls i med rullister av brukaren
Mörkare blått	Fylls i om uppgift ej finns
Grönt	Kommentar
Beige	Fylls i automatiskt

### 3: Följande görs i varje ark som du vill fylla i.

De gula rutorna fyller du i själv genom att vänsterklicka på rutan och skriva in vad som efterfrågas.

Klassa om våren/sommar/höst var varm, normal eller kall under årsmånsklassning.

Välj sedan en rad för varje körning. Du väljer alternativ med hjälp av rullister utom för skifte som du skriver i själv.

Vill du kommentera något så som att det var tjäle vid körning eller liknande kan du göra det i de gröna rutorna.

### RULLISTER

- Vänsterklicka på den cell du vill ändra, då dyker det upp en nedåtriktad pil.
- Vänsterklicka på pilen och välj passende alternativ, vänsterklicka på detta och det du valde kommer upp i rutan. Fortsätt till nästa ruta.

När det gäller **körförhållande**, så grundar sig detta på en bedömning från Inge Håkansson (se nedan) klass ett & två och tre & fyra är sammanslagna till en.

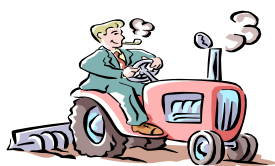
4: När du fyllt i de olika åren (om det finns uppgifter om flera år) så klicka på grundförutsättning i nedre kanten. Skiftena ska då redan finnas i arket här fyller du i med rullister.

Sist klickar du på växtodling. Här skriver du in uppgifter efter rätt år och skifte i de gula fälten och väljer med rullister i de blå. Finns inte din gödseltyp skriv in det i de mörkare blå rutorna i tabellen till höger efter Höns, flyt.

5: Då allt är ifyllt spara formuläret, spara gärna även under tiden du fyller i om något oförutsett skulle hända.

Klass	Beskrivning
1 <b>Torr</b>	Marken mycket torr och hård, för hård för plöjning (t.ex. på sommaren efter långvarig torka)
2 <b>Torr</b>	Marken ganska torr och hård; i hårdaste laget för plöjning (t.ex. på sommaren efter ett par veckors ordentlig torka)
3 <b>Dränerad</b>	Marken dränerad och därefter ytterligare upptorkad; optimal fuktighet för plöjning (t.ex. vid slutet av en torr vårbruksperiod)
4 <b>Ofullständigt dränerad</b>	Marken ofullständigt dränerad; markanta körspår bildas utom av hjul med mycket låga marktryck; betydande sliming vid plöjning (t.ex. i besvärliga surhålolor vid vårbruk)
5 <b>Våt</b>	Marken våt, vanligen med en del ytvatten; djupa spår även av fordon med god hjulutrustning; fordon med höga marktryck kör fast; plöjning knappast möjlig

## Bilaga 2.3. Vad är ett markstrukturindex?



# MARKSTRUKTURINDEX

### Vad är ett markstrukturindex, och vad ska man ha det till?

-ett sätt att bedöma jordarnas fysikaliska status och odlingssystemets inverkan på markstrukturen

En god och stabil struktur i marken är grunden för en väl fungerande odlingsjord. Vill man utveckla ett odlingssystem som är långsiktigt hållbart är markens fysikaliska status av central betydelse. I en jord med god struktur kan rötterna utvecklas fint och försörjningen av näring och vatten fungerar bra liksom luftutbytet i marken. På en strukturskadad jord ökar dragkraftsbehovet, försämras växtnäringssutnyttjandet, minskar skördarna och växtnäringssläckaget ökar. Att identifiera och sätta siffror på alla enskilda faktorer som inverkar på bördigheten är komplicerat. Ett alternativt angreppssätt är att titta på odlingssystemen i sin helhet och bedöma deras inverkan på åkermarkens långsiktiga produktionsförmåga.

Markstrukturindexet är en metod att bedöma hur uthålligt ett odlingssystem är. Tanken är att det ska bli ett redskap för lantbrukare och rådgivare för att utvärdera det aktuella odlingssystemets långsiktiga effekter på markens fysikaliska egenskaper. Dessutom ska det kunna användas för att testa hur markstrukturen påverkas om man ändrar odlingssystemet (investerar i grundförbättrande åtgärder, nya maskiner, ändrar bearbetningsmetoder, växtföljd osv.). Indexet har utvecklats av Agr. dr. Kerstin Berglund och professor emeritus Waldemar Johansson.

I indexet bedöms odlingssystemens uthållighet genom värderingar och sammanvägning av hur olika odlarberoende faktorer påverkar markstrukturen och markens fysikaliska egenskaper långsiktigt. Det består av tre delar:

- En grundförbättringsdel där effekterna av långsiktiga grundförbättrande åtgärder, t.ex. strukturkalkning och dränering, bedöms.
- En odlingssystemdel där effekterna av jordbrukarens årliga åtgärder bedöms.
- Ett markstrukturtest i fält där syftet är att man igenom enkla tester i fält kan följa markstrukturens utveckling och därmed öka sin kunskap om jorden.

Odlingssystemindexet består av sex faktorer som har stor inverkan på markstrukturen långsiktigt:

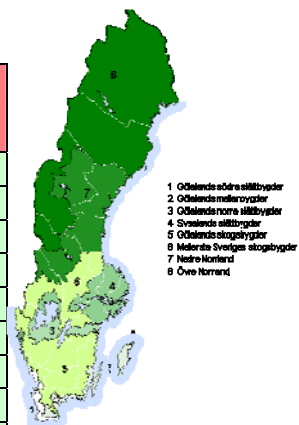
Positiva faktorer:	Negativa faktorer
+Rotmängd	-Bar ofrusen mark
+Organiskt material	-Matjordspackning
+Upptorkning	-Markbelastning

De sex faktorerna ovan väger lite olika i modellen beroende på hur stort inflytande vi har antagit att de har. Sedan slås de samman till en gemensam siffra för alla faktorer och alla år i växtföljden. Denna siffra får representera odlingssystemet. Om man ändrar sitt odlingssystem kan man se om siffran blir högre eller lägre för det nya systemet i förhållande till det gamla. Därmed se om det långsiktigt är bättre eller sämre för markens struktur och dess bördighet.

## Bilaga 2.4. Indata för gården och grundförutsättningar

Indata för gården		Rött	Förklaring
<i>Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken</i>		Gult	Skrivs i av brukaren
Gårdsnamn		Ljus blått	Fylls i med rullister av brukaren
Brukare		Mörkare blått	Fylls i om uppgift ej finns
Odlingsområde (välj från kartan)		Grönt	Kommentar
Startår för ifyllning		Beige	Fylls i automatiskt
Postadress			
Telefon			
e-post			

Traktor/ Dragmaskin Märke+modell	Vikt (Kg) Totalvikt	Ringtryck bak (k P)	Viktfördel bakaxel (ex. 50%)	Kommentar



Arbetsmoment	Arbetsbredd på redskap (m)	Vikt (kg) på redskap	Ringtryck (k P) anges för varje axel på redskapet				Total lastvikt kg
			Redskap /axel 1	Redskap /axel 2	Redskap /axel 3	Redskap /axel 4	



## Bilaga 2.5. Grundförutsättningar och växtodling

Jordtyp					
Matjord				Alv	
Skiftesnamn	Jordart (kornstorlek, mm)	Mullhalt (viktsprocent)	Jordart (kornstorlek, mm)		
Skiftets arrondering	Dränering		Avstånd om systemdikat		
	Typ				
Växtodlingsår	Skifte	Gröda	Tillfört organiskt material stallgödsel, grön gödsel, fånggröda osv.		
			Typ	Mängd (kg/ha)	ts-halt
Datum med årsangivelse (ÅÅÅÅ-MM-DD) Såtid	Avkastning (kg/ha)	Tas halmen bort eller lämnas kvar			

Ange åren i växtodlingsår för den aktuella grödan, d.v.s. .  
Från plöjning harvning o.s.v. Fram till skörd. T.ex. 01/02, 02/03 för höstsådda grödor

**Bilaga 2.6. Arbetsmoment under växtodlingsår**

ÅR 2002

	Fordon	Årsmånsklassning			
		Vår	Sommar	Höst	
		Förfrukt:			
<b>Skifte:</b>		<b>Gröda:</b>			
Arbetsmoment	Fordon	Antal körningar	Ange markfuktighet vid körtillfället	Tidpunkt  Månad	Kommentar  ex. tjäle

## Bilaga 2.7. Exempel på: Arbetsmoment under växtodlingsår

		<b>Fordon</b>	<b>Årsmånsklassning</b>		
		Case MX 135	<b>Vår</b>	<b>Sommar</b>	<b>Höst</b>
		Volvo 810	Normal	Torr/varm	Kall/våt
		Claas Lexion			
		Valmet 805			
			<b>Förfrukt:</b>	Höstraps	
<b>Skifte:</b>	<b>Sluttningen</b>		<b>Gröda:</b> <td><b>Höstvete</b></td> <td></td>	<b>Höstvete</b>	
<b>Åtgärd</b>	<b>Fordon</b>	<b>Antal körningar</b>	<b>Ange markfuktighet vid körtillfället</b>	<b>Kommentar ex. tjäle</b>	
Plöjning	Case 135	1	Dränerad		
Harvning	Volvo 810	1	Dränerad		
Sådd kombi	Case 135	1	Dränerad		
Vältning	Volvo 810	1	Torr		
Sprutning ogräs	Valmet 805	1	Torr		
Mineralgödsel spridning	Valmet 805	2	Torr		
Sprutning svamp+insekt	Valmet 805	1	Torr		
Tröskning	Claas Lexion	1	Våt		
Hemtransport	Case 135	1	Våt		
Vändning halm	Valmet 805	1	Våt		
Hemtransport	Volvo 810	1	Dränerad		
Pressning halm	Case 135	1	Dränerad		
Carrier	Case 135	1	Lite spår		

## Bilaga 2.8. Alternativ i rullisterna

<u>Gröda</u>	<u>Arbetsmoment</u>	<u>Huggning (vall)</u>	<u>Organiskt material typ</u>	<u>Markfuktighet vid körtillfället</u>
Höstvete	<b>Stubbearbetning</b>	Hackvagn inkl. transp.	Konv. Nöt, fast	Torr hård
Höstråg	Sprutning stubb	Vändning	Konv. Nöt, flyt	Dränerad
Rågvete	Plöjning	Strängläggning	Ekol. Nöt, fast	Våt
Höstkorn	Betongvält	Balning	Ekol. Nöt, flyt	<u>Årsmåns</u>
Höstraps	Vältning	Inplastning	Svin, fast	<u>klassning</u>
Höstrybs	Harvning	Betesputsning/träda	Svin, flyt	Torr/varm
Vårvete	Sladd	Putsning frövall	Höns, flyt	Normal
Vårkorn	Fräsning	Pressning hö	Höns, torkad	Kall/våt
Havre	Kupning	<b>Strängläggning</b>		
Vårapps	Stensträngläggning	Tröskning	<b>Halm på skiftet</b>	
Vårrys	Stenplockning	Hemtransport	tas bort	
Ärter	lastare	<b>Halmhackning</b>	lämnas kvar	
Oljelin	Djukult	Vändning halm		
Spånadslin	<b>Sådd</b>	Hemtransport		
Matpotatis	Insådd vall	Lastning		
Industripot	Sådd kombi	Pressning halm		
Sockerbetor	Sättning	<b>Omrörning</b>		
Vall	<b>Trnsp. utsäde</b>	Fastgödsel		
	Sprutning svamp+insekt	Lastning		
	<b>Sprutning ogräs</b>	Flytgödseltunna (spridning)		
	Hackning ogräs	Spridning hästgödsel		
	Flamning	Spridning slam		
	Ogräsrensning			
	<b>Mineralgödsel spridning</b>	<b>Uppt.mask.1pot.</b>		
	Spridning special	Uppt.mask.2 s.betor		
	Sprutning Mikro	Uppt.mask.3 morot		
		Stukläggning		
		Lastning		
		Transport		
		Bevattning		
		flyttning		
		Pump antal, tim/omgång		

## Bilaga 3. Broby

### Bilaga 3.1. Broby: indata

#### Indata för gården

Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken

Gårdsnamn	BROBY GÅRD
Brukare	PETER o Thomas Malmström
Odlingsområde (välj från kartan)	3
Startår	2004
Postadress	592 92 Vadstena
Telefon	0708-240599
e-post	<a href="mailto:malmstrom.broby@swipnet.se">malmstrom.broby@swipnet.se</a>

Traktor/ Dragmaskin Märke+modell	Vikt (Kg) Totalvikt	Ringtryck bak (k P)	Viktfördelning bakaxel (ex. 50%)	Kommentar
JD 7710	8300	1,5	70	
JD 6800	5400	1,5	70	
LM 4200	5000	2	50	
Tröska NH 8070	7000	1,5	70	(framaxel)
IH Case	9000	1,5	70	

Redskap och övriga maskiner	Arbetsbredd på redskap (m)	Vikt (kg) Redskap	Ringtryck (k P) anges för varje axel för redskapet					Total lastvikt kg
				Redskap /axel 1	Redskap /axel 2	Redskap /axel 3	Redskap /axel 4	
Stubbearbetning	4,5	3000						
Plöjning	2,1	3000						
Rexius	8,2	4000						
Sådd kombi	4	4000						3600
Ogrässpårta	24	1500	3					3000
Mineralgödsel spridning	12	2000	1					2400
Tröskning	6	7000						4000
Hemtransport	50	4500	1,5	1,5				5000
Flytgödseltunna (spridning)	12	5000	2,5	2,5				18000
Spridning ramp	12	500						400

### Bilaga 3.2. Broby: Arbetsmoment under växtodlingsår 2004

ÅR 2004	Fordon	Årsmånsklassning		
	JD 7710	Vår	Sommar	Höst
	JD 6800			
	LM 4200			
	Tröska NH 8070			
	IH Case			
<b>Skifte:</b>	<b>BJÖRNLIDEN</b>	<b>Gröda:</b>	<b>Höstvete</b>	
<b>Arbetsmoment</b>	<b>Fordon</b>	<b>Antal körningar</b>	<b>Ange körförhållanden</b>	<b>Kommentar ex. tjäle</b>
Plöjning	JD 7710	1	Lite spår	
Harvning	JD 6800	1,5	Lite spår	
Sådd kombi	JD 6800	1	Inga spår	
Mineralgödsel spridning	JD 6800	1	Lite spår	
Sprutning ogräs	JD 6800	1	Svåra spår	
Sprutning svamp+insekt	JD 6800	1	Inga spår	
Tröskning	Tröska NH 8070	1	Inga spår	
Hemtransport	JD 7710	1	Lite spår	
Spridning hästgödsel	JD 6800	1	Lite spår	
<b>Skifte:</b>	<b>VÄDERKVARN</b>	<b>Gröda:</b>	<b>Vårkorn</b>	
<b>Arbetsmoment</b>	<b>Fordon</b>	<b>Antal körningar</b>	<b>Ange körförhållanden</b>	<b>Kommentar ex. tjäle</b>
Plöjning	JD 7710	1	Inga spår	
Harvning	JD 6800	1	Inga spår	
Sådd	JD 6800	1	Inga spår	
Sprutning ogräs	JD 6800	1	Lite spår	
Tröskning	Tröska NH 8070	1	Inga spår	
Hemtransport	JD 7710	1	Lite spår	
Flytgödseltunna (spridning)	IH Case	1	Inga spår	Tjäle

### Bilaga 3.3. Broby: Grundförutsättningar och växtodling

	Matjord		Alv		
Skiftesnamn	Jordart (kornstorlek, mm)	Mullhalt (viktsprocent)	Jordart (kornstorlek, mm)		
BJÖRNLI DEN	Moränmellanlera, ej rotspärr	Måttligt mullhaltig (3-6%)	Moränmellanlera, ej rotspärr		
VÄDERKVARN	Moränlättilera	Måttligt mullhaltig (3-6%)	Moränlättilera		
Skiftets arrondering	Dränering		Tillfört organiskt material stallgödsel, grüngödsel, fånggröda osv.		
	Typ	Avstånd om systemdik			
	Regelbunden	Systemtäckdik			
Något oregelbunden	Systemtäckdik	14-18			
Växtodling sår	Skifte	Gröda	Typ	Mängd (kg/ha)	ts-halt
	2004 BJÖRNLI DEN	Höstvete	Höns, flyt	20000	6%
2004	VÄDERKVARN	Vårkorn	Höns, flyt	10000	8%
Datum årsangivelse med					
(ÅÅÅÅ-MM-DD) Såtid	Avkastning (kg/ha)	Halmen tas bort eller lämnas kvar			
2003-09-14	8929	lämnas kvar			
2004-04-05	5245	lämnas kvar			

## Bilaga 4. Västraby

### Bilaga 4.1. Västraby: Indata

<b>Indata för gården</b>							
<i>Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken</i>							
Gårdsnamn	VÄSTRABY GÅRD						
Brukare	Eric Wallin						
Odlingsområde (välj från kartan)							
Startår för ifyllning							
Postadress							
Telefon							
e-post							
Traktor/ Dragmaskin Märke+modell	Vikt (Kg) Totalvikt	Ringtryck bak (k P)	Viktfördel bakaxel (ex. 50%)	Kommentar			
JD 7810	6620	0,7	70%				
JD 7810	6621	0,7	70%				
JD 6920 S	5500	0,7	70%				
Vervæet betuopptag.	20500						
Arbetsmoment	Arbetsbredd på redskap (m)	Vikt (kg) på redskap	Ringtryck (k P) anges för varje axel på redskapet				Total lastvikt kg
			Redskap /axel 1	Redskap /axel 2	Redskap /axel 3	Redskap /axel 4	
Plöjning	2	2000					
Vältning	12	4500					
Harvning	7,5	2000					
Sådd kombi	4	2000					3000
Sprutning ogräs	24	1500					2800
Mineralgödsel spridning	24	500					1900
Huggning	3	2100					
Hackvagn inkl. transp.	6	1500					200
Tröskning	7,5	9500	1,5	2			8000
Hemtransport	20	3500					16000
Hemtransport	15	2500	1,5	1,5			8000
Lastning							
Pressning halm	7,5	3000					600
Flytgödseltunna (spridning)	12	7000	1,5	1,5			15000
Upptagning mask. 1 s.bet.	3	20500	2,2	2,4	1,9		15000
Transport	5	5					12000



## Bilaga 4.2. Västraby: Arbetsmoment under växtodlingsår 2003

ÅR 2003	Fordon		Årsmånsklassning		
	JD 7810	Vår	Sommar	Höst	
	JD 7810	Torr/varm	Torr/varm	Torr/varm	
	JD 6920 S				
	Vervæet betupptag.				
Skifte:	skifte 11	Förfrukt:	Vårvete	Gröda:	Höstvete
Arbetsmoment	Fordon	Antal körningar	Ange körförhållanden	Tidpunkt Månad	Kommentar ex. tjäle
Flytgödseltunna	JD 6920 S	1	Inga spår	september	
Plöjning	JD 7810	1	Inga spår	september	
Harvning	JD 7810	1	Inga spår	september	
Sådd kombi	JD 7810	1	Inga spår	september	
Mineralgödsel	JD 7810	1	Inga spår	mars	
Vältning	JD 7810	1	Inga spår	april	
Mineralgödsel	JD 7810	1	Inga spår	april	
Sprutning ogräs	JD 6920 S	3	Inga spår	april	juni
Tröskning	Tröska JD 9780 CTS	1	Lite spår	september	
Hemtransport	JD 6920 S	1	Inga spår	september	
Pressning halm	JD 6920 S	1	Inga spår	september	
Hemtransport	JD 7810	1	Lite spår	september	

Skifte:	Skifte 2,norr om	Förfrukt:				
		Gröda:	Vall			
Arbetsmoment	Fordon	Antal körningar	Ange körförhållanden	Tidpunkt Månad	Kommentar	
Flytgödseltunna	JD 6920 S	1	Inga spår	oktober		
Flytgödseltunna	JD 6920 S	1	Inga spår	mars		
Mineralgödsel	JD 7810	1	Inga spår	mars		
Vältning	JD 7810	1	Inga spår	april		
Huggning	JD 6920 S	1	Inga spår	maj		
Hackvagn inkl. transp.	JD 7810	1	Inga spår	maj	hack	
Hackvagn inkl. transp.	JD 6920 S	1	Inga spår	maj	vagn	
Mineralgödsel	JD 7810	1	Inga spår	juni		
Huggning	JD 6920 S	1	Inga spår	juli		
Hackvagn inkl. transp.	JD 7810	1	Inga spår	juli		
Hackvagn inkl. transp.	JD 6920 S	1	Inga spår	juli		
Mineralgödsel	JD 7810	1	Inga spår	augusti		
Flytgödseltunna	JD 6920 S	1	Inga spår	augusti		
Huggning	JD 6920 S	1	Inga spår	sept		
Hackvagn inkl. transp.	JD 7810	1	Inga spår	september		
Hackvagn inkl. transp.	JD 6920 S	1	Inga spår	september		

### Bilaga 4.3. Västraby: Arbetsmoment under växtodlingsår 2004

ÅR 2004	Fordon		Årsmånsklassning		
	JD 7810		Vår	Sommar	Höst
	JD 7810		Normal	Kall/våt	Kall/våt
	JD 6920 S				
	Vervaet betupptag.				
		<b>Förfrukt:</b>	Höstvete		
<b>Skifte:</b>	skifte 11	<b>Gröda:</b>	Sockerbetor		
Arbetsmoment	Fordon	Antal körningar	Ange körförhållanden	Tidpunkt Månad	Kommentar ex. tjäle
Flytgödseltunna	JD 6920 S	1	Lite spår	oktober	
Plöjning	JD 7810	1	Inga spår	oktober	
Harvning	JD 7810	1	Inga spår	oktober	
Harvning	JD 7810	1	Inga spår	april	
Mineralgödsel	JD 7810	1	Lite spår	april	
Harvning	JD 7810	1	Inga spår	april	
Sådd	JD 6920 S	1	Inga spår	april	
Sprutning ogräs	JD 6920 S	1	Inga spår	april	*3
Upptagning mask. 1 s.bet.	Vervaet betupptag.	1	Svåra spår	oktober	
Transport	JD 6920 S	1	Svåra spår	oktober	en tredje del av sträckan

		<b>Förfrukt:</b>	Vall		
<b>Skifte:</b>	Skifte 2, norr om	<b>Gröda:</b>	Vall		
Arbetsmoment	Fordon	Antal körningar	Ange körförhållanden	Tidpunkt Månad	Kommentar
Flytgödseltunna	JD 6920 S	1	Inga spår	okt	
Flytgödseltunna	JD 6920 S	1	Inga spår	mars	
Mineralgödsel	JD 7810	1	Lite spår	mars	
Vältning	JD 7810	1	Inga spår	april	
Huggning	JD 6920 S	1	Inga spår	maj	
Hackvagn inkl. transp.	JD 7810	1	Inga spår	maj	hack
Hackvagn inkl. transp.	JD 6920 S	1	Inga spår	maj	vagn
Mineralgödsel	JD 7810	1	Inga spår	juni	
Huggning	JD 6920 S	1	Lite spår	juli	
Hackvagn inkl. transp.	JD 7810	1	Lite spår	juli	
Hackvagn inkl. transp.	JD 6920 S	1	Lite spår	juli	
Mineralgödsel	JD 7810	1	Lite spår	aug	
Flytgödseltunna	JD 6920 S	1	Lite spår	aug	
Huggning	JD 6920 S	1	Lite spår	sept	
Hackvagn inkl. transp.	JD 7810	1	Lite spår	sept	
Hackvagn inkl. transp.	JD 6920 S	1	Lite spår	sept	

#### Bilaga 4.4. Västraby: Grundförutsättningar och växtodling

		Jordtyp					
		Matjord	Alv				
Skiftesnamn	Jordart (kornstorlek, mm)	Mullhalt (viktsprocent)			Jordart (kornstorlek, mm)		
skifte 11	Mellanlera, ej rotspärr	Något mullhaltig (2-3%)			Styv lera och styv moränlera, rotspärr		
Skifte 2,norr om	Styv lera och styv moränlera, ej rotspärr	mullfattig (<2%)			Styv lera och styv moränlera, ej rotspärr		
Skiftets arrondering	Dränering						
	Typ	Avstånd om systemdikät					
	Regelbunden	Systemtäckdikät	14-18				
Regelbunden	Systemtäckdikät	14-18					
Växtodlings år	Skifte	Gröda	Tillfört organiskt material stallgödsel, gröngödsel, fånggröda osv.		Datum med årsangivelse		Avkastning (kg/ha)
			Typ	Mängd (kg/ha)	ts-halt	(ÅÅÅÅ-MM-DD) Såtid	
2002	skifte 11						
2002	Skifte 2,norr om						
2002							
2003	skifte 11	höstvede	Konv. Nöt, flyt	60000	6%	2002-09-15	7170
2003	Skifte 2,norr om	Vall	Konv. Nöt, flyt	60000	6%		8000
2003							
2004	skifte 11	Socketb				2004-04-04	42000
2004	Skifte 2,norr om	Vall	Konv. Nöt, flyt	60000	6%		13300
2004							

## Bilaga 5. Sjöstorp

### Bilaga 5.1. Sjöstorp: Indata

<b>Indata för gården</b>							
<i>Grundläggande uppgifter om gården och maskinparken</i>							
Gårdsnamn	Sjöstorps Norregård						
Brukare	Göran och Siv Ohlsson						
Odlingsområde (välj från kartan)	Götalands södra slättbygder						
Startår för ifyllning	2002						
Postadress							
Telefon							
e-post							
<b>Traktor/ Dragmaskin Märke+modell</b>	<b>Vikt (Kg) Totalvikt</b>	<b>Ringtryck bak (k P)</b>	<b>Viktfördel bakaxel (ex. 50%)</b>				<b>Kommentar</b>
JD 6900	6500	1,2	70				varierar 0,7-1,5
JD 2650	3500	0,8	70				
LM 641	7000	1,8	50				
Tröska MF 7252	9500	1,5	70				(framaxel)
<b>Arbetsmoment</b>	<b>Arbetsbredd på redskap (m)</b>	<b>Vikt (kg) på redskap</b>	<b>Ringtryck (k P) anges för varje axel på redskapet</b>				<b>Total lastvikt kg</b>
			<b>Redskap /axel 1</b>	<b>Redskap /axel 2</b>	<b>Redskap /axel 3</b>	<b>Redskap /axel 4</b>	
Stubbkörning	3,6	2500					
Plöjning	1,4	1600					
Harvning	6,7	2000					
Vältning	6,2	2600					
Rotorharv	4	1500					
Stenplockning	20	200					
Djupkultivator	4	1200					
Kombisådd	4	2200					
Insådd vall	4	800					
Vältning	6,2	2600					
Ogrässpurtning	12	800	2				
Svamp och insekter	12	800	2				
Mineralgödsel ex.spridare	12	1800	1,5				
Gödsel MC	12	250	0,2				
Tröska	4,6	9500	1,5	2			
Hemkörning	100	2000	4				
Halm vändning	4,6	500					
Halm pressning	4,6	3500	2				
Halm lastning o hemtrns	20	1400	2				

## Bilaga 5.2: Sjöstorp: Arbetsmoment under växtodlingsår 2003

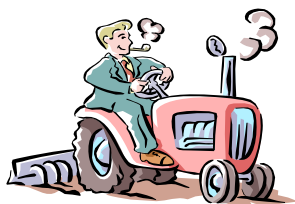
ÅR 2003	Fordon		Årsmånsklassning		
	JD 6900	Vår	Sommar	Höst	
	JD 2650				
	LM 641				
	Tröska MF 7252				
		<b>Förfrukt:</b>	Höstvete		
<b>Skifte:</b>	Skifte 3	<b>Gröda:</b>	Vårkorn		
<b>Arbetsmoment</b>	<b>Fordon</b>	<b>Antal körningar</b>	<b>Körförhållanden</b>	<b>Kommentar</b>	
Plöjning	JD 6900	1	Inga spår		
Harvning	JD 6900	1	Inga spår		
Sådd kombi	JD 6900	1	Inga spår		
Vältning	JD 2650	1	Inga spår		
Sprutning svamp+insekt	JD 2650	1	Inga spår		
Sprutning svamp+insekt	JD 2650	1	Inga spår	inte ogräs!!	
Tröskning	Tröska MF 7252	1	Inga spår		
Pressning hö	JD 2650	1	Inga spår		
Hemtransport	JD 2650	1	Inga spår		
Putsning frövall	JD 2650	2	Inga spår		
		<b>Förfrukt:</b>			
<b>Skifte:</b>	Skifte 6	<b>Gröda:</b>	Vall		
<b>Arbetsmoment</b>	<b>Fordon</b>	<b>Antal körningar</b>	<b>Körförhållande</b>	<b>Kommentar</b>	
Insådd vall	JD 2650	1	Inga spår		
Vältning	JD 2650	1	Inga spår		
Sprutning svamp+insekt	JD 2650	1	Inga spår	är ogräs	
Mineralgödsel spridning	JD 2650	1	Inga spår		
Mineralgödsel spridning	JD 2650	1	Lite spår		
Sprutning svamp+insekt	JD 2650	1	Inga spår		
Tröskning	Tröska MF 7252	1	Inga spår		
Hemtransport	JD 2650	1	Inga spår		
Vändning halm	JD 2650	1	Inga spår		
Pressning hö	JD 2650	1	Inga spår		
Hemtransport	JD 2650	1	Inga spår		
sådd redovisad fröar 1		<b>Förfrukt:</b>	Höstvete		
<b>Skifte:</b>	Skifte 5	<b>Gröda:</b>	Ärter		
<b>Arbetsmoment</b>	<b>Fordon</b>	<b>Antal körningar</b>	<b>Körförhållande</b>	<b>Kommentar</b>	
Plöjning	JD 6900	1	Inga spår		
Harvning	JD 6900	1	Inga spår		
Stenplockning lastare	LM 641	1	Inga spår		
Sådd kombi	JD 6900	1	Inga spår		
Vältning	JD 2650	1	Inga spår	avser ogräs	
Sprutning svamp+insekt	JD 2650	1	Inga spår		
Tröskning	Tröska MF 7252	1	Inga spår		
Hemtransport	JD 2650	1	Inga spår		

### Bilaga 5.3. Sjöstorp: Arbetsmoment under växtodlingsår 2004

ÅR 2004	Fordon	Årsmånsklassning		
	JD 6900	Vår	Sommar	Höst
	JD 2650			
	LM 641			
	Tröska MF 7252	<b>Förfrukt:</b>	Vårkorn	
<b>Skifte:</b>	Skifte 3	<b>Gröda:</b>	Höstraps	
<b>Arbetsmoment</b>	<b>Fordon</b>	<b>Antal körningar</b>	<b>Körförhållande</b>	<b>Kommentar</b>
Plöjning	JD 6900	1	Inga spår	
Vältning	JD 2650	1	Inga spår	
Rotorharv	JD 6900	1	Inga spår	
Harvning	JD 6900	2	Inga spår	
Sådd	JD 2650	1	Inga spår	
Sprutning ogräs	JD 2650	1	Inga spår	
Gödsel MC		1	Inga spår	
Mineralgödsel spridning	JD 2650	2	Inga spår	en på tjäle
Sprutning svamp+insekt	JD 2650	2	Inga spår	
Tröskning	Tröska MF 7252	1	Svåra spår	
Hemtransport	JD 2650	1		ej i fält
		<b>Förfrukt:</b>	Vall	
<b>Skifte:</b>	Skifte 6	<b>Gröda:</b>	Vall	
<b>Arbetsmoment</b>	<b>Fordon</b>	<b>Antal körningar</b>	<b>Körförhållande</b>	<b>Kommentar</b>
Mineralgödsel spridning	JD 2650	1	Lite spår	
Mineralgödsel spridning	JD 2650	1	Inga spår	
Sprutning svamp+insekt	JD 2650	1	Inga spår	
Tröskning	Tröska MF 7252	1	Inga spår	
Hemtransport	JD 2650	1	Inga spår	
Vändning	JD 2650	1	Inga spår	
Pressning hö	JD 2650	1	Inga spår	
Hemtransport	JD 2650	1	Inga spår	från tröska
		<b>Förfrukt:</b>	Ärter	
<b>Skifte:</b>	Skifte 5	<b>Gröda:</b>	Höstvete	
<b>Arbetsmoment</b>	<b>Fordon</b>	<b>Antal körningar</b>	<b>Körförhållande</b>	<b>Kommentar</b>
Stubbearbetning	JD 6900	2	Inga spår	
Djupkultivator	JD 6900	1	Inga spår	
Harvning	JD 6900	1	Inga spår	
Sådd kombi	JD 6900	1	Inga spår	
Vältning	JD 2650	1	Inga spår	
Sprutning svamp+insekt	JD 2650	1	Inga spår	är ogräs
Gödsel MC		1	Inga spår	avser MC
Mineralgödsel spridning	JD 2650	1	Inga spår	
Sprutning svamp+insekt	JD 2650	1	Inga spår	
Tröskning	Tröska MF 7252	1	Lite spår	
Hemtransport	JD 2650	1	Inga spår	

## Bilaga 5.4. Sjöstorp: Grundförutsättningar och växtodling

Jordtyp					
Matjord				Alv	
Skiftesnamn	Jordart (kornstorlek, mm)	Mullhalt (viktsprocent)	Jordart (kornstorlek, mm)		
Skifte 3	Moränlättilera	Något mullhaltig (2-3%)	Moränlättilera		
Skifte 6	Moränlättilera	Något mullhaltig (2-3%)	Moränlättilera		
Skifte 5	Mellanlera, ej rotspärr	Något mullhaltig (2-3%)	Styv lera och styv moränlera, ej rotspärr		
Skiftets arrondering	Dränering		Avstånd om		
	Typ		systemdiket		
Regelbunden	Systemtäckdiket		12-16		
Regelbunden	Systemtäckdiket		12-16		
Något Oregelbunden	Systemtäckdiket		12-16		
Växtodlingsår	Skifte	Gröda	Tillfört organiskt material stallgödsel, gröngödsel, fånggröda osv.		
			Typ	Mängd (kg/ha)	ts-halt
2003	Skifte 6	Vårkorn			
2003	Skifte 5	Vall			
2003	Skifte 3	Ärter			
2004	Skifte 5	Höstraps			
2004	Skifte 3	Vall			
2004	Skifte 6	Höstvete			
Datum med årsangivelse (ÅÅÅÅ-MM-DD) Såtid	Avkastning (kg/ha)		Tas halmen bort eller lämnas kvar		



# MARKSTRUKTURINDEX

Diskussion 30/3 2005

I dagens index tas det i markpackningsdelen ingen hänsyn till vilka körförhållande som råder vid olika körningar. Detta har ofta kommit upp till diskussion med lantbrukare och därför träffades professor emeritus Inge Håkansson, Lars Törner; Odling i Balans, Statsagronom Agr Dr Tomas Rydberg jordbearbetningsavdelningen, Projektledare Agr Dr Kerstin Berglund och exjobbare Elise Nilsson för att diskutera fram hur detta ska vägas in i en eventuell ny modell. För att jämförelser skulle kunna göras har det utformats ett nytt index där man väger in matjordens och alvens vattenhalt.

## Matjorden

I matjorden gäller; ju våtare desto mer packning. Hur man avgör vattenhalten är dock en svårare fråga. I det nya indexet finns det två olika klassningar. En som grundar sig på att man har uppgifter om vilka spår man fick vid överfarten och den andra på vilken årsmånklassning som gäller under året. Enligt modellkörningar som gjorts med de olika klassningarna kan det bli mycket stora skillnader mellan att köra modellen enligt vilka spår som uppkom vid överfarten eller köra enligt årsmånklassningen. Gården som vi använde oss av i modellkörningen, Sjöstorp, hade nämligen många överfarter som var klassade "inga spår" vilket är viktat som 0,6 alltså mindre än en överfart i dagens index. Enligt årsmånklassningen var våren 2004 normal (faktor 1) och sommaren 2004 kall/våt (faktor 1,4) vilket gav ett mycket högre indexvärde.

Spårklassning är en bedömning som lantbrukaren gör själv och kan påverkas av subjektiva faktorer. Att använda sig av spårbestämning har även andra begränsningar; exempelvis är spårbildningen annorlunda beroende på när under året man kör. Är fältet nyplöjt är spårbildningen naturlig genom att en återpackning sker, till skillnad från en jord som redan är återpackad. Även ett regn på torr mark som blöter upp det yttersta på jordkotor och aggregat men, där vattnet inte hinner tränga in, kan medföra svåra spår. Visst kan man köra på bra dagar även under en våt vår, då det inte blir någon spårbildning. Men vad blir effekterna om det bara är ytan som är upptorkad men resterande del av matjorden och övre delen av alven fortfarande är våt?

Årsmånklassningen är relativt förenklad, då den gäller över tre månader. Körförhållandena kan under denna tid variera ganska mycket. Den ger även lika stor vikt för alla överfarter även om det är lättare typer av överfarter, dessa kanske vid samma tillfällen inte ger några spår medan en tyngre typ av överfart skulle ge svåra spår och betyda betydligt mer för matjordspackningen.

Enligt en mindre undersökning som Inge med flera genomförde visade det sig att en subjektiv bedömning av vattenhalten, då man bedömde hur det såg ut vid körtillfället var relativt osäker. Försökspersonal, som skulle genomföra ett annat försök, fick klassa vattenhalten enligt en skala (se nedan). På dessa platser togs även vattenhaltsprover och det visade sig att det var



väldigt spridda skurar i resultatet. Det fanns ingen signifikant skillnad som visade att man oftast träffade rätt med gissningen. Kanske har lantbrukaren lite större chans att träffa rätt med sin erfarenhet och kunskap om tidigare förhållande.

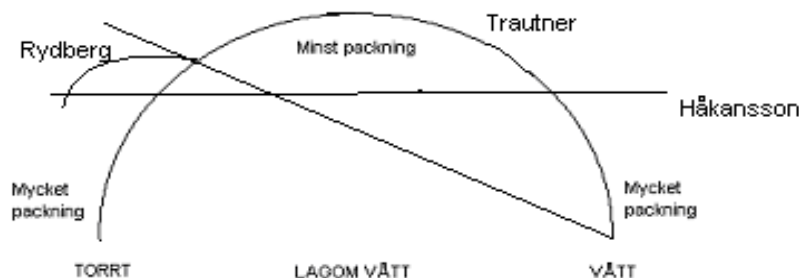
Subjektiv markfuktighetsskala (Håkansson, 2000)

Klass	Beskrivning
1	Marken mycket torr och hård, för hård för plöjning (t.ex. på sommaren efter långvarig torka)
2	Marken ganska torr och hård; i hårdaste laget för plöjning (t.ex. på sommaren efter ett par veckors ordentlig torka)
3	Marken dränerad och därefter ytterligare upptorkad; optimal fuktighet för plöjning (t.ex. vid slutet av en torr vårbruksperiod)
4	Marken ofullständigt dränerad; markanta körspår bildas utom av hjul med mycket låga marktryck; betydande slirning vid plöjning (t.ex. i besvärliga surhålör vid vårbruk)
5	Marken våt, vanligen med en del ytvatten; djupa spår även av fordon med god hjulutrustning; fordon med höga marktryck kör fast; plöjning knappast möjlig

Inges klassning var enligt erfarenhet lätt att arbeta med och detta kanske skulle kunna användas i indexet. Det skulle emellertid vara praktiskt att ha endast tre klasser som överensstämmer med årsmånklassningen i indexet. Detta skulle kunna innebära att vi drar ihop vissa av klassningarna så att vi tillslut endast har 3 klasser exempelvis en sammanslagning av klass ett och två och klass fyra och fem. Samtidigt får man använda sig av lite finlir om det finns särskilda fall såsom körning på tjäle. Det kanske även ska finnas möjlighet att välja inga spår (faktor 0,6) på lätta körningar så att de redovisas, men inte får någon stor betydelse i resultatet.

### Alven

Då alvpackningen kan ge permanenta skador är det viktigt att uppmärksamma och diskutera denna. Alvpackningen bör därför ha en relativt hög viktning i indexet, enligt Lars.



I dagens modell ser formeln för den kritiska nivån ut så här:

OM Åtgärd="Plöjning", 1500,

OM 10500 (-3000\*Luftryck) är mindre än 6000, då blir kritiska nivån 6000,

OM INTE då blir kritiska nivån (10500-3000\*Luftrycket)

I den modell som tagits fram nu har vi tagit hänsyn till däckens ringtrycket och årsmånen har fått representera en skattning av fuktigheten i alven. Den kritiska nivån är klassad enligt Trautners resultat och en överfart har därför varit klassad som lika allvarlig vid årsmånklassning kall/våt som vid varm/torr. Det har diskuterats många gånger om detta stämmer eller inte. Trautner har uppmätt rörelser i alven även i torr jord men det är inte visat vilka effekter det kan innebära. Är det bara rörelse eller blir det allvarliga

strukturförändringar? Det finns inte heller några bevis för att det entydigt skulle vara värst vid våta förhållande så att den kritiska nivån skulle vara hög vid torr/varm och låg vid kall/våt. Trautners forskningsresultat har skapat mycket diskussion. Kerstin nämnde att man tidigare kanske helt enkelt har antagit att det inte sker någon packning på torr jord och därför har det inte gjorts några omfattande försök på torra jordar.

Det är även svårt att fastställa vad torrt innebär. Är det först vid riktigt torra förhållande som packningen gäller? Hur pass torrt ska det vara för att packningen ska vara lika illa när det är torrt som när det är vått? Det behövs mer forskning innan man kan dra några slutsatser. Slutligen är det även svårt att veta vilken vattenhalten vi har i alven vid en överfart. Antagandet med årsmånsklassning kan anses vara väldigt grovt och det finns förtillfället ingen snabb och billig metod att mäta vattenhalt i alven.

Under diskussionens gång kom vi fram till att, med den information som finns tillgänglig idag finns det inte tillräckligt med fakta för att bedöma skillnader vid överfarter. Därför bör den kritiska nivån fortfarande vara oberoende av vattenhalten och endast bero på ringtrycket.

#### *Rotdjup?*

En annan intressant sak som dök upp under diskussionen var hur långt ner vi bör oroa oss för packning. I en sandjord går inte rötterna särskilt djupt jämfört med på en lerjord. Men den permanenta packningen är trots allt inget vi kan rättfärdiga med detta. I de icke bearbetade lager som finns under plöjningsdjup kan effekten av packningen kvarstå och även bli permanenta.

#### *Dubbelmontage*

Det har under senare tid visat sig att dubbelmontage inte interagerar såsom man tidigare trodde, utan att hjulet är mer fristående. Därför är det allt vanligare att man talar om hjullaster istället för axellaster. I Lars modell finns det nu en funktion där axellasterna delas upp på hur många däck som används. Detta gör att man i modellen gynnar de som kör med dubbelmontage. Detta är ett steg i rätt riktning, samtidigt bör man tänka på att ytan som packas i och med dubbelmontage eller bredare däck blir större. Under en diskussion med Eric Wallin på Västraby funderade vi på om riktigt breda däck kanske skulle kunna gälla som tre däck. Lars ska skicka den del där han delar upp trycket på hjullaster istället för axellaster till oss.

#### *Plöjning*

Plöjningen är en åtgärd som ger ett speciellt förhållande, då det ena däcket tar övervägande delen av lasten och då detta däck går direkt på övre delen av alven och inte har matjorden som skydd för alvpackning. Man antar även att man alltid har högt däckstryck. Därför blir den kritiska nivån ett fixt värde på 1500kg. Lasten på ett däck halverar kritiska nivån från 6 ton till 3 ton. Körning direkt på alven halverar nivån ännu en gång till 1,5 ton. Onlandplöjning däremot där man inte kör i fåran ska gynnas i modellen och ska viktas som en vanlig åtgärd.

#### **Jordart**

När det gäller jordart finns det idag för lite information för att vi ska kunna göra någon generell viktning. I sanden har vi en långtidsverkan medan vi i lerjorden har en korttidsverkan. Även här skulle det kunna vara aktuellt med en välvd båge, värst i sand och ler. Det är även platsberoende och kan innebära mycket finlir med olika lerhalter, lermineral

och lagerföljder. Därför kommer detta inte viktas i indexet utan bara kommenteras vid resultatet. Kommentaren kommer vara, vad man bör tänka på vid olika jordarter.

Sammanfattningsvis beror packningen till största del på körintensitet, lerhalt, vattenhalt och ringtryck.

### **Slutligen**

Markstrukturindexet ska vara ett rådgivande redskap som ska leda till en diskussion om olika åtgärder och val. Då vi tar in körförhållandena i matjordspackningen kommer vi få lantbrukaren att tänka till under vilka förhållande han/hon genomför körningar. När det gäller alven har vi idag inte tillräckligt mycket fakta för att vikta den kritiska nivån beroende på vattenhalt i alven. Kanske sker packningen vid torra förhållande långt ner i marken och spelar därför ingen roll för växtligheten. Mer forskning måste utföras innan man kan ta ställning till om vi kan gå på den lutande linjen eller den välvda. För jordarten har vi också för lite fakta för att göra en entydig bedömning. Detta kan givetvis ändras i ett senare skede då det finns mer forskning om hur det ligger till.

- Matjordspackningen ändras beroende på skattad vattenhalt
- Den kritiska nivån kvarstår som den är i indexet idag
- Jordarten kommenteras vid resultatet men viktas inte i indexet