

# HANDLEDNING TILL KALKYLARK "TONKM.XLS" FÖR ATT BERÄKNA KÖRINTENSITET OCH AVKASTNINGSEFFEKTER AV JORDPACKNING

Vid avdelningen för jordbearbetning, SLU, har utarbetats en modell för att beräkna skördesänkningar orsakade av jordpackning (Arvidsson och Håkansson, 1989, 1991). I denna handledning beskrivs först modellens uppbyggnad och teoretiska bakgrund. Därefter ges en kort handledning till kalkylarket "tonkm.xls" som bygger på denna modell.

## Modellens bakgrund och syfte

Den modell som beskrivs här bygger i första hand på resultat från de fältförsök avseende packning som under årens lopp utförts vid avdelningen. Avsikten är, att i den mån det är möjligt, överföra försöksresultat till en form där det är möjligt att beräkna packningens ekonomiska konsekvenser på ett enskilt jordbruksföretag. En jordbrukare ska på så sätt t.ex. kunna bedöma om det är möjligt att investera i andra maskinsystem eller annan däcksutrustning. Modellen kan också fungera som ett diskussionsunderlag och ett pedagogiskt hjälpmedel.

## Grunddrag i modellen

Skördeförlust orsakad av packning beräknas som en addition av olika delkomponenters inverkan på skörden. De fyra delarna är följande:

1. Effekter på årets gröda av återpackning i matjorden efter plöjning.
2. Strukturskador i matjorden som finns kvar efter det att fältet plöjts.
3. Strukturskador av packning i alven.
4. Effekter av körning i växande gröda, främst i vall.

Delarna 1-3 kommer att behandlas i var sitt kapitel i denna handledning.

## In- och utdata

De indata som används är:

Basuppgifter om areal, gröda, skördevärde och lerhalt.

Uppgifter om enskilda arbetsmoment; arbetsbredd, omfattning av tomkörning, vikt på maskiner, marktryck och däcksbredd samt fuktighetsförhållanden vid körning. Markfuktighet klassas enligt en skala 1-5, där 1 betyder mycket torrt och 5 betyder mycket vått.

Resultatet presenteras i första hand som den ekonomiska konsekvensen av packningen. Uppgifter fås också bl.a. om antal överfarter på olika delar av fältet och kör mängder vid olika fältarbeten.

## Effekt av återpackning efter plöjning (beräkningarna ingår inte i tonkm.xls)

En gröda växer sämre i starkt packad jord. Det har också visat sig att jorden normalt är för lucker efter plöjning för att ge maximal skörd. Den första delen av modellen behandlar hur återpackning efter plöjning påverkar årets gröda. Det gäller alltså i första hand körning vid såbäddsberedning och sådd, ibland också t.ex. stallgödselspridning i samband med sådd.

## Bakgrund

### *Begreppet packningsgrad*

Det är mycket svårt att ge ett direkt mått på hur packad en jord är. Markstruktur brukar ofta karakteriseras genom t.ex. genomsläpplighet för luft och vatten, porstorleksfördelning, torr skrymdensitet, aggregatstabilitet eller penetrationsmotstånd. Det är dock svårt att med dessa metoder göra en direkt jämförelse mellan olika jordar. En viss densitet hos jorden, t.ex.  $1,4 \text{ g/cm}^3$ , kan på en mullrik lera betyda att den är kraftigt packad, medan en sandjord med denna densitet är ganska lucker.

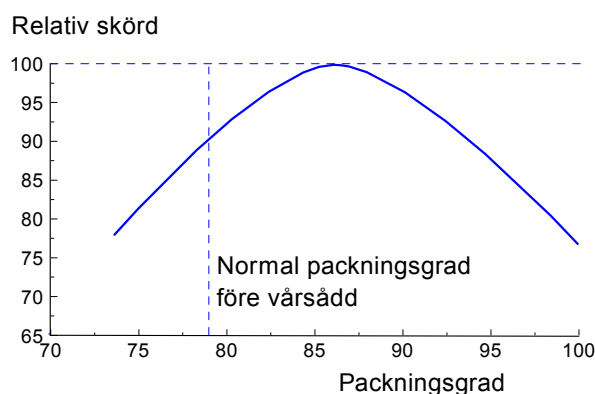
En metod för att mera direkt kunna jämföra packning hos olika jordar har utarbetats vid avdelningen för jordbearbetning. Denna metod innebär att torra skrymdensiteten bestäms för en jord i fält. Jorden utsätts sedan för en kraftig packning i en press,  $200 \text{ kPa}$  ( $2 \text{ kp/cm}^2$ ) under ca en vecka. Densiteten i ursprungstillståndet dividerat med densiteten hos den hårt packade jorden benämns packningsgrad, och kan uttryckas i procent.

### *Packningsgradens inverkan på skörd*

Ett stort antal fältförsök har utförts där skörden relaterats till packningsgraden i matjorden. På så sätt har det varit möjligt att uppskatta optimal packningsgrad för en gröda (figur 1).

Den optimala packningsgraden varierar beroende på väderleken, och är hög under torra år, medan det under regniga år inte finns behov av någon återpackning. Optimum skiljer sig också mellan olika grödor. Korn, sockerbetor och vete hade störst packningsbehov av de grödor som provades, medan potatis i ovanstående försök växte bättre ju luckrare jorden var. Havre, råg,

Figur 1. Principiell bild över packningsgradens inverkan på skörden.



ärter och oljeväxter intar en mellanställning. Växternas reaktion på packningsgraden har varit närmast oberoende av jordart i de försök som gjorts på mineraljordar. Återpackningsbehovet var dock större på jordar med högre mullhalt. På mulljordar har resultaten varit mera skiftande, och det har inte varit möjligt att på samma sätt som för mineraljordar ange ett generellt optimum för packningsgraden.

Packning av jorden ger skördesänkning, främst genom en försämrad rotutveckling och risk för syrebrist. Man kan dock fråga sig varför även en låg packningsgrad ger skördeförkluster. En trolig förklaring är att en hög andel grova porer gör att den omänskade ledningsförmågan för vatten blir låg. Därmed försämras också transporten av näringsämnen (det är t.ex. ofta möjligt att se att grödan är grönare på en packad vändteg än på resten av fältet).

Under 70-talet gjordes också en försöksserie för att belysa hur olika faktorer vid körning med traktor inverkar på packningsgraden (Ljungars, 1976). De faktorer som studerades var jordart, markfuktighet,

antal överfarter, vikt, lufttryck, hjulustrustning, dragkraftsuttag och hastighet.

Det visade sig att markens fuktighet, antalet överfarter samt hjulustrustning (enkel- eller dubbelmontage) hade störst betydelse. Ekipagets vikt och lufttryck i hjulen hade måttlig betydelse, medan dragkraftsuttag och hastighet hade en mycket liten inverkan på markens packningsgrad.

### Modellberäkningar

Del 1 och del 4 i modellen, d.v.s. effekterna av återpackning och skador av körning i vall, kräver en beräkning av körspårens fördelning på fältet. Utifrån denna beräknas en fördelning av packningsgraden i fält, från vilket man sedan uppskattar skörden. Viss återpackning leder till en skördehöjning, medan alltför stor packning leder till skördesänkning. P.g.a. svårigheten att uppskatta dels packningsgrad, dels skörd ingår för närvarande inte denna del i tonkm.xls.

## Strukturskador i matjorden som finns kvar efter plöjning

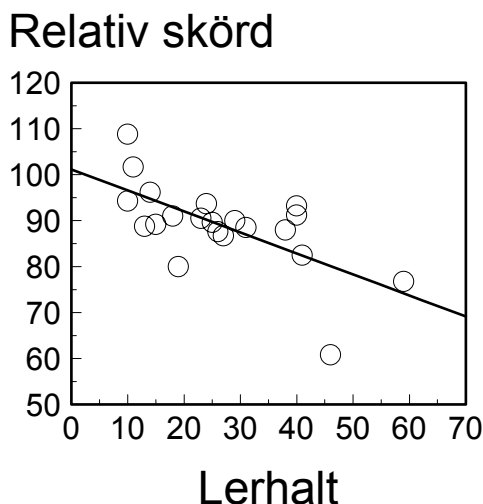
### Bakgrund

Del 2 av modellen behandlar skador i matjorden som finns kvar när jorden plöjts. Vid avdelningen för jordbearbetning har under årens lopp utförts ett mycket stort antal försök, där jorden packats varje höst före plöjning. En sammanfattning av resultaten från dessa försök visas i figur 2.

Skördesänkningen, som genomsnitt för samtliga år, var starkt korrelerad med lerhalten. Skörden sjönk under de första åren och antog därefter ett jämviktsläge. När packningen upphört har strukturskadorna försvunnit efter några år, och skörden blivit densamma som i opackat led.

I två av försöken varierades ringtrycket och körningar utfördes under olika markfuktighet. Resultat från 8 års försök sammanfattas i tabell 1.

Vari består då dessa skador? En mycket viktig faktor är att packningen försämrar möjligheterna att göra en bra såbädd. Det beror på att aggregaten pressas samman, så att hårda, svårkrossade kokor uppstår. Detta ökar avdunstningen i såbädden. Ju högre lerhalt jorden har, desto svårare är det att skapa en god såbädd. Detta är en av förklaringarna till att skadorna stigit med ökande lerhalt. Då aggregatens naturliga gränzytor skadas minskar också genomsläppligheten för vatten under regniga år, vilket kan leda till syrebrist. Möjligheterna till god rotutveckling både inne i och mellan aggregaten försämrar. Eftersom denna typ av skador är kopplade till aggregatstruktur är det naturligt att endast lerjordar skadas. På jordar med enkelkornstruktur har packningsskador i matjorden försvunnit i samband med plöjning.



Figur 2. Resultat av fleråriga fältförsök med årlig packning av matjorden före plöjning. Diagrammen visar avkastning i packade rutor i procent av skörden i opackat led. Genomsnittliga avkastningen är avsatt som funktion av erhalt. Varje ring motsvarar en försöksplats.

Tabell 1. Relativ skörd efter körning med traktor och vagn strax före plöjning. Försöken är utförda på lerjordar 1982-1989.

Körintensitet	Körförhållanden	
	Normala	Våta
Ingen körning	100	
100 tonkm/ha, normalt ringtryck	98	94
300 tonkm/ha, högt ringtryck	93	89
300 tonkm/ha, högt ringtryck	90	-

### Modellberäkningar

Beräkningen av skador som finns kvar efter plöjning är betydligt enklare än beräkningen av körningens ettåriga effekter. Som grund används begreppet tonkm, som helt enkelt är maskinernas vikt multiplicerad med körsträckan på fältet. Dessa korrigeras efter marktryck och fuktighet vid körning till "omräknade tonkm". Omräkningen har gjorts med följande förutsättningar:

1. Vid fuktighetsklass 1 är marken så torr att packningen inte gör någon skada.
2. Skördeförlusten är proportionell mot markfuktighetsklassen.
3. Skördeförlusten är proportionell mot logaritmen på marktrycket.
4. Markfuktighetsklass och marktryck i försöken har varit 3,5 resp. 200 kPa vilket ger omräkningsfaktorn 1.

Förutsättningarna under 2 och 3 grundar sig på att porositetsminskning i laboratorieförsök varit proportionell mot vattenhalten och mot logaritmen av marktrycket. Porositetsminskning är inte samma sak som skördesänkning men utgör i alla fall ett mått på verkan av packningen. Skördeförlusten antas sedan vara proportionell mot antalet "omräknade tonkm".

Skador av packning på en lerjord varar i flera år. I modellen beräknas sammanlagda skördeförlusten under dessa år i % av en årsskörd. Formeln för att beräkna denna skördeförlust har följande utseende:

$$\text{Skördeförlust (\%)} = \text{omräknade tonkm} * 0,00154 * \text{lerhalt}$$

## Beräkningar avseende skador av packning i alven

### Bakgrund

Till grund för denna del av modellen ligger en försöksserie med körning med lastade dumprar på våt mark. Körningen utfördes vid ett enda tillfälle. Skördeförlusten blev mycket stark under de första åren, och planade därefter ut. Det är naturligtvis svårt att skilja mellan skador av packning i alven och i matjorden. Man kan dock förutsätta att matjordsskadorna ebbar ut under en femårsperiod, varför de skador som därefter finns kvar kan antas bero på alvpackning. Genom att bestämma jordens densitet och hållfasthet tio år efter körningen har det också varit möjligt att konstatera att alven har fått bestående skador. (Tabell 2). Inga klara skillnader mellan olika jordarters reaktion på alvpackning gick att utläsa av försöken.

Tabell 2. Resultat från försök med körning med tung axelbelastning, körningen utförd 1976. Volymvikt bestämdes 1978, hållfasthetsmätningar utfördes med vingborr.

Försöksled	Volymvikt, g/cm <sup>3</sup>		Hållfasthet, relativtal		
	30-45 cm	45-60 cm	1978	1982	1984
Utan körning	1,47	1,42	100	100	100
Med körning	1,53	1,44	117	118	115

### Modellberäkningar

Beräkningarna för skador i alven liknar i mycket de för efterverkan i matjorden. Skördesänkningen antas vara proportionell mot antal tonkm korrigerade för marktryck och fuktighet vid körning. Alla jordarter antas reagera lika på packningen. Alven delas upp i två skikt.

I skiktet 25-40 cm antas skadorna finnas kvar under en tioårsperiod. Skördeförlusten anges i % av en årsskörd på samma sätt som för matjordspackningen. Vid beräkningen av antalet tonkm tas endast hänsyn till den del av axelbelastningen som överstiger 4 ton. Förlusten beräknas enligt:

$$\text{Skördeförlust (\%)} = \text{omräknade tonkm} / 40$$

Djupare ned än 40 cm antas skadorna bli bestående, och anges i promille/år. Vid beräkningen av antalet tonkm tas endast hänsyn till den del av axelbelastningen som överstiger 6 ton, utom för plöjningstraktorns färhjul, där tonkm beräknas från den del av axelbelastningen som överstiger 3 ton. Formeln för att beräkna avkastningsförlusten har följande utseende:

$$\text{Skördesänkning (promille/år)} = \text{omräknade tonkm} / 40$$

### Beräkningar avseende skador av körning i vall

Dessa skador ingår inte i "tonkm.xls" och redovisas inte vidare här.

### Användning av kalkylarket tonkm.xls

I kalkylarket tonkm.xls ingår beräkningar under del 2 och 3 i jordpackningsmodellen, d.v.s. strukturskador i matjorden som finns kvar efter plöjning och effekter av alvpackning. Inga beräkningar görs för närvarande av ettåriga effekter av packning vilket man måste vara medveten om då man använder kalkylarket.

De indata som används är:

Basuppgifter om areal, gröda, skördevärde och lerhalt.

Uppgifter om enskilda arbetsmoment; arbetsbredd, omfattning av tomkörning, vikt på maskiner, marktryck och däcksbredd samt fuktighetsförhållanden vid körning.

Eftersom beräkningarna avser efterverkansskador ska skördevärdet avse det genomsnittliga skördevärdet för växtföljden, eftersom förlusterna uppträder i samtliga grödor.

Tomkörning anges med en s.k. körsträckefaktor. Om denna sätts till 1 betyder det att ingen tomkörning görs, en faktor 2 innebär att hälften av körsträckan är effektiv körning o.s.v.

I kalkylarket görs inget tillägg för tyngdöverföring från bearbetningsredskap, denna får i så fall läggas till traktorvikten. För vagnar kan man dock ange storleken på tyngdöverföring, som då förs från vagnens vikt till traktorn.

Markfuktighet klassas enligt en skala 1-5, där 1 betyder mycket torrt och 5 betyder mycket vått. De fuktighetsklasser som ligger inlagda för olika arbeten i tonkm.xls kan ses som riktvärden.

För plöjning antas ena hjulparet gå i fåran under plöjning. Detta ökar alvpackningen och minskar matjordspackningen.

Antalet tonkm är maskinernas tyngd multiplicerad med körsträcka på fältet. Dessa räknas sedan om beroende på ringtryck och markfuktighet.

Skördeförlusten antas vara proportionell mot antalet "omräknade tonkm". Skador av matjordspackning på en lerjord varar i flera år. I modellen beräknas sammanlagda skördeförlusten under dessa år i % av en årsskörd. Detsamma gäller skadorna i skiktet 25-40 cm. Packningsskador djupare än 40 cm antas bli permanenta och här görs beräkningen istället för den sammanlagda förlusten under ett bestämt antal år.

## Diskussion

Det är utomordentligt svårt att skapa en fullständig modell för hur körning och odlingsåtgärder påverkar markstrukturen och därmed skörden. Den modell som beskrivs i denna skrift är empirisk. Den bygger på försöksresultat, vi vet hur vi behandlat marken och vad detta fått för utslag i skörd. I systemanalytiska termer betraktar vi med detta synsätt marken, eller systemet, som en svart låda. Mera tilltalande vore naturligtvis att använda sig av en mekanistisk modell. Med utgångspunkt från jordens egenskaper skulle en sådan modell beräkna hur ett visst pålagt tryck vid en viss vattenhalt skulle förändra porvolym, markens mättade och omättade ledningsförmåga, penetrationsmotstånd för rötter, aggregatstorleksfördelning, luftinnehåll o.s.v. och utifrån dessa parametrar uppskatta förändringar i skördens storlek. Tyvärr får vi konstatera att forskningen inte hunnit tillräckligt långt för att skapa en sådan modell.

Modellens tillförlitlighet beror på de försöksresultat som ligger till grund för den. Vissa parametrar (t.ex. markfuktighetens betydelse vid packning av alven) är inte alls eller dåligt undersökta. I sådana fall måste man göra antaganden om parametrarnas betydelse, eller utelämna den helt. I modellen har t.ex. antaganden gjorts om lufttryckets betydelse för strukturskador som finns kvar efter plöjning. Vissa parametrar är svåra att ange kvantitativt. Detta gäller framförallt markfuktigheten, som ges en ganska godtycklig skattning. Det är dock oerhört svårt att exakt ange markfuktigheten på ett sätt som är relevant när det gäller markens packningskänslighet. Det gäller t.ex. ett mått som volymsprocent vatten. Det kan anges exakt, men behöver sedan skrivas om i en form där det är giltigt för olika jordarter. Även om detta vore möjligt, skulle beräkningarna kräva så noggranna indata att modellen skulle bli svår att använda på gårdsnivå. Det vore dock önskvärt att komplettera modellen med vattenhalten i marken under vegetationsperioden. Vattenhalten skulle då anges som ett genomsnitt för ett antal år för några typjordar på olika platser i landet.

Ett problem i modellen är, att den är svår att tillämpa i andra odlingssystem än där försöken utförts. Försök med ettåriga grödor har i samtliga fall utförts i odlingssystem med plöjning. Det är därför svårt att använda resultaten för att bedöma skördesänkningar i t.ex. plöjningsfri odling eller en efterföljande vall. Det är också svårt att bedöma hur strukturskador vid körning i vall påverkar efterföljande grödor. Modellen räcker heller inte till för att bedöma effekten av att gå över från odling med till odling utan plöjning. Vissa utdata, t.ex. antal överfarter eller antal tonkm, kan dock alltid beräknas och användas för jämförelser.

Vilka är då modellens förtjänster? Först och främst kan den naturligtvis vara en hjälp när det gäller att uppskatta ekonomiska förluster av packning för enskilda lantbrukare. Man kan t.ex. bedöma investeringsutrymme i bättre däck eller andra maskiner, jämföra körningens omfattning vid odling av olika grödor, jämföra olika körmönster eller uppskatta betydelsen av att bygga fler infarter till ett fält.

Modellen kan också fungera som ett diskussionsunderlag. När beräkningarna utförs tillsammans med en jordbrukare uppstår självklart en mängd frågor. En förutsättning för att kunna använda modellen och dataprogrammet på ett bra sätt är att ha goda grundläggande kunskaper när det gäller jordpackning och markstruktur.

## Referenser

Arvidsson, J., Håkansson, I., 1989. En beräkningsmodell för skador av jordpackning. Medd. från södra försöksdistriktet, nr 34, Växjö.

Arvidsson, J., Håkansson, I., 1991. A model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. Soil Tillage Research, 20, 319-332.

Håkansson, I., 1987. Hur långvariga är jordpackningens efterverkningar? SLU, Uppsala, Fakta/markväxter nr 14.

Håkansson, I., 1989. Packning av matjordslagret. Vilken packningsgrad är bäst? SLU, Uppsala, Fakta/markväxter nr 1.

Ljungars, A., 1977. Olika faktorerers betydelse för traktorernas jordpackningsverkan. SLU, Uppsala, rapporter från jordbearbetningsavd. nr 52.