

Jordpackning vid stallgödselspridning - en beräkningsmodell till stallgödselprogrammet STANK

INTRODUKTION

Kalkylprogrammet STANK, framtaget av Jordbruksverket, är ett kalkylprogram för miljöinriktad växtnäringsrådgivning. Förutom rena växtnäringsfrågor ingår en modell för att uppskatta de skador som körningen vid stallgödselspridning orsakar. Denna modell är delvis baserad på en tidigare modell för att beräkna skador av jordpackning som utarbetats vid avdelningen för jordbearbetning, SLU, delvis på uppskattningar från försöksmaterial som specifikt rör körskador av stallgödselspridning. I denna rapport redovisas dels det bakgrundsmaterial som utnyttjats, dels hur beräkningsmodellen i STANK är uppbyggd.

BAKGRUND

De viktigaste försöksresultat som ligger till grund för modellberäkningarna i STANK är dels den jordpackningsmodell som tidigare utarbetats vid avdelningen (i fortsättningen kallad JORDPACK), dels resultat från försöksserier för att studera körskador vid stallgödselspridning i stråsäd och vall.

Tidigare jordpackningsmodell

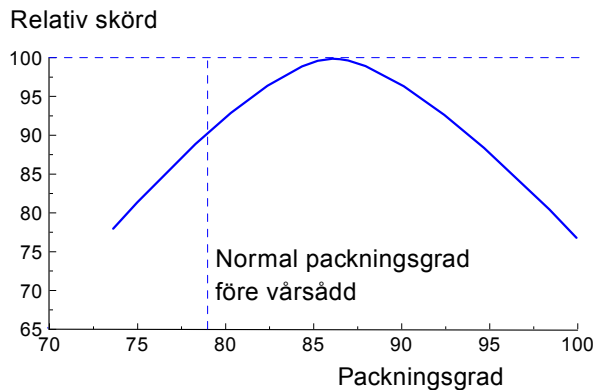
JORDPACK, som presenterades av Arvidsson & Håkansson (1991, 1992) behandlar effekterna av jordpackning i följande fyra delar:

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

Modellen, som är anpassad för rådgivning på gårdsnivå, är baserad på ett mycket stort försöksmaterial (över 400 försöksår i fältförsök placerade över hela landet). De gårdsdata som används i beräkningarna är bl.a. arbetsbredder, vikter på traktorer och redskap, däckstrutning, lufttryck, markfuktighet vid körning och lerhalt. Markfuktigheten klassas i en skala 1-5. Körningarna på fält multipliceras också med en körsträckefaktor, som är ett uttryck för "tomkörning". Nedan redovisas hur JORDPACK är uppbyggd under punkterna 1 till 4, vilka utgör grunden också för beräkningarna i STANK.

1. Beräkningar avseende ettåriga effekter av packning i matjorden

Det har visat sig ett plöjt fält behöver en viss återpackning, och att det går att få fram ett genomsnittsvärde för en optimal packningsgrad i jorden, med avseende på skörd (fig 1).



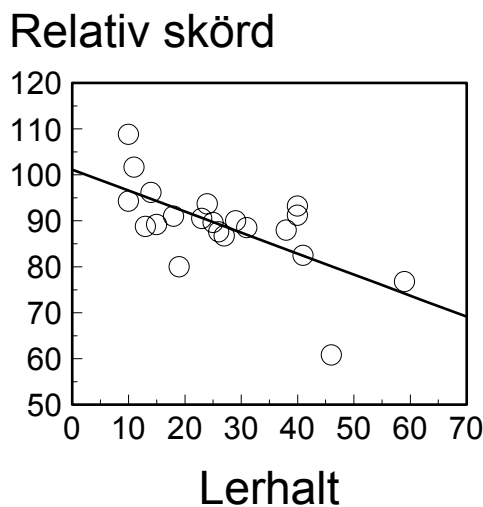
Figur 1 Schematisk bild av skörden som funktion av packningsgrad (skrymdensitet).

Skillnader mellan jordarter har varit små. Däremot har optimet varierat dels med gröda, dels från år till år, bl.a. beroende på mängden nederbörd under året. Att en hög packningsgrad är negativt för grödan känns naturligt, man kan dock fråga sig varför även en låg packningsgrad ger skördeförstär. En trolig förklaring är att en hög andel grova porer gör att den omätade ledningsförmågan för vatten blir låg. Därmed försämras också transporten av näringsämnen.

För att uppskatta packningsgraden krävs en beräkning av körspårens fördelning på fältet. Fältet delas sedan upp i ett antal delytor, beroende på antalet överfarter, och packningsgraden för samtliga delytor beräknas. Från denna fördelning är det möjligt att beräkna relativ skörd för olika alternativ jämfört med optimal packningsgrad.

2. Beräkningar avseende efterverkan av skador i matjorden

Beräkningar avseende matjordsskador som kvarstår efter plöjning baseras på ett tjugotal fleråriga försök, där körningar utförts varje höst på våt mark och följts av plöjning. Skordesänkningar ackumulerades under de första åren, antog sedan ett jämviktsvärde, och klingade ut under en femårsperiod efter det att körningarna upphört. Skadorna ökade med ökande lerhalt (figur 2). En stor del av dessa skordesänkningar beror på att packningen gett



Figur 2. Skörd som funktion av markens lerhalt i långliggande försök med packning av matjorden före plöjning på hösten. Varje ring motsvarar en försöksplats.

en grov struktur som försämrat möjligheten till en god såbädd.

I modellen antas skördesänkningen vara proportionell mot antal "omräknade tonkilometer".
 $Tonkm = vikt * körsträcka$ på fältet. Antalet tonkm justeras sedan beroende på markfuktighet och ringtryck vid körtillfället. Sammanlagd skördeförlust anges i % av en årsskörd.

3. Beräkningar avseende skador av packning i alven

Till grund för denna del av modellen ligger en försöksserie med körning med lastade dumphävar på våt mark. Körningen utfördes vid ett enda tillfälle. Skördesänkningarna blev ungefär lika stora på lätta som på styva jordar.

Om man antar att matjordsskadorna ebbar ut under en femårsperiod, kan de skador som därefter finns kvar antas bero på alvpackning. I modellen delas alven upp i två skikt. I skiktet 25-40 cm antas skadorna finnas kvar under en tioårsperiod, djupare ned antas de bli permanenta. Beräkningarna utförs i princip på samma sätt som i del 2, med omräknade tonkm som grund för beräkning av skördesänkningen. Matjorden fungerar dock som en "skyddskudde" för alven. Vid beräkning av antalet tonkm subtraheras därför 4 ton från axelbelastningen i skiktet 25-40 cm och 6 ton för skiktet djupare än 40 cm. Resultatet redovisas i % av en årsskörd (25-40 cm) och promille/år (>40 cm).

4. Beräkningar avseende skador av körning i vall

I mitten av 70-talet genomfördes en stor försöksserie för att bedöma körskador av körning i vall i 21 långliggande försök (Håkansson et al 1990). I samband med skörd av vallen simulerades olika körmängder, detta upprepades vid varje skördetillfälle. Några av de viktigaste resultaten var:

- Skördeförluster berodde i första hand på mekaniska skador på grödan, ej på jordpackning.
- Skördeförlusterna var ej jordartsberoende
- Endast små skador kvarstod från ett vallår till nästa

I modellen görs beräkningar liknande de för punkt 1: skördeförlusterna beräknas för delar av fältet.

Packningsförsök med spridning av stallgödsel

Körskador i spannmål och oljeväxter vid flytgödselspridning

Försöksserierna R2-7113 och -7114, packningsskador vid gödselspridning var avsedda att belysa körskadorna vid gödselspridning i spannmål och oljeväxter, 7113 för höstsäd och 7114 för vårsädd gröda (Arvidsson et al 1992). Körningen utfördes därför utan någon spridning av gödsel. Försöksplanen innehöll följande led:

A = ingen körning

B = tidig körning, tjälad mark, max last
 C = tidig körning, tjälad mark, ingen last
 D = tidig körning, otjälad mark, max last
 E = tidig körning, otjälad mark, ingen last
 F = körning på upptorkad mark, max last
 G = körning på upptorkad mark, ingen last
 H = körning strax före axgång, max last
 I = körning strax före axgång, ingen last

I försöket ingick led med spridning på tjäle, men tjälen uteblev 1990-92 och därmed också dessa led. Sommaren 1991 var extremt regnig, och därför utgick leden med spridning vid axgång. Ekipaget med full last hade traktor och vagn som vägde ca 10 resp. 15 ton (inkl. tyngdöverföring till traktorn). Motsvarande siffror för ekipaget utan last var 8 och 5 ton. Spåren täckte en yta av ca 20 % av skörderutan. Det motsvarar en arbetsbredd av ca 5 m.

Resultat av körskadorna presenteras i tabell 1 och 2. I led med tidig spridning var skördesänkningen relativt kraftig, storleksordningen 5-10 %, liksom vid sen spridning. Vid körning på upptorkad mark på våren var förlusterna små.

Tabell 1. Resultat försöksserie R2-7113, körskador vid gödselspridning i höstsäd, 1990-92. Inom parentes anges datum för körtillfälle.

Försök nr	201/90	202/91		Samtliga
Län/plats	R	R	R	1990-92
Jordart	mmh ML	nmh ML		
Gröda	Höstvete	Höstvete	Höstvete	(3 försöksår)
Ingen körning	5600	7030	5970	100
Tidig körning, max. last	82 (31/3)	100 (25/4)	97 (10/5)	93
Tidig körning utan last	97 (30/4)	100	95	97
Körning upptorkad mark, max. last	100 (7/5)	96 (27/5)	92 (29/5)	96
Körning upptorkad mark utan last	101	96	91	96
Körning vid axgång, max. last	91 (23/5)		83 (9/6)	87
Körning vid axgång utan last	95		83	89
Signifikans	**	**	n.s.	

Tabell 2. Resultat försöksserie R2-7114, körskador vid gödselspridning i vårsäd, 1990-92. Inom parentes anges datum för körtillfälle.

Försök nr	202/90	203/90	202/91	1992	1992	Samtliga	Korn
Län/plats	R	R	R	R	R	1990-92	1990-92
Jordart	mmh ML	mmh ML	nmh ML				
Gröda	Raps	Korn	Korn	Raps	Korn	(5 försök)	(3 försök)
Ingen körning	1760	5210	4030	1530	3120	100	100
Körning vid vårbruk, max. last	92 (30/3)	94 (1/4)	85 (15/4)	87 (10/5)	98 (10/5)	91	92
Körning vid vårbruk utan last	92	98	107	98	98	99	101
Körning upptorkad mark, max. last	92 (9/5)	96 (7/5)	103 (27/5)	103 (9/6)	101 (9/6)	99	100
Körning upptorkad mark utan last	88	95	105	112	98	100	99
Körning vid axgång, max. last	100 (31/5)	90 (31/5)		122 (26/6)	94 (26/6)	102	92
Körning vid axgång utan last	106	93		108	100	102	96
Signifikans	n.s.	***	n.s.				

Körskador i vallväxter vid flytgödselspridning

I försöksserie R2-7303, körskador i vallväxter vid flytgödselspridning, undersöktes olika vallväxters känslighet för körskador vid vallskörd och spridning av flytgödsel. Serien pågick 1990-93 med två fastliggande försök i Norrland. Körning med ensilagevagn resp. gödseltunna skedde vid olika tidpunkter, tvärs över olika valltyper så att lika många körspår ingår i alla skörderutor. Ingen spridning av gödseln skedde. Gödseltunnans totalvikt var ca 12000 kg. Spåren täckte ca 35 % av ytan, motsvarande en arbetsbredd på ca 2,5 m. Försöksplanen var tvåfaktoriell, med sex valltyper och sex led med olika mycket körning:

- A = renbestånd timotej
- B = renbestånd ängssvingel
- C = renbestånd rödklöver
- D = renbestånd vitklöver
- E = renbestånd getärt
- F = rödklöverrik blandvall med vitklöver

- 1 = ingen körning
- 2 = körning med gödseltunna, vår
- 3 = körning med gödseltunna, efter 1:a skörd
- 4 = körning med gödseltunna, efter 2:a skörd

5 = ensilageskörd, 1:a och 2:a skörd
6 = som 5, + körning med gödseltunna, vår

Resultatet av körningarna (genomsnitt för samtliga valltyper) redovisas i tabell 3. Skördeförlusten var störst för stallgödselspridning på våren, skördesänkningen efter övriga körningar var relativt liten.

Tabell 3. Resultat försöksserie R2-7303 1990-93. Relativtal av kg ts/ha.

Försök nr	1/90	60/89	Samtliga
Län/plats	BD	AC	
Jordart		mmh l mj mo	
Antal försöksår	3	3	6
Genomsnitt samtliga valltyper:			
Ingen körning	100	100	100
Gödseltunna, vår	84	95	90
Gödseltunna efter 1:a skörd	95	107	102
Gödseltunna efter 2:a skörd	89	102	96
Ensilageskörd efter 1:a och 2:a skörd	93	100	97
Ensilageskörd + gödseltunna vår	95	89	92

Brister i försöksmaterialet

För att uppskatta körskadorna vid stallgödselspridning vid olika tidpunkter finns bl.a. följande brister i försöksmaterialet:

- Antalet direkta försök med körning med stallgödselekipage är litet, både i spannmål och vall. För att bättre bedöma framförallt ettåriga effekter skulle det vara önskvärt med flera försök, helst också med olika spridarstorlekar.
- Effekter av spridning på tjälad mark. Inga försöksresultat finns tillgängliga för varken spannmål eller vall.
- Effekter på årets gröda vid körning med höga axelbelastningar efter plöjning. I de resultat som presenteras ovan fanns ingen skillnad mellan jordarter med avseende på ettåriga effekter. I försöksmaterialet saknas dock packning med höga axelbelastningar. Det är möjligt att jordarterna skiljer sig åt vid mycket kraftig packning, och att denna är allvarligare på styva jordar. Dessutom försvåras såbäddsberedningen i högre grad på en styv än en lätt jord.

JORDPACKNINGSMODELL I STANK

Modellberäkningarna i STANK är större eller mindre modifieringar av beräkningarna i JORDPACK. Delarna 1-4 finns med också i STANK, där de motsvaras av ekvationerna 1, 2, 3 och 4, vilka redovisas nedan. För att beräkna skadornas relativa storlek vid olika spridningstillfällen anges en årstidsfaktor för respektive ekvation enligt tabell 4.

Varje ekvation utgår från ett "standardekipage" med lassvikt 12 ton, arbetsbredd 5 m och ett ringtryck på 150 kPa. Körsträckefaktorn (ett uttryck för mängden tomkörning) antas vara 2 med avseende på efterverkan, (faktor 2=mängden tomkörning antas vara lika stor som mängden effektiv körning). En spridning med standardekipaget på en jord med 40 % ler ger en skördeförlost i procent som är densamma som årstidsfaktorn i tabell 4 för ekvationerna 1, 2 och 4.

Från indata beräknas en genomsnittlig lerhalt. Lerhalten antas vara klassmitt i respektive intervall, och 40 % i klassen >25%.

De indata som vidare används är spridarvagnens arbetsbredd, lassvikt, ringtryck och antal axlar. Dessutom behövs en uppgift om huruvida marken plöjs mellan spridning och sådd vid spridning på våren. Vid spridning i öppen odling på hösten antas att marken plöjs mellan spridning och sådd. Körsträckefaktorn (ett uttryck för mängden tomkörning) antas vara 2, d.v.s. mängden tomkörning antas vara lika stor som mängden effektiv körning.

Tabell 4. Årstidsfaktor att användas i ekvation 1, 2, 3 och 4.

Spridningstidpunkt	Ekv. 1	Ekv. 2	Ekv. 3	Ekv. 4
Vårbruk		6 (0) ¹	3,5	0,6 6
Försommar	2,7	2	0,5 ²	1,5
Tidig höst	0	2	0,2	1
Sen höst	0	4	0,5	1,5

¹Vid plöjning efter spridning. ²0,3 för vall (spridning efter första skörd)

Beräkningar, ettåriga grödor

Beräkningarna utförs som en addition av förluster, beräknade med tre separata ekvationer. Ekvationerna är modifieringar av del 1, 2 och 3 i JORDPACK.

Skador av packning efter plöjning

I modellen antas ett linjärt samband mellan körmängd och skördeförlost. Storleken på skördesänkningen är främst baserad på resultaten i serierna R2-7113 och R2-7114. Till skillnad från JORDPACK antas även de ettåriga skördeförlosterna vara till viss del jordartsberoende, med en högre skördesänkning på jordar med hög lerhalt. Utgångspunkten är den genomsnittliga skördeförlusten vid körning vid tiden för vårbruk och på försommaren (4 resp. 1,8 % i genomsnitt för full och tom spridare, samtliga försök höstsäd och vårsäd). På grund av extrakörning antas standardekipaget ge en skördesänkning som är

50 % högre. Denna faktor är satt till 100 % för efterverkansskador (körsträckefaktor 2). Anledningen att faktorn sätts lägre för de ettåriga effekterna är att det är osäkert hur skörden påverkas kortsiktigt vid körning flera gånger i samma spår.

Ekvationen har följande utseende:

$$\text{Ekv. 1. Skördesänkning (\%)} = 4.3 \cdot 10^{-4} \cdot \text{lassvikt (kg)} \cdot (\lg \text{ ringtryck (kPa)} - 1,2) \cdot \text{årstidsfaktor} \cdot (0,5 + 0,0125 \cdot \text{lerhalt}) / \text{arbetsbredd (m)}$$

Skador av packning i matjord som finns kvar efter plöjning

Modellens beräkningar är i stort sett desamma som i del 2 i JORDPACK. Skördeförlusten beräknas som

$$\text{Ekv. 2. Skördesänkning (\%)} = 1,07 \cdot 10^{-5} \cdot \text{lassvikt} \cdot (\lg \text{ ringtryck (kPa)} - 1,2) \cdot \text{årstidsfaktor} \cdot (\text{lerhalt}) / \text{arbetsbredd}$$

Skador av packning i alven

Modellens beräkningar är en något förenklad version av del 3 i JORDPACK. Skördeförlusten beräknas som

$$\text{Ekv. 3 Skördesänkning (procent av en årsskörd)} = 7,5 \cdot 10^{-4} \cdot (\text{lassvikt (kg)} \cdot 1,25 / \text{antal axlar} - 6000) \cdot \text{antal axlar} \cdot (\lg \text{ ringtryck (kPa)} - 0,27) \cdot \text{årstidsfaktor} / \text{arbetsbredd}$$

Skördesänkningen i procent är en ackumulerad skördesänkning under de kommande 30 åren. I denna beräkning antas körsträckefaktorn vara 2, och att spridaren körs full halva sträckan på fältet. Detta ger en viss överskattning av alvpackningen. Å andra sidan görs beräkningen endast för den fulla spridaren, ej för tom spridare eller traktor.

Vid låg axelbelastning ger ekvationen ett negativt värde på skördesänkningen, som då sätts till 0.

Den totala skördesänkningen vid körning i ettåriga grödor fås genom att addera resultaten i ekvation 1, 2 och 3.

Skördeförluster i vall

Beräkningen av skördeförlusten i vall är baserad dels på beräkningarna i JORDPACK, dels på resultaten i serie R2-7303. Liksom i ekvationerna 1 och 2 antas ett linjärt förhållande mellan skördeförlustens storlek och kör mängden:

$$\text{Ekv. 4. Skördesänkning (\%)} = 4.3 \cdot 10^{-4} \cdot \text{lassvikt (kg)} \cdot (\lg \text{ ringtryck (kPa)} - 1,2) \cdot \text{årstidsfaktor} \cdot (0,5 + 0,0125 \cdot \text{lerhalt}) / \text{arbetsbredd (m)}$$

Det ekipage som användes i serie R2-7303 är något lättare än det som användes i R2-7113 och R2-7114. Det kördes dock endast med full last och effekten sätts därför lika med "standardekipaget" i ekvation 1. Vid beräkning av årstidsfaktorn har hänsyn tagits till att ca 35 % av ytan täcktes. Skador på grund av tomkörning antas öka förlusterna med 50 %, som

i ekvation 1. Trots att det egentligen inte finns någon grund i försöksmaterialet antas skadorna öka med ökande lerhalt. Denna bedömning kan antas vara rimlig, då skördesänkningar i vall oftast beror på direkta skador på grödan som är direkt kopplade till markfuktigheten.

För att beräkna totala skördeförlusten vid körning i vall adderas förlusterna i ekvation 3 och 4.

REFERENSER

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

Arvidsson, J., Håkansson, I., 1992. En beräkningsmodell för skördeförluster orsakade av jordpackning. Rapport nr 82, avd. för jordbearbetning, inst. för markv., SLU.

Arvidsson et. al., 1992. 1992 års jordbearbetningsförsök. Rapport nr 84, avd. för jordbearbetning, inst. för markv., SLU.

Arvidsson et. al., 1994. 1993 års jordbearbetningsförsök. Rapport nr 86, avd. för jordbearbetning, inst. för markv., SLU.

Håkansson, I., McAfee, M., Gunnarsson, S., 1990. Verkan av körning med traktor och vagn vid vallskörd. Resultat från 24 försöksplatser. Rapport nr 78, avd. för jordbearbetning, inst. för markv., SLU.