

3.4.2 Markfysikaliska undersökningar

Thomas Wildt-Persson och Jens Blomquist, SBU, Tomas Rydberg, SLU

Syfte

Syftet med undersökningarna var att utröna om det förelåg några markfysikaliska skillnader mellan plus- och medelgård i respektive par samt mellan gruppen plusgårdar och gruppen medelgårdar. Dessutom studerades markfysikaliska skillnader mellan gruppen högskördegårdar och gruppen lågskördegårdar efter en indelning mellan utvinnbar sockerskörd över eller under 9,67 ton/ha. Syftet var också att undersöka generella samband mellan skörd och olika markfysikaliska variabler.

Huvudhypotesen var att sockerbetan är känslig för markpackning och att den svaga skördeutvecklingen i vårt klimatområde delvis beror på markpackning i matjord, plogsula och alv.

Inledning

Markpackning innebär en reducering av markens porvolym. Stora porer, viktiga för luft- och vattentransport, drabbas dock först, och dessa trycks ihop till mindre porer. Man får således vid markpackning en förhållandevis högre andel små porer (Eriksson, 1985). De stora porerna utgörs oftast av maskgångar och gamla rotkanaler medan de små porerna beror på markpartiklarnas, mineralkornens eller aggregatens, arrangemang sinsemellan. Syretransporten sker huvudsakligen i de större, luftfyllda porerna. Diffusionen av syre sker t.ex. 10 000 gånger snabbare i luft än i vatten (Wiklander, 1976). För att rötterna ska kunna respirera krävs syre, dessutom måste koldioxid från rotandningen transporteras bort från marken så att inte toxiska nivåer uppnås. Således krävs luftfyllda porer för att god rottillväxt skall kunna uppnås.

För att god markandning ska kunna ske, krävs dessutom god vattentransport i marken. Vattengenomsläppligheten påverkas av såväl porernas kontinuitet som dess storlek. Vid varje tiofaldig ökning av porradien ökar vattengenomströmningen 10 000 gånger (Brady, 1990). Markens vattengenomsläpplighet styrs dels av kornstorleksfördelningen, den texturella genomsläppligheten, dels av markstrukturen, den strukturella genomsläppligheten (Andersson 1955). I denna studie kunde endast i några fall konstateras texturella skillnader mellan pargårdarna medan det i de flesta fall inte förelåg någon sådan skillnad (se kapitel 3.3 Åtgärder och jordar – sammanfattning 97-00) och då kan skillnader i vattengenomsläpplighet troligen hänföras till skillnader i markstruktur.

Socketbetan är en gröda som är känslig för packning och dålig markstruktur. Vid en undersökning i Storbritannien (Brereton et al, 1986) konstaterades att matjordspackning minskade såväl plantantal som total rotlängd och bladyta. Packningen i det här fallet innebar en ökning av skrymdensiteten i skiktet 0-10 cm från 1,07 g/cm³ till 1,48 g/cm³. Markpackning vid sockerbetsodling kan vara svår att undvika då många, och ofta tunga, överfarter krävs. Räknet som tonkm/ha, dvs maskinernas totalvikter multiplicerat med körsträckan per hektar, utsätts sockerbetsfälten för betydligt större packning än spannmålsgrödor (Henriksson & Håkansson, 1993). Såbäddsberedningen måste göras noggrant för att säkerställa groningen och uppkomst

vilket kan innebära många överfarter och därmed risk för markpackning. Undersökningar i Sverige har visat på kraftig minskning av vattengenomsläppligheten och ökning av skrymdensiteten i både plogsula och alv efter överfart med tung betupptagare (Arvidsson, 1997).

Material och metoder

I varje provyta togs tre cylinderprover ut på vart och ett av de tre djupen matjord, 15-20 cm, plogsula, 30-35 cm och alv, 45-50 cm djup. Således togs 9 cylindrar ut per djup på varje fält, totalt 27 cylindrar på varje fält. Cylindrarna var av stål och med en känd vikt och volym. Innerdiametern på cylindrarna var 72 mm och höjden var 50 mm. 1997, 1999 och 2000 grävdes tre gropar med jämna mellanrum längs diagonalen i provytan och i dessa togs cylinderproverna ut. 1998 grävdes endast en grop i mitten av varje provyta där alla cylinderproverna togs ut. Jorden grävdes undan till rätt djup och sedan drevs cylindrarna ner vertikalt i utvalt skikt. Stor noggrannhet tillämpades vid uttagningen så att jordprovet hade samma volym som cylindern. Cylinderproverna förvarades sedan i kylrum så att de inte skulle bli omgrävda av dagmaskar under tiden fram till laboratorieanalys. Dessa cylinderprover användes sedan för bestämning av vattenhalt vid olika vattenavförande tryck, vattengenomsläpplighet samt torr skrymdensitet.

Markfysikaliska undersökningar gjordes samtliga fyra år som parstudien pågick. 1997 undersöktes fält på 8 gårdar medan fält på 14 gårdar undersöktes under åren 1998 till 2000. Totalt gjordes alltså markfysikaliska undersökningar på 50 fält. Några mätningar gjordes bara 1997 och några mätningar kom till under de sista två åren, 1999 och 2000.

Torr skrymdensitet och porositet

Den torra skrymdensiteten, γ_t , bestämdes genom att cylinderproverna torkades i två dygn i 105°C och sedan vägdes. Stålcylinders volym var känd och den torra skrymdensiteten erhöles genom att vikten torr jord dividerades med cylinderprovets volym.

Kompaktdensiteten, γ_s , dvs det fasta materialets volym, bestämdes på jordprover uttagna i anslutning till cylinderproverna. Metoden finns beskriven av Andersson (1955).

Porositeten, n , beräknades utifrån den torra skrymdensiteten, γ_t , och kompaktdensiteten, γ_s , enligt formeln; $n = 100 \cdot (1 - \gamma_t / \gamma_s)$.

Vattenhalt vid olika vattenavförande tryck

För att studera porstorleksfördelning sattes jordproverna uttagna i matjord, plogsula och alv under olika vattenavförande tryck. Först vattenmättes proverna och därefter sattes de under ett vattenavförande (sugande) tryck på 5 cm vattenpelare. De större porerna, med en diameter på 0,6 mm eller mer, tömdes då på vatten. Efter att jämvikt ställt in sig och inte mera vatten lämnade proverna vägdes desamma och vattenhalten bestämdes. Proverna sattes därefter under ett vattenavförande tryck på 1 m. Porer med diameter 0,03 mm eller mer tömdes då på vatten. När jämvikt inställt sig vägdes ånyo proverna och vattenhalten bestämdes. År 2000 gjordes dessutom en mätning av vattenhalt vid 6 m dränering varvid porer 5 μm (0,005 mm) eller större tömdes på vatten. Metoden finns beskriven av Andersson & Wiklert (1972).

På de nivåer som cylinderprover togs ut togs också i varje provyta ut ett jordprov för bestämning av vattenhalt vid vissningsgräns. Dessa jordprover lufttorkades och sattes under ett vattenavförande tryck på 1,5 MPa, motsvarande 150 m vattenpelare. Metoden finns beskriven av Andersson & Wiklert (1972).

Med hjälp av vattenhalter vid olika vattenavförande tryck och total porositet kunde porstorleksfördelning beräknas.

Vattengenomsläpplighet

Efter att cylinderproverna använts för bestämning av vattenhalt vid olika vattenavförande tryck mättes den mättade vattengenomsläppligheten, k -värdet, på proverna. Metoden finns beskriven av Andersson (1955).

Vertikal infiltrationsförmåga, K_{v0-50}

Med hjälp av k -värden för matjord, plogsula och alv kunde vertikal infiltrationsförmåga, K_{v0-50} , beräknas. Variabeln ger information om markprofilens genomsnittliga vattengenomsläpplighet från markytan ner till 50 cm djup. K_{v0-50} beräknades som ett harmoniskt medelvärde av de olika skiktens enskilda vattengenomsläpplighet med hjälp av formeln:

$$K_{v0-50} = 50 \text{ cm} / (25 \text{ cm} / K_{\text{matjord}} + 10 \text{ cm} / K_{\text{plogsula}} + 15 \text{ cm} / K_{\text{alv}})$$

För en mer ingående förklaring till K_v hänvisas till Andersson (1953).

Statistisk analys

Vid den statistiska bearbetningen användes dataprogrammet SPSS for Windows version 10.1. För att konstatera om statistiskt säkra skillnader förelåg mellan plus- och medelgård användes metoden Student's t-test. De signifikansgränser som används i resultatdelen är:

°	$p < 0,1$
*	$p < 0,05$
**	$p < 0,01$
***	$p < 0,001$

Resultat

Torr skrymdensitet

I tabell 1 redovisas gårdsmedelvärden för skrymdensitet 1997/98-2000 parvis. I de fall signifikant skillnad (t-test på ytnivå) förelåg mellan plus- och medelgård har detta markerats på plusgården. I par 1 var skrymdensiteten i matjorden signifikant lägre på plusgården. I plogsula och alv var skrymdensiteten lägre på plusgården men skillnaden var inte signifikant. I par 2 var skrymdensiteten lägre på plusgården i samtliga undersökta skikt och i plogsulan och alven var skillnaden dessutom signifikant. I par 3 var skrymdensiteten i matjorden lägre på medelgården men i plogsula och alv hade plusgården den lägre skrymdensiteten. Inga skillnader var signifikanta i detta par. I par 4 var likaledes skrymdensiteten i matjorden lägre på medelgården medan skrymdensiteten i plogsula och alv var lägre på plusgården. Inga skillnader var signifi

kanta. I par 5 var skrymdensiteten i matjorden lägst på plusgården men lägst på medelgården i plogsula och alv. I alven var skillnaden signifikant. I par 6 var förhållandet detsamma som i par 5 med undantag av att det här var i plogsulan som skillnaden var signifikant, dock endast på 10 %-nivån ($p < 0,1$). I par 7 var skrymdensiteten i matjord något högre på plusgården, skrymdensiteten i plogsulan lägre på plusgården och skrymdensiteten i alven lägst på medelgården. Det fanns inga signifikanta skillnader i detta par.

Tabell 1. Torr skrymdensitet i matjord, plogsula och alv, parvis 1997/98 till 2000

		Skrymdensitet, g/cm ³		
		matjord	plogsula	alv
Par 1	plusgård	1,48**	1,69	1,65
	medelgård	1,55	1,70	1,67
Par 2	plusgård	1,46	1,62*	1,62*
	medelgård	1,50	1,70	1,69
Par 3	plusgård	1,48	1,67	1,66
	medelgård	1,47	1,69	1,69
Par 4	plusgård	1,52	1,69	1,65
	medelgård	1,49	1,69	1,68
Par 5	plusgård	1,51	1,72	1,66
	medelgård	1,57	1,69	1,63*
Par 6	plusgård	1,49	1,72°	1,67
	medelgård	1,53	1,69	1,65
Par 7	plusgård	1,58	1,68	1,64
	medelgård	1,57	1,74	1,63

° = sign. vid nivån 10%, * = sign. vid nivån 5 %, ** = sign. vid nivån 1 %.

Studerar man de enskilda åren var för sig kan man konstatera att i 14 av de 17 fall då statistiskt säkra skillnader förelåg i matjord, plogsula eller alv hade plusgården i paret den lägre skrymdensiteten. Endast i 3 fall var skrymdensiteten signifikant lägre på medelgården. De signifikanta skillnaderna var relativt jämnt fördelade över de tre djupen, se tabell 2. I den övervägande delen av fallen (matjord, plogsula och alv 1997/1998-2000 i 7 par), 58 av 75 fall totalt, kunde dock ingen signifikant skillnad konstateras. Signifikansnivån var då 5 %.

Tabell 2. Förekomst av signifikanta skillnader vad gäller skrymdensitet mellan plus- och medelgård årsvis 1997/98 till 2000 i matjord, plogsula och alv. Obs 4 par 1997 och 7 par 1998-2000

	Antal fall med sign skillnad - MATJORD / lägst på gårdstyp	Antal fall med sign skillnad - PLOGSULA / lägst på gårdstyp	Antal fall med sign skillnad - ALV / lägst på gårdstyp	Summa sign skillnader
1997	1 par/medel	3 par/plus	4 par/plus	8 fall av 12
1998	1 par/plus	1 par/plus	1 par/medel	3 fall av 21
1999	2 par/plus	1 par/plus	n.s/ -	3 fall av 21
2000	1 par/plus	n.s/ -	2 par/1 plus, 1 medel	3 fall av 21

n.s = inga sign. skillnader.

Om man betraktar plusgårdarna som en grupp, och medelgårdarna som en annan, samt jämför deras respektive medelvärden, visar sig såväl matjordens som plogsulans och alvens skrymdensitet vara signifikant på 10 %-nivån skild mellan grupperna. Medelvärdet för plusgruppen var lägre såväl i matjord som i plogsula och alv. Se tabell 3.

Tabell 3. Medelvärden för skrymdensitet i grupperna plus- och medelgårdar 1997/98-2000

Gårdstyp	Skrymdensitet g/cm ³			Signifikans vid T-test		
	matjord	plogsula	alv	matjord	plogsula	alv
Plus	1,50	1,68	1,65	°	°	°
Medel	1,52	1,70	1,67			

°= sign. vid nivån 10 %.

Om man oberoende av plus- och medeltyp i stället delar upp materialet i en högskördegrupp, med sockerskörd högre än 9,67 ton/ha, och en "lågskördegrupp", med sockerskörd lägre än 9,67 ton/ha, får man signifikant skillnad mellan grupperna vad gäller matjordens skrymdensitet. Gruppen med hög skörd hade ett lägre medelvärde än gruppen med lägre skörd. Se tabell 4.

Tabell 4. Medelvärden för skrymdensitet i hög- och lågskördegruppen 1997/98-2000

Gårdstyp	Skrymdensitet g/cm ³			Signifikans vid T-test		
	matjord	plogsula	alv	matjord	plogsula	alv
Hög skörd	1,49	1,69	1,66	*	n.s	n.s
Låg skörd	1,53	1,69	1,66			

*=signifikans vid nivån 5%, n.s=inga sign. skillnader.

Vattengenomsläpplighet

Vattengenomsläpplighet redovisas som medianvärden då fördelningen är mycket skev och variabeln ej kan anses vara normalfördelad. I tabell 5 redovisas gårdsmedelvärden för vattengenomsläpplighet, k-värde, 1997/98-2000 parvis. Värdet i tabellen anger medelvärdet av respektive års medianvärde för gården. I de fall signifikant skillnad (t-test på fältnivå) förelåg mellan plus- och medelgård har detta markerats på plusgården.

I par 1 var k-värdet i matjorden något högre på medelgården men klart högre på plusgården i plogsula och alv. I par 2 var k-värdet likaledes högst på medelgården i matjorden, men klart högre på plusgården i plogsulan. I alven var k-värdet klart högre på medelgården. I par 3 var k-värdet högt på båda gårdarna i matjorden, dock högst på plusgården. I plogsulan och framförallt i alven hade plusgården bättre vattengenomsläpplighet. I alven var skillnaden dessutom signifikant. I par 4 uppvisade båda gårdarna låga k-värden såväl i matjord som i plogsula och alv. Medelgården hade det högre k-värdet i matjord och alv medan plusgården hade högre i plogsulan. I par 5 var k-värdet högre på plusgården i samtliga skikt. I par 6 var k-värdet högt i matjorden på båda gårdarna, dock högst på plusgården. I plogsulan och i alven var k-värdet något högre på medelgården. I par 7 var k-värdet högst på plusgården i samtliga tre skikt, men skillnaderna var små.

Tabell 5. K-värde i matjord, plogsula och alv. Medelvärde av årsmedianer, parvis 1997/98 till 2000

		K-värde, cm/h		
		matjord	plogsula	alv
Par 1	plusgård	0,83	1,04	2,70
	medelgård	0,86	0,40	1,43
Par 2	plusgård	0,76	0,39	1,30
	medelgård	0,80	0,08	2,51
Par 3	plusgård	3,97	0,63	2,76*
	medelgård	3,00	0,12	0,58
Par 4	plusgård	0,56	0,53	0,55
	medelgård	0,98	0,18	0,71
Par 5	plusgård	0,70	0,47	1,60
	medelgård	0,66	0,18	0,43
Par 6	plusgård	6,38	0,53	0,95
	medelgård	4,21	0,58	1,05
Par 7	plusgård	2,77	0,45	0,79
	medelgård	2,59	0,35	0,61

* = sign. vid nivån 5 %.

Delar man upp materialet i en plus- och en medelgrupp visade sig plusgruppen ha högre vattengenomsläpplighet i såväl matjord, plogsula som alv. Skillnaden var dock inte signifikant i något av skikten. Se tabell 6.

Tabell 6. Medelvärden för k-värde i grupperna plus- och medelgårdar 1997/98-2000

Gårdstyp	k-värde cm/h			Signifikans vid T-test		
	matjord	plogsula	alv	matjord	plogsula	alv
Plusgårdar	3,12	1,15	2,04	n.s	n.s	n.s
Medelgårdar	2,49	0,83	1,49			

n.s = inga sign. skillnader.

Vid en uppdelning i en högskördegrupp, med en utvinnbar sockerskörd på över 9,67 ton/ha, och en lågskördegrupp, med en utvinnbar sockerskörd på mindre än 9,67 ton/ha, visade sig högskördegruppen ha högre k-värde i samtliga tre undersökta skikt. Skillnaden i matjordens k-värde var dessutom signifikant på 1 %-nivån. Se tabell 7.

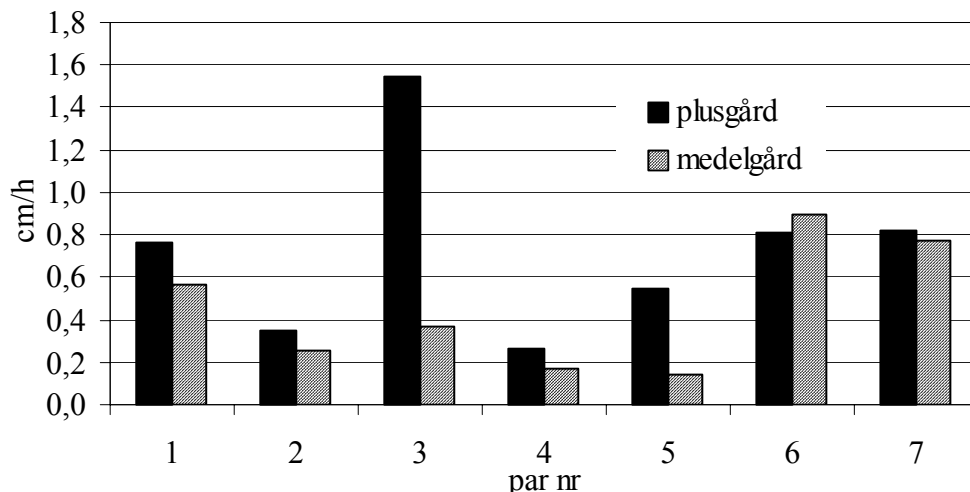
Tabell 7. Medelvärden för k-värde i hög- och lågskördegruppen 1997/98-2000

Skördegrupp	k-värde cm/h			Signifikans vid T-test		
	matjord	plogsula	alv	matjord	plogsula	alv
Hög skörd	3,69	1,11	1,80	**	n.s	n.s
Låg skörd	1,92	0,87	1,74			

** = signifikans vid nivån 1 %, n.s = inga sign. skillnader.

Vertikal infiltrationsförmåga

Det harmoniska medelvärdet av markprofilens vattengenomsläpplighet från 0 till 50 cm djup, K_{v0-50} , redovisas nedan i figur 1. Stapeln i figuren motsvarar medelvärdet av de 3 respektive 4 åren som markfysikaliska undersökningar genomfördes på gården. Plusgården hade här högre vattengenomsläpplighet än medelgården i 6 av 7 par.



Figur 1. Vertikal infiltrationsförmåga, K_{v0-50} , 1997/98-2000.

Vid ett t-test kunde signifikant skillnad mellan plus- och medelgård endast konstateras i par 5, där plusgårdens K_{v0-50} var signifikant högre än medelgårdens ($p < 0,05$). Ett test om differenserna i respektive par skilde sig från noll gav liknande svar. Differensen i par 5 var signifikant skild från noll på signifikansnivån 10 % ($p < 0,1$). På samma signifikansnivå var dessutom differensen i par 4 skild från 0, men i övrigt kunde inga statistiskt säkra skillnader konstateras.

Även som grupp sett hade plusgårdarna ett högre värde än medelgårdarna, 0,78 cm/h på plusgårdarna mot 0,43 cm/h på medelgårdarna. Skillnaden var dock inte signifikant. Test gjordes också på differenserna mellan plus- och medelgårdarna avseende K_{v0-50} . Resultatet visade att dessa differenser ej var signifikant skilda från 0.

Vid uppdelning i hög- och lågskördegrupp (över resp under 9,67 ton/ha) kunde konstateras att högskördegruppen hade ett medelvärde på 0,77 cm/h och lågskördegruppen ett medelvärde på 0,40 cm/h. Skillnaden var signifikant på nivån 5 %.

Porstorleksfördelning

Luftfylld porvolym vid 1 m vattenavförande tryck, 1997/98 till 2000 i matjord, plogsula och alv redovisas i tabell 8.

I par 1 var den luftfyllda porvolymen vid 1 m vattenavförande tryck högre på plusgården i matjord och plogsula medan förhållandet var det omvända i alven. I par 2 var den luftfyllda porvolymen i matjorden större på medelgården men störst på plusgården i plogsula och alv. I par 3 var förhållandet detsamma, större luftfylld porvolym på medelgården i matjorden men större luftfylld porvolym på plusgården i plogsula och alv. I par 4 var den luftfyllda por

volymen i matjorden något större på medelgården medan den var störst på plusgården i plogsula och alv. I par 5 fanns tydliga skillnader - signifikant större luftfylld porvolym på plusgården i både matjord och plogsula. I alven var skillnaden inte signifikant men plusgårdens värde var högre än medelgårdens. I par 6 var värdet på plusgården högre i matjord och alv men i plogsulan var medelgårdens värde det högre. I par 7 var medelgårdens värde högre i matjord och alv medan plusgårdens värde var högst i plogsula.

Tabell 8. Luftfylld porvolym vid 1 m vattenavförande tryck i matjord, plogsula och alv, parvis 1997/98 till 2000

		Luftfylld porvolym vid 1 m vattenavförande tryck, %		
		matjord	plogsula	alv
Par 1	plusgård	10,19	6,84	9,54
	medelgård	8,66	6,62	9,96
Par 2	plusgård	7,61	5,58°	7,50
	medelgård	8,23	3,98	7,00
Par 3	plusgård	10,35	7,00	8,88
	medelgård	10,56	5,21	6,94
Par 4	plusgård	7,39	5,31	8,38
	medelgård	7,49	5,04	6,05
Par 5	plusgård	12,76**	9,82*	11,49
	medelgård	7,85	7,30	10,29
Par 6	plusgård	12,04	6,17	10,60
	medelgård	11,04	6,47	9,59
Par 7	plusgård	8,84	6,83	7,95
	medelgård	9,59	6,33	10,07

° = sign. vid 10 % nivån, * = sign. vid 5 % nivån, ** = sign. vid 1 % nivån.

Vid uppdelning i plus- och medelgrupp visade sig plusgårdarna ha högre luftfylld porvolym i samtliga tre skikt. I plogsulan var skillnaden signifikant vid ett t-test på ytnivå. Medelvärden för respektive grupp redovisas i tabell 9.

Tabell 9. Luftfylld porvolym vid 1 m vattenavförande tryck i matjord, plogsula och alv i grupperna plus- och medelgårdar. Medelvärden 1997/98-2000

	Luftfylld porvolym vid 1 m vattenavförande tryck			Signifikans vid T-test		
	Matjord	Plogsula	Alv	Matjord	Plogsula	Alv
Plusgårdar	11,3 %	8,6 %	10,8 %	n.s	*	n.s
Medelgårdar	10,5 %	7,7 %	10,3 %			

* = signifikans vid nivån 5 %, n.s = ingen sign. skillnader.

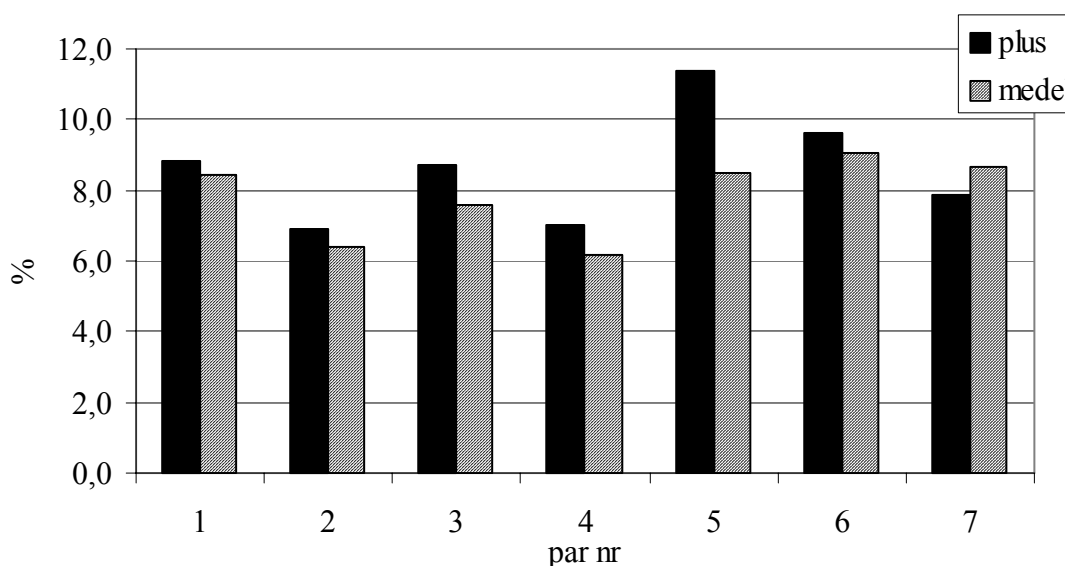
Vid uppdelning i gruppen hög- och lågskördegårdar visade sig högskördegruppen ha högre luftfylld porvolym främst i matjord men även i plogsula och alv. I matjorden var skillnaden signifikant på nivån 1 %. Resultaten redovisas i tabell 10.

Tabell 10. Luftfylld porvolym vid 1 m vattenavförande tryck i matjord, plogsula och alv i grupperna hög- och lågskördegrårdar. Medelvärden 1997/98-2000

Skördegrupp	Luftfylld porvolym vid 1 m vattenavförande tryck			Signifikans vid T-test		
	matjord	plogsula	alv	matjord	plogsula	alv
Hög skörd	10,7	6,5	8,9	**	n.s	n.s
Låg skörd	8,1	6,0	8,6			

** = signifikans vid nivån 1 %, n.s = ingen sign. skillnader.

Medelvärdet av profilens luftfyllda porvolym i de tre skikten matjord, plogsula och alv redovisas nedan i figur 2. I 6 av de sju paren var andelen luftfylld porvolym högre på plusgården. Endast par 7 avvek från mönstret. Skillnaden i par 5 var statistiskt säkerställd, i övrigt inga signifikanta skillnader.



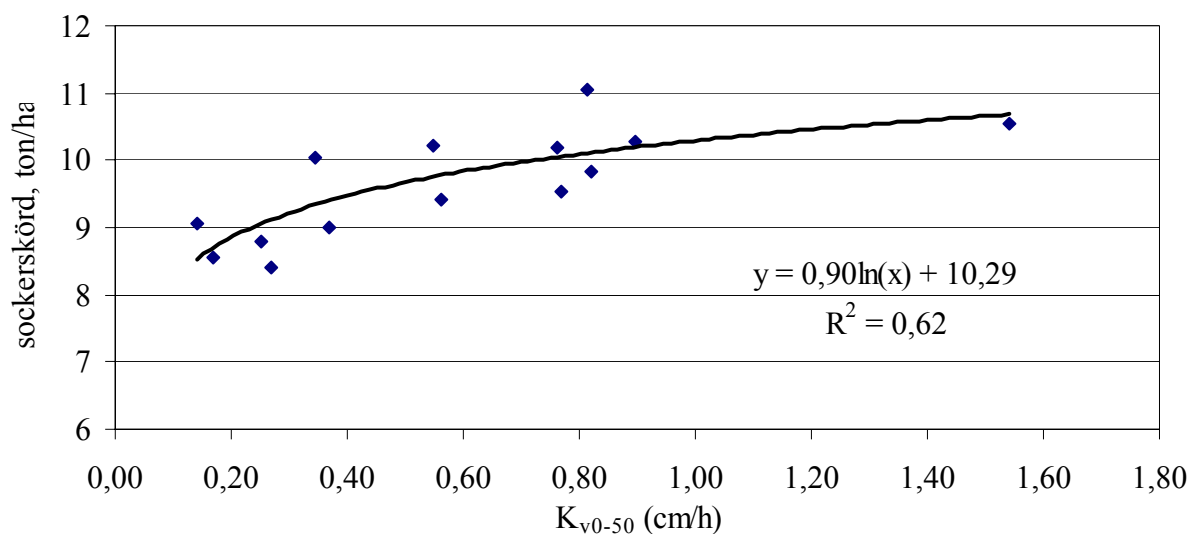
Figur 2. Profilmedelvärde av luftfylld porvolym vid 1 m vattenavförande tryck. 1997/98-2000.

Plusgårdarna som grupp sett hade ett profilmedelvärde av luftfylld porvolym på 8,5 % mot 7,7 % på medelgårdarna. Denna skillnad var dock ej signifikant. Vid uppdelning i hög- och lågskördegrupp visade sig högskördegruppen ha ett profilmedelvärde på 8,7 % mot 7,5 % i lågskördegruppen. Inte heller här var skillnaden signifikant.

Skördesamband

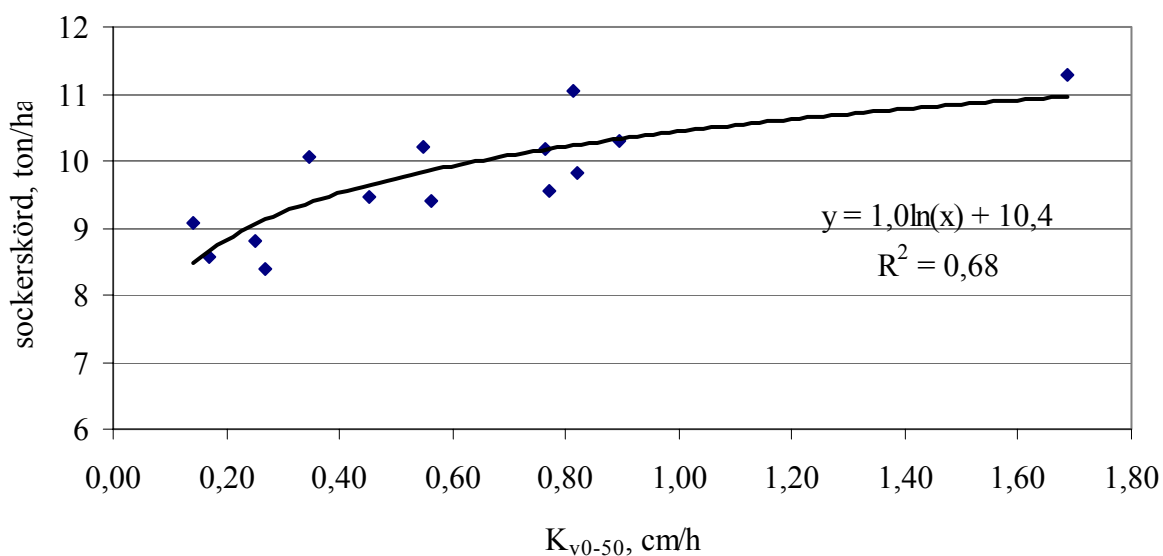
Mellan skörd och skrymdensitet i matjord, plogsula och alv kunde inget starkt samband be-läggas. Ej heller mellan skörd och ett medelvärde av skrymdensiteterna i ovan nämnda skikt.

Vid en regression visade sig K_{v0-50} vara väl korrelerad med den utvinnbara sockerskörden. Sambandet illustreras i figur 3.



Figur 3. Sockerskördens beroende av K_{v0-50} 1997/98 till 2000.

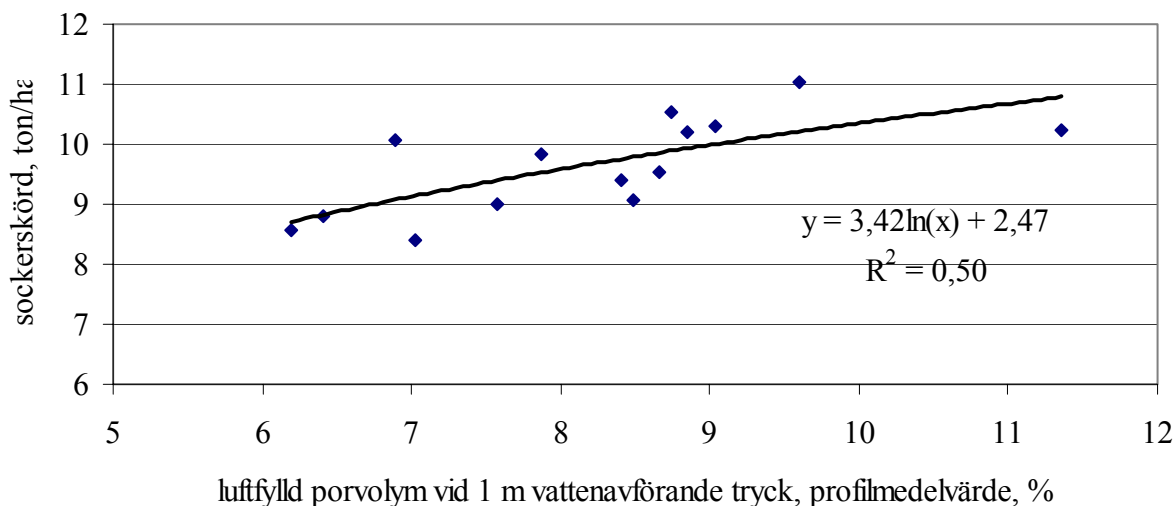
År 1998 drabbades par 3, fält 5 och 6, av en hagelstorm strax efter uppkomst. Skördarna blev relativt låga på båda gårdarna, sannolikt till följd av haglet som drabbade betorna i ett känsligt stadium. Om värdena 1998 i detta par tas bort från medelvärdesberäkningen erhålls figur 4 nedan. Sambandet blev då något starkare med ett R^2 -värde på 0,68.



Figur 4. Sockerskördens beroende av K_{v0-50} 1997/98 till 2000. Par 3 1998 borträknat.

De enskilda åren kunde ingen stark korrelation mellan K_{v0-50} och skörd observeras. Ej heller kunde någon vidare stark korrelation noteras mellan vattengenomsläppligheten i de tre undersökta skikten var för sig och skörd. Det var först vid beräkning av gårdsmedelvärden som det starka sambandet med skörd kunde observeras.

Vad gäller porstorleksfördelning kunde konstateras att visst samband förelåg mellan skörd och profilens luftfyllda porvolym vid 1 m vattenavförande tryck, dvs medelvärdet av luftfylld porvolym vid 1 m vattenavförande tryck i matjord, plogsula och alv. Sambandet redovisas i figur 5.



Figur 5. Sockerskördens beroende av den luftfyllda porvolymen vid 1 m vattenavförande tryck 1997/98 till 2000.

Diskussion

Vad gäller skrymdensitet kan konstateras att det i de flesta fall inte förelåg någon statistiskt säker skillnad mellan plus- och medelgård, men i de fall det gjorde det hade plusgårderna oftast den lägre skrymdensiteten. Som grupp sett hade plusgårdarna lägre skrymdensitet i samtliga undersökta skikt. Skillnaden var signifikant på 10 %-nivån. Uppdelat på högskördegrupp (>9,67 ton socker/ha) och lågskördegrupp (<9,67 ton socker/ha) var högskördegruppens matjordsskrymdensitet signifikant lägre än lågskördegruppens. I plogsula och alv var skrymdensiteten dock densamma i de båda grupperna.

Något samband mellan skörd och skrymdensiteten i skikten matjord, plogsula och alv kunde dock inte observeras. Torr skrymdensitet som mått på markstruktur har många gånger ifrågasatts då måttet ej ger någon information om hur en jordprofil fungerar. Även om en jord är tät kan det finnas stora gångar som gör att vatten- och lufttransport trots allt fungerar. Mer relevant som ett mått på en jords funktion är då den mättrade vattengenomsläppligheten. Mätningarna av vattengenomsläpplighet i respektive skikt - matjord, plogsula och alv - gav vid handen en något splittrad bild. Efter beräkning av den vertikala infiltrationsförmågan från 0 till 50 cm djup blev emellertid resultatet att det i 6 av 7 par var högre genomsläpplighet på plusgårderna. Denna variabel visade sig också vara väl korrelerad till skörd ($R^2 = 0,68$, se figur 4).

Par 6 avvek från mönstret att plusgårdarna hade högre vertikal infiltrationsförmåga. Medelgårderna i detta par hade dock, på två av de tre undersökta fälten, en mycket djupare matjord än plusgårderna. Antalet dagmaskgångar var också högre på medelgårderna, framför allt i alven (se kapitel 3.4.3 Profilbeskrivningar).

Den största skillnaden mellan plus- och medelgård, med avseende på K_{v0-5} , förekom i par 3, dvs gård 5 och 6. I detta par hade plusgården drygt fyra gånger högre vertikal infiltrationsförmåga. Anledningen till detta står inte att finna i den luftfyllda porvolymen (se figur 5. Luftfylld porvolym, profilmedelvärde). Troligen var det snarare porkontinuiteten som var god och kanske också att andelen makroporer, som exempelvis dagmaskgångar, rotkanaler eller stabila sprickor, var hög. Så kan vara fallet utan att för den skull den totala porositeten är hög eller ens den luftfyllda porvolymen är speciellt hög då redan så små porer som de med diametern 0,03 mm töms vid 1 m dränering.

Studerar man denna plusgård kan man konstatera att flerårig vall finns med ungefär vartannat växtföljdsomlopp samt att stallgödsel tillförs kontinuerligt. Vallen har positiva effekter på såväl markstrukturen som dagmaskpopulationen. Klöver som fanns med i vallarna efterlämnar stora kanaler liksom dagmaskgångar, vilket är mycket positivt för vattengenomsläppligheten. Stallgödseln som tillförs härrör i huvudsak från mjölk/nötproduktion och är halmrik. I kapitel 3.4.3 konstateras också att plusgården i detta par har betydligt fler maskgångar i profilen än medelgården. Medelgården, å sin sida, har ingen vall i växtföljden utan är en renodlad växtodlingsgård. Den använder även betydligt större maskiner, eftersom gården också bedriver maskinstationsverksamhet. Medelgården tillför ej heller någon stallgödsel till jorden.

I figur 4, där skörden avsätts mot K_{v0-50} , används medelvärdet för respektive gård under åren 1997 till 2000. Det är intressant att notera att det under denna period förekom både torra år, framförallt 1997, och fuktiga år, som 1998. Trots årsmånsvariationen har variabeln visat sig ha stark koppling till sockerskörden. Förklaring kan finnas i att hög vattengenomsläpplighet är positivt både under torra och fuktiga förhållanden. Hög vattengenomsläpplighet indikerar att det finns gott om större porer samt god kontinuitet i desamma. Detta ger rötterna möjlighet att snabbt ta sig ner på stora djup och på så sätt säkerställa vattenförsörjningen. Fuktiga år säkerställer hög vattengenomsläpplighet att vatten kan dräneras bort och att luftväxlingen i marken fungerar.

Hög vattengenomsläpplighet kan som ovan nämnts indikera såväl hög dagmaskpopulation som stor rotaktivitet i samtliga grödor i växtföljden. Dessa faktorer kan i sin tur bidra till ökad markbördighet vilket möjligen kan vara den mer direkta orsaken till den högre sockerskörden vid högre vattengenomsläpplighet.

Vertikal infiltrationsförmåga är ett intressant mått på en jords funktion, men problemet är den stora inomfältvariationen vilken gör statistisk bearbetning svår. Trots den starka normaliseringen, som sker vid beräkning av det harmoniska medelvärdet, tycktes inte variabeln bli normalfördelad. Fördelningen var fortfarande starkt förskjuten till vänster mot 0. Mycket stort antal upprepningar krävs för att ens närma sig normalfördelning i denna variabel. Önskvärt vore att mätningar hade gjorts med en apparat direkt i fält på de olika nivåerna, för att på så sätt ha kunnat utföra ett större antal mätningar och närma sig normalfördelning.

I par 5 fanns viss jordartsskillnad. Plusgårdens lerhalt i matjorden var i genomsnitt 13 % mot medelgårdens 17 %. I alven var plusgårdens lerhalt 15 % mot 19 % på medelgården. Detta kan till viss del förklara att plusgårdens luftfyllda porvolymen var signifikant högre än medelgårdens. Skrymdensiteten uppvisade däremot ingen konsekvent skillnad, vilket den borde ha gjort till följd av jordartsskillnaderna. Av denna anledning kan troligtvis viss del av skillnaden i luftfylld porvolym hänföras till andra orsaker som t.ex. bättre markstruktur på plusgården.

Variabeln luftfylld porvolym vid fältkapacitet, dvs 1 meters dränering, hade, liksom vertikal infiltrationsförmåga, relativt stark, om än svagare, koppling till sockerskörden. Att vertikal infiltrationsförmåga hade ett starkare samband med skörd kan troligen förklaras av att porernas kontinuitet är viktigare än totala andelen luftfyllda porer. För luftväxlingen mellan olika jordlager och markytan krävs kontinuerliga porer.

Antalet tonkm/ha som fälten på pargårdarna utsattes för specialstuderades i ett examensarbete 1999 (Jönsson & Nilsson, 2000 opubl.). Tonkm beräknades för alven och den packning som matjorden utsatts för räknades bort. Något samband kunde dock inte skönjas mellan antalet tonkm/ha i genomsnitt för växtföljden och porositeten i alven, vertikala infiltrationsförmågan, vattengenomsläppligheten eller den luftfyllda porvolymen. Någon korrelation mellan antalet tonkm/ha i förfrukten till sockerbetorna och ovanstående variabler kunde heller inte observeras. Detta tyder således på att det inte var vikten av fältmaskinerna allena som marken utsatts för som orsakade markpackning i alven på pargårdarna. Någon systematisk skillnad vad gäller plus- och medelgårdar kunde heller inte noteras. I fem av paren var antalet tonkm/ha i genomsnitt för växtföljden lägre på medelgården och i två av paren lägre på plusgården. Studerar man enbart plöjningstraktorn kan man notera att dess vikt är högre på medelgården i 5 par, lika i ett par samt högre på plusgården i ett par.

Slutsatser

- Oftast lägre skrymdensitet på plusgården, dock ej genomgående.
- Lägre skrymdensitet i matjorden i högskördegruppen än i lågskördegruppen.
- Högre vattengenomsläpplighet i matjorden i högskördegruppen än i lågskördegruppen.
- Bättre vertikal infiltrationsförmåga på plusgården i 6 av 7 par.
- Bättre vertikal infiltrationsförmåga i gruppen högskördegårdar än i gruppen lågskördegårdar.
- Stark koppling mellan skörd och vertikal infiltrationförmåga.
- Högre andel luftfylld porvolym på plusgården i 6 av 7 par.
- Samband mellan skörd och profilens medelvärde av luftfylld porvolym.

Referenser

- Andersson, S. 1953. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. IV. Om markens permeabilitet. Grundförbättring 3 årg 6.
- Andersson, S. 1955. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. VIII. En experimentell metod. Grundförbättring 8, spec nr. 2.
- Andersson, S. & Wiklert P. 1972. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XXIII. Om de vattenhållande egenskaperna hos svenska jordarter. Grundförbättring, 25.
- Arvidsson, J. (redaktör) 1997. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1996. SLU, Uppsala. Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen, 91.
- Brady, N. C. 1990. The nature and properties of soils. Tenth edition.
- Brereton, J. C., McGowan, M. & Dawkins, T. C. K. 1986. The relative sensitivity of spring barley, field beans and sugar beet crop to soil compaction. Field crops res. 13.
- Eriksson, J. 1985.

Henriksson, L., Håkansson, I. Soil management and crop establishment. The sugar beet crop - science into practise. Edited by D. A. Cook & R. K. Scott.

Jönsson, S., Nilsson, F. 2000. Markpackning i alven. Examensarbete i lantmästarprogrammet, opublicerat.

Wiklander, L. 1976. Marklära.