

# RAPPORTER FRÅN JORDBEARBETNINGEN

---

Swedish University of Agricultural Sciences,  
S-750 07 Uppsala  
Department of Soil and Environment



Nr 122

2012

Elisabeth Bölenius, Bo Stenberg, Johan Arvidsson  
och Gustav Rogstrand

**Platsspecifik snabbestämning av skörde-  
begränsande fysikaliska markegenskaper**



Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för mark och miljö

Rapporter från jordbearbetningen  
Nr 122, 2012

## **Platsspecifik snabbbestämning av skördebegränsande fysikaliska markegenskaper**

Denna rapport utgör en slutrapport för projektet Platsspecifik snabbbestämning av skördebegränsande fysikaliska markegenskaper, som finansierades av Stiftelsen Lantbruksforskning. Ett särskilt tack riktas också till Sören Vallgård, försöksvärd.



# Innehållsförteckning

INTRODUKTION	3
Projektets syfte	4
MATERIAL OCH METODER	5
Sensorer	5
EM-38	5
Plats	6
Jordprovtagning och analyser	6
Provtagningsdatum	8
Mätningar över hela fältet	8
Statistisk behandling	8
Multivariat utvärdering	8
RESULTAT	9
Klimat	9
Jordart	12
Struktur och penetrationsmotstånd	14
Skörd	15
Skördevariationer förklarade av markparametrar	16
Korrelation mellan penetrometermätningar och andra markparametrar inklusive vattenhalt 2004	22
Rötter	25
EM3-körningar och samband med mätningar i groparna	25
Samband mellan skörd och sensormätningar över hela fältet 2004	28
DISKUSSION OCH SLUTSATSER	33
REFERENSER	34



## INTRODUKTION

Syftet med precisionsodling är att plats-specifikt anpassa intensiteten i gjorda insatser efter markens och grödans behov. Skördevariationerna inom ett fält kan vara avsevärda: åtskilliga ton spannmål per hektar (Thylén, 1997). Grödans behov av växtnäringsämnen kommer att variera i motsvarande grad. Med kännedom om orsaken till variationen kan plats-specifika insatser spara resurser, effekter på miljön kan minskas samtidigt som skörde- och kvalitetsnivåer kan bibehållas eller till och med ökas (Robert, 1999).

För att det skall vara möjligt att framgångsrikt anpassa insatserna räcker det inte med att känna till variationer i grödan genom till exempel skördekartor eller N-sensormätningar. Dessa anger enbart det historiska utfallet, men säger ingenting om orsakerna. För att kunna göra en korrekt bedömning av begränsande faktorer på en viss plats, åtgärda dem långsiktigt samt anpassa sig efter rådande odlingspotential är det nödvändigt att känna till orsaken till variationerna. I det här sammanhanget har forskningen och utvecklingen av precisionsodlingskonceptet varit koncentrerat på att relatera skördevariationer till egenskaper i matjorden som mullhalt, näringsstatus, pH och mineraliseringspotential. Även om dessa faktorer är viktiga kan de bara förklara en del av variationerna i skördepotential. I början av nittiotalet genomfördes ett stort antal studier där man försökte förklara avkastningsvariationerna inom fält genom att studera variationer i växtnäringsstatus. Det visade sig ganska tidigt att dessa samband inte var särskilt starka. (Mallarino et al., 1999).

Relationer mellan skörd och markfysikaliska parametrar, speciellt variationer i alven, är mycket lite studerade. Inte desto mindre är det rimligt att anta att skördebegränsande faktorer i många fall står att finna bland fysikaliska parametrar, särskilt sådana som påverkar vattnets tillgänglighet och rötters penetrationsförmåga. Genom att

i större utsträckning fokusera på markfysikaliska parametrar i matjord och alv ökar förutsättningarna markant att förklara avkastningsvariationerna.

Vattentillgång är en av de mest begränsande faktorerna i växtproduktionen och det är därför naturligt att koppla skördevariation till markens förmåga att lagra och transportera vatten. Många forskare har också pekat ut markens innehåll av växttillgängligt vatten som den viktigaste faktorn (t.ex. Sinai et al., 1981; Sadler et al., 1995; Camp och Sadler, 2002). Vattentillgången påverkas också av topografin, med normalt bättre vattentillgång i lågt liggande partier av ett fält (Hanna et al., 1982), vilket också kan kopplas till en högre skörd (Wright et al., 1990; da Silva och Silva, 2008). Också markens förmåga att leda vatten har i vissa fall kunnat kopplas till variationer i skörd. I projekt 4T inom sockerbetsodling visade sig den vertikala infiltrationsförmågan vara en av de viktigaste skördebestämmande faktorerna (Berglund, et al., 2002). I en studie av Keller et al. (2010) kunde skördevariationer inom fält till viss del förklaras av skillnader i markens genomsläpplighet för marken.

Tillgången till vatten och näring kommer också att bestämmas av grödans rotutbredning. Inom markfysiken är det mycket vanligt att använda en s.k. penetrometer för att mäta markens hållfasthet och från detta uppskatta förhållandena för rottillväxt. Penetrometern består av en kon fäst på en stång. Kraften som krävs för att trycka ner konen i marken mäts sedan som en funktion av djupet. Ofta anges att när penetrationsmotståndet överstiger 2,5 MPa sker en stark begränsning av rottillväxten (Whalley et al., 2007; Groonevelt et al., 2001).

Mätning med penetrometer är förhållandevis enkelt att utföra jämfört med många andra markfysikaliska mätningar. Penetrationsmotståndet kan sägas utgöra ett slags sammanslagen effekt av olika markegenskaper. Det kommer i första hand att

bero på markens textur, skrymdensitet och vattenhalt, i litteraturen finns olika modeller beskrivna där penetrationsmotståndet kan beräknas från dessa parametrar (Whalley et al., 2007, To och Kay, 2005; da Silva och Kay, 1997). Sambandet mellan vattenhalt och penetrationsmotstånd är starkt vilket kan göra det svårt att jämföra värden mätta vid olika tillfällen och därmed olika vattenhalt. Det faktum att penetrationsmotstånd utgör en samlad effekt av olika egenskaper behöver dock inte vara en nackdel, utan kan istället göra den till ett känsligt instrument för att fånga skillnader i markens fysikaliska egenskaper (Hartge et al., 1985). Många forskare har också konstaterat samband mellan penetrationsmotstånd och skörd (t.ex. Busscher et al., 2001; Weber et al., 2004; Weber and Biskupsi, 2008; Koch et al., 2009; Ahmad et al., 2010)

Den vanligaste typen av penetrometermätning görs vertikalt där penetrometern trycks ner för hand. För att kunna göra mätningar av större områden har också utvecklats horisontella penetrometrar som dras av t.ex. en traktor vilket möjliggör mätningar on-line (Sun et al., 2004, Naderi-Boldaji et al., 2004). Förutom mätning med penetrometer finns också många exempel på on-linemätning av markens hållfasthet genom att mäta kraften för att dra någon form av redskap (t.ex. Adamchuk et al., 2004; Hemmat et al., 2008, Mouazen et al., 2005).

Orsaken till att fysikaliska egenskaper och vattendynamiken studerats i mycket liten utsträckning är att traditionella analysmetoder är mycket arbetsintensiva och därför kostsamma. Framförallt direkta mätningar av markens vattenhållande förmåga och genomsläpplighet är mycket arbetskrävande och dyra att utföra. För att kunna bestämma dessa egenskaper med rumslig upplösning till en rimlig kostnad är det därför mer realistiskt att använda pedotransferfunktioner, d.v.s. vissa markegenskaper uppskattas från andra egenskaper som är lättare och billigare att mäta, t.ex.

jordart. Det är därför mycket angeläget att finna snabba och kostnadseffektiva metoder att bestämma textur, kompakta lager i markprofilen, vattenhalt och organiskt material. Särskilt användbart vore det om mätningarna kunde göras under färd över fälten.

I detta projekt har vi använt olika metoder för snabbanalyser: NIR (nära infraröd reflektans), markens konduktivitet och markens penetrationsmotstånd. Alla dessa metoder är mer eller mindre relaterade till textur, mullhalt och vattenhalt. Ny utrustning har tagits fram med avsikt att on-line samtidigt analysera vattenhalt, textur och penetrationsmotstånd vid olika djup i profilen. Dessa mätningar har kompletterats med punktvisa mätningar med traditionella metoder för att kalibrera on-linemätningarna och för att förklara orsaksambanden mellan mätta parametrar och de faktorer som direkt begränsar skörden.

#### **Projektets målsättning**

1. Utveckla ett redskap som samtidigt gör NIR- och penetrationsmätningar on-line på olika djup i markprofilen, och att utvärdera dess potential att mäta textur, mullhalt, penetrationsmotstånd samt vattenhalt, vattenretention och ev. uttorkning
2. Relatera resultaten från snabbmätningarna och de traditionella mätningarna till variationsmönster i skörd
3. Utredda eventuella orsakssamband mellan:
  - mätta markegenskaper
  - rotdjup/vattenförhållanden
  - skördemönster



## MATERIAL OCH METOD

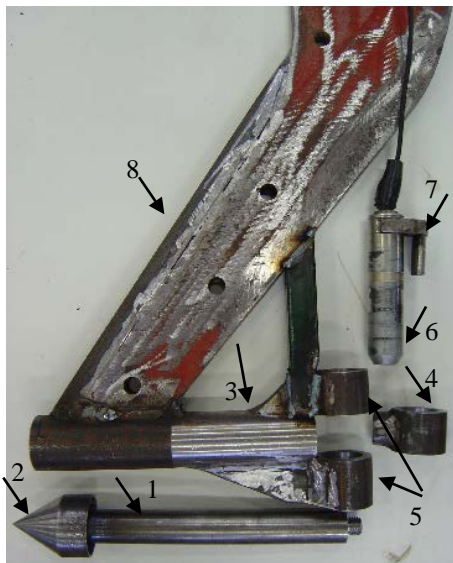
### Sensorer

En fyrskärig parallellplog modifierades för att bära tre plogkroppar. Dessa kroppar hade en tryckstång med konisk spets längst ner och tryckstången påverkade en kraftgivare, se Figur 1. Bosch kraftgivaren kunde mäta krafter mellan -25 kN och +25 kN. Tryckstångens spets hade 30° vinkel och en basdiameter på 6,3 cm. Instrumentet kunde mäta penetrationsmotståndet i marken på tre olika djup samtidigt (10, 30 och 50 cm) samt registrera hastighet och position som bestämdes med en Trimble SweEight GPS varje sekund. Instrumentet användes vid en hastighet på 1,5 m/s och var utrustat med en stenutlösningsmekanism och ett enkelt system som mätte faktiska arbetsdjupet varje sekund. 1000

Hz signalen som erhöles från kraftgivaren filtrerades till 1 Hz för att minska brusets. Mätinstrumentet utrustades även med ett NIR-instrument som placerades bakom konen som gick på 30 cm djup. Det visade sig vara svårt att få ner plogkropparna till det bestämda djupet vilket löstes genom att belasta ramen med traktorvikter (Figur 1 och 2).

### EM38

Markens elektriska konduktivitet mättes med hjälp av EM38. Ledningsförmågan i marken har visats vara beroende framförallt av vattenhalt och textur.



Figur 1. Detaljer till horisontell penetrometer. 1-tryckstång, 2-konisk spets, 3-hylsa, 4-kraftöverföringshylsa, 5-mothållshylsor, 6-kraftgivare, 7-låsstycke, 8-plogkropp.



Figur 2. Penetrometerutrustningen i fält.

### Plats

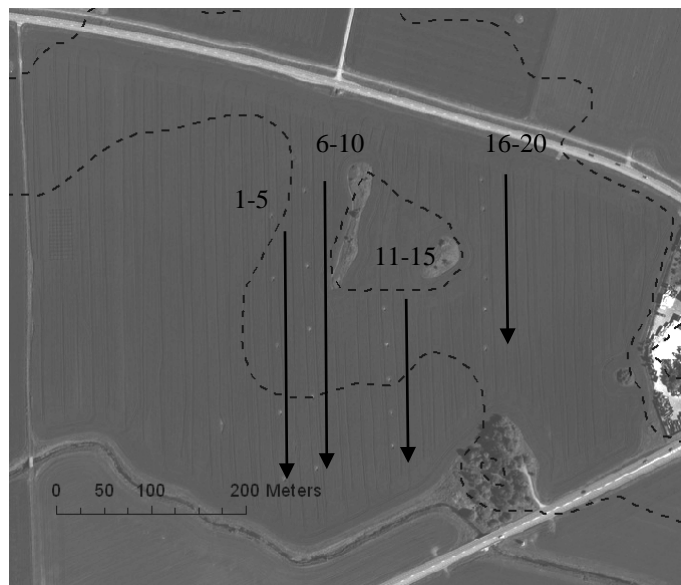
Fältmätningar och provtagning skedde på Kvarnbo gård utanför Uppsala (59°50'N 17°32'E) under växtodlingssäsongerna 2004 och 2005. Skörden mättes 1994, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000 och 2004. På grund av datorhaveri finns ingen skörd från 2005. Grödorna som odlades var vårraps 1994, havre 1996, höstvetete 1997, korn 1998, höstvetete 1999, korn 2000, korn 2004 och höstvetete 2005. Fältet har djupkultiverats sedan slutet av 80-talet.

### Jordprovtagning och analyser

Jordprovtagning gjordes i eller i anslutning till 20 gropar (1\*1\*1 m). De 20 groparna låg i fyra rader om fem gropar vardera, se Figur 3. Avståndet mellan groparna var 10 eller 20 meter längs raderna och 20 eller 40 meter mellan raderna. Positionen av dessa 20 gropar valdes ut från 80 tidigare provtagna punkter på fältet. Vid dessa punkter hade skörd och växtnäringsstatus mätts 1997 (Eriksson och Niklasson, 1998). De fyra raderna valdes baserat på data som indikerade skilda skördenivåer inom det valda området. Genomförda mätningar vid de 20 groparna visas i Tabell 1.

Tabell 1. Genomförda provtagningar

Parameter	Djup	Provtagningstillfälle
Kornstorleksfördelning	Fem nivåer ner till en meter	Våren 2004
Organiskt material	Fem nivåer ner till en meter	Våren 2004
Mättad hydraulisk konduktivitet	Fem nivåer ner till en meter	Våren 2004
Skrymdensitet	Fem nivåer ner till en meter	Våren 2004
Vattenhållande förmåga (0,5kPa)	Fem nivåer ner till en meter	Våren 2004
Vattenhållande förmåga (10kPa)	Fem nivåer ner till en meter	Våren 2004
Vissningsgräns (1500kPa)	Fem nivåer ner till en meter	Våren 2004
Kompaktdensitet	Fem nivåer ner till en meter	Våren 2004
Penetrationsmotstånd vertikalt	Varje centimeter ner till 50 cm	Två gånger 2004, en gång 2005
Vattenhalt	Tio nivåer ner till en meter	Fyra gånger 2004, två gånger 2005
Penetrationsmotstånd horisontellt	På 30 cm (+ på 50 cm en gång)	två gånger 2005 Två gånger 2004 och 2005



Figur 3. Foto av fältet med inritade höjdkurvor (- - -) och provtagningsplatserna längs fyra parallella linjer med fem gropar i varje rad, groparna kan ses som vita små prickar på flygfotot.

I varje grop togs ostörda jordprover ut med cylindrar (72\*50mm). Proven togs på 7.5, 27.5, 47.5, 67.5 och 87.5 cm djup med fyra prov per djup. Cylinderproverna användes till att mäta den mättade hydrauliska konduktiviteten, skrymdensiteten och vattenhållande förmåga vid två vattenavförande tryck (0,5kPa och 10kPa). Vattenhalten vid -1500 kPa vattenavförande tryck bestämdes på separata jordprover. Jordprover togs också för bestämning av textur, halt organiskt material och kompaktensitet.

Kornstorleksfördelningen och halten organiskt material visas i Tabell 4 och Tabell 5. Penetrationsmotståndet ner till 50 cm djup mättes två gånger 2004 och en gång 2005 med hjälp av en Eijkelkamp penetrometer (kondiameter 10 mm, konvinkel 30°). I samband med varje penetrationsmätning togs även jordprover för vattenhaltsbestämning ut ner till en meter. Mängden vatten som fanns tillgängligt räknades ut för varje tillfälle med hjälp utav vattenhalten vid det givna tillfället och vattenhalten vid vissnings-

gränsen (-1500kPa). Rottillväxten studerades tre gånger under 2004 och 2005.

Den mättade genomsläppligheten mättes med konstant tryckhöjd enligt Andersson, 1955. Skrymdensiteten räknades ut efter torkning av jordcylindrarna vid 105°C i 72 timmar. Totala porositeten räknades ut med hjälp av skrymdensiteten och kompaktensiteten. Vattenhållande förmåga vid de olika trycken bestämdes genom att väga cylinderproverna efter det att de uppnått jämvikt vid 0,5kPa och 10kPa. Kornstorleksfördelningen bestämdes med pipettmetoden (Robinson, 1922).

Rottillväxten studerades i groparna under säsongen genom att ett nytt jordlager blottades på en vägg varje gång. Denna vägg i gropen var täckt under hela säsongen för att förhindra uttorkning och ljuspåverkan. Under 2004 mättes längden på majoriteten av rötterna vid varje tillfälle liksom de rötter som växt djupast. Under 2005 räknades antalet rötter som korsade en 40 cm lång linje på 20, 40, 60 och 80 cm djup vid varje mättillfälle.

Skörden vid groparna räknades ut genom att interpolera fram ett värde med hjälp av skördedata runt groparna.

Väderdata har tagits från Uppsala väderstation (59°53'N 17°36'E).

### **Provtagningsdatum**

Cylinderproverna togs i maj 2004 då även jordproven för bestämning av kornstorleksfördelning, halt organiskt material och kompaktdensitet togs. Penetrationsmotstånd mättes i maj och augusti 2004 och i maj 2005. Rottillväxten mättes 28 maj, 15 juni och 7 juli 2004 och 26 maj och 27 juli 2005. Dessa tillfällen valdes för att få en bild av tillväxten tidigt på säsongen samt i mitten och slutet av den. I juni 2005 var marken för torr och hård för att rotstudierna skulle vara genomförbara.

### **Mätningar över hela fältet**

Skörd från 7 år (94, 96, 97, 98, 99, 00 och 04), horisontella penetrometermätningar från 4 tillfällen (våren 04 30 cm och 50 cm, hösten 04, våren 05 och hösten 05 på 30 cm djup) samt två EC-mätningar (horisontell och vertikal, våren 04) interpolerades till punkter i ett 10 X 10 m rutnät.

De olika mätningarna hade lite olika stor utbredning på fältet och framför allt penetrationsmätningarna täckte aldrig hela fältet. Alla mätningar täckte dock området kring groparna. Antalet observationer i analyserna varierade därför mellan 670 och 752 st.

### **Statistisk behandling**

Resultaten har analyserats genom parvisa korrelationer och enkel linjär regression med hjälp av JMP. Skörd, horisontellt penetrationsmotstånd och EC-mätningar interpolerades med ordinary kriging till en 10 m grid i GIS-programmet ArcGIS 10 (ESRI, <http://www.esri.com>) och expansionen Geostatistical analyst.

### **Multivariat utvärdering**

Avsikten med den multivariata utvärderingen var dels att få en översiktlig bild över strukturen i data, dvs. vilka provplatser som var mest lika samt vilka variabler som samvarierade, dels att se hur en uppsättning oberoende markparametrar kunde förklara variationen i en beroende variabel, t.ex. skörd och penetrationsmotstånd.

Principalkomponentanalys (PCA) användes för att förutsättningslöst studera strukturen i data. Genom att fokusera på gemensamma strukturer i data, dvs. likheter mellan olika variabler kunde dimensionaliteten minskas genom att ett stort antal variabler ersattes med ett fåtal latent variabler, s.k. principalkomponenter (PC). Genom att plotta detta fåtal komponenter mot varandra kan man i en s.k. scoreplot studera hur de olika provpunkterna skiljer sig från varandra, om det finns några grupperingar etc. I en loadingplot kan man på motsvarande sätt studera de ingående variablerna och hur de förhåller sig till varandra. Score- och loadingplotter kan även utvärderas gemensamt för att ge en övergripande bild av i vilka provpunkter de höga respektive låga värdena i variablerna återfinns. En variabel och en provpunkt som befinner sig en bit ut i samma kvartil innebär ett högt värde och motsatt om de befinner sig i motsatta kvartiler. Position och avstånd till origo har alltså betydelse.

Stegvis multipel linjär regression och PLS (Partial Linear Regression) användes för att beskriva dels variationen i skördar de olika åren, dels variationen i penetrationsmotstånd både inom och mellan mättillfälle och djup. Med båda metoderna ingår att empiriskt välja ut de viktigaste variablerna. Metoderna ger också information om ifall respektive variabel har ett positivt eller negativt inflytande på den beskrivande modellen.

## RESULTAT

Tabell 2 Förkortningar använda i resultatdelen

Förkortning	Förklaring/parameter	Förkortning	Förklaring/parameter
Le	Lera	Sk	Skörd
Sa	Sand	Ve	Vertikal
Si	Silt	Ho	Horisontell
Mu	Mullhalt	P	Penetrometer
Skr	Skrymdensitet	m	Maj
Paw	Växttillgängligt vatten vid fältkapacitet	a	Augusti
TotPor	Totala porositeten	EM38gr	grund mätning
100Por	Luftfyllda porositeten vid -10kPa	EM38dj	djup mätning
5Por	Luftfyllda porositeten vid -0,5kPa	75	7,5 cm djup
30	30 cm djup	275	27,5 cm djup
50	50 cm djup	475	47,5 cm djup

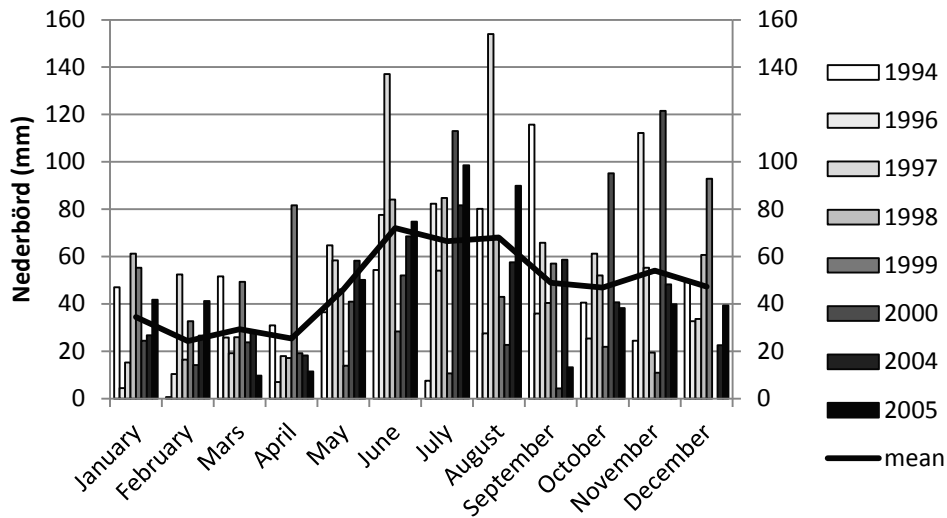
### Klimat

Temperatur från skördeåren plus 2005 visas i Tabell 3 och nederbörden visas i Figur 4. 1994 var det varmt i april och väldigt varmt och torrt i juli. 1996 var det varmt i april men kallt i juli. 1997 var det varmt under sommaren och mycket blött i juni och augusti. 1998 var ett kallt år med medelnederbörd. 1999 var det varmt med hög nederbörd i april, varmt i juni och juli

och väldigt torrt i juli. 2000 var det varmt i april och maj men kallare under sommaren. 2004 var något varmare än medeltemperaturen under 1950-2010 i april, maj och augusti men kallare i juni och juli. 2005 var också något varmare än medel i april och maj men runt medel i juni, juli och augusti. 2005 var blötare än 2004 i juni, juli och augusti men torrare i april, maj och september.

Tabell 3. Temperaturer i °C 1994 till 2004. Medel mellan 1950 och 2010 har tagits från Bergström och Moberg, 2002

Månad	Temp. (°C)								medel (1994-2005)	medel (1950-2010)
	1994	1996	1997	1998	1999	2000	2004	2005		
Jan.	-2,6	-4,6	-1,8	-0,4	-2,9	-1,3	-4,2	0,7	-2,2	-3,5
Feb.	-7,9	-7,8	-0,2	0,6	-2,6	-0,8	-1,6	-2,4	-3,3	-3,8
Mars	0,3	-1,1	2,1	-0,7	1,0	1,4	0,9	-2,8	-0,2	-0,6
April	6,8	5,7	4,0	4,0	6,9	6,5	6,7	6,3	5,7	4,5
Maj	9,9	8,4	9,4	10,2	9,5	12,1	10,7	10,5	9,9	10,2
Juni	13,8	15,0	16,4	12,8	16,5	13,9	13,9	14,3	14,7	14,8
Aug.	16,7	19,0	20,5	13,8	15,5	15,2	17,8	16,1	17,0	15,7
Sept.	11,6	10,0	12,5	12,2	14,7	10,6	12,8	13,0	12,4	11,2
Okt.	5,8	8,1	4,5	5,6	7,2	10,0	6,6	8,1	6,8	6,4
Nov.	2,1	2,6	1,4	-1,1	4,0	6,0	0,4	3,9	1,9	1,5
Dec.	1,5	-3,6	-0,8	-0,7	-2,6	1,9	0,9	-1,0	-1,1	-1,9

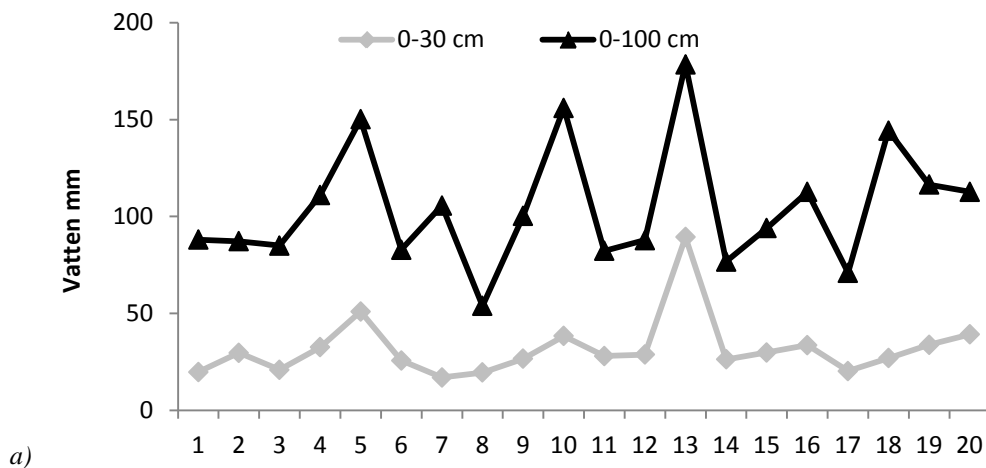


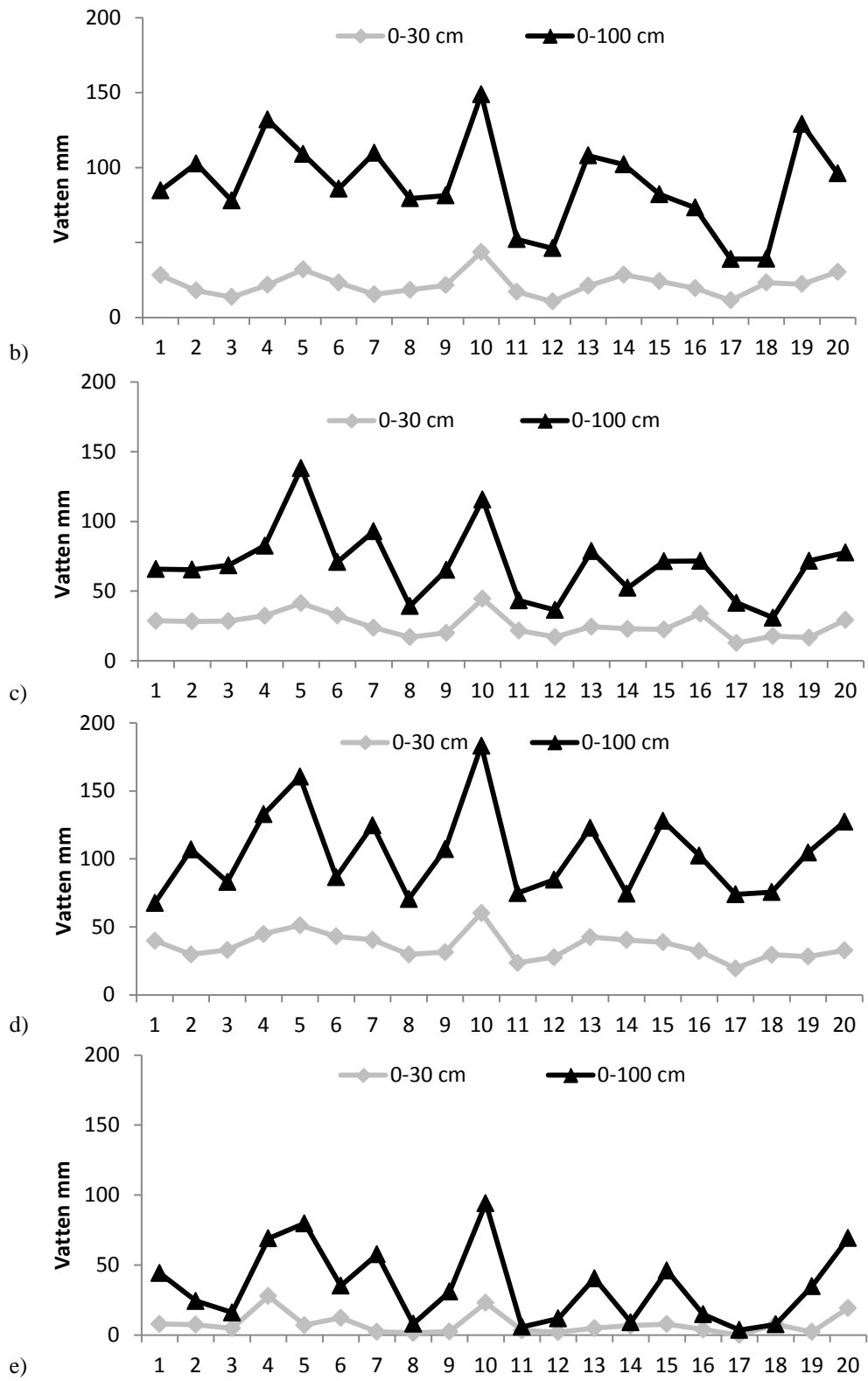
Figur 4. Nederbörd i mm under skördeåren plus 2005.

De 20 groparna hade också skilda vattenförhållanden 2004 och 2005. I Figur 5 visas mängden växttillgängligt vatten vid tre tillfällen 2004 och två tillfällen 2005. Noterbart är att grop 5 och 10 hade mycket vatten vid varje mätning och att grop 8, 11, 12 och 17 alltid hade lite vatten jämfört

med övriga gropar. Grop 13 hade mer vatten än groparna närmast vid varje mätning (grop 12 och 14) med mest växttillgängligt vatten av alla gropar i maj 2004. Generellt hade groparna som låg närmast diket, se Figur 3, mer vatten än de andra groparna i samma linje.

Figur 5 a-e. Mängden växttillgängligt vatten i profilen vid de 20 groparna under 2004 och 2005. a) Maj 2004 b) Juni 2004 c) Juli 2004 d) Maj 2005 e) Juli 2005.





### Jordart

Lerhalten varierar mellan 34 till 36 procent i matjorden och mellan 32 och 83 procent i alven, se Tabell 5. Mullhalten visas i Tabell 4. Provtagningsplatserna fem och tio

har i alven hög lerhalt, låg sandhalt och viss mullhalt vilket gör att dessa skiljer sig en del från övriga provtagningsplatser på fältet.

Tabell 4. Mullhalten i % på 0-10, 20-30, 40-50, 60-70 och 80-90 cm djup vid 20 provtagningsplatser

Provpunkt	Mullhalt Djup (cm)				
	0-10	20-30	40-50	60-70	80-90
1	2,8	2,6	0,3	0,0	0,0
3	3,2	2,5	0,5	0,0	0,0
4	2,6	2,3	0,5	0,0	0,0
5	5,3	4,2	1,4	-	0,0
6	2,7	2,2	0,9	0,4	0,0
7	3,1	3,0	0,6	0,2	0,0
8	2,6	2,4	0,0	0,0	0,0
9	2,0	1,2	0,0	0,0	0,0
10	5,4	4,4	0,0	0,0	0,0
11	2,6	2,2	0,1	0,0	0,0
12	2,7	2,1	0,0	0,0	0,0
13	2,0	1,5	0,0	0,0	0,0
14	2,3	2,4	0,0	0,0	0,0
15	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0
16	2,2	1,4	0,0	0,0	0,0
17	2,4	2,2	0,0	0,0	0,0
18	2,5	1,7	0,0	0,0	0,0
19	2,5	1,6	0,0	0,0	0,0
20	1,9	1,8	0,0	0,0	0,0



Tabell 5. Ler-, silt- och sandhalt i % på 0-10, 20-30, 40-50, 60-70 och 80-90 cm djup vid de 20 provtagningsplatserna

Provpunkt	Lera					Silt					Sand				
	Djup (cm)					Djup (cm)					Djup (cm)				
	0-10	20-30	40-50	60-70	80-90	0-10	20-30	40-50	60-70	80-90	0-10	20-30	40-50	60-70	80-90
1	46,1	44,7	55,7	63,4	78,1	35,7	34,7	38,8	33,9	21,0	18,2	20,6	5,4	2,9	0,9
2	40,4	40,8	38,4	45,3	46,9	39,9	39,0	41,9	40,4	48,7	19,7	20,2	19,7	14,3	4,2
3	42,8	43,4	43,1	42,8	50,4	39,0	38,4	41,8	52,7	46,9	18,1	18,1	15,2	4,6	2,5
4	36,6	37,0	40,2	42,3	36,1	44,2	44,1	46,6	50,2	54,7	19,3	18,9	13,3	7,6	9,3
5	56,2	55,9	53,5	-	40,5	40,6	41,2	40,2	-	51,1	3,1	3,0	6,2	-	8,4
6	42,8	43,3	52,7	59,5	65,4	38,8	38,1	33,5	36,1	30,3	18,6	18,6	13,6	4,4	4,3
7	51,2	50,9	68,3	49,9	45,6	34,5	37,3	29,2	49,6	53,9	14,4	11,9	2,6	0,6	0,4
8	54,0	57,5	63,6	63,8	53,8	37,4	34,7	35,4	35	42,9	8,5	7,8	1,1	1,2	3,4
9	45,5	43,8	37,7	31,8	35,5	39,0	41,4	45,8	53,3	57,6	15,5	14,8	16,6	14,8	6,9
10	54,5	53,6	36,3	37,7	33,2	36,5	37,0	43,7	52,9	53,5	9,1	9,5	20,0	9,5	13,2
11	50,2	49,1	68,4	71,8	69,2	33,3	34,7	28,5	27,6	30,1	16,4	16,3	3,2	0,7	0,7
12	52,4	54,5	78,4	66,7	60,3	33,9	31,9	20,5	33,1	39,2	13,7	13,5	1,2	0,3	0,5
13	34,2	35,5	41,5	35,2	34,5	43,9	41,8	40,7	36,5	50,8	22,0	22,6	17,8	28,3	14,7
14	42,8	40,8	44,9	57,7	83,3	41,4	42,7	51,4	39,5	15,6	15,9	16,5	3,6	2,8	1,1
15	41,5	41,0	42,3	34,4	36,2	42,7	44,0	44,5	54,3	58,2	15,8	15,0	13,3	11,2	5,6
16	52,5	58,3	57,5	59,5	69,1	34,4	32,0	40,8	40,1	30,4	13,1	9,7	1,8	0,5	0,6
17	52,3	53,0	76,5	69,8	67,8	32,6	33,1	21,7	29,7	31,8	15,1	13,9	1,9	1,7	0,4
18	46,4	48,9	67,4	68,9	65,1	35,6	34,2	30,9	30,4	34,3	18,1	16,8	1,6	0,8	0,5
19	51,9	57,9	61,8	59,0	56,2	34,4	32,0	37,5	40,7	43,2	13,8	10,0	0,7	0,4	0,5
20	41,4	40,4	37,7	37,1	38,8	31,8	33,3	30,7	33,4	52,9	26,8	26,3	31,7	29,6	8,3

### Struktur och penetrationsmotstånd

De markfysikaliska parametrar som mättes vid och i groparna visar på att skrymdensiteten är högst och porositeten, hydrauliska konduktiviteten och mängden växttillgängligt vatten vid fältkapacitet var lägst vid 27,5 cm. Medel och standardavvikelse för sex parametrar redovisas i Tabell 6.

Penetrationsmotståndet mättes vid groparna vid tre tillfällen (Tabell 7). Penetrationsmotståndet i maj 2005 var betydligt lägre än vid mätningarna under 2004. I maj 2004 var motståndet så högt i alven att det troligen påverkade rottillväxten negativt. I augusti 2004 var penetrationsmotståndet mycket över 2,5 MPa vilket kan antas begränsa rottillväxten starkt (Whalley et al., 2007, Groonevelt et al., 2001) men då hade rötterna redan växt genom.

Tabell 6. Medel och standardavvikelse för sex markfysikaliska parametrar

Parameter	Djup (cm)					
		7,5	27,5	47,5	67,5	87,5
Skrymdensitet ( $\text{g cm}^{-3}$ )	medel	1,39	1,53	1,47	1,47	1,45
	st.av.	0,09	0,10	0,08	0,06	0,09
( $\text{cm h}^{-1}$ )	st.av.	19,15	7,87	8,42	4,28	10,9
Växttillgängligt vatten vid fältkapacitet (%)	medel	31,87	21,74	25,21	25,72	23,16
	st.av.	6,05	7,99	7,47	10,37	8,17
Total porositet (%)	medel	48,04	44,14	46,83	46,76	47,65
	st.av.	3,20	3,92	2,89	2,34	3,29
Luftfylld porositet, 0,5 kPa (%)	medel	4,47	3,30	3,15	2,75	2,41
	st.av.	4,06	1,41	1,22	1,49	1,55
Luftfylld porositet, 10 kPa (%)	medel	9,73	7,37	9,00	7,35	6,18
	st.av.	5,91	2,23	2,31	2,75	2,36

Tabell 7. Medel och standardavvikelse för vertikalt penetrationsmotstånd i MPa i maj 2004, augusti 2004 och maj 2005 på fem djup (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 and 40-50 cm)

Penetrationsmotstånd	Djup, cm					
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Maj 2004, MPa	medel	1,47	1,65	2,30	2,72	2,48
	st.av.	0,23	0,30	0,37	0,41	0,35
Augusti 2004, MPa	medel	0,89	1,95	3,16	4,24	4,95
	st.av.	0,23	0,55	0,78	0,92	1,01
Maj 2005, MPa	medel	0,59	0,66	0,87	1,31	1,25
	st.av.	0,10	0,11	0,11	0,18	0,20

### Skörd

Skörden vid groparna visas i Tabell 8. I tabellen går att ana ett mönster med större skörd vid grop 1-10 än vid grop 11-20. Detta gäller alla år utom 2000 som nästan har motsatt mönster. Samma tendenser kan ses vid

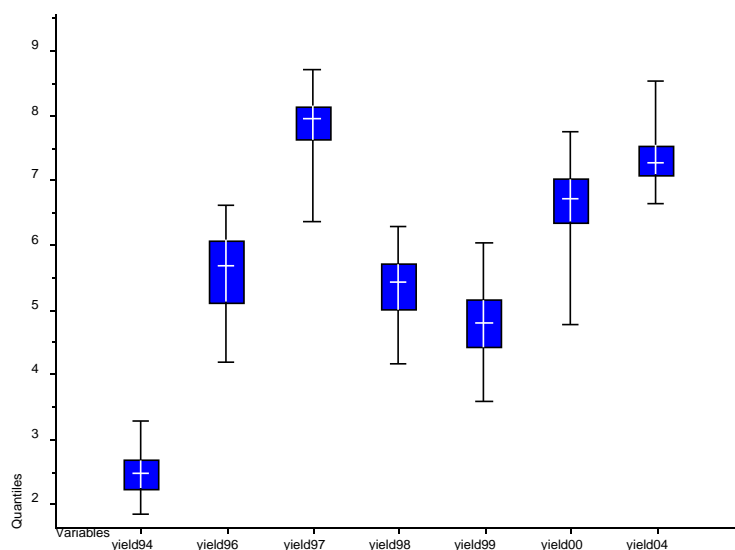
parvisa jämförelser mellan skördarna vid groparna (Tabell 9). Här kan ses att alla åren utom 2000 är positivt korrelerade till varandra även om sambandet är ganska svagt. 2000 däremot uppvisar en negativ korrelation till de övriga årens skördar.

Tabell 8. Skörd i kg/ha för groparna

Grop	Skörd (kg/ha)						
	Vårraps 1994	Korn 1996	H-vete 1997	Havre 1998	H-vete 1999	Korn 2000	Korn 2004
1	2610	6110	8330	5830	6010	6480	8330
2	2680	5000	8170	4970	5400	6940	8510
3	2540	6040	8140	5040	5010	6980	8410
4	2680	6130	7890	5030	5060	6290	7170
5	2780	6020	8690	5960	5760	4750	7590
6	2300	5740	7610	5460	4850	6610	7500
7	2190	4730	7970	4930	5270	6390	7470
8	2220	5680	8020	5300	4630	6780	7300
10	3270	6600	7850	6260	5300	4940	7480
11	2460	4200	8120	5430	4890	7290	7210
12	2420	4400	8230	5390	4650	7600	7080
13	1810	5410	7850	5670	3560	7720	6850
14	2030	5420	8040	5880	4710	7050	7230
15	2650	6540	7600	5540	5080	5670	7980
16	2740	5130	8010	4150	4140	6350	7170
17	2400	5280	7200	4460	4430	6900	6620
18	2070	4170	7320	4990	3950	6950	7020
19	2330	5680	7080	5400	4320	7480	6980
20	1870	5640	6350	5760	4200	5830	6780

I Figur 6 visas medel och variation av skörd i ton/ha. Kornåren 1996, 2000 och 2004 visar på generellt goda skördar med mycket stor

skörd 2004 då många fältmätningar utfördes. 1997 och 1999 odlades höstvetete med lägre skörd 1999 än 1997.



Figur 6. Skördar i ton/ha de olika skördeåren. Medianvärde, 25/75%-kvartilerna, samt max och min är markerade.

Tabell 9.  $r^2$ -värden från parvis korrelationsanalys av skördeåren. Enbart statistiskt signifikanta resultat visas.  $r^2$ -värden indikerade med ett minus är negativt korrelerade.

Variabel	Skörd					
	1994	1996	1997	1999	2000	2004
1996	0,20					
1997	0,20					
1999	0,38		0,33			
2000	-0,32	-0,35		-0,25		
2004	0,21		0,28	0,53		

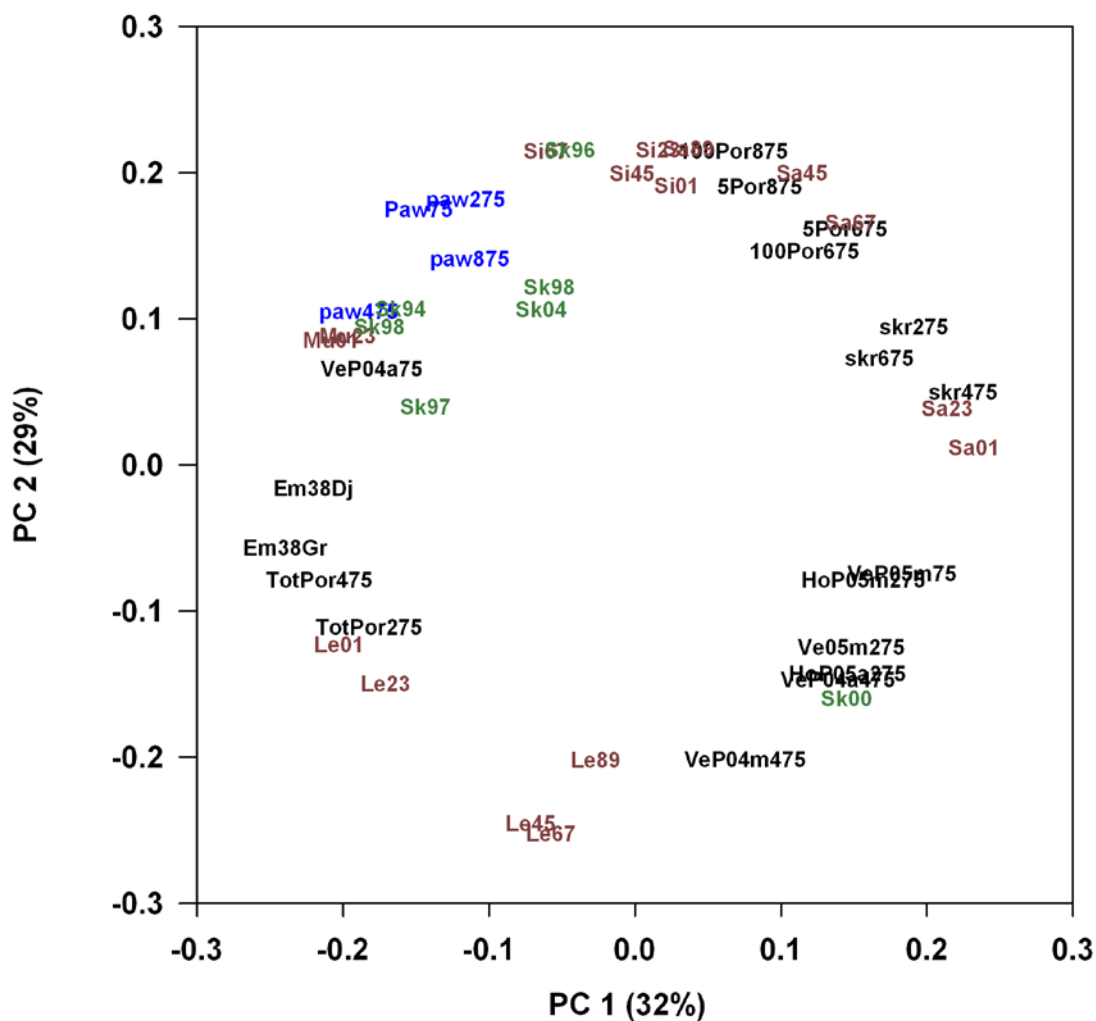
### Skördevariationer förklarade av markparametrar

Figur 7 visar resultatet av en principal-komponentanalys på samtliga analyser och fältmätningar utom rotförekomst och aktuella vattenhalter. För en förklaring av förkortningar, se Tabell 2. Efter en första körning rensades sådana variabler som inte förklarades till minst 50 % av analysen bort, med undantag av skördarna. Bland de bortrensade

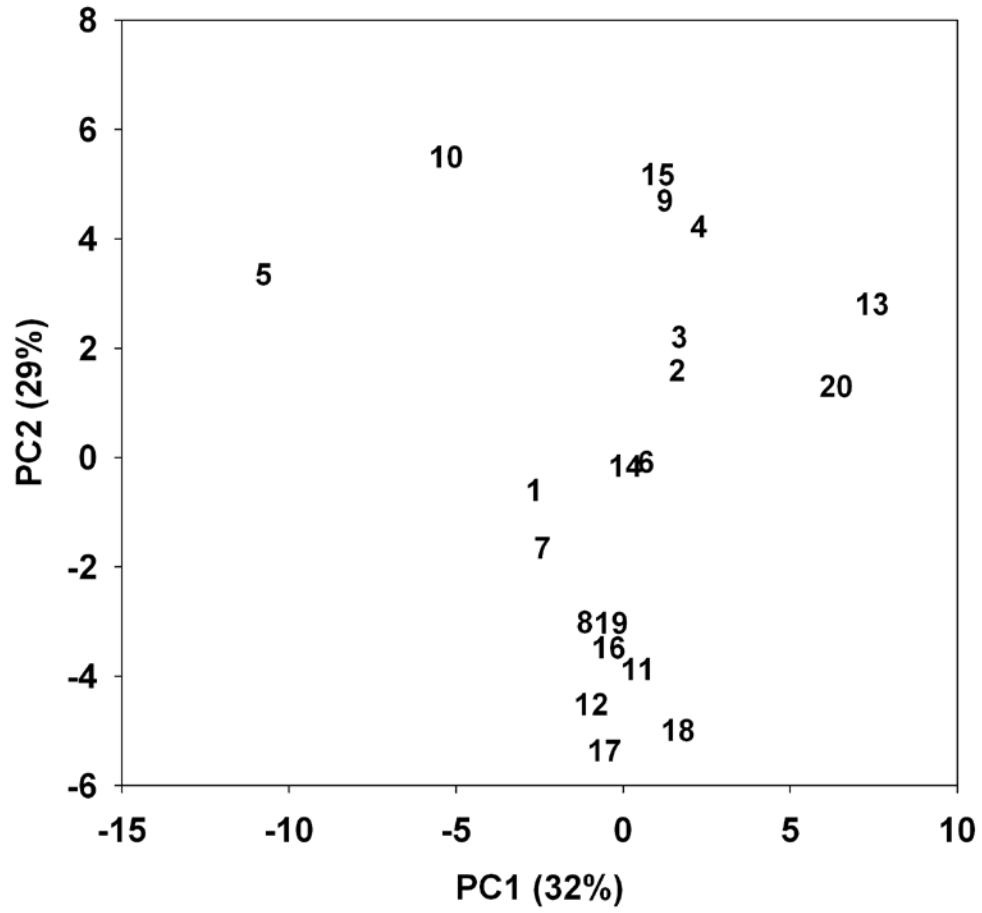
variablerna återfanns samtliga genomsläpplighetsanalyser. För det återstående datamaterialet förklarades 61 % av den totala variationen. Samtliga skördar utom skörden 2000 (Sk00) återfanns i den nedre vänstra kvartilen (Figur 7), men Sk97, Sk98 och Sk04 är relativt dåligt förklarade (närmare origo). Sk00 var relativt väl förklarad, men motsatt de övriga. De markparametrar som uppvisade bäst samband med skördarna var

samtliga återstående penetrometermätningar, trots att de uppvisade en relativt stor spridning sinsemellan. Med undantag av den vertikala mätningen vid 7,5 cm i maj 2004 hade de ett negativt samband till skörd. Positiva samband uppvisades av mullhalter (Mu), växttillgängligt vatten (PAW) samt silt (Si). Sand (Sa)- och lerhalt (Le), EM30-mätningar, skrymdensitet (Skr) samt poro-

sitet (Por) var relativt väl förklarade av PCA:n, men relaterade inte särskilt väl till skördarna. Dessa samband verifierades i allt väsentligt av de enkla korrelationerna i Tabell 9. Det skall dock noteras att samtliga korrelationer var relativt svaga. Endast några enstaka nådde över 50 %. Det var också tydligt att flest signifikanta korrelationer fanns till skördeåren Sk96, Sk99 och Sk00.



Figur 7 Loadingplot från PCA med de bäst förklarade parametrarna inklusive alla skördar. Strukturellrelaterade = svart, jordartsrelaterade = brunt, markvattenrelaterade = blått och skördar = grönt. Texturvariabler angivna i dm-intervall.



Figur 8. Score plot från samma PCA som i figur 7. Punkterna är identifierade med gropnummer.

Tabell 10.  $r^2$  värden från parvis korrelationsanalys av markparametrarna mot skörd. Enbart statistiskt signifikanta resultat visas.  $r^2$  värden indikerade med ett minus är negativt korrelerade

Variabel	År						
	1994	1996	1997	1998	1999	2000	2004
Le475		-0,45					
Mu75	0,40		0,20		0,35	-0,37	
Mu275	0,29		0,20	0,24	0,52	-0,38	
Mu475					0,36		0,31
Sa75	-0,27		-0,27				
Sa275	-0,21						
Sa475		0,21					
Si75		0,21					
Si275		0,24					
Si475		0,41					
Skr275			-0,36				
Skr475	-0,20				-0,21		
VeP05m75	-0,23				-0,55	0,30	
VeP05m275	-0,24	-0,23			-0,41	0,37	
VeP05m475		-0,42		-0,24		0,22	
VeP04a75	0,41		0,28			-0,27	
VeP04a475	-0,23	-0,27		-0,26	-0,33	0,33	
VeP04m275	-0,26	-0,29			-0,27	0,35	
VeP04m475	-0,32	-0,35			-0,21	0,41	
HoP04m30			0,29			0,26	
HoP04m50	-0,38		-0,23		-0,40	0,21	-0,25
HoP05m30		-0,22				0,50	
HoP05a30	-0,25	-0,29	-0,33		-0,39	0,20	-0,24
Paw75	0,29	0,23			0,29	-0,48	
Paw275		0,37			0,27	-0,48	
Paw475					0,22	-0,40	
100Por275						0,22	
100Por475		0,25					
TotPor275			0,31				
EM38dj					0,37	-0,20	
EM38gr	0,21				0,30	-0,20	

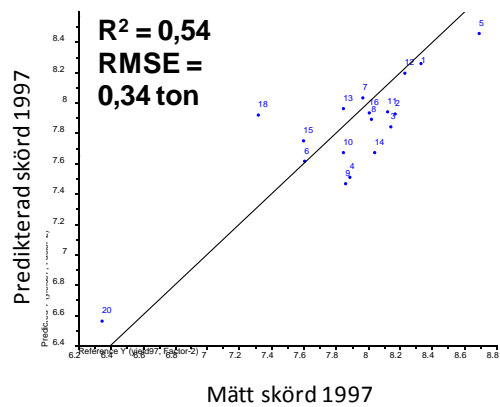
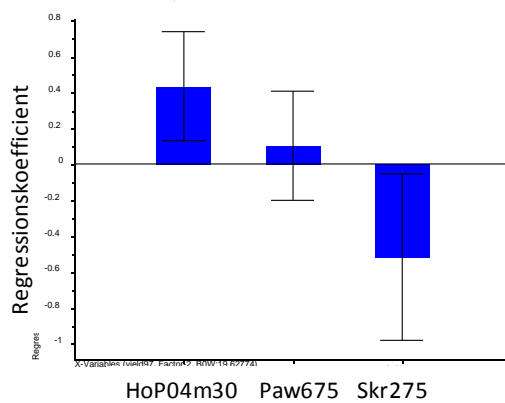
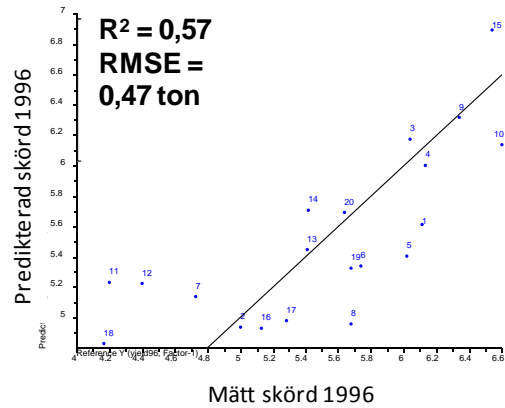
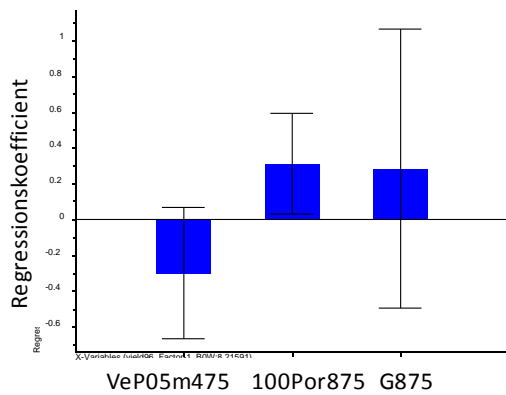
I scoreplotten i Figur 8 avviker grop 5 och 10 mot de övriga. I och med deras placering i den övre vänstra kvadranten, längre ifrån penetrationsmotstånden i Figur 7 innebär det lägre penetrationsmotstånd jämfört med övriga gropar. Med undantag av Sk00 innebär det också högre skördar än i de flesta övriga gropar. Vid grop 5 och 10 var sandhalten dessutom låg och mullhalten hög, liksom möjligheten att hålla mycket

växttillgängligt vatten. Grop 13 och 20 uppvisar ett motsatt förhållande. De övriga platserna graderar sig främst med avseende på hög och låg lerhalt i alven.

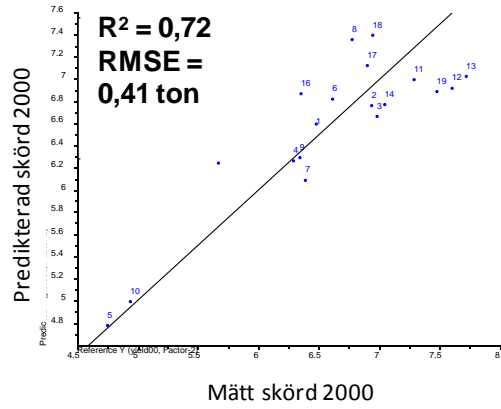
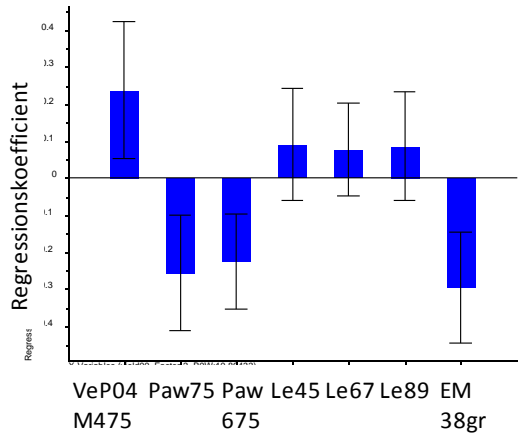
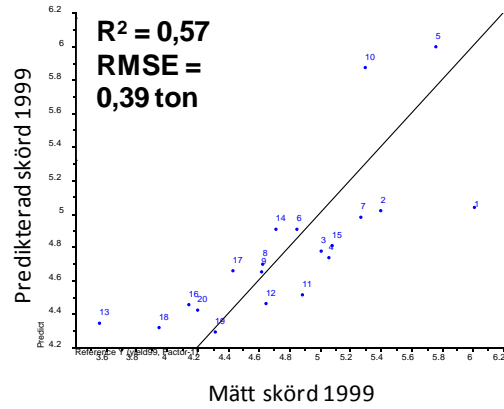
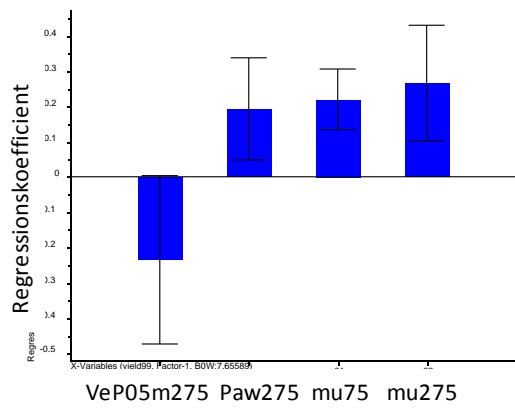
Möjligheten att beskriva skördarna de olika åren med hjälp av markparametrarna testades också med PLS. Eftersom de enkla korrelationerna mellan markparametrar och skördar var svaga (Tabell 10) och skördarna generellt

korrelerade dåligt till varandra lyckas detta i mycket varierande grad och vilka de viktiga parametrarna för att beskriva skörden var varierar mellan år. Skördeåren 94, 97, 98 och 04 hade mycket låg förklarandegrad, övriga

år gav relativt bra resultat med  $r^2$ -värden mellan mätta och predikterade skördar på mellan 0,54 och 0,72 (Figur 9).







Figur 9. PLS-kalibreringar av skörd SK96, Sk97, Sk99 och Sk00. Ingående parametrar och deras relativa betydelse för prediktionen till vänster och predikterad skörd mot mätt i fält till höger.

## Korrelation mellan penetrometermätningar och andra markparametrar inklusive vattenhalt 2004

Tabell 11.  $r^2$ -värden för samtliga penetrationsmotståndsvärden. Endast signifikanta resultat visas

	VeP04 m275	VeP04 m475	VeP04 a275	VeP04 a475	VeP05 m75	VeP05 m275	HoP04 m50	HoP05 m30	HoP05 a30
VeP04 m75	0,12	0,05	0,13	0,07	0,04				
VeP04 m275					0,12	0,29			
VeP04 m475	0,15				0,18	0,24			
VeP04 a75	-0,12	-0,07		-0,07	-0,21	-0,12	-0,32	-0,35	-0,34
VeP04 a275	0,21	0,07	0,10			0,10			
VeP04 a475	0,19	0,25	0,23		0,24	0,66			0,21
VeP05 m275					0,28				
VeP05 m475	0,23	0,56	0,14	0,25	0,20	0,19			0,32
HoP04 m50	0,23				0,30	0,25			
HoP04 a30			0,23	0,25	0,35	0,31	0,27	0,32	0,30
HoP05 m30	0,45				0,24		0,23		
HoP05 a30		0,27			0,49	0,32	0,38	0,29	

Samtliga signifikanta korrelationer mellan penetrationsmätningarna visas i Tabell 11. De flesta korrelationerna är positiva men mycket svaga. Endast en mätning uppvisade negativa korrelationer. De starkaste korrelationerna fanns mellan mätningar på större djup (30 och 50 cm djup). De fältmässiga mätningarna av penetrationsmotstånd korrelerade negativt till konduktivitetmätningarna.

Endast penetrometermätningarna på 30 cm i augusti 04 och i maj 05 var signifikant korrelerade till EM38.  $r^2$ -värdena var 31 och 33 för augusti 04 ställt mot den djupa

respektive grunda mätningen med EM38. Mätningen i maj 05 hade ett  $r^2$ -värde på 22 mot den grunda mätningen med EM38.

Korrelationerna mellan det vertikala penetrationsmotståndet och textur, mullhalt, vattenhalt, vertikalt penetrationsmotstånd och några markfysikaliska parametrar redovisas i Tabell 12, Tabell 13 och Tabell 14. Inga tydliga mönster framträder. Vattenhalten vid mätfallet har gett både positiv och negativ korrelation till penetrationsmotståndet, dock har ökad mängd växttillgängligt vatten överlag lett till lägre penetrationsmotstånd.

Tabell 12.  $r^2$ -värden i % från enkel linjär regression mellan penetrationsmotstånd, lerhalt och halten organiskt material i maj 2004, augusti 2004 och maj 2005. Endast statistiskt signifikanta värden redovisas. Minustecken framför  $r^2$ -värdet indikerar negativ korrelation

Penetrationsmotstånd (kPa)	Djup (cm)	Lera (%)	Organiskt material (%)
Maj 2004	40-50	-0,24	
Augusti 2004	0-10		0,43
Maj 2005	0-10	0,21	-0,28
	20-30		-0,34

Tabell 13.  $r^2$  värden från enkel linjär regression mellan vattenhalt och penetrationsmotstånd i maj 2004, augusti 2004 och maj 2005. Mätta djup var 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 och 40-50 cm. Enbart statistiskt signifikanta resultat presenteras

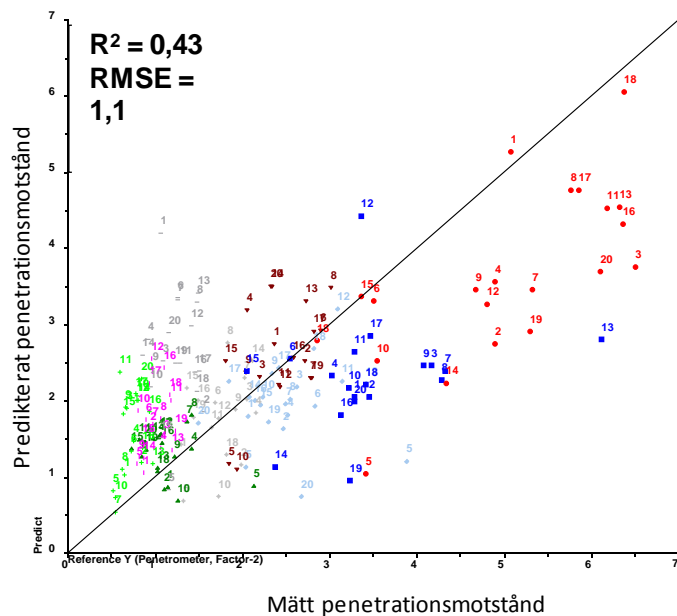
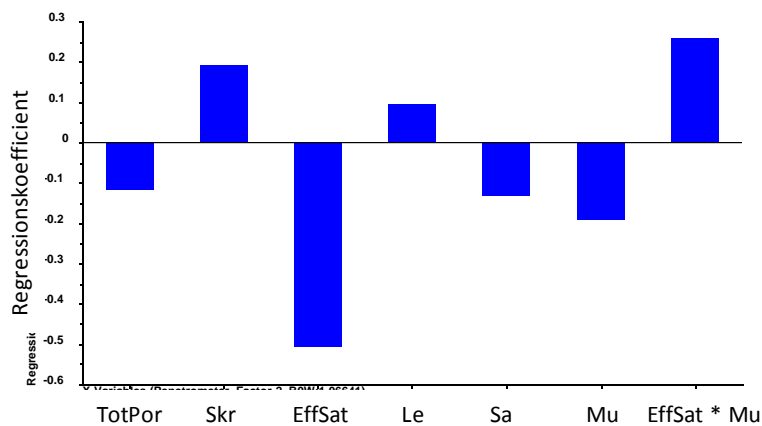
Penetrationsmotstånd	djup	Vattenhalt			Penetrationsmotstånd	
		2004	2004	2005	2004	2004
Augusti 2004	0-10		0,23			
	10-20	0,48				
	30-40				0,35	
	40-50				0,29	
Maj 2005	0-10			-0,22		
	30-40			-0,22	0,53	
	40-50				0,62	0,27

Tabell 14.  $r^2$ -värden från enkel linjär regression mellan penetrationsmotståndet i maj och augusti 2004 och maj 2005 och markfysikaliska parametrar. Enbart statistiskt signifikanta resultat redovisas

Penetrationsmotstånd MPa	djup	Skrymdensitet 7,5	Växttillgängligt vatten			Porositet 1 m 47,5	Porositet 5 cm 47,5
			7,5	27,5	47,5		
Maj 2004	27,5			-0,30			
	47,5			-0,23			
Aug. 2004	7,5	-0,21	0,40				
	47,5				-0,41		
Maj 2005	7,5		-0,30				
	47,5					-0,27	-0,25

Med PLS gick det relativt bra att prediktera det vertikala penetrationsmotståndet över samtliga mätningar. I Figur 10 är det tydligt att det i första hand är skillnaderna mellan de olika mätningarna och djupen och knappast

alls variationen inom fält som kan predikteras. Den enskilt viktigaste parametern för detta är också den effektiva vattenmättningen (EffSat) som varierar över tid och djup, kanske mer än inom fält.



Figur 10. Vertikalt penetrationsmotstånd på 7,5; 27,5 och 47,5 cm vid de tre mätta tillfällena 2004 och 2005. Överst ingående markparametrar på relevanta djup och tillfälle och deras relativa betydelse för prediktionen. Underst predikterat penetrationsmotstånd mot mätt. De olika färgerna representerar enskilda djup och mättillfällen. Även gropnummer är angivet.

### Rötter

Rotstudierna som utfördes under 2004 och 2005 var av en mer orienterande art vilket påverkar möjligheten att få starka korrelationer till andra parametrar. Dock tyder Tabell 15 på att ett högre penetrations-

motstånd inverkat negativt på rottillväxten. I Tabell 16 kan det ses att mängden växttillgängligt vatten är positivt korrelerat till rottillväxten men att det överlag inte funnits några starka korrelationer till mätta markfysikaliska parametrar.

Tabell 15.  $r^2$  värden från enkel linjär regression mellan penetrationsmotstånd i maj 2004 och rottillväxt under 2004. Enbart statistiskt signifikanta resultat redovisas

		Penetrationsmotstånd maj 2004				
Rötter	Djup (cm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
2004						
maj	0-30	-0,22		-0,23		
	30-100			-0,22	-0,29	-0,28
juni	0-30					
	30-100		-0,24	-0,34		
juli	0-30					
	30-100			-0,22		

Tabell 16.  $r^2$  värden från enkel linjär regression mellan rottillväxt under 2004 och 2005 och några markfysikaliska parametrar. Mätta djup var 10, 25, 50, 75 och 100 cm under 2005. 2004 mättes rottillväxten i matjorden och alven. Enbart statistiskt signifikanta resultat redovisas

		Lerhalt		Hydraulisk-konduktivitet	Växttillgängligt vatten	
Rötter	Djup (cm)	0-10	20-30	45-50	5-10	25-30
2005	juni					0,22
2004	maj					
	juni					
	30-100	0,32	0,22	-0,23		
	juli					
	0-30				0,43	0,26
	30-100			-0,17		

### EM38-körningar och samband med mätningar i groparna

EM38-mätningarna uppvisade förhållandevis starka samband med markfysikaliska parametrar vid och i groparna (Tabell 17). Porositet vid 5 cm vattenavförande tryck, skrymdensitet och sandhalt visar på ett

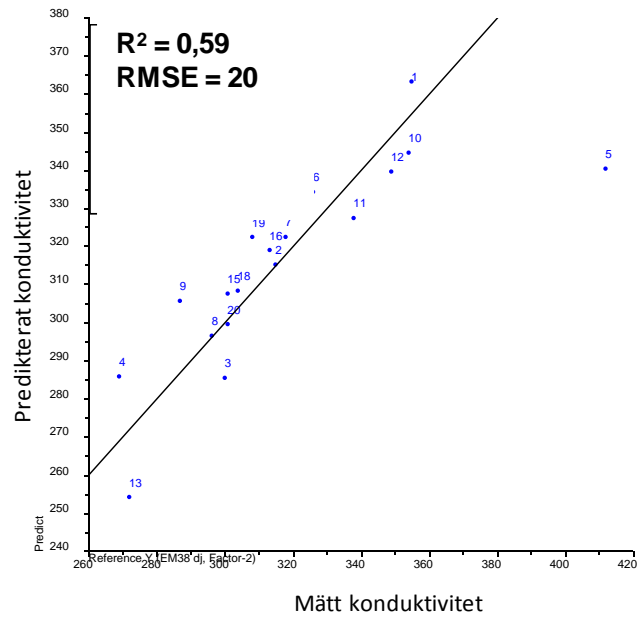
negativt samband med EC-mätningarna medan lerhalt, mullhalt, växttillgängligt vatten och porositet visar på positiva samband med EC-mätningarna. Starkaste sambanden fanns mellan den grundare mätningen av EC oberoende av djupen för de markfysikaliska parametrarna.

Tabell 17.  $r^2$ -värden från enkel linjär regression mellan EC-värden och markparametrar vid groparna

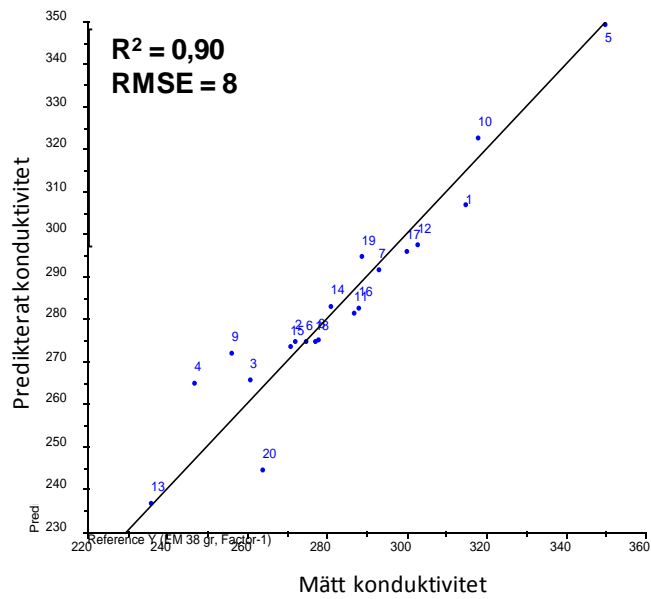
Variabel	EM38	
	djup	grund
Le75	0,40	0,65
Le275	0,24	0,47
Mu75	0,55	0,48
Mu275	0,49	0,45
Sa75	-0,36	-0,51
Sa275	-0,24	-0,42
Sa475		
Skr275	-0,29	-0,42
Skr475	-0,53	-0,70
VeP05m75	-0,27	-0,28
VeP05m275	-0,24	-0,22
VeP04m75	-0,32	-0,33
VeP04m275		-0,22
VeP04a75	0,22	0,24
VeP04a475	-0,21	
Paw75	0,21	
Paw475	0,37	0,39
05Por475		-0,23
TotPor275	0,24	0,39
TotPor475	0,48	0,70

Gemensamt i en PLS kunde jordartsp parametrar och fysikaliska parametrar prediktera konduktiviteten mycket väl (Figur 11). Grop fem underpredikterades dock i den djupa mätningen. De viktigaste parametrarna var att hög lerhalt, mullhalt och porositet och lågt

penetrationsmotstånd innebar hög konduktivitet. D.v.s. faktorer som innebär en högre vattenhållande förmåga. Det gick inte att förbättra kalibreringarna genom att lägga till de aktuella vattenparametrarna.



a)



b)

Figur 11. Djup (a) och grund (b) konduktivitet predikterat av jordart och fysikaliska markparametrar.

### Samband mellan skörd och sensor-mätningar över hela fältet 2004

Sambanden mellan de olika skördeåren var överlag positiva (Tabell 18). År 2000 skiljde sig från övriga år även när det gällde samband med penetrationsmotstånd och EC-mätningarna (Tabell 19). Generellt var det horisontella penetrationsmotståndet negativt korrelerat till skörden med starkast korrelationer för mätningen på 50 cm i maj 2004. Mätningarna på 30 cm i maj visade dock på svaga samband. Den elektriska

konduktiviteten visade inte på några starka samband med skörd även om de alla var positiva. Starkast samband fanns med skörden 1999. De motsatta förhållanden som fanns mellan skörd och penetrationsmotstånd och EC sett till hela fältet visade sig även när EC och penetrationsmotståndet jämfördes med varandra (Tabell 19). Penetrationsmotståndet var negativt korrelerat med EC, även här med ett något starkare samband för den grundare mätningen med EM38.

Tabell 18. Samband mellan skörd och mätningar av horisontellt penetrationsmotstånd och EC. Endast signifikanta resultat redovisas. Ett minus framför  $r^2$ -värdet indikerar ett negativt samband.

Variabel	Skörd						
	1994	1996	1997	1998	1999	2000	2004
Sk96	0,08						
Sk97		0,16					
Sk98	0,09	0,14	0,02				
Sk99	0,12	0,18	0,40	0,11			
Sk00	-0,02			-0,01	-0,01		
Sk04	0,15	0,18	0,25	0,16	0,28		
EM38gr	0,06	0,02	0,07	0,01	0,25	0,09	0,09
EM38dj	0,04	0,05	0,14	0,01	0,30	-0,05	0,14
Ho04m30				-0,02		0,09	
Ho04m50	-0,44	-0,13	-0,24	-0,06	-0,56	0,22	-0,30
Ho04a30	-0,26	-0,13	-0,07	-0,16	-0,34	0,27	-0,21
Ho05m30	-0,04	-0,05		-0,03	-0,01	0,03	-0,08
Ho05a30	-0,19	-0,04	0,13	-0,06	0,00	0,03	

Tabell 19. Samband mellan horisontellt penetrationsmotstånd och EC. Endast signifikanta resultat redovisas. Ett minus framför  $r^2$ -värdet indikerar ett negativt samband.

Variabel	Penetrationsmotstånd				
	Ho04m30	Ho04m50	Ho04a30	Ho05m30	Ho05a30
Ho04m50					
Ho04a30	0,05	0,43			
Ho05m30		0,14	0,13		
Ho05a30		0,28	0,10	0,03	
EM38gr		-0,20	-0,16	-0,03	-0,03
EM38dj		-0,16	-0,14	-0,03	-0,01



Resultaten för den multivariata utvärderingen vad gäller sambanden mellan dragkraftsmotståndsmätningarna och skördarna liknar resultaten från groparna (Figur 12). Som mest förklarar dragkraftsmätningarna 66 % av variationen i skörd (skörd 99). Lägg EC-mätningarna till blir förklaringsgraden hela 70 %. Förutom för skörden 99 gav det ytterst lite att inkludera EC-mätningarna (som inte korrelerade speciellt bra med skörden) varför EC-mätningarna inte är inkluderade i modellerna som visas i figurerna nedan (utom skörden 1999). Åren 96, 97 och 98 förklarar dragkraftsmätningarna bara mellan 13 och 27 % av variationen i skörden. Oftast visade sig den djupa dragkraftsmätningen från 2004 (v0450) vara den som hade störst inflytande på modellerna, dock inte för skörden år 2000.

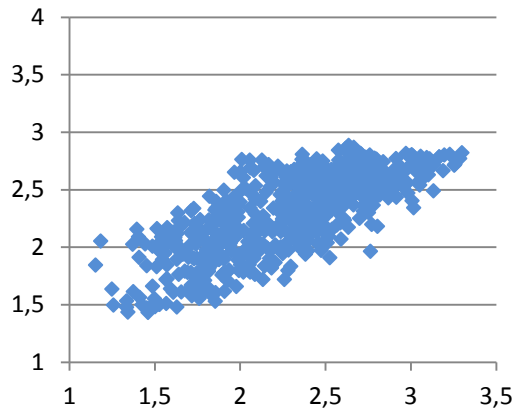
Precis som för groparna har dragkraftsmotståndet ett negativt samband med

skörden, med undantag för skörden 2000 där det motsatta gäller. Till skillnad från groparna där bara ett fåtal gropar står för sambanden är bilden oftast mer kontinuerlig för fältmätningarna.

Generellt kan det sägas att dragkraftsmätningarna är bättre på att förklara låg skörd jämfört med hög skörd, d.v.s. de kan förklara skördebegränsande faktorer (eller snarare faktorer som under vissa förhållanden är skördebegränsande). Ses det till Figur 13 klarar modellerna nästan aldrig att prediktera de högsta skördarna. Det är också framför allt det som förbättras 1999 när EC-mätningarna läggs till i modellen.

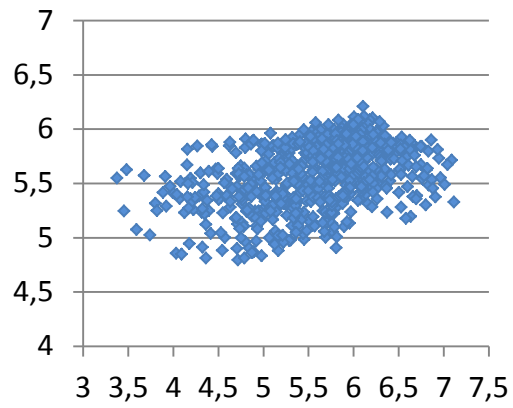
Dragkraftsmätningarna kunde förklara mer av skördevariationerna än EC-mätningarna på det här fältet (och de här åren). Dragkraftsmätningarna kunde förklara drygt 30 % av variationen i EC-mätningarna (Figur 13).

### 1994



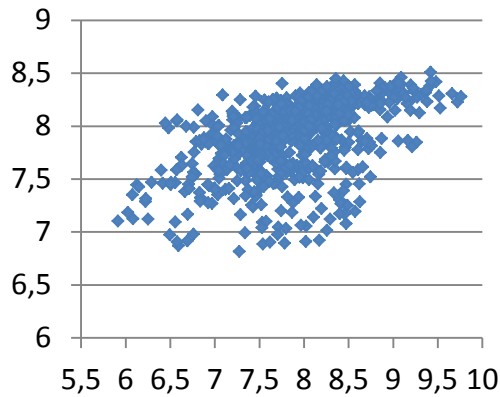
Antal observationer: 701  
Modell: skord94 ~ h04 + v0450 + h05 + v05  
**R<sup>2</sup> adj.: 0,58**

### 1996



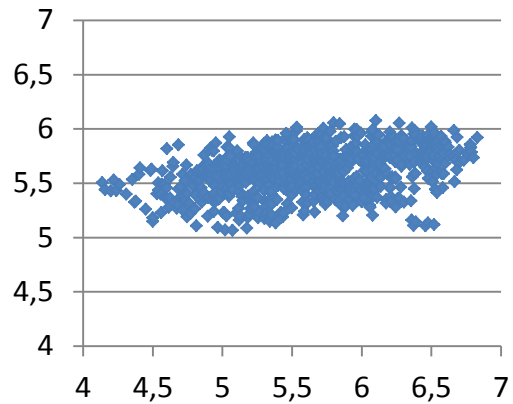
Antal observationer: 752  
Modell: skord96 ~ v0450 + v0430 + h05 + v05  
**R<sup>2</sup> adj.: 0,18**

### 1997



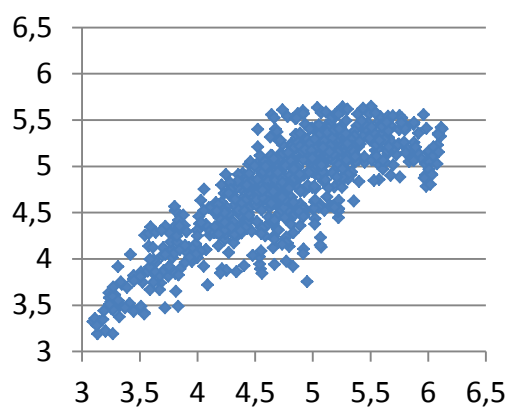
Antal observationer: 670  
Modell: skord97 ~ v0450 + v0430 + h05  
**R<sup>2</sup> adj.: 0,27**

### 1998



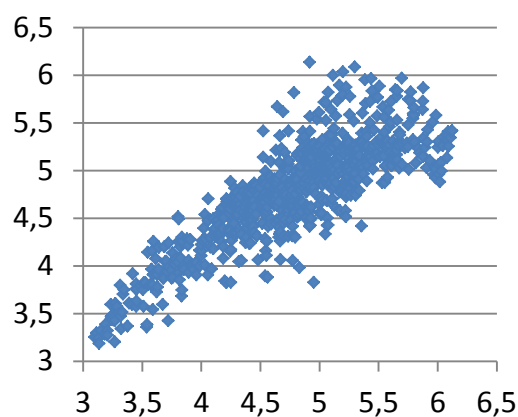
Antal observationer: 751  
Modell: skord98 ~ h04 + v0450 + v0430 + h05 + v05  
**R<sup>2</sup> adj.: 0,13**

### 1999



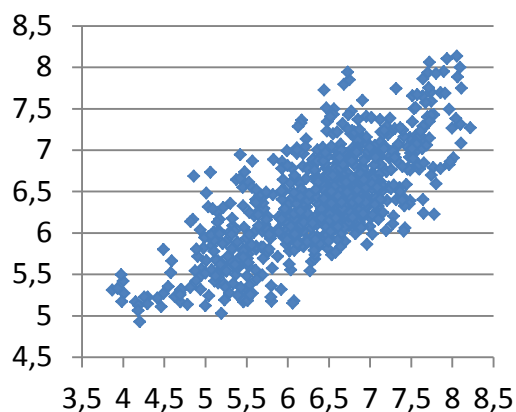
Antal observationer: 751  
Modell: skord99 ~ h04 + v0450 + v0430  
**R<sup>2</sup> adj.: 0,66**

### 1999 med EC



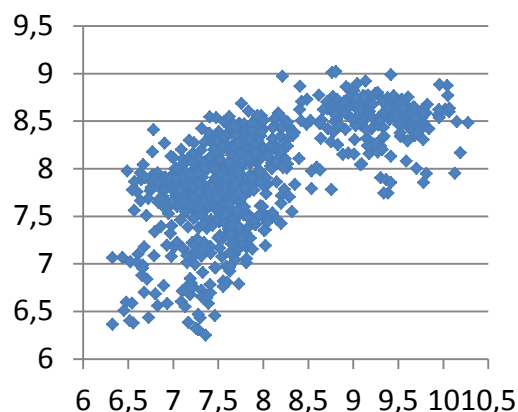
Antal observationer: 751  
Modell: skord99 ~ h04 + v0450 + v0430 + v05 + EC  
**R<sup>2</sup> adj.: 0,70**

### 2000



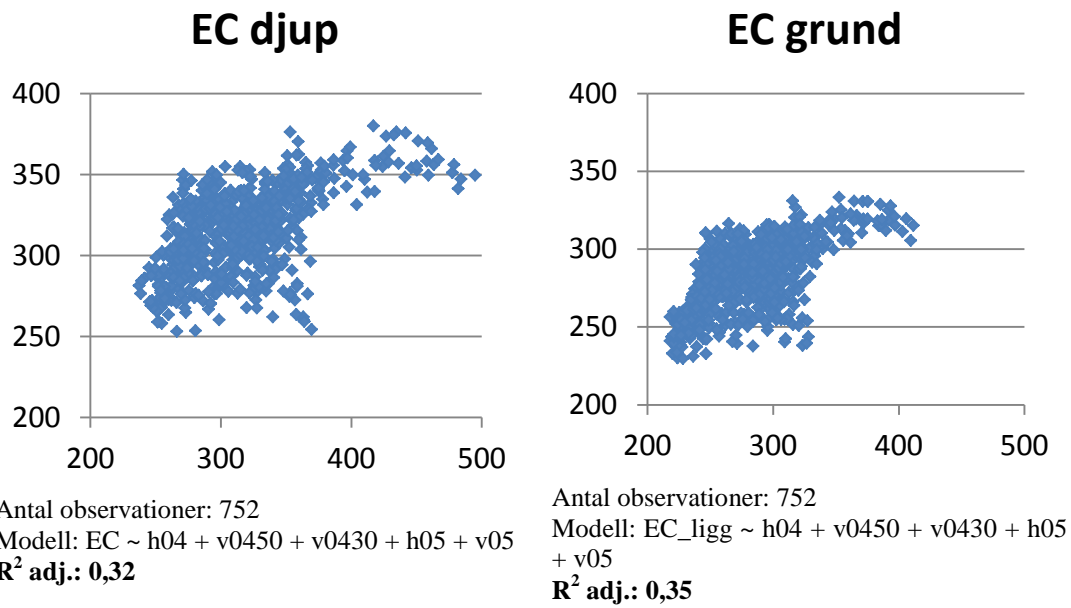
Antal observationer: 752  
Modell: skord00 ~ h04 + v0450 + v0430 + h05 + v05  
**R<sup>2</sup> adj.: 0,53**

### 2004



Antal observationer: 752  
Modell: skord04 ~ h04 + v0450 + v0430 + h05  
**R<sup>2</sup> adj.: 0,40**

Figur 12: Uppmätt skörd (i ton) mot beräknad skörd utifrån regressionsmodellen



Figur 13 Uppmätt elektrisk konduktivitet (EC) mot beräknad EC utifrån regressionsmodellen

## DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Penetrationsmotstånd var den markparameter som hade bäst korrelation till skörd. Penetrationsmotståndet var också korrelerat till jordart och mullhalt med minskat motstånd vid ökad lerhalt och mullhalt. Penetrationsmotståndet var också starkt kopplat till vattenhalten vid mätfallet. Detta påverkar utvärderingen av de olika penetrationsmotståndsmätningarna då de är utförda vid olika tidpunkter av året. Högsta sambandet mellan skörd och penetrationsmotstånd erhöles för 1999 med ett  $r^2$  på 0,65. Detta år var skörden relativt låg och året betraktas som mycket torrt. Markens förmåga att hålla växttillgängligt vatten och rötternas möjlighet att penetrera profilen blir då avgörande.

En multipel regression där även markens konduktivitet ingick höjde korrelationskoefficienten från högst 0,65 till 0,7. Båda nivåerna får betraktas som höga med tanke på den osäkerhet som gäller för de enskilda mätvärdena.

Sambandet mellan skörd och penetrationsmotstånd var dock högre än mellan skörd och markens konduktivitet. Penetrationsmotstånd och elektrisk konduktivitet relaterar till jordart och markstrukturparametrar på liknande sätt, fast med omvända tecken. Det verkar som att penetrationsmotståndet är beroende av faktorer som ligger närmare det som faktiskt påverkar skörden, d.v.s. är mer

direkt. Detta är intressant då just mätning av markens konduktivitet är en av de vanligaste metoderna för att med hög rumslig upplösning bestämma markegenskaper.

Bland de övriga markfysikaliska parametrarna var också mängden växttillgängligt vatten vid fältkapacitet korrelerat med skörd. Dock kunde inget samband hittas mellan skörd och mättad ledningsförmåga för vatten vilket säkert delvis kunde bero på de kraftigt varierande mätvärdena för ledningsförmågan.

Det fanns ett svagt samband mellan år i skördevariationerna på fältet. Detta innebär att det också var svårt att hitta starka samband mellan skörd och enskilda parametrar för alla år. Därför studerades sambanden årsvis där det fanns starka korrelationer vissa år och svaga andra år.

Allmänt kan sägas att sambanden mellan skörd och markfysikaliska parametrar var starkast vid låga skördenivåer, d.v.s. när de markfysikaliska parametrarna kan antas varit begränsande för skörden.

Mätningarna visar att on-linemätning med en horisontell penetrometer är en intressant metod för att förklara skördevariationer på fältnivå, främst för att identifiera områden där markstrukturen kan vara skördebegränsande. Dock behöver detta studeras ytterligare.

## REFERENSER

- Adamchuk, V.I., Hummel, J.W., Morgan, M.T., Upadhyaya, S.K.*, 2004. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 44, 71-91.
- Ahmad, M., Abdullah, H., Iqbal, M., Umair, M., Ghani, M.U.*, 2010. Effect of deep tillage on soil properties and crop (wheat) yield. *Soil & Environ.* 29, 177-180.
- Andersson, S.* 1955. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. VIII. En experimentell metod. *Grundförbättring* 8, 35-44
- Berglund, K., Blomquist, J., Christensson, B., Gerhardsson, B., Hellgren, O., Larsson, H., Rydberg, T., Wildt-Persson, T.*, 2002. Slutrapport 4T. [www.sockerbetor.nu](http://www.sockerbetor.nu)
- Bergström, H., Moberg, A.* 2002. Daily air temperature and pressure series for Uppsala (1722-1998), *Climate Change*, 53:213-252
- Busscher, W.J., Frederick, J.R., Bauer, P.J.*, 2001. Effect of penetration resistance and timing of rain on grain yield of narrow-row corn in a coastal plain loamy sand. *Soil Till. Res.* 63, 15-24.
- Camp, C.R., Sadler, E.J.*, 2002. Irrigation deep tillage and nitrogen management for a corn-soybean rotation. *Trans. ASAE* 45 (3), 601-608.
- Da Silva, J.R.M., Silva, L.L.*, 2008. The yield pattern considering the flow to accumulation lines. *Eur. J. Agr.* 28, 551-558.
- Eriksson, K., Niklasson, M.* 1998. Högre kväveutnyttjande genom växtplatsanpassad gödsling. JTI rapport Lantbruk och Industri 245.
- Groonevelt, P.H., Grant, C.D., Semesta, S.*, 2001. A new procedure to determine water availability. *Aust. J. Soil Sci.* 39, 577-598.
- Hanna, A.Y., Harlan, P.W., Lewis, D.T.*, 1982. Soil available water as influenced by landscape position and aspect. *Agon. J.* 74, 999-1004.
- Hartge, K.H., Bohne, H., Schrey, H.P., Extra, H.*, 1985. Penetrometer measurements for screening soil physical variability. *Soil Tillage Res* 5., 343-350.
- Hemmat, A., Adamchuk, V.I., Jasa, P.*, 2008. Use of an instrumented disc coulter for mapping soil mechanical resistance. *Soil Tillage Res* 98, 150-163.
- Keller, T., Sutter, J.A., Nissen, K., Rydberg, T.*, 2010 Soil structure explains some within-field variation in crop yield. *Proc. of AgEng, Clermont-Ferrand*, 6-8 Sep 2010.
- Koch, H.-J., Dieckmann, J., Büchse, A., Märländer, B.*, 2009. Yield decrease in sugar beet caused by reduced tillage and direct drilling. *Eur. J. Agr.* 30, 101-109.
- Mallarino A.P., Oyarzabal E.S. and Hinz P.N.* 1999. Interpreting Within-Field Relationships Between Crop Yields and Plant Variables Using Factor Analysis. *Precision Agriculture*, 1, pp 15-25.
- Mouazen, A.M., Anthonis, J., Ramon, H.*, 2005. An Automatic Depth Control System for Online Measurement of Spatial Variation in Soil Compaction, Part 4: Improvement of Compaction Maps by using a Proportional Integrative Derivative Depth Controller. *Biosystems engineering* 90, p409-418.
- Naderi-Boldaji, M., Sharifi, A., Jamshidi, B., Younesi-Alamouti, M., Minaee, S.*, 2011. A di-electric-based combined horizontal sensor for on-the-go measurement of soil water content and mechanical resistance. *Sensors and Actuators A* 171, 131-137.
- R Development Core Team*, 2010. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Robert, P.* (1999) in *Precision Agriculture '99*, J.V. Stafford, Editor. SCI: Sheffield, UK. p. 19-33.
- Robinson, G.W.* 1922. A new method for the mechanical analyses of soil and other dispersions. *Journal of Agricultural Sciences* 12, 306-321.

- Sadler, E.J., Bauer, P.J., Busscher, W.J.*, 1995. Spatial corn yield during drought in the SE Coastal Plain. In: Robert, P.C., Rust, R.H., Larson, W.E. (Eds.), Sitespecific Management for Agricultural Systems. Am. Soc. Agr., Madison, WI, pp 365-382.
- Sinai, G., Zaslavsky, D., Golany, P.*, 1981. The effect of soil surface curvature on moisture and yield: Beer Sheba Observation. *Soil Sci.* 132, 367-375.
- Sun, Y., Ma, D., Lammers, P.S., Damerow, L.*, 2005. On-the-go measurements of soil water content and mechanical resistance by a combined horisontal penetrometer. *Soil Tillage Res.* 86, 209-217.
- Thylén L.* 1997. Consistency in Yield Variation and optimal Nitrogen Rate. . Precision Agriculture '97, J.V. Stafford (Ed), UK, BIOS Scientific Publishers, pp 345-350.
- To, J., Kay, B.D.*, 2005. Variation in penetrometer resistance with soil properties; the contribution of effective stress and implications for pedotransfer functions. *Geoderma* 126, 261-276.
- Weber, R., Zalewski, D., Hrynczuk, B.*, 2004. Influence of the soil penetration resistance, bulk density and moisture on some components of winter wheat yield. *Int. Agrophysics* 18, 91-96.
- Weber, R., Biskupski, A.*, 2008. Effect of penetration resistance, bulk density and moisture content of soil on selected yield components of winter triticale in relation to method of cultivation. *Int. Agrophysics* 22, 171-177.
- Whalley, B.R., To, J., Kay, B.D., Whitmore, A.P.*, 2007. Prediction of the penetrometer resistance of soil with models with few parameters. *Geoderma* 137, 370-377.
- Whright, R.J., Boyer, D.G., Winant, W.M., Perry, H.D.*, 1990. The influence of soil factors on yield differences among landscape positions in an Appalachian cornfield. *Soil Sci.* 149, 375-382.