

INVERKAN PÅ MARKSTRUKTUREN AV OLIKA KVÄVEGÖDSELMEDEL OCH ORGANISKA
MATERIAL:

Markfysikaliska undersökningar i ett ramförsök anlagt 1956 på lerjord,
Ultuna.

*THE INFLUENCE ON SOIL STRUCTURE OF DIFFERENT NITROGEN FERTILIZERS
AND ORGANIC MATERIALS.*

*Studies of physical soil properties in a small plot field trial started
1956 on Ultuna claysoil.*

Janne Eriksson

Rapport nr 129

Sedan 1956 löper ett s.k. ramförsök på lerjord inom Ultuna.

Försöket avser visa inverkan på mark och skörd vid tillförsel av olika organiska material och kvävegödselmedel.

Denna delundersökning belyser förändringar i markens fysikaliska och mekaniska egenskaper.

Matjorden består av mullfattig lättare mellanlera med känslig struktur. Alven har välutvecklad struktur med stort tillgängligt vattenmagasin och god rotmiljö.

Tillförsel av organisk substans i matjorden har avsevärt påverkat märkrummet, såväl totala porvolymen som porstorleksfördelningen. Porvolymen varierar från ca 47 % på försöksled med vikande humushalt och till ca 54 % vid ökande humushalt. I huvudsak porer större än 4 μ m bidrar till ökningen.

Mekaniska egenskaperna hos matjorden samvarierar också med mullhalten. Försöksled med vikande humustillstånd visar sämre brukbarhet, sämre uppkomst, tendens till skorpbildning och förtätning medan försöksled med ökande humushalt visar positiva förändringar i dessa avseenden.

Penetrationsmotståndet ökar på denna jordtyp starkt vid upptorkning innebärande försvårad rotutveckling.

En del av den funna höjningen i skörd med tillförsel av mullråmnen kan tolkas som en effekt av den bättre fysikaliska miljön.

Den påvisade skillnaden i struktur och packningsgrad som föreligger mellan den spadvända matjorden inom ramförsöket och den maskinbrukade på fältet i övrigt måste beaktas vid generaliseringen av ramförsökets resultat.

Man kan anta att de funna effekterna blir mer utpräglade vid maskinbruk.

Inledning

Ett s.k. ramförsök anlades 1956 på Ultuna. Jordarten inom försöket utgöres av en mullfattig lätt mellanlera (på en alv av mellanlera till styv lera).

Försöket syftar främst till att belysa humusomsättning och humusbildning vid tillförsel av organisk substans enbart eller i kombination med kvävegödsel.

Försöket har följts genom årlig skörd. För att belysa den kemiska miljön och dess förändring på olika försöksled har dessutom provtagning av jorden skett dels vid starten dels återkommande under försöksperioden. 1975 har också provtagning för studier av den fysikaliska miljön gjorts. Förändringen i humustillstånd, kemisk miljö samt skörderesultat redovisas av Nilsson, K.O. 1980 och Persson, J. 1980. Resultaten från de markfysikaliska undersökningarna redovisas under denna rubrik.

Ramförsökets uppläggning och skötsel

I ramförsöket ingår 15 försöksled i 4 upprepningar.

Försöksled		Förkortning i text och tabeller
1 a	Utan organisk substans, utan kvävetillförsel, obevuxet	utan veg.
2 b	" " " " "	utan N
3 c	" " " kväve i kalksalpeter	med ksp
4 d	" " " kväve i ammonisulfat	med ams
5 e	" " " kväve i kalkkväve	med kkv
6 f	Organisk substans i halm	halm
7 g	" " i halm + kväve i kalksalpeter	halm + ksp
8 h	" " i grönmassa	grönmassa
9 i	" " i torvmull	torv
10 f	" " i stallgödsel	stallgödsel
11 k	" " i superfosfatstallgödsel	superstallgödsel
12 l	" " i sågspån	sågspån
13 m	" " i torvmull + kväve i salpeter	torv + ksp
14 n	" " i sågspån + kväve i salpeter	sågspån + ksp
15 o	" " i rötslam	rötslam

Led a har hela tiden hållits vegetationsfritt. Övriga led har burit gröda. Bruken har skett genom handgrävning och krattning. Mullråämnena har tillförts 1956, 1960, 1963 och därefter vartannat år. Beträffande tillförd mängd, mullråämnens omsättning och uppkommen balans på olika försöksled hänvisas till Persson, J. 1980.

Jordarten inom ramförsöket

På det fält som ramförsöket ligger har markprofiler tagits ut, som har varit föremål för en fullständig markfysikalisk analys vid avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Resultaten av en sådan profilstudie år 1969 finns sammanfattat i fig. 1 t.o.m. 4. Matjorden består av mullfattig mellanlera med en lerhalt av 35 %. Alpen har ett maximum i lerhalt, 45 %, i lagret 50-60 cm. Andelarna mjåla och mo är likstora ca 30 %.

Inom ramförsöket har matjorden analyserats på två försöksled, tab. 1.

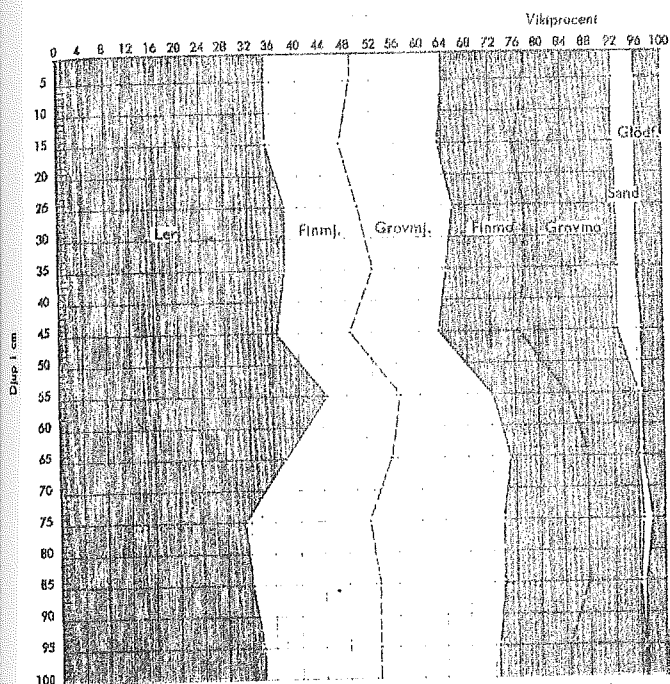


Fig. 1. Ultuna nr 1, 1969 (1955).
Kornstorleksfördelning:

Fig. 1. Particle size distribution

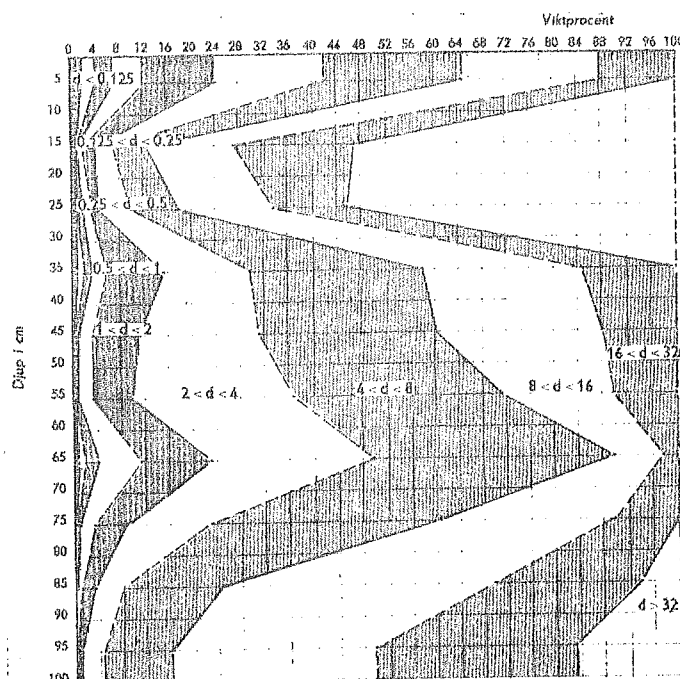


Fig. 2. Ultuna nr 1, 1969 (1955).
Makroaggregatfördelning.

Fig. 2. Macroaggregate distribution

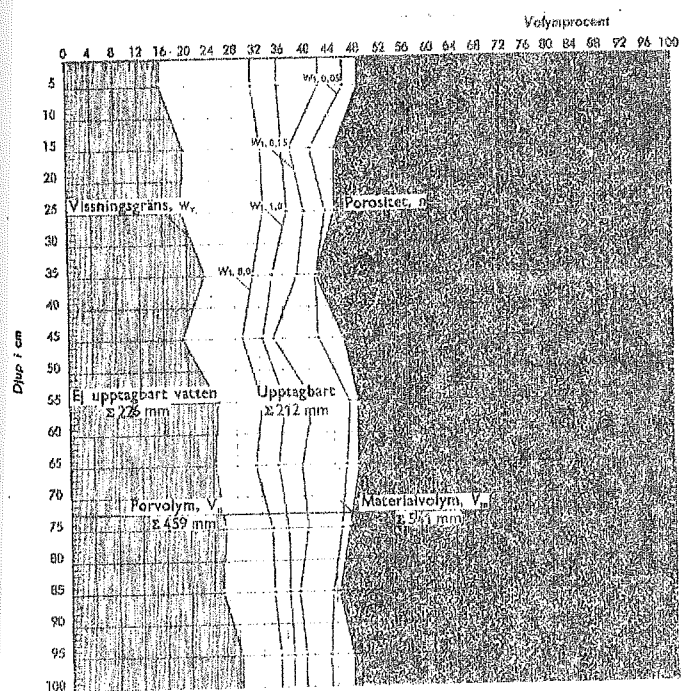


Fig. 3. Ultuna nr 1, 1969 (1955).
Volymförhållanden.

Fig. 3. Volume relationships

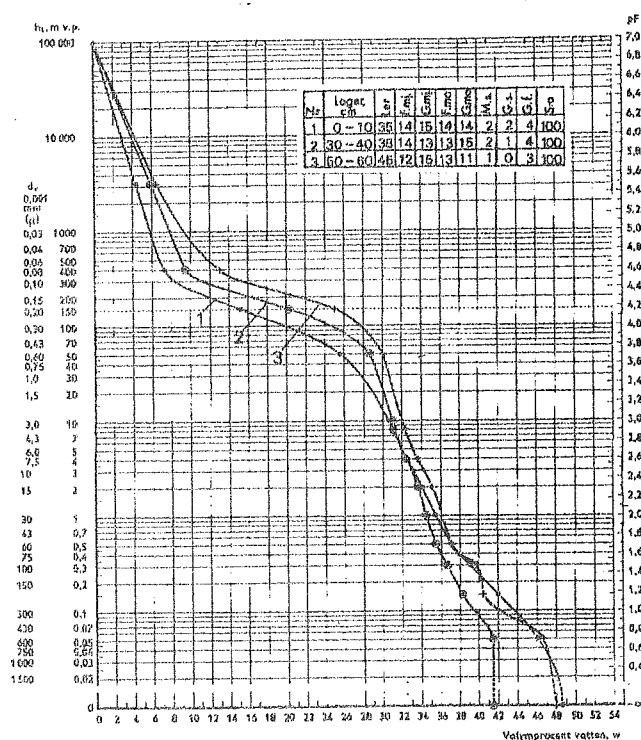


Fig. 4. Ultuna nr 1, 1969 (1955).
Bindningskaraktistikor.

Fig. 4. Moisture characteristic curves

Tabell 1. Ultuna, ramförsök 1955-75, Kornstorleksfördelning

Table 1. Ultuna, small plot field trial, 1955-75, particle size distribution

Försöksled /ruta	Ler	Finmj.	Grovm.	Finmo	Grovmo	Mellansa	Grovsa	Glöd förl. %
Treatment /plot no	Clay	Fine silt	Medium silt	Coarse silt	Fine sand	Medium sand	Coarse sand	Ignition loss %
	< 0.002	0.002- 0.006	0.006- 0.02	0.02- 0.06	0.06 0.2	0.2- 0.6	0.6 2.0	
d/ruta 4	35.0	12.8	12.0	14.0	17.0	2.9	1.6	4.7
k/ruta 11	34.6	13.6	12.6	12.8	16.5	2.6	1.9	5.4

Jordarten inom ramförsöket överensstämmer med den undersökta markprofilen från samma fält och ligger på gränsen till lätt mellanlera. Den lätta karaktären förstärks av att mofraktionerna är relativt stora. Jorden är lättbrukad men under försöksperioden har rapporterats svårigheter med uppkomsten på rutor utan mullråmnestillförsel p.g.a. för grov och torr såbädd. Denna känslighet för uttorkning kan ha samband med den visade mekaniska sammansättningen. Jordarten inom ramförsöket med den låga naturliga mullhalten är således av en typ som är tacksam för tillförsel av organisk substans.

Av övriga markegenskaper av betydelse för bedömning av ramförsöket skall här nämnas porositet och vattenhållande förmåga i den år 1969 undersökta profilen. Fältet utanför ramförsöket har under lång tid legat i öppet bruk och under tung maskindrift. Strukturen i profilen företer distinkta skillnader i olika lager. Matjorden i den undersökta profilen hade vid provtagningstillfället 1969 en mycket kokig struktur. Matjordens centrala del 10-20 cm hade också en låg porositet, 44.7 %. Nivån 30-40 cm har plogsulekaraktär med den lägsta porvolymen 41.5 % i hela profilen. Centralt i alven är strukturen grynig med crumbkaraktär och en högre porvolym, 48 %. Alven erbjuder alltså en god rotmiljö. De redovisade porositetsvärdena för matjord och plogsula torde utgöra minimivärden varemot denna jordtyp tenderar att gå vid öppen växtodling och maskinell brukning av jorden.

I diagrammen fig. 3 och 4 redovisas volymsförhållanden i profilen och bindningskaraktärstikar för typiska lager. För växterna upptagbart vatten utgör i profilen 233 mm till 1 meters djup. Den vattenmängd som lätt kan rinna av uppgår till 21 mm vid ett vattenavförande tryck motsvarande 0.05 m vattenpelare, 71 mm vid 0.15 m v.p., 102 mm vid 1.0 m v.p. och 135 mm vid 8.0 m v.p. Av detta framgår att mer än hälften av det tillgängliga vattnet sitter i så grova porer att de friläggs vid vattenavförande tryck inom 8.0 m. Detta torde ha samband med lättlerekaraktären och den relativt höga moandelen i profilen.

Profilen får dock bedömas ge ett gott buffringsmagasin åt grödan. Dess utnyttjande är dock beroende av rotutvecklingen i matjorden och rotgenomgången i plogsulan till centrala delen av alven.

I ramförsöket har all brukning skett för hand med spade och kratta. De mekaniska påkänningarna har således varit små. Matjorden har utsatts för endast ringa tramp och packning. Strukturen är därför enhetlig inom den spadvända delen av matjorden utan de skarpa skillnader mellan såbädd och central del av matjorden som uppkommer vid maskinbruk. Denna skillnad i matjordsprofilens struktur mellan ramförsöket och normalt brukad mark bör beaktas när slutsatser dras av ramförsöket för praktiskt brukad åker.

Provtagning för den fysikaliska undersökningen

Uttagning av provcylindrar gjordes på 10 cm:s nivån. På detta djup syntes strukturen mest enhetlig och fuktighetsgraden var också lämplig. Inom rutorna konstaterades okulärt en skillnad i struktur mellan randområdet och centrum av rutan. I block I provtogs i randområdet, i block II, III och IV i mitten av rutan.

För fysikalisk och markmekanisk analys togs dels 4 st 2.5 cm höga cylindrar dels 4 st 5 cm höga cylindrar. Diametern är 72 mm. Provtagningen innebar 16 paralleller per försöksled av vardera cylinderhöjden. På de uttagna proven har utförts markmekaniska och markfysikaliska analyser enl. de rutinmetoder som finns utformade på avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Beträffande markfysikaliska metodiken hänvisas till Andersson och Wiklert 1960, 1970.

Resultatredovisning

Samband mellan kolhalt och total porvolym

I tabell 2 redovisas för samtliga försöksled kolhalt, reaktionstal och porositet. Kolhalt och reaktionstal är data enl. Nilsson 1980. Porositeten är medeltal av 32 bestämningar per försöksled. Medelfelet varierar kring $\pm 2\%$, ett vanligt värde vid cylinderbestämningar av porositeten i anisotrop matjord. Sambandet kolhalt - porositet visas i fig. 5. I det föreligg-

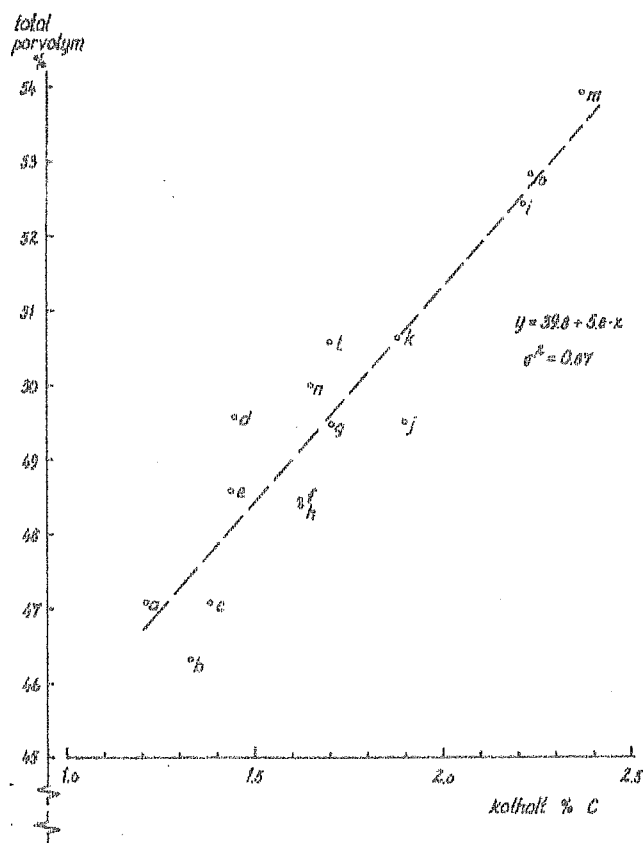


Fig. 5. Samband mellan kolhalt och total porvolym i försöksledan a till o inom ramförsöket.

Fig. 5. Relationship between carbon content and total pore volume in treatments a - o of the small plot field trial.

gande intervallet i kolhalt ökar porvolymen från ca 47 % vid en kolhalt av 1.2 % till ca 54 % vid en kolhalt av 2.4 %, d.v.s. ca 6 % för 1 % ökning av kolhalten. En linjär regression har antagits i intervallet. Korrelationskoefficienten är 0.87 för det funna sambandet.

De mullråämnena som tillförts är under omsättning och har delvis kvar sin struktur. Man kan t.ex. i försöksleden halm, sågspån och torv okulärt skönja rester av materialen. Mullråämnenas egenporositet adderas till ursprungsjordens porositet. Detta torde vara förklaringen till den nämnda starka stegringen i porositet med kolhalt och att vissa led såsom sågspånsleden ligger högt i förhållande till kolhalten. Anmärkningsvärt är den relativt höga porvolymen i förhållande till kolhalten hos försöksled d, ammoniumsulfat. Att märka är det låga reaktionstalet, 5.00, i detta försöksled.

Porvolymen och dess fördelning på olika porstorlekar

I tabell 3 och diagram fig. 6 redovisas för samtliga försöksled den totala porvolymen och dess fördelning på olika porstorleksintervaller. De tre valda porstorlekarna motsvarar ett vattenavförande tryck av 0.05, 0.5 och 8.0 m. Denna delundersökning var begränsad till block I och II. Antalet paralleller per försöksled är 8 och medelfelet i bestämningen ca 2 %. I dessa mindre samplings från block I och II föreligger i en del fall avsevärd avvikelse i porositet i jämförelse med medeltalen för samtliga block och 32 upprepningar per försöksled. Relationen mellan försöksled är dock i stort sett densamma.

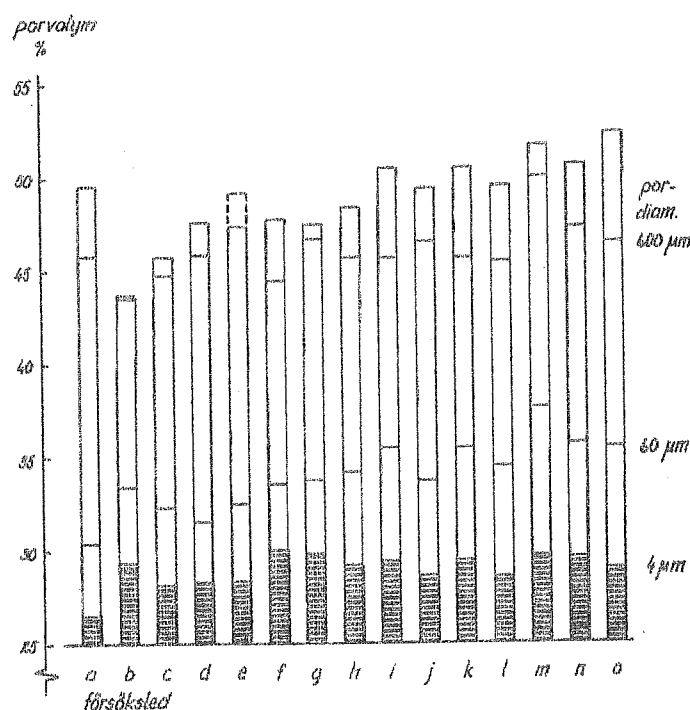


Fig. 6. Porvolym och porstorleksfördelning i försöksleden a till o inom ramförsöket. De tre porstorleksintervallen har erhållits genom avsugning till 0.05, 0.5 och 8 m v.p. meter vattenpelare.

Fig. 6. Pore volume and pore size distribution in treatments a - o of the small plot field trial. The three pore size intervals have been obtained by suction to 0.05, 0.5 and 8 m water column.

Försöksled b, "svältledet" har låg total porvolym. Den totala porvolymen är genomsnittligt högre i de försöksled som påförts organisk substans än i de som enbart gödslats. Andelen porer mindre än $4\text{ }\mu\text{m}$ är däremot ganska lika i samtliga försöksled. Det är alltså i huvudsak andelen porer större än $4\text{ }\mu\text{m}$ som bidrar till ökningen av totala porvolymen. En närmare granskning av denna porandel ger vid handen en skillnad i fördelningen på porstorlekar på försöksled med och utan tillförsel av organisk substans. För jämförelse har försöksled c, d och e med enbart gödsling och försöksled f till o med tillförsel av organisk substans sammanförts.

I diagram fig. 7 har förutom dessa jämförelser från ramförsöket också porstorleksfördelningen i matjord och plogsula från den studerade profilen på samma jord med normal maskinbrukning förts in. Av diagrammet framgår att inom samtliga led av ramförsöket har porgränsen $4\text{ }\mu\text{m}$ flyttats ner i genomsnitt 2 % i förhållande till vanligt brukad mark. I försöksleden f-o med tillförsel av organisk substans har såväl porintervallet $4\text{ }\mu\text{m}$ - $60\text{ }\mu\text{m}$ som $60\text{ }\mu\text{m}$ - $600\text{ }\mu\text{m}$ ökat kraftigt. I övriga försöksled har främst porintervallet $60\text{ }\mu\text{m}$ - $600\text{ }\mu\text{m}$ ökat.

Ökningen och omfördelningen i porvolymen syns därför bero dels av brukningen och de yttre påkänningarna dels av tillförsel av organisk substans. Den erhållna porfördelningen torde i det senare fallet också ha samband med egenporositet hos icke omsatt substans.

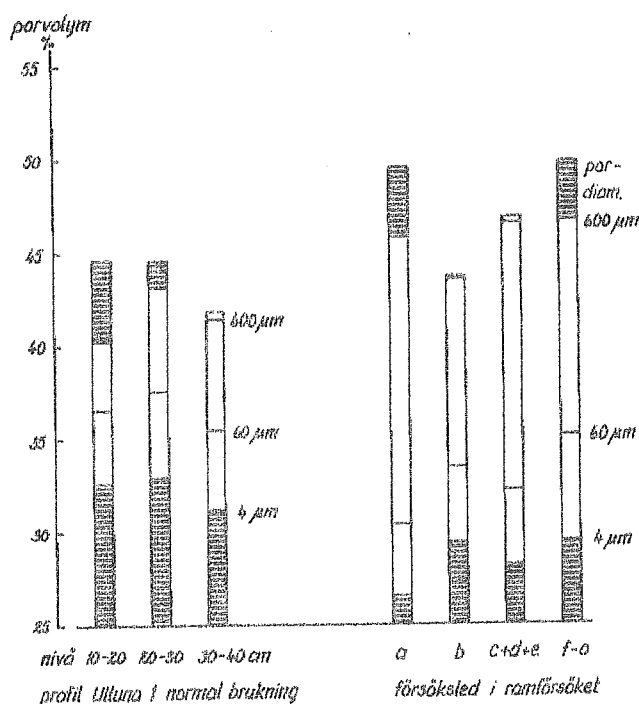


Fig. 7. Jämförelse av jord under normalt maskinbruk och den spadbrukade jorden i ramförsöket. Nivå 10-20 cm i profil Ultuna 1 motsvarar ramförsöket. Nivåerna 20-30 cm och 30-40 cm är matjordsbotten resp. plogsulan. Försöksled a = utan veg., b = med veg., c+d+e = veg. + kväve, f-o = veg. + org. substans.

Fig. 7. Comparison of soil tilled normally and the spade tilled within the field experiment area. The 10 - 20 cm level in the Ultuna 1 profile corresponds to the spade-tilled trial. The 20 - 30 and 30 - 40 cm levels are the bottom of the topsoil and the plough sole respectively. Treatment a = no vegetation, b = with vegetation, c+d+e = vegetation + nitrogen, f-o = vegetation + organic matter.

Tabell 2. Ramförsöket, Ultuna 1955-75. Kolhalt, reaktionstal, porositet.
Medeltal för samtliga block I-IV.

Table 2. Small plot field trial, 1955-75, Carbon content, acidity, porosity. Average for all replications, I-IV.

Försöksled	Kolhalt 1975 C %	Reaktionstal 1975 pH	Porositet 1975 %
Treatment	Carbon content 1975 %	Acidity 1975 pH	Porosity 1975 %
a utan veg.	1.21	6.32	47.1
b veg.	1.32	6.47	46.3
c veg.+ksp	1.38	6.68	47.1
d " +amm.s.	1.45	5.00	49.6
e " +kkv	1.44	7.32	48.6
f " +halm	1.62	6.45	48.4
g " +halm+ksp	1.70	6.61	49.5
h " +grönmassa	1.62	6.32	48.4
i " +torv	2.21	5.92	52.2
j " +stallgödsel	1.89	6.64	49.5
k " +superstallgödsel	1.88	6.36	50.7
l " +sågspån	1.70	6.55	50.6
m " +torv+ksp	2.37	6.28	53.9
n " +sågspån+ksp	1.65	6.72	50.0
o " +rötslam	2.23	5.99	52.8

Tabell 3. Ramförsöket Ultuna 1955-75. Sammanställning av värden över sambandet mellan vattenbindande tryck och vattenhalt (1975, block I o. II).

Table 3. Small plot field trial, Ultuna 1955-75. Data on the relation between tension and water content (1975, repl. I & II).

Försöksled	Kolhalt C %	Porositet n %	Vattenhalt i volymprocent vid ett vattenavförande tryck i m v.p. av 0.05 0.5 8.0		
Treatment	Carbon content C %	Porosity 1975 %	Water content in vol % at tension in m v.p. of 0.05 0.5 8.0		
a utan veg.	1.21	49.6	45.9	30.3	26.6
b med veg.	1.32	43.7	43.8	33.4	29.3
c +ksp	1.38	45.8	44.8	32.2	28.1
d +amm.sulf.	1.45	47.6	45.9	31.6	28.2
e +kalkkväve	1.44	47.3	49.2	32.5	28.4
f halm	1.62	47.8	44.6	33.6	30.0
g halm+ksp	1.70	47.5	46.8	33.9	29.9
h grönmassa	1.62	48.3	45.7	34.1	29.2
i torv	2.21	50.5	49.0	36.2	29.4
j stallgödsel	1.89	49.4	46.6	33.8	28.7
k superfosf.+stallgödsel	1.88	50.5	45.7	35.5	29.4
l sågspån	1.70	49.6	45.4	34.6	28.6
m torv+ksp	2.37	51.8	50.0	37.8	29.8
n sågspån+ksp	1.65	50.7	47.2	35.8	29.7
o rötslam	2.23	52.2	46.4	35.5	29.0
medeltal c+d+e		46.9	46.6	32.1	28.2
" f-o		49.8	46.7	35.1	29.4

Tabell 4. Ramförsöket, Ultuna 1955-75. Sammanställning över porositet, luftgenomsläpplighet och vattengenomsläpplighet (1975, block I och II).

Table 4. Small plot field trial, Ultuna 1955-75. Data on porosity, air- and water permeability (1975 block I and II).

Försöksled	Kol- halt	Poro- sitet	Luftgenom- släpplighet	Vattengenomsläpplighet	
Treatment	Carbon content %	Poro- sity %	Air-permea- bility ml/min 10 ³	after 1 tim Water permeability after 1 hour cm/tim cm/hour	after 24 tim after 24 hours cm/tim cm/hour
a utan veg.	1.21	47.1	0.73	11.7	6.2
b veg.	1.32	46.3	0.22	3.1	2.0
c veg.+ksp	1.38	47.1	0.27	6.4	4.2
d " +amm.s.	1.45	49.6	0.37	2.1	1.7
e " +kkv	1.44	48.6	0.34	7.0	3.6
f " +halm	1.62	48.4	0.65	9.1	5.5
g " +halm+ksp	1.70	49.5	0.33	4.4	3.3
h " +grönmassa	1.62	48.4	0.34	10.6	5.6
i " +torv	2.21	52.2	0.35	3.7	2.8
j " +stallgödsel	1.89	49.5	0.66	5.6	3.2
k " +superstallgödsel	1.88	50.7	0.74	3.1	2.3
l " +sågspån	1.70	50.6	0.41	6.8	3.7
m " +torv+ksp	2.37	53.9	0.43	2.2	2.0
n " +sågspån+ksp	1.65	50.0	0.69	11.1	8.7
o " +rötslam	2.23	52.8	0.86	2.9	2.0

För jämförelse
medeltal av
försöksled

To compare
average of
treatment

a	1.21	47.1	0.73	11.7	6.2
b	1.32	46.3	0.22	3.1	2.0
c+d+e	1.42	48.4	0.33	5.2	3.2
f-o	1.89	50.6	0.55	6.0	3.9

Tabell 5. Ramförsöket, Ultuna 1955-75. Sammanställning av porositetens förändring med ökat tryck i ödometerförsök (1975 block I o. II).

Table 5. Small plot field trial, Ultuna 1955-75. Data on the change of porosity with rising stress in a pressiometer test (1975 repl. I & II).

Försöksled	Porositet	Porositet efter 200 kPa	Porositet efter 800 kPa
Treatment	Porosity	Porosity after 200 kPa	Porosity after 800 kPa
a utan veg.	47.1	38.6	35.4
b veg.	46.3	40.7	30.8
c veg.+ksp	47.1	41.7	31.7
d " +amm.s.	49.6	43.9	33.4
e " +kkv	48.6	42.3	31.6
f " +halm	48.4	41.4	32.1
g " +halm+ksp	49.5	43.2	33.2
h " +grönmassa	48.4	41.0	31.0
i " +torv	52.2	45.7	38.3
j " +stallgödsel	49.5	43.2	30.9
k " +superstallgödsel	50.7	43.2	35.0
l " +sågspån	50.6	43.2	31.9
m " +torv+ksp	53.9	45.4	32.2
n " +sågspån+ksp	50.0	43.3	33.8
o " +rötslam	52.8	46.5	34.0

Luftgenomsläpplighet och vattengenomsläpplighet

I tab. 4 redovisas luft- och vattengenomsläpplighet på de olika försöksleden inom ramförsöket. Denna undersökning begränsades också till block I och II. För jämförelse är medeltal beräknade dels för enbart gödslade och dels för samtliga försöksled med organisk substans.

Luftgenomsläppligheten har bestämts vid 0.5 m:s dränering av propparna. Andelen grova porer som frilägges vid denna dräneringsgrad bestämmer genomsläppligheten. Ställs de erhållna värdena av luftgenomsläpplighet mot den i tab. 3 redovisade porandelen större än 60 μm finner man ett klart samband liksom också till andelen större än 600 μm . Eftersom andelen grova porer var korrelerad till totala porvolymen föreligger också ett samband till denna.

Vattengenomsläppligheten har bestämts vid gradienten 1 dels efter 1 tim dels efter 24 tim. Även k-värdet för vatten är korrelerad med totala porvolymen och den grova porandelen. Den procentuella nedgången i k-värdet vid ihållande strömning intill 24 tim är ungefär lika på de olika försöksleden. Detta tyder på likvärdig stabilitet i strukturen.

Genomsläpplighetsmätningarna stöder de erhållna mätresultaten av porositet och porstorleksfördelning. Så är t.ex. fallet med försöksled a utan vegetation. Detta led har genom den årliga grävningen fått en grov och inhomogen struktur och därför hög genomsläpplighet. De led som burit gröda har genom brukningen fått en mera homogen struktur och något lägre genomsläpplighet.

I genomsnitt visar försöksleden med organiskt material en högre genomsläpplighet, bilden är dock inte helt entydig. Led med rester av icke omsatt stråmaterial t.ex. halm ger höga värden. Torv har däremot en homogen karaktär och ger låg genomsläpplighet i blandning.

Packningsbenägenheten

Packningsbenägenheten eller kompressibiliteten hos jorden i de olika försöksleden har undersökts i s.k. oedemeterprov. 2.5 cm höga provproppar utsattes i cylindrarna för stegvisa tryckökningar, 50, 100, 200, 400 och 800 kPa. Provproppens höjdminskning mättes. Kompressionen i % av utgångshöjden beräknades för varje trycksteg. I diagram fig. 8 redovisas kompressionen för 200 kPa och 800 kPa pålagt tryck. Som jämförelse är också infört deformationen i matjorden hos normalt brukad matjord profil Ultuna 1. Andra undersökningar (Eriksson et al 1974) visar att det är det grova porsystemet ($>4 \mu\text{m}$) som deformeras vid belastningar inom 800 kPa. Det grova porsystemet som erhållits inom ramförsöket genom försiktig brukning och tillförsel av organisk substans har stor packningsbenägenhet d.v.s. markskelettet har liten motståndskraft mot deformation. I försöksled med organisk substans erhålles ungefär dubbelt så hög kompression jämfört med normal brukad matjord på samma fält. Ultuna profil 1.

I tabell 5 och diagram fig. 9 redovisas också hur porvolymerna förändras vid kompression hos normalt brukad jord och ramförsökets jord. Trots det högre utgångsläget blir slutporvolymen vid 800 kPa lägre inom ramförsöket än på normalt brukad jord. På försöksled utan tillförsel av organisk substans väsentligt under. Vid 200 kPa är detta något mindre accentuerat. I försöksled med organisk substans är porvolymen efter 200 kPa påkänning till och med något högre än hos maskinbrukad matjord efter motsvarande påkänning. Denna delundersökning visar på att det grova porsystemet är bräckligt, men att man med tillförsel av organisk substans minskar packningsbenägenheten. Delundersökningen tyder vidare på att porositeten varit lägre och porstorleksfördelningen annorlunda om ramförsöket legat under maskinbruk. Detta bör observeras när resultaten från ramförsöket skall generaliseras.

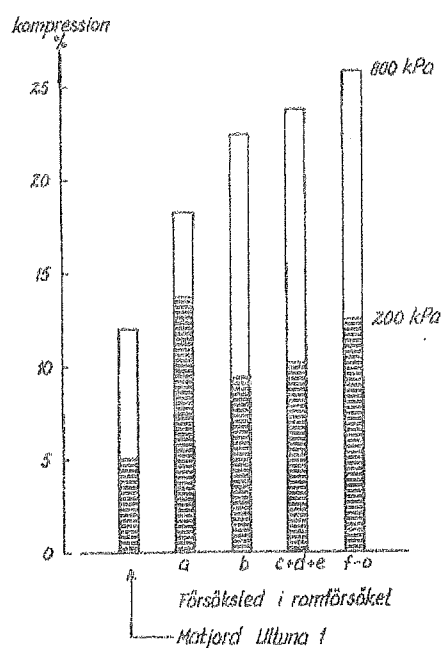


Fig. 8. Kompressionen i procent av ingångshöjden hos maskinbrukad matjord och spadbrukad jord inom ramförsöket. Mätningen utförd i ödometer vid 2 kp/cm^2 och 8 kp/cm^2 ($\times 100 \text{ kPa}$) pålagt tryck.

Fig. 8. Compaction in per cent of initial height of normally implement-tilled topsoil and spade-tilled soil. The measurement conducted in oedometer at 200 kPa and 800 kPa applied pressure.

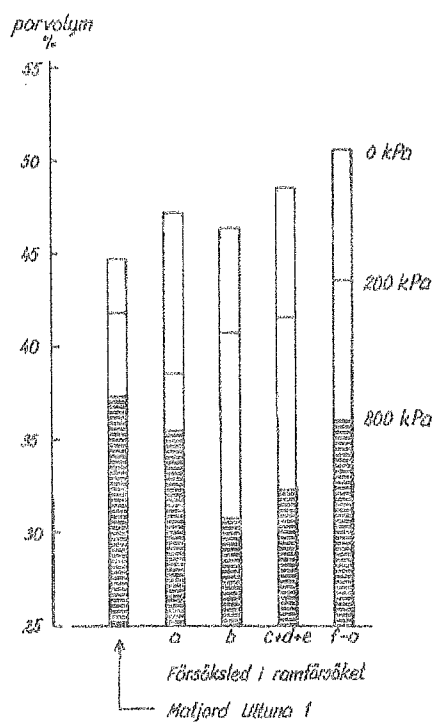


Fig. 9. Nedsättning i porvolym vid kompression med 2 kp/cm^2 och 8 kp/cm^2 . Jmfr av maskinbrukad matjord och spadbrukad jord inom ramförsöket.

Fig. 9. Reduction in pore volume at compression with 200 kPa and 800 kPa. Comparison of implement-tilled topsoil and spade-tilled soil.

Samband markegenskaper och skörd

Skördeutvecklingen på de olika försöksleden perioden 1957-75 redovisas av Nilsson, 1980. Den funna korrigerade variationen mellan försöksled anses bero av tillförda mullråämnen och kväve, förändringar i markens mullhalt, ändringar i strukturen som följd därav samt samspel mellan ingående faktorer.

De i denna undersökning granskade sambanden mellan kolhalt - porositet och porstorleksfördelning ger vid handen att förändringen av markrummet är avsevärd. I vad mån förändringen inneburit en bättre rotmiljö och bi-dragit till en högre skörd kan inte klart separeras fram utan man får nöja sig med en allmän analys.

I fig. 10 har de olika försöksledens medelskörd för perioden 1970-75 ställts mot kolhalten. Denna har som tidigare visats i sin tur samband med porositet och porstorleksfördelning. I perioden ingår 3 år korn, 1 år havre och 2 år grönrap. Försöksledet utan organisk substans + kalksalpeter med absolut skörd = 4270 kg/ha utgör jämförelseled och satt till 100. De ingående försöksleden kan särskiljas i två grupper efter kvävenivån. Vid "normal" kvävenivå erhållen genom tillförsel av handelsgödsel kväve, 80 kg/ha N, eller kväverikt material kan en viss stegring i skörd med ökad kolhalt skönjas. En del av denna höjning kan tolkas som en effekt av en bättre fysikalisk miljö. I leden med låg kvävenivå och låg skörd syns icke någon sådan tendens.

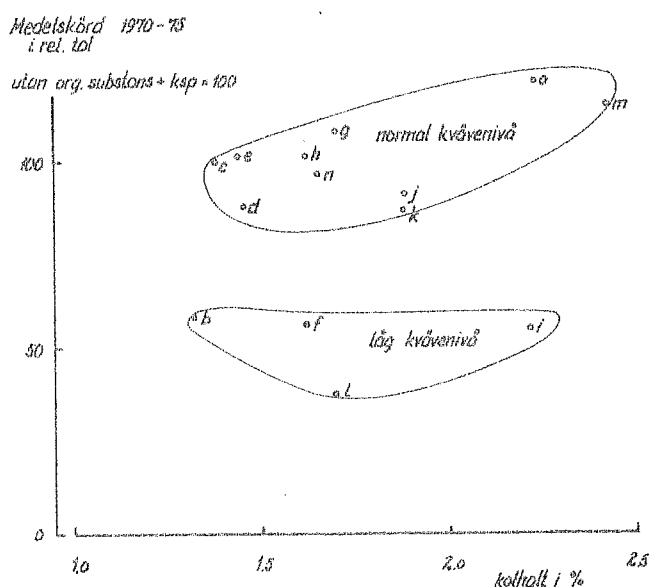


Fig. 10. Samband mellan kolhalt och medelskörden 1970-75 på de olika försöksleden inom ramförsöket. Skörden på försöksled c = utan org. substans + kalksalpeter satt = 100. Skördevärdena grupperar sig i två områden efter kvävenivån. "Normal" kvävenivå återfinns i försöksled med tillförsel av kväve i form av handelsgödsel eller via organisk substans.

Fig. 10. Relationship between carbon content and average yield 1970-75 in the different treatments of the trial. The yield from treatment c = no organic matter + calcium nitrate placed at = 100. The yield values are grouped in two areas according to nitrogen level. "Normal" nitrogen level is arisen in the treatments with application of nitrogen in the form of fertilizer or organic matter.

Vid försökets skötsel har man iakttagit en sämre brukbarhet och tendens till skorpbildning och förtätning i försöksled med vikande humustillstånd. För att ytterligare belysa de under brukningen iakttagna skillnaderna i struktur och grävbarhet inom ramförsöket har utförts en vridmotståndsmätning med vingborr. Mätningarna gjordes med ett vingborr med 5 cm diameter och 10 cm höjd.

Borret pressades ner sin höjd 10 cm varför mätningen beskriver hållfastheten i ytlagret 0-10 cm. Mätningen utfördes under en torrperiod i juli 1980, under vilken horisonten hade en vattenhalt motsvarande ung. vissningsgränsen, alltså ett torrt stadium. Lagret 0-10 cm hade en bunden struktur med en något starkare skorpa i själva ytan. Mätningarna utfördes på två av blocken med totalt 20 upprepningar per försöksled. Resultaten redovisas i fig. 11.

Med ökad kolhalt i intervallen 1.0 till 2.7 % minskar vridmotståndet starkt. Försöksleden med organisk substans har i genomsnitt c:a 20 % lägre vridmotstånd än leden utan organisk substans. Speciellt låga värden företer torv, halm och stallgödselleden vilket stämmer med den iakttaga grävbarheten under den årliga brukningen. Försöksled med organisk substans + kväve företer dock relativt höga värden. En förklaring härtill kan vara den intensivare genomrotningen som armerar jorden med högre vridmotstånd som följd.

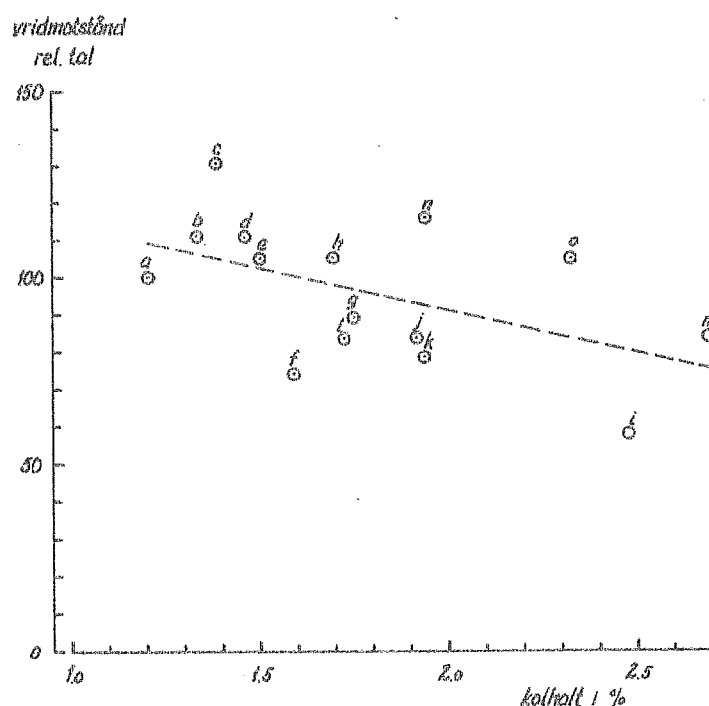


Fig. 11. Samband mellan kolhalt och vridmotstånd vid vingborrsmätning i lagret 0-10 cm inom ramförsöket, försöksled a - o. $y = 137 - 23x$, $r = 0.5$.

Fig. 11. Relationship between carbon content and sheering resistance when measuring with a vane borer in the 0 - 10 cm layer within the small plot trial, treatments a - o. $y = 137 - 23x$, $r = 0.5$.

I detta sammanhang skall hänvisas till en undersökning (Eriksson et al. 1974) över rottillväxten i relation till jordens mekaniska egenskaper, såsom t.ex. penetrationsmotstånd. Den nämnda undersökningen utfördes på matjord, plogsula och alv för den maskinbrukade marken med samma jordart intill ramförsöket. Penetrationsmätningarna utfördes med stålspetsar av diametern 2 mm och 60° nålspets.

I undersökningen mättes penetrationsmotståndet vid avsugning med dels 0.05 och dels 6.0 m på jordproppar med olika packningsgrad, i intervallet 0 till 800 kPa. Resultatet redovisas i diagram fig. 12. Penetrationsmotståndet ökar med ökad packningsgrad. Anmärkningsvärt är emellertid den mycket starka ökningen i motstånd vid dränering till 6.0 m. I synnerhet matjorden tycks förändra sina mekaniska egenskaper, men också plogsulans penetrationsmotstånd ökar starkt. Alven som i denna profil har en gynnsam struktur har rönt den minsta förändringen. Inom den skuggade delen av diagrammet har penetrationsmotståndet värden som kan bedömas ge måttligt rotmotstånd. Enbart en upptorkning motsvarande 6 meter vattenavförande tryck höjer alltså motståndet väsentligt över den nivån. Här skall påpekas att det motstånd som jorden erbjuder mot en rotspets är, som skilda undersökningar visat, betydligt lägre än mot en stålspets av samma dimension. Den behövliga rotspetskraften har i normal jord uppmätts till en fjärdedel av den behövliga kraften för att tränga in en stålpenetrod. I packad jord är det relativa kraftbehovet ungefär en åttondel.

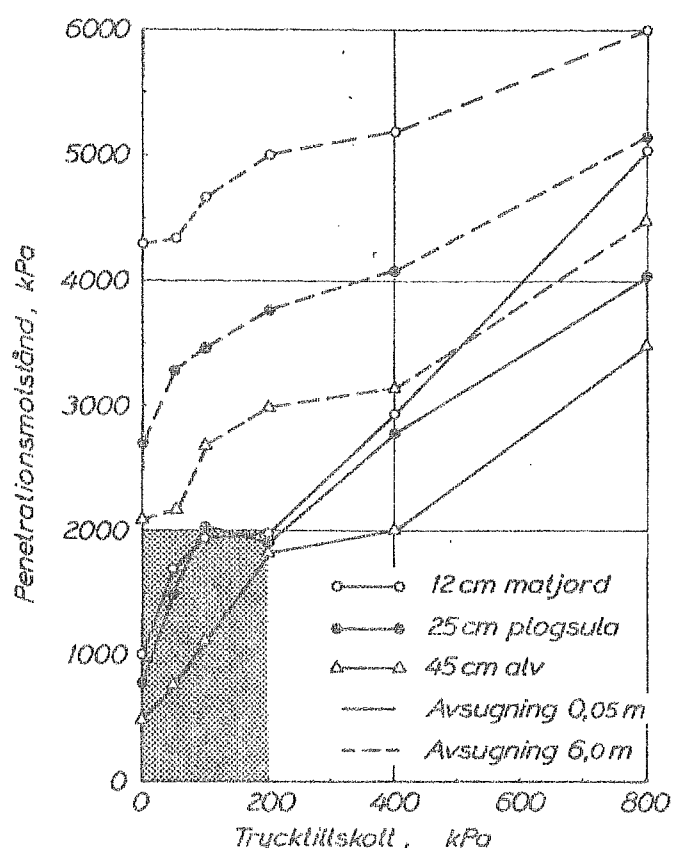


Fig. 12. Samband mellan tryck tillskott och penetrationsmotstånd vid avsugning 0.05 m och 6.0 m v.p. Matjord, plogsula och alv i lerprofil Ultuna 1. Inom det skuggade området måttligt rotmotstånd.

Fig. 12. Relationship between pressure applied and penetration resistance at suctions of 0.05 m and 6.0 m water column. Topsoil, plough bottom and subsoil in the clay profile of Ultuna 1. Moderate root resistance is shown within the shaded area.

En liknande undersökning av penetrationsmotståndet hos matjorden inom ramförsöket har utförts. Den har dock varit av mindre omfattning och begränsad till 6.0 m avsugning och utan packning d.v.s. matjorden i naturlig lagring vid vegetationstidens slut. Försöksleden utan tillförsel av organisk substans hade i medeltal 3300 kPa penetrationsmotstånd, försöksled med organisk substans erbjöd i medeltal 2500 kPa penetrationsmotstånd. Resultaten visar alltså ett lägre rotmotstånd med ökat innehåll av organisk substans. Uppdelning på enskilda försöksled har inte ansetts meningsfull på grund av för få upprepningar. Metodiken synes dock användbar att belysa rotframkomligheten och bör ingå i senare undersökningar i större omfattning.

Den starka ökningen i rotmotstånd vid relativt ringa uttorkning som påvisats i dessa undersökningar kan vara en förklaringsgrund till samvariationen i skörd med årsnederbörden. Se skörderedovisning av Nilsson (1980). Rotutvecklingen i matjorden och rotgenomgången via plogsulan till alven kan vara begränsande. Det relativt stora markvattenmagasinet i alven utnyttjas därmed inte till fullo. Jmfr även Heinonen 1961.

Sammanfattning

Sedan 1956 löper ett s.k. ramförsök på lerjord inom Ultuna. Försöket avser visa inverkan på mark och skörd vid tillförsel av olika organiska material och kvävegödselmedel. Denna delundersökning avser belysa förändringar i markens fysikaliska och mekaniska egenskaper som följd av olika behandlingar och har omfattat kornstorleksfördelning, total porvolym och dess fördelning på olika porstorlekar, luftgenomsläpplighet, vattengenomsläpplighet, packningsbenägenhet och penetrationsmotstånd.

Matjorden inom ramförsöket består av en mullfattig mellanlera med en lerhalt av 35 %. Den ligger på en alv med något högre lerhalt som har en mycket välutvecklad struktur innebärande god rotmiljö och stort tillgängligt vattenmagasin.

På samma fält och jordart finns profilundersökningar utförda 1955 och 1969 med fysikaliska data. I dessa profiler var matjorden maskinbrukad till skillnad från den endast spadvända inom ramförsöket. Jämförelser har gjorts av de framtagna fysikaliska egenskaperna på maskinbrukad och spadbrukad jord, varvid konstaterats skillnader som måste beaktas vid generaliseringen av ramförsökets resultat. Strukturen i matjorden inom ramförsöket är lucker och enhetlig utan de skarpa skillnader mellan såbädd och central del av matjorden som uppkommer vid maskinbruk.

Granskningen av porositet och porstorleksfördelning ger vid handen att förändringen av markrummet är avsevärd inom ramförsöket i jämförelse med maskinbrukad mark. Orsaken är dels den nämnda skillnaden i brukning men dels också beroende på mängden och arten av tillförd organisk substans.

Den totala porvolymen är genomsnittligt högre i de försöksled som påförts organisk substans än i de som enbart gödslats. Porvolymen varierar från ca 47 % vid en kolhalt av 1.2 % och till ca 54 % vid en kolhalt av 2.4 %. De mullråämnen som tillförts är under omsättning och har delvis kvar sin struktur, t.ex. halm, sågspån och torv. Huvuddelen har under de 20 åren hunnit bilda humus och integreras med mineraljorden (Persson, 1980). De kvarvarande mullråämnenas egenporositet adderas till ursprungsjordens porositet och bidrar till den totala porositeten. Detta är särskilt tydligt i torvledet.

Det är i huvudsak andelen porer större än $4\text{ }\mu\text{m}$ som bidrar till ökningen av totala porvolymen. I försöksleden med tillförsel av organisk substans är det såväl porintervallet $4\text{ }\mu\text{m}$ - $60\text{ }\mu\text{m}$ som $60\text{ }\mu\text{m}$ - $600\text{ }\mu\text{m}$ som ökar. I övriga försöksled har främst porintervallet $60\text{ }\mu\text{m}$ - $600\text{ }\mu\text{m}$ ökat.

Genomsläppligheten för vatten och luft visar en samvariation med det grova porsystemet. Försöksleden med organisk substans visar av den anledningen i genomsnitt högre värden.

Undersökningar av packningsbenägenheten i ödometerförsök belyser markskelettets hållfasthet. Den luckra jorden inom ramförsöket har stor packningsbenägenhet. Slutporvolymen efter packning ligger lägre inom ramförsöken än på normalt brukad jord som utsatts för samma påkänning.

Slutligen analyseras något möjliga samband mellan de funna markegenskaperna och den erhållna skörden. Vid "normal" kvävenivå erhållen genom tillförsel av handelsgödsel eller kväverikt material finner man en viss stegring i skörd (medelskörd perioden 1970-75) med ökad kolhalt. En del av denna höjning kan tolkas som en effekt av den bättre fysikaliska miljön.

Vid försökets skötsel har man iakttagit en sämre brukbarhet, sämre uppkomst och tendens till skorpbildning och förtätning i försöksled med vikande humustillstånd. Som belysning till detta refereras en tidigare undersökning på samma jord över rottillväxt och penetrationsmotstånd vid olika upptorkningsgrad. Enbart en upptorkning motsvarande 6 meter vattenavförande tryck ger anmärkningsvärt högt penetrationsmotstånd. Detta innebär starkt försvårad rotutveckling.

En motsvarande undersökning inom ramförsöket visar likaledes höga värden i penetrationsmotstånd vid upptorkning. I försöksleden med organisk substans var motståndet dock lägre, i genomsnitt 25 %.

Skillnader i struktur och grävbarhet mellan olika försöksled inom ramförsöket har också påvisats genom vridmotståndsmätning med vingborr. Med ökad kolhalt i intervallet 1.0 till 2.7 % minskar vridmotståndet med ung. 20 %.

Dessa undersökningar verifierar alltså iakttagelser i fält att försöksled med vikande humustillstånd visar sämre struktur och rotmiljö. Detta har primärt lett till ojämna uppkomst, glesare bestånd och slutligen lägre skörd. Försöksled med högt humus innehåll å andra sidan visar förändringar i de fysikaliska egenskaperna som får anses positiva och bidrar till bättre brukbarhet och högre skörd.

Sammantaget utgör de utförda markundersökningarna ett underlag dels för bedömning av försöksplatsen och möjligheterna till generaliseringar dels för belysning av iakttagna samband struktur, brukbarhet och skördeutfall på olika försöksled inom ramförsöket. Man kan anta att de funna effekterna blir mer utpräglade vid normalt maskinbruk än de som erhållits vid det relativt lätta bruket inom ramförsöket.

Summary

Since 1956 a trial on clay soil has been conducted at Ultuna. The trial is intended to illustrate the influence on soil and yield of application of different organic materials and nitrogenous fertilizers. Specifically, the present investigation will illustrate changes in the soil's physical and mechanical properties as a result of different treatments. The parameters studied comprise particle size distribution, total pore space and its distribution in different pore sizes, air permeability, drainage capacity, compaction liability and resistance to penetration.

The topsoil in the trial consists of a humus-poor intermediate clay with a clay content of 35 %. The subsoil has a slightly higher clay content with a very well developed structure implying good root environment and access to water.

In the same field and soil, profile-investigations were conducted in 1955 and 1969 with physical data. In these cases the topsoil was cultivated by machine, as opposed to the topsoil inside the experimental area which due to the wooden frames are tilled by spade and handtools. Comparisons are made between the physical characteristics on the implement-tilled area and the spade-tilled soil, revealing differences that must be considered when generalizing the results of the trial. The structure in the topsoil within the trial is loose and uniform without the sharp differences between seed bed and the central part of the topsoil that occurs following implement tillage.

The examination of porosity and pore size distribution reveals that also the alterations in the porespace are considerable within the spade-tilled area compared to the implement-tilled field.

In the trial treatments supplied with organic matter, have an average larger pore space than those that only received fertilizer. Pore space varied from circa 47 % at a carbon content of 1.2 % to about 54 % at a carbon content of 2.4 %. The organic matter supplied is under decomposition and the latest application still has a partly retained structure, for example, straw, saw dust and peat. During the 20 years of the trial most of the crude organic matter has, however, been able to form humus and become integrated with the mineral soil (Persson, 1980). The porosity of the remaining crude organic matter is added to the porosity of the original soil and contributes to the total porosity. This is particularly obvious in the peat treatment.

The increase in the total pore space is largely due to the proportion of pores larger than $4\text{ }\mu\text{m}$. In the treatments with application of organic matter increases were found in pore size ranges of both $4 - 60\text{ }\mu\text{m}$ and $60 - 600\text{ }\mu\text{m}$. In treatments without organic matter the main increase was in the range $60 - 600\text{ }\mu\text{m}$.

The permeability for water and air shows a co-variation with the crude pore system. The treatment with organic matter thus has, on average, higher values.

The investigation of compaction liability illustrates the strength of the soil. The loose soil in the spade-tilled treatments had large compaction liability. After compaction the final pore volume is lower within the spade-tilled area than on normally tilled soil that is exposed to the same load.

Finally, analyses were made of possible relationships between the soil properties found and the yield obtained. At normal nitrogen levels obtained by supply of fertilizer or nitrogeneous material, a slight increase in yield was found (average yield for the period 1970-75) with increasing humus status. Some of this increment can be interpreted as an effect of the improved physical environment.

In the treatments with decreasing humus status a slightly poorer ability to tillage has been noticed during the course of the trial, together with poorer emergence and a tendency for crusting and imperviousness. As an illustration of this, reference is made to an earlier investigation on the same soil into root growth and penetration resistance at different moisture levels and degrees of compaction. Already a moisture level corresponding to 6 meters tension in the soil water gives a remarkably high penetration resistance. This implies strongly inhibited root development.

A corresponding investigation within the trial showed similarly high values for penetration resistance when soil is getting dry to the mentioned level. In the treatment with organic matter the resistance was, however, lower, on average, 25 %.

Differences in structure and tillage properties between different treatments within the trial were also demonstrated by means of measuring the sheering resistance to a vane borer. At increased carbon-content in the range 1.0 - 2.7 % the sheering resistance decreases by about 20 %.

These investigations thus verify field observations that treatments with decreasing humus status have poorer structure and root environment. This has foremost led to uneven emergence, thinner stands and, finally, lower yields.

The treatments, which have given a continuously better humus status, show in opposite a positive change in physical properties resulting in better tillage and finally higher yields.

The soil investigations together form a base for judging the experimental site and the possibility for generalization of the differences in structure and tillage capacity observed as well as the dependence of yield on the physical environment in different treatments within the spade-tilled trial.

Litteratur

- Andersson, S. och Wiklert, P. 1960. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XI. Studier av några markprofiler på Ultuna egendom. Grundförbättring, 12.
- Andersson, S. och Wiklert, P., 1970. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XX. Studier av några markprofiler i Norrland. Grundförbättring, 23.
- Eriksson, J., Håkansson, J. & Danfors, B. 1974. Jordpackning - markstruktur - gröda. Jordbrukstekniska Institutets medd. nr 354, Uppsala.
- Eriksson, J. 1975. Influence of extremely heavy traffic on clay soil. Grundförbättring, 27.
- Heinonen, R. 1961. Nitrat- och vattenhushållningen i torkkänslig lerjord. Grundförbättring, 14.
- Nilsson, K.O., 1980. Skördeutveckling och omsättning av organisk substans vid användning av olika kvävegödselmedel och organiska material. Undersökningar i ett ramförsök under 20 år. Rapporter från avdelningen för växtnäringslära, nr 127.
- Persson, J. 1980. Detaljstudium över den organiska substansens omsättning i ett fastliggande ramförsök. Rapporter från avdelningen för växtnäringslära, nr 128.