

Markens egenskaper och markvård i ekologisk grönsaksodling



Foto: Åsa Rölin

Marken som levande resurs, jordbearbetning och markvård

Text: Artur Granstedt, Stiftelsen Biodynamiska Forskningsinstitutet, Järna

Kraven på odlingsmarkens fysikaliska, kemiska och biologiska bördighetsegenskaper är särskilt höga vid odling av trädgårdsväxter med stora behov av tillgänglig växtnäring och god vattenförsörjning. Särskilt odling av rotfrukter som morötter förutsätter en tillräckligt djup och lucker jord. Förutsättningarna för mekanisk ogräsreglering måste också vara goda. För en fullgod försörjning med växtnäring och mullbildande ämnen krävs också samverkan med djurhållande lantbruk.

Jordmånsbildande faktorer

Vår odlingsjord har en förhistoria som är natur- och kulturbetingad. Uppodlingen har i första hand skett där betingelserna varit särskilt gynnsamma för utbildningen av markegenskaper lämpade för våra kulturgrödor. Mera marginella odlingsmarker har övergivits efter en tid. Odling av grönsaker och rotfrukter ställer särskilt höga krav och det är i allmänhet de allra bästa jordarna som här kommer till användning.

Matjorden har sitt ursprung i växtriket och vittrat berg. Hela jordprofilen ner till de ursprungliga sedimentlagren eller berggrunden kallas *jordmån*. En jordmån bildas under långa tidsrymder genom levande organismers inverkan på mineraljord eller kalt berg under inflytande av varierande klimatiska och topografiska förhållanden. De levande organismerna samverkar med de fysikaliska förutsättningarna och det geologiska underlaget. Vissa bergarter, exempelvis kalkgrund, ger en helt annan fruktbarhet och jordmån än de i vårt land mer vanliga sura silikatbergarterna. Jordarna i Sverige, liksom de vittade bergarterna, är relativt unga. Lerorna är av s.k. *flerskiktstyp*, vilket innebär att de har en mycket god näringshållande förmåga. Detta är inte fallet med enkelkornjordar som sand, mo och mjåla. Aggregatbildningen avtar också med minskat lerinslag. Därför är en tillräcklig hög humushalt av särskilt avgörande betydelse för sådana jordars odlingsegenskaper samtidigt som den organiska substansen här i allmänhet bryts ned snabbare.

Vi har i Sverige två dominerande jordmånstyper, *brunjord* och *podsoljord*. Båda karakteriseras av vårt fuktiga klimat, där nederbörden är större än avdunstningen. Detta innebär en ständig återkommande avrinning och urlakning av närsalter från det översta markskiktet. En helt motsatt process svarar växtligheten för, genom att från djupare marklager transportera upp näringsämnen och antingen direkt eller indirekt via skörderester och gödsel anrika näringen i matjorden. Det är en anledning till varför

det är så viktigt att djuprotade växter, t. ex rödklöver eller lusern, ingår i växtföljden. I kapillära jordar kan också en betydande uppåtriktad näringsström ske med markvattnets stigning.

Matjorden

Markens totala organiska del kan delas upp i

- 1) mullråämnena (huvudsakligen döda mer eller mindre nedbrutna växtdelar),
- 2) levande organismer och
- 3) omsatt och stabiliserat organiskt material, s.k. *humus*.

Termen mull används för dessa fraktioner tillsammans.

Markens organiska del, mullen, är en produkt av växtriket. Växternas ovanjordiska och underjordiska delar är grunden för uppbyggande och vidmakthållande av matjorden, som är förutsättningen för högre växter. Vid en mullhalt av 3 procent finns 60 ton organiskt kol, 5 ton kväve och ca 1 ton fosfor per hektar bundet huvudsakligen i form av humus samt levande organismer och ännu inte färdigomsatt organiskt material. Det stora kolförrådet i matjorden har ursprungligen genom växternas fotosyntes bundits ur luften. Även kvävet kommer ursprungligen ur luften genom biologisk kvävefixering (i det konventionella jordbruket också tillskott av industriellt fixerat kväve) medan övriga mineralämnen har sitt ursprung i vittrat berg. Trots mullförrådets relativt låga andel av matjorden så har det en helt avgörande betydelse för matjordens bördighetsegenskaper.

Nedbrytning och uppbyggnad

Tillfört organiskt material (mullråämnena) genomgår en process som kan liknas vid matsmältning; resultatet blir energi och näring för markorganismernas substansuppbyggnad och verksamhet. Samtidigt börjar en omformning och uppbyggnad av jordens egen kroppssubstans, humussubstanserna. Svårnedbrytbart organiskt material, mellanprodukter från de olika stegen i nedbrytningen och ämnen som bildas av markorganismerna bildar nya, mycket stora molekyler. Humussubstanserna har en kol-kväveknot på 10. Detta innebär att humusen har en högre kvävehalt än döda växtdelar (ca 5 procent av humusens torrs substans utgörs av organiskt bundet kväve). Kvävefrigörelsen från det stora markbundna kväveförrådet bromsas av att humusen är mycket motståndskraftig mot mikrobiell nedbrytning. Endast ca en procent av stabilhumusen bryts ned per år. I god åkerjord kan 50 procent av den

organiska substansen vara bunden i lerhumus komplex. Detta främjar bland annat den viktiga aggregatbildningen, vilket ytterligare förhindrar en alltför snabb nedbrytning av mulden. I marken förenas det mineraliska (oorganiska) och det organiska med varandra.

Markens organiska del är av avgörande betydelse för vattenhushållning, markklimat, gasutbyte, markstruktur och växtnäringshushållning. Humusen har en hög katjonbindande förmåga och kan därigenom kompensera för enkelkornjordarnas låga närings-hållande förmåga. Den i och för sig långsamma mineraliseringen av kväve, fosfor och andra viktiga näringsämnen som svavel är en viktig komponent för kulturgrödornas växtnäring. Markens egen kvävelevererande förmåga kan uppgå till 50 kg N per ha. Samtidigt frigörs också ca 10 kg organiskt bundet fosfor. Det kan anses vara normalvärdet vid en mullhalt på 3 procent motsvarande ca 100 ton humus per ha i matjorden. Vid högre mullhalter är frigörelsen motsvarande högre och vid odling av radhackade grödor kan den öka ytterligare. Vid en ökad organisk gödsling ackumuleras mera lättomsättbara humusfraktioner som omsätts snabbare och ökar på markens egen förmåga att frigöra tillgänglig växtnäring. Detta är särskilt önskvärt i ekologisk trädgårdsodling. Denna uppsnabbade nedbrytning av organisk substans i marken måste emellertid motsvaras av en minst lika stor nybildning av humus och kräver att tillräcklig tillförsel av mullbildande ämnen. I Waldemar Johanssons avsnitt om markens struktur framgår det att i storleksordning en tredjedel av den tillförda organiska substansen bidrar till ny humus medan resten bryts ned för organismernas egen försörjning med energi och näring. Det är det kväve och andra ämnen som ej åtgår för humusupbyggnaden som antingen kan gå förlorat eller genom rätt anpassning i tiden bli till en effektiv förfruktsverkan vid vallbrott, gröngödsling och stallgödsling. Vid nedbrukning av mera kvävefattigt material som en gammal gräsvall eller halm kan man omvänt få en negativ förfruktsverkan som konsekvens av de kvävekrävande humusupbyggande processerna.

Markorganismerna

I storleksordningen 5 procent av markens organiska substans är levande. Det är i stort sätt lika mycket liv ovan som under jord. Markens organismer lever av det döda organiska material som tillförs marken. De utgör tillsammans en näringsväv av första, andra och tredjeordningens konsumenter. Det är den första ordningens konsumenter som lever direkt av växtmaterialet medan de övriga är rovdjur på mikrobnivå. Därutöver finns det en speciell grupp av svampar och bakterier som lever i symbios med levande växter och en del parasitiska organismer. I en jord med en mullhalt på 3 procent innebär det ca 5 ton levande organismer per ha varav ca 2 ton svamporganismer och alger, 2 ton bakterier och actinomyceter samt ca 1 ton dagmaskar och andra

större organismer som ringmaskar, tusenfotingar, jordlöpare och den del mindre som hoppstjärtar och kvalster. Dagmaskar, tusenfotingar och hoppstjärtarna fragmenterar det grövre organiska materialet i samverkan med mikroberna som upplöser vävnadsstrukturerna. Dagmaskarnas diet består av jordpartiklar med mineraler, delvis nedbrutna växt-delar och mikrober. Efter passagen genom dagmaskarnas tarmkanal har mängden mikroorganismer och mineraliserade från mineralpartiklarna upplösta och växttillgängliga näringsämnen ökat samtidigt som maskarna bidrar till bildning av de mera stabila humusämnena.

Symbios mark – växt

Rhizobiumbakterier och deras symbios med baljväxterna som grund för den ekologiska odlingens kväveförsörjning, finns utförligt beskrivet i avsnittet om gröngödsling av Elisabeth Ögren. Symbios mellan mykorrhiza, dvs rotsvampar, och växter är också av mycket stor betydelse för växtnäring-försörjningen. De slags rotsvampar (s.k. endomykorrhiza) som finns hos våra kulturväxter har visat sig vara särskilt viktiga för grödornas fosforförsörjning. När rotsvampar saknas måste compensation ske genom ökad tillförsel av lättlöslig fosfor för att få samma tillväxt.

Saltgödselmedel, t.ex. superfosfat, minskar förut-sättningarna för att mykorrhiza utvecklas på växt-rötterna och ökar ytterligare beroende av mineralgödsel. Användningen av särskilt svampbekämpningsmedel skadar också dessa för växternas nyttiga svampar. Mykorrhizasvamparna är inte artspecifika, men de finns inte hos kålväxter. Mykorrhiza är viktig för växterna i följande avseenden:

- En större jordvolym blir tillgänglig för växternas näringsförsörjning tack vare svamphyfernas utbredning.
- Den näringsupptagande ytan blir större.
- Svårösliga mineraler, t. ex. fosfor, tas aktivt upp ur marken.
- Rotmikrofloran påverkas, och skydd mot parasiter skapas.
- Rotens fysiologi påverkas, och växtens vattenförsörjning gynnas.

De kolonier av bakterier som lever på eller mycket nära växternas rötter av rötternas energirika utsöndringar lever egentligen också i symbios med växten. Det har anförts att bakterierna i sin tur är näring till de bakterieätande organismer som mineraliserar växttillgänglig näring osv. Någon gräns kan dock inte göras för arten av olika samspel i tid och rum. Egentligen är hela systemet mark och växt ett ömsesidigt beroende och samspel och som vi måste lära oss samverka med i den ekologiska odlingen genom att skapa de betingelser som livet i marken kräver.

Brunjord

I bättre ängsmark och lövskog finner man brunjorden. Förmultningen under vegetationstäcket går här, under inverkan av bakterier och markdjur, så fort att något oförmultnat råhumusskikt inte bildas såsom fallet är med den i skogsmark mer vanliga podsoljorden. Brunjorden karakteriseras av att det utvecklas en svart mylla av olika djup, som gradvis går över i mineraljordsskiktet. Det är denna jordtyp, brunjord, som huvudsakligen tagits i bruk för odling.

En speciell jordtyp som utvecklas ur våtmarksområden är de rena mulljordarna. De är som jordar betraktade egentligen en övergångsform; om de uppodlas försvinner de med tiden. Avgörande för mulljordarna är på vilket mineraljordsunderlag de ligger och om de härstammar från näringsrika kärrmarker eller näringsfattig mosstorv.

Kulturjorden och markens struktur

Den jord som tagits i bruk av människan för odling har genomgått ytterligare förändringar genom odlingsåtgärderna. Anrikningsskiktet av mull överst i markskiktet är upplandat med den underliggande mineraljorden till plöjningsdjup så att mullhalten i mineraljordar uppgår till i allmänhet 2,5–6 procent ned till ca 20 cm. Den gamla inägomarken som genom kanske många hundra år fått tillgång till djurens gödsel har i allmänhet högre näringsvärden och är i bättre kultur än den gamla slåtterängsmarken där en utarmning skedde innan växtföljdsjordbrukets införande under 1800 talet.

I avsnittet om markens struktur beskriver Waldemar Johansson hur övergång från valldominerad odling till odling av huvudsakligen stråsäd eller radhackade grödor kan leda till en snabb mullhalts-sänkning. Kulturåtgärderna kan både påverka jorden i en positiv eller negativ riktning. Jämförande försök visar hur mullhalten, mängden humusämnen och olika typer av organismer ökar i ekologisk odling jämfört med konventionell odling. Senast i en artikel av Paul Mäder m.fl. i den väl ansedda tidskriften *Science* i maj 2002. Tydliga skillnader förelåg också mellan konventionell och ekologisk odling vad det gällde den biologiska aktiviteten i marken och markens strukturegenskaper i det där beskrivna s.k. DOK-försöket som pågått under 21 år i Schweiz. (DOK står för de i försöket jämförda tre odlingssystemen: bioDynamisk, Organisk (ekologisk) och Konventionell odling). Dessa resultat bekräftar vad som tidigare framkommit i långliggande både svenska och tyska försök. Det bör också framhållas att de bästa markbiologiska egenskaperna har framkommit i samband med biodynamisk odling där komposterad gödsel och biodynamiska preparat använts.

Markens textur är naturgiven. Jordar med låg lerhalt kan dock ha goda brukningsegenskaper om man lyckas vidmakthålla eller bygga upp en hög mullhalt. Markstrukturen är däremot mera direkt ett

resultat hur man har brukat jorden. Markstrukturen i matjorden och även djupare ned i marken har en avgörande betydelse för livsprocesser i marken, för växtrötter och mikroorganismer. Strukturskador är inte svåra att upptäcka när man ser ut över ett fält på sommaren. Detta blir särskilt tydligt i ekologisk odling, där man inte genom förhöjda mineralkvävmängder kan överskugga eventuella underliggande skador. Vissa tider på året ser man tydligt var dräneringsrören går och eventuella kör och packningsskador avslöjas i grödornas uppkomst, utveckling och inte minst färgen på grödorna. Kvävetillgången är i allmänhet en begränsande faktor och avläses på den gröna färgen i fältet. Till skillnad från naturmarken är strukturen i den odlade jorden starkt påverkad av odlarens åtgärder i uppbyggande och nedbrytande riktning

Markprofil

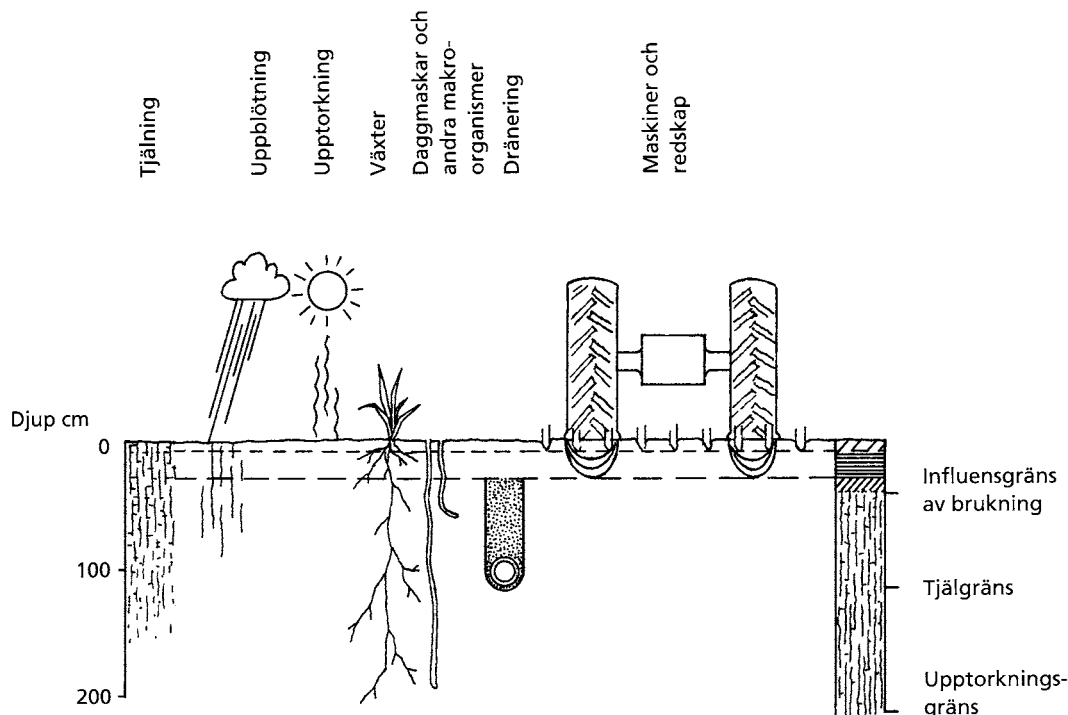
En god kännedom om den egna odlingsjorden och kunskap om hur olika åtgärder inverkar på bördighet och produktionsförmåga kan övas upp genom egna iakttagelser. Man kan studera markprofilen närmare genom att gräva en grop i marken med ena väggen lodrät. Ytan bearbetas så att den naturligt ojämna strukturen kommer fram. Makrostrukturen syns i form av rotkanaler, sprickbildningar och maskgångar. Mikrostrukturen med sina små hålrum (mikroporer) finns inne i aggregaten. Markskiktets indelning i matjord och alv framgår tydligt. Matjordens ytlager är profilens kontaktzon med atmosfären. Här sker det viktiga gasutbytet med markluften i det grövre porsystemet. Det är viktigt att detta är strukturstabilt, så att tillslamning, skorpbildning och erosion förhindras. Bra jord är porös och har grynstruktur genom hela matjordsskiktet. Växtrötterna ska vara väl förgrenade och det ska finnas tydliga maskgångar. Matjordens bottenlager mot alven bör ha en jämn övergång utan isolerande skikt, vilket tyvärr kan vara fallet på vissa problemjordar. En förtätad plogsula syns tydligt. Oomsatt halm i plogsulan kan bryta de viktiga kapillära ledningsbanorna.

En jord med god markstruktur karakteriseras på följande sätt:

- Marken är lättbearbetad.
- Regnvatten sugs snabbt upp i marken.
- Skorpbildning uppstår inte och jorden är inte torkkänslig.
- Åkern tål de nödvändiga körningarna.

Faktorer i odlingen som påverkar

Valet av olika djupt rotade växter kan påverka strukturen ned till och även under dräneringsdjupet. När roten tränger fram och därefter växer till i tjocklek blir resultatet kvarstående rotkanaler och mullbildning på större djup. På en väl-dränerad lerjord kan höstsädens frörötter redan under hösten nå till en meters djup. Påföljande år kan under gynnsamma förhållanden en omfattande rotutveckling ske (kronrötter). Rötterna kan då ta upp vatten ända ner till



Figur 1. Några viktiga faktorer för profilbildningen i åkermark. Markstrukturmönstret i aggregerad jord (lerjord) med ungefärliga strukturgränser. Hur påverkan sker av dessa faktorer är en viktig biologisk kunskap som kan ha avgörande betydelse för odlingsresultatet. (Källa: Granstedt m.fl., 1998. Efter Eriksson m.fl. 1974)

1,5–2 meters djup. I ekologisk odling kan rotsystemets omfattning vara mer omfattande än vad man hittills ansett som vanligt i det konventionella jordbruket.

Mindre tillgång på lättillgänglig växtnäring ökar andelen rotbiomassa liksom också den mängd energirika exudat (energirika organiska föreningar) som rötterna avger till mikroorganismerna i marken.

Markstrukturen kan påverkas positivt av sådana klimatiska förhållanden som tjälbildning ner till frostdjup och förändrad fuktighet. Dräneringsåtgärder kan, genom markens upptorkning, ge bestående förbättringar av markstrukturen och öka rotdjupet. Genom snabb upptorkning minskar skadorna vid jordbearbetning. Vid stora marktryck och våta förhållanden kan maskiner och redskap ge länge bestående skador på markstrukturen. Detta gäller såväl matjorden som i plogsulan och alven (figur 1).

Trädesbruk och hackgrödor bidrar till en snabbar nedbrytning av det organiska materialet och verkar därigenom försämrade på markstrukturen. Tillfälligt kan emellertid hackningen bidra till att bryta upp redan bildade skorpor, hålla jorden lucker och förbättra rötternas förmåga att tränga genom en större rotvolym. Vårplöjning kan av samma skäl rekommenderas på struktursvaga jordar. Alvluckring kan vara motiverad, särskilt om ett spärrskikt har utvecklats i övergången till alven.

Val av gröda

En rätt avvägning mellan strukturuppbyggande och strukturbedbrytande grödor är viktig för att upprätthålla en god markstruktur. En gröda med gynnsam

effekt på markstrukturen har vissa egenskaper. Den ska förbruka lagom med vatten, så att marken är upptorkad under största delen av året. Den odlings teknik som grödan kräver ska innebära lite körning, med tunga maskiner under våta förhållanden. Grödan bör efterlämna stora mängder rötter och skörderester.

Av alla största betydelse är här vallen. Genom sina kvarlämnade rotrester bidrar den till att under flera år upprätthålla en acceptabel struktur, även på enkelkornjordar. Detta förstärkes ytterligare om också organiska gödselmedel tillförs. Vallen kan aldrig ersättas på våra s.k. problemjordar. En balansberäkning kan göras för humusuppbyggande och humusnedbrytande grödor. En sådan beräkning kan vara vägledande som kontroll för att man har en positiv humusbalans i växtföljden.

Rotfrontens djup är mycket olika på en styv lerjord, en mjälalera och en sand jord. Jämförande studier har visat att under goda nederbördsförhållanden kan en spannmålsgröda tränga ned till 1,5 meter vid axgång medan samtidigt rötterna tränger ned hälften så djupt i en mjälalera och endast drygt 50 cm på en sandjord. Under mer torra förhållanden så tränger rötterna bara ned till strax under matjordsskiktet på enkelkornjordar medan rötterna kan tränga djupare ned i den styvare lerjorden. Extrem torra kan emellertid leda till upptorkning så att rötterna inte hinner utvecklas för att taga upp vatten djupare i markprofilen. Ett visst lerinslag verkar alltid gynnsamt. Ökad humushalt verkar också gynnsamt. Åtgärder som leder till mer organiskt material djupare i marken gynnar utvecklingen av en större rotvolym. Jämförande studier både i Sverige och i Tyskland

Tabell 1. Olika grödors inverkan på markens struktur. Plustecken betecknar positiv effekt och minustecken negativ effekt.

	Förbättrad markstruktur +	Försämrad markstruktur -
Flerårig vall med baljväxter:	Ej säd varje år Frostluckring Uttorkande Efterlämnar stor rotmassa Djupt rotsystem	
Höstoljeväxter:	Torr sådd Frostluckring Uttorkande Luckrande rotsystem	
Höstsäd:	Torrt vid sådd Frostluckring Uttorkande Djupt rotsystem	
Bönor, ärter:	Luckrande rotsystem	Fuktigt vid sådd
Vårsäd och vårsådda grönsaker:		Fuktigt vid sådd
Vinterrotfrukter:		Fuktigt vid sådd Omfattande körning Vått vid upptagning

har visat högre halter av organisk substans i alven i biodynamisk och ekologisk odling jämfört med konventionell odling.

Mjälalerorna blir extra hårda och rotovänliga genom den avdunstning som sker i samband med den snabba kapillära upptransporten av vatten. Tillförsel av marktäckande organiskt material har i försök gett utomordentligt goda resultat på särskilt sådana jordar. Val av grödor har en avgörande betydelse för markstrukturen (tabell 1).

Markvård och odlingssäkerhet

Genom en stor andel vall, tillförsel av organiskt material och med ett omväxlande grödval vidmakthålls en god markstruktur i ekologisk odling. Detta gäller i såväl lantbruk som i mer intensiv trädgårdsodling. Med en bättre markstruktur, en på sikt högre mullhalt och ett djupare rotsystem är odlingen mindre utsatt för torra. Många ekologiska odlare anser sig ha större odlingssäkerhet än deras konventionellt odlade grannar. Det kan emellertid krävas en längre övergångstid om strukturen är starkt nedgången före omläggningen. En väl fungerande dränering är en viktig grundförutsättning.

Lättare maskiner och en mer behovsanpassad plöjning, tillsammans med andra alternativa bearbetningsredskap, leder också till en förbättrad markstruktur. Det är viktigt att plöja grunt men väl. Det ska bli en aerob omsättning (med tillgång till syre) av det organiska materialet. Följ höjdkurvorna så minskar markerosionen och lämna kantzoner till öppna diken. Det är också viktigt att minimera transporterna på åkern. Använd fasta körvägar.

Litteratur

- Dlouhy, J. (1981). Alternativa odlingsformer – växtprodukters kvalitet vid konventionell och biodynamisk odling. Institutionen för växtodlingslära, SLU. Rapport nr 91.
- Fliessbach, A. & Mäder, P. (2000). Results from a 21 year old field trial. Organic farming enhances soil fertility and biodiversity. FiBL-DOSSIER, nr 1, August 2000. Research Institute of organic Agriculture (FiBL). CH-5070 Frick.
- Granstedt, A. (1998). Ekologisk odling i det framtida kretsloppssamhället. Naturskyddsföreningens förlag.
- Granstedt, A., Bovin, H. Brorsson, K-Å., Lund, V. & Rölin, Å. (1998). Ekologiskt Lantbruk – fördjupning. Natur och Kultur/LTs förlag.
- Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P. & Niggli, U. (2002). Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science*, 296, 1594–1597.
- Pettersson, B., Kjellenberg, L. & Granstedt, A. (1998). Samband mellan mark, gröda och gödsling. Resultat från K-försöket, en 33-årig studie av gödslingens inverkan på mark och grödors egenskaper. Nordisk Forskningsring, Meddelande nr. 36.
- Pettersson, B. D., Reents H. J. & Wistinghausen E. V. (1992). Gödsling och markegenskaper. Resultat av ett 32-årigt fältförsök i Järna i Sverige (På tyska med svensk sammanfattning). Nordisk Forskningsring, Meddelande nr. 34.
- Sobelius, J. (1993). Lär känna din jord. SLU-info.

Markens struktur och fysikaliska egenskaper

Text: Waldemar Johansson, Inst. för markvetenskap, SLU, Uppsala

Bra struktur och goda fysikaliska egenskaper hos marken är viktiga förutsättningar för en uthållig, resurssnål och miljövänlig odling. Hur de fysikaliska förhållandena i dag är i en enskild jord beror av tidigare grundförbättringsåtgärder, odlingsystem och bruksåtgärder. Dagens odling, jordbearbetning m.m. kommer att påverka strukturen och de fysikaliska egenskaperna under lång tid framöver.

Markstruktur

Markens struktur kan vetenskapligt definieras som det sätt på vilket olika slag av partiklar i jorden är lagrade och hopfogade i förhållande till varandra. Praktiskt kan man se strukturen som den fasta delen i en byggnad, i vilken sten, grus, primära partiklar av finjord – sand, mo, mjäla, ler – samt mull och oförmultnade växt- och djurrester utgör byggmaterial och där sammansatta eller sekundära partiklar – s.k. aggregat – är byggelement.

Grus-, sand- och mojordar har vid normala mullhalter s.k. enkelkornstruktur. De primära partiklarna är i sådana jordar inte hopfogade eller endast löst hopfogade vid varandra. Ofta kan även grovmjälajordar anses ha enkelkornstruktur. Aggregat bildas eller kan bildas i kolloidrika jordar dvs. i jordar som innehåller ler och mull eller antingen ler eller mull. En jord eller ett skikt som uppbyggs av aggregat

sågs ha aggregatstruktur. I regel har aggregaten i en jord olika storlek, form och stabilitet och vanligen varierar dessa egenskaper med djupet.

Den struktur vi kan se eller känna i en markprofil (vertikal vägg i marken) kallar vi grovstruktur eller makrostruktur. Högra bilden i figur 1 visar en bra makrostruktur; med avrundade grynlika aggregat. Bakom den synliga strukturen finns en finstruktur eller mikrostruktur, som kan avslöjas med fysikaliska och kemiska analysmetoder.

I mark eller skikt där hela jordmassan eller stora delar därav hänger samman utan synbara sprickor eller andra hålrum sägs strukturen vara massiv. Sådan struktur kan man se i matjorden och i övre delen av alven på packningsskadade lerjordar. Plöjning, harvning m.m. av en torr lerjord med massiv struktur ger lätt upphov till en kokig markstruktur. I de allra flesta odlade jordar finns under det normala plogdjupet en plogsula, som är tätare och har sämre struktur än ovanliggande matjord och underliggande central del av alven. Vid plöjningsfri odling kan man få en bearbetningssula i matjorden.

Strukturen i en jord förändras under året och från år till år som följd av naturliga faktorer och av odlarens åtgärder. Naturliga processer såsom tjäle, rotutveckling, uppblötning och upptorkning är strukturuppbyggande. Jordbearbetning och körning på mark är strukturbedbrytande. Normalt är influenserna och förändringarna störst i matjorden. Lerjordar uppvi-



Figur 1. Markprofiler till ca 45 cm djup från en mullhaltig styv lera som hållits i öppet bruk under tio år (vänstra bilden), burit ängsgröevall i fyra år efter sex år i öppet bruk (mittbilden) och burit gräsvall i minst tio år (högra bilden). Profilerna är tagna inom 10 m avstånd från varandra. (Foto: P. Wiklert)

sar i regel störst strukturvariation både med djupet och över tiden. Två jordar med lika geologisk och jordartsmässig sammansättning kan vid en given tidpunkt ha mycket olika aktuell markstruktur. Odlaren kan nästan alltid förbättra sin jord.

Fysikaliska egenskaper

Markens porsystem

Hur marken fungerar som fysikaliskt underlag för vegetation beror av de egenskaper och betingelser som strukturen skapar. Stor betydelse har porsystemet dvs. porernas (hålrummens) storleksfördelning och sammanhang. Det är mer eller mindre specifikt för varje typ av jord och för varje tidpunkt. Ju mer stabil strukturen är desto mindre varierar porsystemet över tiden.

I mineraljordar upptar porerna mellan 30 och 60 % av markens totalvolym; porositeten är mellan 30 och 60 %. Normalt har moränjordar minst och mycket styva leror störst porositet bland mineraljordarna. I organogena jordar är porositeten oftast större än 60 %. I rena mulljordar kan den vara större än 90 % under plogsulan.

Porstorleksfördelningen i en jord kan bestämmas med avsugningsmätningar på uttagna prov. Indelning kan göras i olika storleksklasser. Porer med diametern mindre än 0,0002 mm kan betecknas som små, porer inom intervallet 0,0002–0,03 mm som medelsmå, porer inom intervallet 0,03–0,3 mm som medelstora och porer större än 0,3 mm som stora. Ett skikts volym av medelsmå porer utgör ett ungefärligt mått på dess fysikaliska kapacitet för växttillgängligt vatten. Porer större än 0,03 mm töms helt på vatten vid 1,0 m dräneringsdjup räknat från den nivå där de finns. Medelstora och stora vertikala porer är en förutsättning för hög vattengenomsläpplighet och för snabb avrinning från rotzonen på våren och efter stora regnmängder. Sådana porer ger därtill möjlighet till god genomluftning även vid höga vattenhalter och till snabb djuptillväxt av större rötter. Hos odlade sedimentära lerjordar och mulljordar är volymen av medelstora och stora porer normalt mindre i matjorden än centralt i alven.

Vattengenomsläpplighet och infiltration

Markens genomsläpplighet i vattenmättat tillstånd benämnes permeabilitet, vattengenomsläpplighet eller enbart genomsläpplighet. För icke vattenfylld (omättad) jord talar man om ledningsförmåga för vatten. Vattengenomsläppligheten kan anses som mycket låg om den är lägre än 0,4 mm/tim, som låg om den ligger inom intervallet 0,4–4 mm/tim, som medelhög inom intervallet 4–40 mm/tim, som hög inom intervallet 40–400 mm/tim och som mycket hög om den är större än 400 mm/tim.

I de flesta odlade jordar har matjorden och plogsulan lägre genomsläpplighet än närmast underliggande alv. På lerjordar som odlas i övervägande öppet bruk är dagens värden för dessa delar av mar-

ken i många fall mycket låga eller låga. Gyttjejordar och gyttehaltiga leror har i regel hög till mycket hög genomsläpplighet, i varje fall i alven, som följd av permanent sprickbildning. Hos andra organogena jordar har förmultningsgraden stor inverkan. Ju högre denna är, desto lägre blir genomsläppligheten. I välförmultnade mulljordar är värdena oftast mycket låga.

För varje skikt av en markprofil, hur litet eller stort det än är, gäller att den vertikala genomsläppligheten blir bestämd av det delskikt som har lägst värde. Ett tunt skikt med mycket lågt värde inne i ett betydligt större skikt med högt värde medför mycket låg vertikal genomsläpplighet för hela det större skiktet. En plogsula med låg genomsläpplighet ger låg genomsläpplighet för matjorden plus plogsulan. Uppluckring av eller hålslagning genom ett tunt, tätt skikt kan påtagligt öka genomsläppligheten men också förbättra betingelserna för genomluftning och rotutveckling.

Genomsläppligheten kan vara relativt hög även om det bara finns ett fåtal stora porer per ytenhet. Exempelvis erhålls värdet 40 mm/tim med 50 rotkanaler á 1,0 mm diameter per m² (= en rotkanal/200 cm²) eller med ett maskhål/m² med en diameter av 2,6–2,7 mm. Detta visar på möjligheten att med några få hål per ytenhet öka genomsläppligheten och infiltrerbarheten för vatten.

Vattens nedträngning genom markytan kallar vi infiltration. Hastigheten i denna process – infiltrerbarheten – beror, liksom genomsläppligheten, i hög grad av porsystemet. Vid ihållande regn och/eller bevattning är infiltrerbarheten störst i början. Den avtar sedan, först snabbt och efterhand allt långsammare. Vid stor tillförselintensitet går infiltrerbarheten mot värdet för genomsläppligheten hos den uppfuktade delen av marken. Regn eller bevattning med större intensitet än genomsläppligheten i matjorden leder därför till ytvattenbildning och ytvavrinning. Vatten rör sig nedåt i markprofilen inte enbart under tillförseln och infiltrationen utan också en tid därefter. Nedsjunkningen och omfördelningen kan pågå under lång tid men förändringarna blir på de flesta jordar små efter 1–2 dygn.

Vattenhållande förmåga och dräneringsjämvikt

Från senhöst till tidig vår finns det på många odlade jordar grundvatten nära eller uppe i matjorden. När nivån på våren sänks till t.ex. en meters djup så rinner en del vatten av från marken ovanför. Denna dränering kan pågå under några timmar till några dygn. När den upphört är det kvarvarande vattnet i markens övre meter fördelat på ett för jorden specifikt sätt; en dräneringsjämvikt för en meters grundvattendjup har inställt sig. En ny sänkning av grundvattennivån medför en ytterligare avrinning från hela den ovanförliggande markprofilen och en ny dräneringsjämvikt inställer sig.

Dräneringsjämvikterna ger information om hur mycket vatten som varaktigt kan hållas kvar i mar-

ken vid de aktuella grundvattendjupen. De ger därmed också information om hur stor luftvolym som kommer in i porsystemet vid sänkningarna av grundvattenytan. Det gamla och oftast vagt definierade begreppet fältkapacitet svarar mot en dräneringsjämvikt för mellan en och två meters grundvattendjup.

Det är stor skillnad mellan dräneringsjämvikter på olika jordar. En sand-grovmojord töms på uppemot 150 mm när grundvattennivån sänks från markytan till en meters djup. Motsvarande tömning för mjäliga lättleror blir 20–30 mm, för mellanleror och styva leror med bra struktur och för mulljordar 70–90 mm, för mycket styva leror 10–20 mm och för moränmellanleror 20–30 mm. På jordar med finmo som dominerande jordart dräneras nästan inget vatten av – och det kommer nästan ingen luft in – när grundvattenytan sänks från matjorden till en meters djup. På jordar med mjäla som dominerande jordart måste grundvattennivån sänkas till minst tre meters djup innan nämnvärd mängd vatten kan dräneras av mot djupet.

Finkorniga eller täta skikt i marken med låg till mycket låg genomsläpplighet fungerar vad gäller den vattenhållande förmågan i stort sett som grundvattenytor. Det gör också skikt av grövre material såsom grus eller grov sand i jordar av finare material.

Vissningsgräns och kapacitet för växttillgängligt vatten

Växter vissnar när rötterna inte längre kan ta upp något vatten även om relativa luftfuktigheten är hög. Vid bra markstruktur och normala värden på pH kan odlade växter ta upp vatten tills det vattenbindande trycket i jorden blir ca 150 m vattenpelare (15 bar, 1,5 MPa). Porer större än 0,0002 mm har då tömts på vatten, vattenhalten i jorden har sänkts till en fysikalisk vissningsgräns och det kvarvarande vattnet är inte växttillgängligt. Vattenhalten vid vissningsgränsen blir högre ju finare jordens textur är. Den kan vara ner till 1 vol.-% i en sandjord och uppemot 40 vol.-% i en mycket styv lera.

Man kan genom odling med solros och vete även bestämma en biologisk vissningsgräns. Den blir högre än den fysikaliska vissningsgränsen när markstrukturen är dålig, pH lägre än 4–4,5 och koncentrationen av närings- och/eller saltjoner i markvätskan stor. Undersökningar under senare tid visar på att den biologiska vissningsgränsen ökat hos lerjordar sedan 1950-talet. På lerjordar med dålig struktur kan differensen mellan biologisk och fysikalisk vissningsgräns i matjorden och övre delen av alven nu vara upp till 4–5 vol.-%, dvs. upp till 4–5 mm vatten per dm-skikt. På mulljordar är differensen ofta större.

Differensen mellan vatteninnehållet vid en dräneringsjämvikt och vid vissningsgränsen är ett mått på kapaciteten för växttillgängligt vatten. För mineraljordar, med grundvattendjup på minst en meter, är denna kvantitet, räknat per skiktenhet t.ex. dm, normalt minst hos sandjordar och mycket styva leror och

störst hos finmo- och mjälajordar. Organogena jordar har störst kapacitet per skiktenhet. Kapaciteten för tillgängligt vatten hos rotzonen är förutom av jordarten och strukturen också bestämd av rottdjupet och därmed av grödan. Stor rotzonskapacitet är en förutsättning för god vattenförsörjning och hög nyttjandegrad av näringsämnen. Grödors vattenupptag och tillväxt börjar vanligen begränsas när hälften till en tredjedel återstår av denna vattenmängd.

Mineraljordars kapacitet för växttillgängligt vatten ökar när mullhalten stiger. Särskilt gäller detta sand/grovmojordar och lerjordar, i vilka matjorden – med mullhalt mellan 2 och 5 vikts-% – håller 5–10 mm mera tillgängligt vatten per dm-skikt än alven. Det innebär att en ökning av mullhalten med 1 vikts-% i genomsnitt ger ett kapacitetstillskott av 2 mm per dm-skikt.

I de allra flesta odlade jordar varierar rotzonens vatteninnehåll under vegetationsperioden och därmed också dess innehåll av växttillgängligt vatten och av luft. Endast starkt kapillära jordar kan ha ett nästan konstant – och stort – vatteninnehåll från vår till höst.

Kapillär upptransport

Kapillär upptransport av vatten till rotzonen under växtperioden förekommer på praktiskt taget alla jordar. Dess storlek och betydelse är dock mycket olika. Texturen och strukturen har stor inverkan liksom avståndet till grundvattenytan och rotzonens uttorkningsgrad. Ju mindre grundvattendjupet är desto större mängd vatten kan kapillärt ledas upp under en viss tid. För grundvattendjup större än 50 cm är den möjliga upptransporten per dygn till matjorden störst hos rena finmo- och grovmjälajordar, betydligt mindre hos sandjordar och lerjordar och minst hos mulljordar. Skikt i alven av tätare eller grövre material reducerar den möjliga upptransporten per tidsenhet.

Under högsommarveckor kan avdunstningen i Sverige från växande grödor som inte lider brist på vatten vara upp till 4,5–5 mm/dygn. Så stor mängd vatten kan kapillärt ledas upp till matjorden från grundvatten inom 30–40 cm djup på oskiktade sandjordar och från grundvatten inom 1,5–2 m djup på oskiktade finmo- och grovmjälajordar. På sandjordar och på lerjordar med mer än 20–25 % ler är den kapillära upptransporten till matjorden troligen försumbar när grundvattnet ligger på djup större än 1 m. Sannolikt har kapillariteten något större betydelse för växtligheten på moränleror än på sedimentära leror.

Markluft

Rotzonen under en växande gröda måste med tanke på gasutbyte och syreförsörjning ha ett relativt tätt nätverk av luftförande porer. Luftinnehållet bör enligt de flesta referenser inte understiga 8–10 vol. %. I många fall och särskilt på lerjordar med dålig struktur och på finmo- och mjälajordar är lufthalten i matjorden och övre delen av alven lägre än

8–10 vol.-% i början av växtperioden samt under och den närmaste tiden efter regnperioder. För mjälajordar kan så vara fallet även om grundvattentytan ligger på 3–4 m djup. Skorpbildning medför reducering av luftväxlingen och av syrehalten i marken. På sand- och grovmojordar kan problem med syrebrist lätt uppstå och kvarstå några dygn efter stora regn- eller bevattningsmängder. På mulljordar kan syrehalten på bara några centimeters djup sjunka till mindre än hälften av den ovanliggande luftens. Detta som en kombinerad effekt av dålig luftväxling, beroende på stort vatteninnehåll, och nedbrytande mikroorganismers syreförbrukning.

Ett luftinnehåll av 8 vol.-% motsvarar för varje skikt volymen av 100 000 rotkanaler med en diameter på 1,0 mm per m² eller 10 000 maskhål med en diameter på 3,2 mm per m² (= tio rotkanaler respektive ett maskhål per cm²).

Mullens betydelse

Mullen har stor betydelse för jordars struktur och fysikaliska egenskaper. En ökning av mullhalten på mineraljordar medför bl.a. bättre och stabilare aggregatstruktur, lägre kompaktdensitet (äldre mått specifik vikt), lägre torr skrymdensitet (torr volymvikt), större porositet samt större vatten- och luftgenomsläpplighet. Den fysikaliska vissningsgränsen höjs i jordar med låg lerhalt och sänks i jordar med mer än ca 10 % ler. Kapaciteten för växttillgängligt vatten ökar. Vidare får jorden mörkare färg, vilket påverkar markens energibalans och temperaturförhållanden, oftast i positiv riktning.

Min bedömning är att mullhalten i matjorden på mineraljordar bör vara minst 3,5–4 vikts-% för att en bra markstruktur ska kunna bibehållas eller skapas.

Vad innebär odling?

Krav på dränering

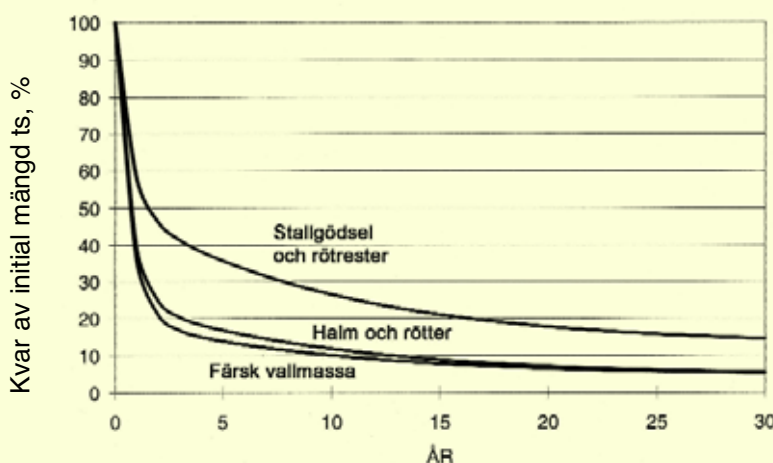
Att vatten leds av snabbt från marken på våren, vid stora nederbördsmängder och under långa regnperioder är en nödvändig förutsättning för fram-

gångsrik odling. Av de 2,7 miljoner ha mark som nu odlas i Sverige utgörs 1,2 miljoner hektar av genomsläppliga och högt belägna jordar som inte behöver systematisk dränering. Omkring 1,1 miljoner hektar har tillfredsställande dränering, huvudsakligen med täckdike, och 0,4 miljoner hektar saknar nöjaktig dränering. På omkring hälften av den systemdikade arealen är dikningen utförd före 1960. Inom 10–20 år kommer dessa äldre täckdikessystem att behöva kompletteras eller helt förnyas. För att ett täckdikessystem ska fungera bra krävs att även stamledningarna och öppna avledningsdiken fungerar. I dag är underhållet av dessa delar i dikessystemen eftersatt på många håll.

Marktillförsel och nedbrytning av organiskt material

Våra nu odlade mineraljordar har i genomsnitt en mullhalt av mellan 3,5 och 4,0 vikts-% i matjorden (0–25 cm). Det innebär omkring 130 ton torrsustans (ts) mull per hektar. Odlade jordar tillförs varje år i medeltal omkring 20 miljoner ton ts av organiskt material. Kvar på eller i marken i slutet av hösten är 15–16 miljoner ton ts eller i medeltal runt 5 500 kg ts per ha. Av denna mängd härrör 6–6,5 miljoner ton från spannmålsgrödor, omkring 6 miljoner ton från odlade vallar, 0,7 miljoner ton från odling av baljväxter, oljeväxter, sockerbetor, potatis och andra växtslag, 2,5 miljoner ton från årets stallgödselspridning samt 0,2 miljoner ton från spridning av organiskt avfall från hushåll, reningsverk, slakterier, socker-, potatis- och grönsaksindustrier. Om all stråsädeshalm lämnades kvar i fält skulle bidraget från spannmålsgrödor öka med 1–1,5 miljoner ton. Landets totala mängd organiskt avfall från hushåll m.m. är ca 1 miljon ton ts/år.

Odlad vall och höstsäd lämnar kvar störst mängd organisk substans per hektar på och i marken. De flesta andra grödor förutom vårsäd ger högst 60 % så stor mängd. Normalt ger ekologiskt odlade grödor – som en följd av lägre skörd – mindre mängd än samma grödor konventionellt odlade.



Figur 2. Modeller för nedbrytning i marken av olika slag av organiskt material från en enskild tillförsel. (Efter Sundberg m.fl. 1997)

Hur snabbt och långt nedbrytningen av färskt och/eller nyligen dött material går beror på materialets specifika egenskaper samt av de fysikaliska och kemiska betingelserna för verksamma markorganismer. Material som vid tillförseln är delvis nedbrutet av mikroorganismer, såsom stallgödsel och röt-rester, bryts ner långsammare och lämnar större andel kvar efter lång tid än färskt material.

I figur 2 finns kurvor för hur enskilda tillförselmängder av färsk vallmassa, av halm eller rötter och av stallgödsel eller rötresten bryts ner i marken. Kurvorna är dragna efter en modell baserad på experimentella resultat. Av figuren kan utläsas hur stor andel av tillförd mängd som finns kvar i marken upp till 30 år efter tillförseln. Mängden kvarvarande material minskar starkt under de två-tre första åren. Enligt modellen skulle efter 100 år återstå 4 % av färsk vallmassa, 4 % av halm och 10 % av stallgödsel.

Långsiktig förändring i mullhalt vid ändring av odlingssystem

Mullmängden i marken förändras långsamt över tiden. Det nuvarande innehållet i mineraljordar är ett resultat av många generationers odling men det är relativt starkt påverkat av odlingen under de senaste 40–50 åren. Odlingen i dag kommer att påverka mullmängden och därmed markens struktur och fysikaliska egenskaper många decennier framöver.

För 50 år sedan var mullhalten i våra odlade mineraljordar sällan lägre än 3 och oftast högre än 4 vikts-%. Enligt en rapport av Eriksson m.fl. 1997 har i dag nära en fjärdedel av den odlade arealen högst 3,0 % mull i matjorden och nästan hälften högst 4,0 % mull. Stor andel åker med låga eller relativt låga mullhalter finns främst i Skåne men också i övriga slättbygds-län i Götaland och Svealand dvs. i län där man sedan länge haft en relativt liten vallandel.

Markpackning

Strukturedbrytning och packning som följd av jordbearbetning och körning med tunga traktorer och maskiner samt av tunga transportfordon är i dag ett allvarligt problem på de flesta odlade jordar. Jorden komprimeras, torra skrymdensiteten höjs, porositeten sänks och andelen stora porer minskar. Porer större än 0,03 mm påverkas mycket starkt. Mindre porer ner till 0,005 mm påverkas i succesivt mindre grad.

Enligt undersökningar vid SLU:s jordbearbetningsavdelning har vi i Sverige sedan länge ett jämviktsläge vad gäller packningskador i matjorden. Dessa skador – jämfört med jordarnas egenskaper för 50–60 år sedan – bedöms för flertalet svenska gårdar medföra att skördarna i dag i genomsnitt är mellan 5 och 10 % lägre än de kunde vara.

Alvens övre del är i dag mycket mer packad än för några decennier sedan och alvpackningen tycks nu dessutom öka snabbt på många håll. Mätningar åren

1993–95 inom ett område med sockerbets- och potatisodling visade att alven till 60 cm djup på praktiskt brukade fält hade 40 % högre penetrationsmotstånd än intilliggande ytor, där tunga maskiner aldrig använts. Detta beräknades innebära att skördarna var 6 % lägre än de skulle kunna ha varit.

Resultat från långvariga försök, såväl i Sverige som utomlands, visar att i grövre (lätta) jordar tycks packningens verkningar bli permanenta, eller åtminstone kvarstå under decennier, på djup större än 25–30 cm. I lerjordar tycks packningseffekterna bli permanenta eller mycket långvariga fr.o.m. 35–40 cm djup.

Perioder med bar markyta

Under perioder då markytan inte täcks av gröda och skörderester eller dylikt och ytlagret inte är fruset så sker alltid en viss strukturedbrytning i ytlagret som följd av bearbetningar, regn och vindpåverkan. Man får då inte heller någon strukturuppbyggnad med växande rötter. Dessutom är risken för vind- och vattenerosion större än när marken täcks av gröda eller dött organiskt material. Färre och/eller kortare perioder med bar markyta bidrar således till bättre struktur och fysikaliska egenskaper hos marken och mindre risk för vind- och vattenerosion.

Typiska egenskaper hos odlade jordar

Sand- och grovmojordar

- Enkelkornstruktur. Medelhög till hög vattengenomsläpplighet.
- Den vattenhållande förmågan och kapaciteten för växttillgängligt vatten är stark beroende av grundvattendjupet.
- Rotzonen begränsas vanligen till matjorden och de översta centimetrarna av alven.
- Kapacitet för växttillgängligt vid 1,5–2 m grundvattendjup: 40–50 mm för skiktet 0–30 cm, 50–80 mm till 50 cm djup.
- Ingen eller ringa kapillär upptransport till rotzonen vid grundvattendjup på 1 m eller mer.
- Stark uttorkning av ytlagret på bar mark medför ofta ojämn befuktning och därmed ojämn infiltration av vatten vid regn och bevattning.
- Risk för ytavrinning, långsam dränering och syrebrist i rotzonen efter stora regn- eller bevattningsmängder på starkt uttorkad mark.
- Ofta förekommande och totalt stor djupavrinning från rotzonen.

Finmo- och grovmjälajordar

- Enkelkornstruktur till svagt utvecklad aggregatstruktur. Låg vattengenomsläpplighet.
- Stor vattenhållande kapacitet och liten förändring därav inom grundvattendjup på ner till 3 m på finmojordar och ner till 10 m på grovmjälajordar.
- Rotzonen sällan djupare än 50–60 cm.

- Kapacitet för växttillgängligt vatten vid 1,5–2 m grundvattendjup: 90–120 mm för skiktet 0–30 cm, 150–200 mm till 50 cm djup.
- På jordar utan grövre eller tätare skikt kan kapillär upptransport till rotzonen tillgodose grödornas vattenbehov.
- I många fall ofta förekommande och totalt stor djupavrinning från rotzonen.

Mo- och mjälaleror

- Svagt utvecklade och instabila aggregatstrukturer men bättre struktur ju högre mullhalten är.
- Mycket låg till låg vattengenomsläpplighet.
- Tömmes på liten mängd vatten och fylls med liten volym luft vid dränering till normalt djup.
- Rotzonen sällan djupare än 50–60 cm. I alven på mjälaleror utvecklas rötter huvudsakligen i sprickor.
- Kapacitet för fysikaliskt växttillgängligt vatten vid 1,5–2 m grundvattendjup: 90–110 mm för skiktet 0–30 cm, 140–160 mm till 50 cm djup. Ofta är en del av detta vatten oåtkomligt för rötter.
- Stor kapillär upptransport till matjorden och markytan på jordar som inte är skiktade.
- Mjälaleror slammar lätt igen vid regn samt bildar skorpa och/eller hårda djupare lager vid torka efter regn. Matjorden ofta ”vattensjuk” en tid efter stora regnmängder.
- Risken för ytavrinning och yterrosion större än på andra lerjordar.

Mellanleror och styva leror

- Matjorden har ofta dålig struktur i odlingsystem utan vall eller med liten vallandel. Väl utvecklade och stabila aggregatstrukturer centralt i alven. Moränleror har lägre porositet och mindre volym av stora porer än sedimentära leror.
- Vattengenomsläppligheten mycket låg till medelhög i matjorden och medelhög till mycket hög centralt i alven.
- Rotzonen vanligen 80–100 cm djup med rik rotförgrening centralt i alven. Hos stråsäd kan rötter nå 1,5–2 m djup.
- Kapacitet för växttillgängligt vatten hos sedimentära leror vid 1,5–2 m grundvattendjup: 40–50 mm för skiktet 0–30 cm, 120–160 mm till 100 cm djup. Värdena är i regel något lägre hos moränjordar.
- Kapillär upptransport till rotzonen försumbar på sedimentära leror men kan sannolikt ha en viss betydelse för växtligheten på moränleror.
- Mindre frekvent och lägre total djupavrinning från rotzonen än på andra lerjordar.

Mycket styva leror

- Matjorden har vanligen dålig struktur i odlingsystem utan vall eller med liten andel vall. Stabil aggregatstruktur centralt i alven.
- Porositeten och andelen små porer större än på andra lerjordar. Krymper och sväller mer än andra lerjordar.

- Låg till mycket låg vattengenomsläpplighet.
- Dränering till normalt djup tömmer högst 4–5 vol.-% vatten i markens övre del.
- Rotzonen sällan djupare än 60–80 cm men under torra förhållanden växer rötter längre ner i sprickor.
- Kapacitet för växttillgängligt vatten vid 1,5–2 m grundvattendjup: 30–45 mm för skiktet 0–30 cm, 100–140 mm till 100 cm djup.
- Ingen eller försumbar kapillär upptransport.
- Avrinningen mot djupet kan bli stor efter torrperioder.

Gyttiejordar

- Väl utvecklade och stabila aggregatstrukturer i alven. Ofta grynig struktur ner till 50–60 cm djup och därunder grov pelarliknande struktur med permanenta sprickor, som kan innehålla eroderat material. Låg torr skrymdensitet (volymvikt).
- Stor porositet (60–80 vol.-%). Vanligen självdränerande med stor luftvolym ovanför grundvattenytan.
- Hög till mycket hög vattengenomsläpplighet.
- Rotzonen sällan djupare än 50–60 cm. Den begränsas ofta och reduceras ibland av lågt pH.
- Kapacitet för fysikaliskt växttillgängligt vatten vid 1–1,5 m grundvattendjup: 80–120 mm för skiktet 0–30 cm, 150–200 mm till 50 cm djup. Åtkomligheten begränsas vanligen och ofta mycket av lågt pH.
- Stort bevättningsmotstånd och låg värmeledningsförmåga i uttorkat tillstånd.

Mulljordar

- Strukturen beror av förmultningsgraden och lerhalten. En välförmultnad ren torvjord har instabil struktur och är för ögat strukturlös.
- Stor porositet (70–95 vol.-%) men inga eller få stora sammanhängande porer. Låg torr skrymdensitet samt stor krympning och svällning.
- Låg till mycket låg vattengenomsläpplighet vid hög förmultningsgrad.
- Töms på relativt stor mängd vatten och fylls med relativt stor volym luft vid dränering till normalt djup. Under växtperioden kan dock syrehalten bli låg bara några centimeter under markytan.
- Rotdjupet begränsas oftast till matjorden.
- Kapacitet för fysikaliskt växttillgängligt vatten vid 1–1,5 m grundvattendjup: 130–180 mm för skiktet 0–30 cm, 250–400 mm till 50 cm djup. Vanligen är en relativt stor del av detta vatten inte åtkomligt för rötter.
- Stort bevättningsmotstånd och mycket låg värmeledningsförmåga i uttorkat tillstånd.

Vägar till bra fysikalisk markvård

Bra eller bättre fysikalisk markvård kan uppnås genom åtgärder som befrämjar strukturuppbyggnad och/eller reducerar strukturbedbrytning och som minimerar eller icke medför skadlig packning. En

nödvändig förutsättning är goda dräneringsbetingelser. På täckdikade arealer är det därför viktigt att kontinuerligt underhålla dikessystemen inklusive stamledningar och öppna diken. Gamla täckdikessystem kan behöva kompletteras eller helt förnyas. Vid dåliga betingelser för dränering finns knappast förutsättningar för bra eller bättre markstruktur och fysikaliska förhållanden.

Grundförbättringsåtgärder

Engångstillförsel och inblandning av bränd eller släckt kalk s.k. strukturkalkning har testats bl.a. i långliggande försök på en styvare mellanlera – styv lera vid Lanna försöksgränd i Västergötland (6 ton CaO/ha), i fleråriga försök på mjälärika leror i Mellansverige (10 ton CaO/ha) och i ettåriga försök med sockerbeter på moränleror – med pH mellan 7,1 och 7,9 – i Skåne (2,1 och 6,3 ton CaO/ha). Nästan utan undantag har strukturkalkningen gett merskördar och ibland stora sådana i stråsåd och ärtor.

Erfarenheterna från försöken är att *strukturkalkning* på lerjordar ger omedelbara och långvarigt positiva effekter på markstrukturen och skördeutbytet. Bäst resultat erhålls om jorden vid inblandningen har godartad struktur, som t.ex. efter vallbrott, och är relativt fuktig. Man får då en snabb och stark stabilisering av aggregaten.

Att tillföra marken organiskt material som inte är producerat på den egna gården – *externt organiskt material* – är ett sätt att förbättra mineraljordars fysikaliska status. Behovet och nyttan av externt organiskt material är störst på lerjordar med låg mullhalt. Ett oeftergivligt krav måste dock vara att materialet inte innehåller för mark och grödor skadliga beståndsdelar och/eller kemiska ämnen.

På sand- och grovmojordar, där rotzonen hos de flesta odlade grödor begränsas till matjorden och de översta centimetrarna av alven, kan djupplöjning förbättra de fysikaliska betingelserna. Då luckras alven upp; dess porositet ökar. Samtidigt får man ner mull i alven och minskar matjordens mullhalt. Luckringen och mullinblandningen – till minst 1–1,5 vikts-% – medför djupare rotutveckling och bättre vattenförsörjning. Matjordens mullmängd får dock inte spädas ut för långt; sannolikt inte till mindre än 2–2,5 vikts-%.

Försök har visat att enbart en luckring av alven på sand-grovmojordar direkt kan ge bättre betingelser för rotutveckling, vattenförsörjning och tillväxt. Men porositetsökningen i alven försvinner nästan helt inom ett år som följd av naturlig återpackning. Och den upphävs mer eller mindre helt om alven dessförinnan utsätts för packning. En slutsats är att en återkommande, kanske årlig alvluckring på lätta jordar kan föra till ett succesivt ökat mullinslag i alven men att sådan luckring endast bör komma ifråga på ytor som inte utsätts för någon packning under matjorden.

Vall i växtföljden

Vallen har en särställning bland våra odlade grödor vad gäller betingelser i marken för aggregatbildning och aggregatstabilisering. Därtill skyddas det övre skiktet från strukturnedbrytning och direkt avdunstning. Sammantaget erhålles en stor positiv biologisk inverkan på en rad fysikaliska egenskaper. Vanligen är dock vallodling förbunden med packningsskador vid skörd och skördetransporter. Dessa skador, som vid hög markvattenhalt kan gå långt ner i alven, måste så långt möjligt undvikas eller minimeras.

Resultat från åtta långliggande försök i Sverige, Danmark och Norge visar att det inte är möjligt att i mineraljordar långsiktigt bibehålla en mullhalt på 3,5–4 vikts-% i matjorden utan vall. Undantag kan dock vara höstsädesdominerade växtföljder då all halm lämnas kvar i fält. I tabell 1 på nästa sida finns en sammanfattning av resultat från de långliggande försöken och från en studie rörande skilda odlingsystem med och utan vall. Värdena i tabellen pekar bl.a. på det att skulle behövas 40 % vall i en växtföljd där all halm och blast lämnas kvar och ingen stallgödsel tillförs för att bibehålla en mullhalt på 3,5–4 %. Med stor andel höstsäd bör dock vallandelen kunna reduceras till 25–30 %.

Kvarlämning av halm och skörderester

En väg i dag mot bättre markstruktur och odlingsbetingelser, särskilt på jordar med låg mullhalt, är att lämna kvar och bruka ner all halm och alla skörderester. Resultat från nyss nämnda långliggande försök (tabell 1) visar att detta ger en långsiktigt tydlig inverkan på mullmängden jämfört med då halm och skörderester tas bort. Skillnaden i mullmängd efter 30 år motsvarar en differens av ca 0,3 vikts-% mull i matjorden.

Under vilka förhållanden kan man på mineraljordar och vid djurextensiv drift ta bort halmen eller en del därav? En riktlinje är att lämna kvar all halm i fält om det finns risk för att mullhalten i matjorden långsiktigt inte bibehålls vid 3,5–4 vikts-%. Detta innebär att på jordar med högst 3,5–4 % mull och ingen eller liten vallandel i växtföljden all halm bör lämnas kvar, att vid högre mullhalt och relativt liten vallandel en del halm kan tas bort och att vid en vallandel av 35–40 % relativt mycket till all halm kan tas bort.

Stallgödsling

Spridning av stallgödsel, liksom av rester från rötning av växtmassa, innebär att 40–50 % av tidigare skördat och bortfört organiskt material återförs till odlingsmarken. Regelbunden tillförsel av stallgödsel eller rötrestor är eller kan vara av stor betydelse för markens struktur och fysikaliska egenskaper. I tabell 1 finns värden för stallgödslings långsiktiga inverkan på mullmängden i matjorden.

Tabell 1. Inverkan av halmanvändning, vallodling och stallgödsel på markens mullinnehåll efter 30 år. Värdena är baserade på resultat från 16 långliggande försök i Sverige, Danmark och Norge under perioden 1950–90 samt från en systemstudie av Sundberg m.fl. 1997. De gäller för jordar med från början 3,5–4 vikts-% mull i matjorden (0–25 cm)

Odlingssystem Åtgärd	Ändring i mullmängd, ton/ha	Ändring i mullhalt, vikts-%
Växtföljder utan vall Stråsådeshalm och skörderester bort. Ingen stallgödsel	sänkning minst 15	sänkning minst 0,45
Växtföljder utan vall All halm och blast kvar. Ingen stallgödsel	sänkning minst 5	sänkning minst 0,15
Växtföljder med slätter-, grönfoder- eller betesvall Gödsling med fast stallgödsel	ökning minst 0,6/vallår ökning ca 5 ^{x)}	ökning minst 0,02/vallår ökning ca 0,15 ^{x)}

^{x)} Värdena är resultat från ett norskt försök 1954–84 med fyra 6-åriga växtföljder med olika vallandel samt med och utan stallgödsel. I medeltal har givits 10 ton/ha/år av fast stallgödsel.

Förhöjd mullhalt i ytlager

I slutet av 1970-talet och början av 1980-talet kom en del erfarenheter från lerjordar i Mellansverige som pekade på att förhöjd mullhalt i markens ytlager kunde ge relativt stora utslag i tillväxt och skörd av vårsäd. För att närmare undersöka detta, och så även på andra jordar och inom andra regioner, genomförde SLU:s försöksavdelning för hydroteknik under åren 1983–86 elva fasta försök med ca 2 vikts-% förhöjd mullhalt i markens ytskikt (0–ca 5 cm) och enbart grund bearbetning (ca 5 cm). Mullhalten hade höjts genom påförsel med ca 3 cm mullrik sand hösten 1982. Försöksåren hade gynn-samma väderleksförhållanden för vårsådda grödor.

I genomsnitt för 25 försöksår med vårsäd på åtta lerjordar gav försöksledet med förhöjd mullhalt och grund bearbetning 11 % (460 kg/ha) högre kärnskörd än ett jämförelseled utan tillförsel av mullrik sand och med plöjning till normalt djup. Den genomsnittliga merskörden blev av samma procentuella storlek på olika typer av lerjordar från mjälliga lättleror till en mycket styv lera. I ett försök på en mjällättlera sänktes medelskörden med 5 %. Två försöksår på andra lerjordar gav en mindre sänkning på grund av tidig liggsäd. Merskördarna var en följd av snabbare och jämnare uppkomst, bättre rotutveckling och kraftigare bestockning samt bättre vattenförsörjning, näringsutnyttjande och tillväxt. Motsvarande effekter bör kunna erhållas vid odling av grönsaker på lerjordar med låg eller relativt låg mullhalt.

I tre försök på mullhaltiga sand- och mojordar blev resultaten mera skiftande. För fyra av sju försöksår gav ledet med förhöjd mullhalt och grund bearbetning lägre kärnskörd än det konventionella ledet. I genomsnitt höjdes dock kärnskörden med 6 %

Marktäckning med organiskt material

På struktursvaga lerjordar är marktäckning med organiskt material omedelbart efter vårsådd nästan alltid en bra försäkring mot låg avkastning. Detta

visar resultat från flera försöksserier med vårsäd under 1980-talet och början av 1990-talet vid SLU:s avdelningar för jordbearbetning och hydroteknik. I försöken täcktes marken med 3 000–5 000 kg torrt material per hektar av halm, hö och/eller ensilage. I de flesta fall erhöles skördeökningar – upp till över 2 000 kg kärna/ha – men också några negativa utslag förekom, i något fall sannolikt som följd av regn före täckningen. Störst merskörd jämfört med led utan marktäckning erhöles under år med regn mellan sådden och uppkomsten och med i övrigt torr vår och försommar.

Täckningen gav skydd mot tillslamning, skorp-bildning och djup förhårdnad samt reducerade avsevärt avdunstningen direkt från markytan. Detta gav liknande effekter i grödan som förhöjd mullhalt. En orsak till erhållna skördesänkningar kan vara att en del kväve förbrukats för nedbrytning av tillfört material.

Skonsam jordbearbetning och körning

Alla bearbetningsåtgärder medför en viss nedbrytning av aktuell markstruktur och all körning på mark medför, i varje fall då marken är otjälad, packning, strukturbedbrytning samt minskning av porvolymen och andelen grova porer. Vid tung maskindrift kan trycktillskott påverka det grova porsystemet ner till en meters djup. När ekologisk odling av en gröda kräver fler bearbetningar med tunga redskap och traktorer än konventionell odling så innebär det risk för större strukturbedbrytning i matjorden och för större bestående alvpackning.

Olika vägar och åtgärder kan användas och kombineras för att minska markstruktur- och packnings-skador. Och nya kan tänkas bli nödvändiga. Hur stora effekter skulle t.ex. i dag kunna erhållas på olika jordar – i marken och grödorna, i dragkrafts- och drivmedelsbehov m.m. – om de skador som traktorer medför kunde undvikas mer eller mindre helt? Information härom skulle kunna fås från försök med vinschning av maskiner och redskap eller

från försök med fasta spårssystem. Vinschning prövades åren 1964–84 av Skaraborgs läns hushållningssällskap på två gårdar med mycket styv lera. I försöken ingick två led med konventionellt traktorbruk – enkelmontage och 100–120 kPa lufttryck respektive dubbelmontage och 50–60 kPa lufttryck – samt led med vinschning av alla maskiner och redskap utom skördetröskan. Vinschningen gav efterhand en stor förbättring av strukturen i matjorden, bl.a. större luckerhet och porositet samt större vattengenomsläpplighet. Plogsulan förbättrades något. Snabbare upptorkning på våren blev en följd.

I försök vid Stensfält, där man också mätte dragkraftbehovet under sex år, gav vinschbruket i medeltal för elva vårsådesår 22 % (700 kg/ha) högre kärnskörd än enkelmontagebruket och 20 % (660 kg/ha) högre kärnskörd än dubbelmontagebruket. Dragkraftbehovet vid höstplöjning reducerades med ca 25 % jämfört med enkelmontagebruket. Utgår man från resultaten för vinschbruket så sänkte de två traktorbruket skördarna av vårsådda grödor med 18 % respektive 17 % och ökade dragkraftbehovet vid höstplöjning med 30–35 %.

Markstrukturindex – ett hjälpmedel för att värdera och förutsäga odlingens inverkan

Markens struktur kan beskrivas i fält enligt olika metoder och den kan fotograferas. En del mätningar, såsom genomsläpplighet och infiltrerbarhet, kan också göras direkt i fält men många fysikaliska mätningar måste göras på uttagna prov. De flesta bestämningar är både tidsödande och dyrbara. Det finns därför ingen för praktiken lämplig metodik att mäta den samlade inverkan av grundförbättringsåtgärder, odlingssystem och maskinpark på strukturen och viktiga fysikaliska egenskaper. En framkomlig väg kan i stället vara att försöka bestämma denna inverkan med ett integrerat, framräknat mått – ett markstrukturindex – baserat på uppgifter om väderlek, jordart, växtföljd, maskinpark, bearbetningssystem m.m. Ett sådant index har nyligen utformats vid SLU:s avdelning för hydroteknik och testats i samverkan med två odlingsprojekt och med enskilda jordbrukare.

Indexet består av tre delar; en grundförbättringsdel, en odlingssystemdel och ett markstrukturtest i fält. I den första bedöms behovet och effekten av långsiktiga grundförbättringsåtgärder. Ett grundförbättringsindex tas fram. Odlingssystemets, inklusive jordbearbetningens, markstruktureffekter bedöms med utgångspunkt från att växternas rotproduktion, upptorkning av markprofilen och återförsel av organiskt material är positivt samt att bar ofrusen mark, marköverfarter och markbelastningar är negaivt för markens struktur och fysikaliska egenskaper. Värden för dessa sex delar rörande odlingssystemet korrigeras med olika koefficienter och summeras till ett odlingssystemindex.

Markstrukturtestet i fält är ett antal enkla fälttester som ger en samlad bild av markens aktuella struktur tillstånd. Testerna är redskap som brukaren kan använda för att lära känna sin jord bättre. Delarna för grundförbättring och odlingssystem finns i dag som datorprogram. Basdata för olika jordar, grödor, väderleksförhållanden, maskiner och redskap m.m. finns inlagda. Till markstrukturtestet finns en enkel instruktion avsedd att tas med ut i fält.

Markstrukturindexet är främst avsett att användas för enskilda fält på en gård och att vara ett hjälpmedel för brukaren att bedöma hur valet av grundförbättringsåtgärder och odlingssystem på sikt kan påverka marken. Det har testats på 14 gårdar och för 3–5 år per gård. Resultaten är mycket goda.

Litteratur

- Berglund, K., Berglund, Ö. & Gustafson - Bjuréus, A. (2002). Markstrukturindex - ett sätt att bedöma jordarnas fysikaliska status och odlingssystemets inverkan på markstrukturen. SLU. Inst. för markvetenskap. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Avdelningsmeddelande 02:4, 132 s.
- Danfors, B. & Linnér, H. (1993). Resursbevarande odling med marktäckning och grundinbrukning av växtmaterial. SLU. Inst. för markvetenskap. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Avdelningsmeddelande 93:5, 86 s.
- Eriksson, J., Andersson, A. & Andersson, R. (1997). Tillståndet i svensk åkermark. Naturvårdsverket. Rapport 4778, 59 + 121 s.
- Gustafsson, E.-L. (1987). Marktäckning. Effekter på olika jordtyper. SLU. Inst. för markvetenskap. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Rapport 155, 59 s.
- Gustafsson, L. & Nilsson, I. (1986). Stensfältsförsöket. Skaraborgs läns hushållningssällskaps tidning. Årg. 135, nr 1, 10-11.
- Håkansson, I. (2000). Packning av åkermark vid maskindrift. Omfattning - effekter - motåtgärder. SLU. Inst. för markvetenskap. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 99, 123 s.
- Ohlsson, S. (1979). De mångåriga kalkförsöken på Lanna. Resultat och erfarenheter. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift. Supplement 13, 17-26.
- Rydberg, T., McAfee, M. & Gillberg, B. (1990). Djupplöjning på lätta mineraljordar. SLU. Inst. för markvetenskap. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 80, 50 s.
- Sundberg, M., Johansson, W., Hjortsberg, H., Hansson, K., Oostra, H., Berglund, K. & Elmquist, H. (1997). Biogas i framtida lantbruk och kretsloppssamhälle. Effekter på mark, miljö och ekonomi. JTI-rapport Kretslopp & Avfall 12, 69 s.

Broschyren är en del i kurspärmen "Ekologisk odling av grönsaker på friland" 2003.
Produktionen har bekostats gemensamt av Sverige och EU.

Jordbruksverket
551 82 Jönköping
Tfn 036-15 50 00 (vx)
E-post: jordbruksverket@sjv.se
Webbplats: www.sjv.se



Detta material har delvis
finansierats med EU-medel