

Markstrukturbyggningens teori utvecklades

Av Reijo Heinonen
Institutionen för markvetenskap
Sveriges lantbruksuniversitet
Uppsala

Vi har alla en föreställning om en idealisk markstruktur, som ger grödan bästa utvecklingsbetingelser och tål, inom rimliga gränser, både fälttrafik och regn. En markfysiker kan beskriva en sådan struktur i kvantitativa termer genom att mäta jordens porstorleksfördelning, aggregatstorleksfördelning och hållfasthetsegenskaper, särskilt penetrationsmotstånd. Genom att göra mätningar före och efter olika trafikbelastningar och under simulerade regn- och upptorkningscykler får man en bild av strukturens stabilitet.

De fysikaliska, kemiska och biologiska faktorer som skapar en god, stabil markstruktur blev i sina huvuddrag klarlagda redan på 1950-talet (se t.ex. en översiktsartikel av Martin et al. 1955), men detta område belastas fortfarande av en del seglivade föråldrade föreställningar, som har hämmat nyare teoriernas genomslag i lärobokslitteratur och undervisning. Detta gäller särskilt *koagulationsfenomenet*, som alltför vidlyftigt använts som allena rådande förklaringsmodell för aggregatbyggningen. I själva verket utgör koagulationen endast första steget i en komplicerad process (fig. 1), och endast på sådana områden där en betydande del av jordarnas katjonutbyteskomplex upptas av Na^+ , blir koagulationen avgörande för hela markstrukturproblematiken.

Man har länge känt att Ca^{++} - och

Na^+ -jonernas relativa andel kan avgöra markens strukturegenskaper, men när man generaliserade detta till en allmän regel gällande förhållandet mellan 1- och 2-värda katjoner, tog man genast fel. 1-värdt K^+ är en hygglig koagulator av illitler och H^+ är t.o.m. starkare än Ca^{++} . Na^+ med sin lilla jondiameter och starka hydratering förblir ur markstruktursynpunkt det enda stora kemiska problemet, och hos oss är det endast ett lokalt problem. När utbyteskomplexet domineras av Ca^{++} , Mg^{++} och $\text{H}^+/\text{Al}^{+++}$, såsom det gör hos huvuddelen av våra jordar, har förändringarna i katjonernas relativa andel ingen större betydelse för koagulationstillståndet och endast indirekt verkan på markstrukturen. Våra markstrukturproblem finner vi i stället hos strukturbyggningens andra delprocesser, som presenteras schematiskt i fig. 1.

Den äldre koagulationsteorin antog att repulsionen mellan suspenderade lerpartiklar helt försvinner, om jorden har en gynnsam katjonsammansättning och tillräckligt hög elektrolytkoncentration (se t.ex. Schachtschabel et al. 1982, sid. 121), men numera vet man att så inte är fallet. Koagulationen ($\text{A} \rightarrow \text{B}$) leder aldrig längre än till byggningen av vattenrika flockar (fig. 2), där partiklarna endast punktvis överskridit repulsionströskeln. Huvuddelen av partiklarna stannar bakom

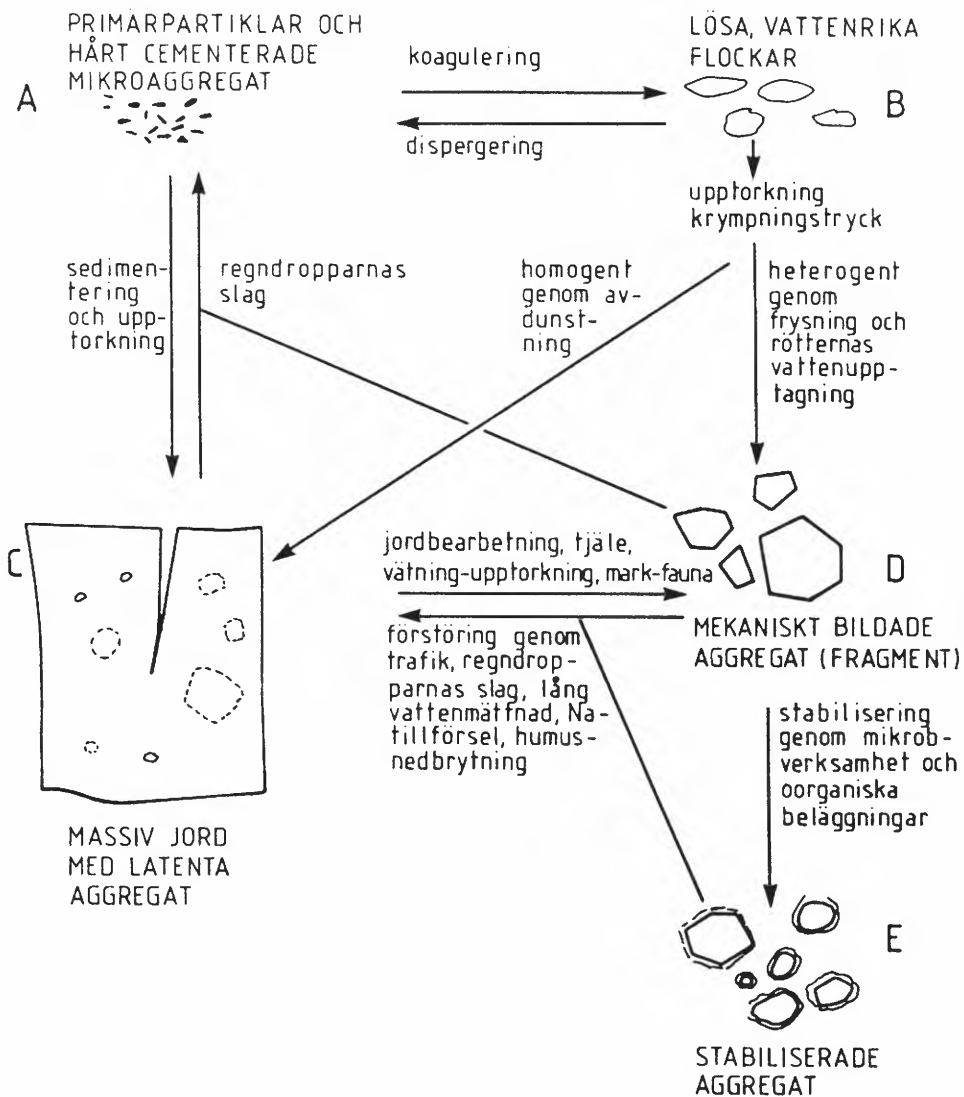


Fig 1 . Struktur tillstånd och strukturbildande processer i odlad jord

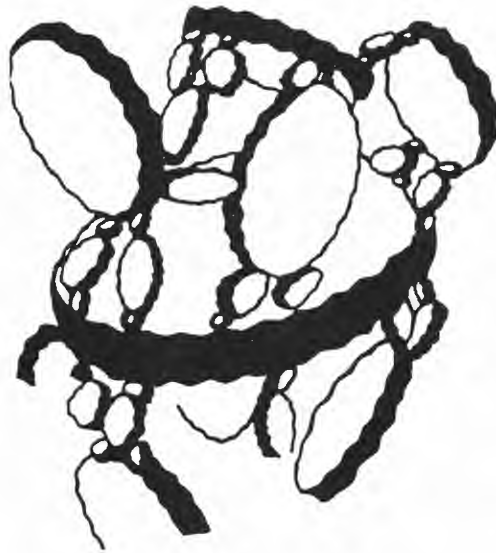


Fig 2. Hypotetisk flock enl. Roland Pusch. När partiklarna kolliderar i suspensionen binds de till varandra mest kant mot kant, eftersom repulsionen då är minst. Resultatet blir «korthusstruktur».

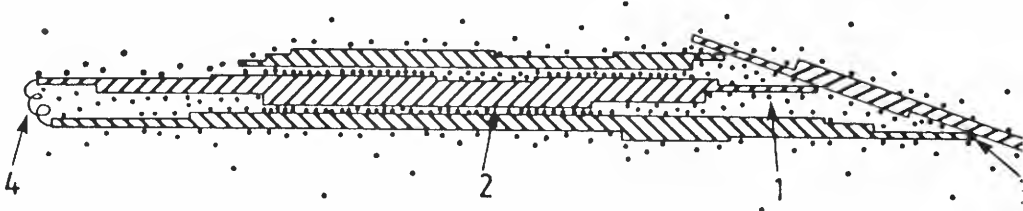


Fig 3. Tvärsnitt av strukturbildningens minsta enhet, lerpaket, «clay domain» el. «polyplate» enl. Koenigs (1963).

1. Avståndet mellan partiklarna så stort att katjonhöljerna är skilda og repellerar varandra.
2. Partiklarna har pressats över repulsionströskeln till närkontakt med varandra. Katjonhöljerna har integrerats till ett lager mittemellan lerpartiklarna. De bildar därmed bryggor, som binder ihop partiklarna. Osmotisk svällning begränsas därefter till 4–6 lager vattenmolekyler mellan partiklarna.
3. Kant-mot-kant och kant-mot-sida bindingarne förstärker paketets sammanhållning.
4. Yttre stabilisering genom organiskt material, seskvioxid- och karbonatutfällningar, amorf kiselsyra m.m. Vid bildandet av större strukturenheter blir den yttre stabiliseringen successivt allt viktigare.

repulsionströskeln, där det finns ett svagt «första energiminimum». Sida-mot-sida avståndet mellan lerplattorna är då ca. 10 nm, och attraktionen antas bero på hypotetiska «long range» van der Waalskrafter. Endast en *upptorkning* och ett *krympningstryck* (B→C eller B→D), som genom vattnets ytspänning pressar lerpartiklarna över repulsionströskeln, kan åstadkomma den normala jordens mera kompakta mikrostruktur. Krympningstrycket pressar flockarna till «lerpaket» (fig. 3.), där lerplattorna ligger mer eller mindre orienterade, men olika paket sinsemellan oordnade. Vid detta andra och mera definitiva minimum är avståndet mellan lerplattorna 1–2 nm och attraktionen sker över katjonbryggorna. Lösa lerplattor trycks under upptorkningen med bredd mot närmaste aggregat eller porvägg, som så småningom kan bli täckta av ett skinn av orienterade lerplattor. Det naturliga krympningstrycket kan i lerjordarna överstiga 10 bar, och dess verkningssätt kan inte simuleras med något mekaniskt tryck.

Av de många forskare som har bidragit till den moderna markstrukturteorin vill jag särskilt nämna *Croney* och *Coleman* (1954), som visade hur ältning (puddling) av våt jord, krympning och återsvällning förändrar jordens vattenbildning, *Emerson* (1959), som presenterade en användbar aggregatmodell och introducerade begreppet lerpaket (clay domain el. clay polyplate), samt *Koenigs* (1963) som beskrev mikrostrukturförändringarna vid jordens ältning och återaggregering och anknöt den kolloidkemiska teorin om katjonbryggorna mellan jordpartiklarna direkt till praktiska jordbearbetningsproblem. Efter 1959 har clay domain-teorin vidareutvecklats särskilt av *Quirk* (1978).

En *upptorkningsprocess* efter igen-

slamning eller packning/ältning leder vanligen till bildningen av en kompakt, mer eller mindre sprucken jord (fig. 1, C). Endast om upptorkningen sker heterogent i mikroskala (vilket kan ske vid markens frysning eller genom växternas vattenuptagning i en jord som är genomvävd av rötterna), kan processen direkt leda till en önskad aggregatbildning (D). I odlad jord behövs normalt en serie jordbearbetningsåtgärder för att nå detta resultat. *Jordbearbetningsteknologin* har sin teoretiska bakgrund i *markmekaniken*, som är en välutvecklad vetenskapsgren med egna internationella organisationer, tidskrifter och läroböcker. Som en kortfattad framställning av de delar av markmekanik som är viktigast i jordbearbetningssammanhang, kan en skrift av *Spoor* (1975) rekommenderas.

Ur markvetenskaplig synpunkt är *aggregatstrukturens stabilisering* (D→E) ett mycket intressant område, där helt ny kunskap vuxit fram sedan 1940-talet. *Obearbetade jordars* stora aggregatstabilitet beror framför allt på de *beläggningar* av humus, Al-Fe-hydroxider, amorfa silikater, karbonater m.m., som i orörd jord successivt täcker sprick- och aggregatytorna. Processen är märkbar redan efter några års vall, men behöver mycket lång tid, kanske 50 till 100 år, för att nå den stabilitet som vi finner i naturliga gräsmarker (Low 1955).

Ärlig jordbearbetning förstör så småningom beläggningarna, och därefter beror aggregatstabiliteten *dels* på jordarnas inneboende «*strukturkapacitet*» (som bestäms av jordens sammansättning, särskilt halten av finler), *dels* på intensiteten av sådan *biologisk verksamhet* (mikrober, markfauna, växtrötter) som producerar bindande vävnad och slemämnen (Tisdall & Oades 1982). Slemämnena är i huvudsak polysackari-

der som är utsatta för snabb mikrobiologisk vidareomsättning till stabilare men mindre strukturaktiva humusformer. Regelbunden tillförsel av omsättbart organisk material hör därför till grundstenarna av god markvård.

Mikroberna kan betraktas som negativt laddade kolloider liksom markkolloiderna, och vid deras fästning vid olika ytor och vid varandra förekommer samma repulsionsfenomen som mellan lerpartiklarna. De måste på något sätt komma över repulsionströskeln innan en bindning kan uppstå. Detta problem har mikroberna löst genom att först skjuta tunna trådar av slem över repulsionströskeln (Lewin 1984). Så kan de t.ex. fästa sig vid väggarna och bottenlammet i dräneringsrören och bygga järnrika utfällningar som ofta täpper till rören. Motsvarande utfällning på sprickytorna i marken resulterar i en önskvärd, strukturförstärkande beläggning, som förstärks under successiva upptorkningscykler.

Många av de öppna växtodlingens markstrukturproblem skulle kunna lösas, om man kunde stabilisera såbäddens goda men fragila struktur genom att tillföra aggregaten en skyddande beläggning liknande den som finns i naturliga jordar. Man har gjort försök med rostutfällningar, som kan åstadkommas med olika järn- och aluminiumsalter eller hydratiserade oxider. Lämpligt material kan fås som avfallsprodukt från vattenrening och olika industriprocesser. Genom inblandning av stora givor bränd eller släckt kalk får man karbonatutfällning på porytorna. Man har också lyckats tillverka syntetiska organiska polymerer som t.o.m. har bättre struktureffekt än de mikrobiella förebilderna och dessutom mycket längre hållbarhet i marken. Många kommersiella markstrukturpreparat har dock visat sig undermåliga och

t.v. har inget preparat visat sig ekonomiskt konkurrenskraftigt i normalt jordbruk.

Det finns anledning att understryka den betydelse som de mer eller mindre *permanenta markegenskaperna* har för strukturbildningen och därigenom markens vattenhushållning och avkastningspotential i öppet bruk. (Heinonen 1973, 1982). Lågavkastande fastmarksjordar är vanligen lågavkastande just därför att deras strukturkapacitet är dålig p.g.a. låg halt av finler och humus och hög halt av mjåla, och i praktiken kan man endast i undantagsfall radikalt förändra dessa egenskaper (allra minst i en situation med sjunkande produktpriser!). En realistisk anpassning av markanvändningen och driftsformen synes vara det klokaste råd vi kan ge till ägare av jordar med dålig strukturkapacitet och därav följande stor känslighet mot ogynnsamma nederbördsförhållanden.

Litteratur

- Croney, D. & Coleman, J. D. 1954. Soil structure in relation to soil suction (pF). J. Soil Sci. 5, 75–84.
- Emerson, W.W. 1959. The structure of soil crumbs. J. Soil Sci. 10, 235–244.
- Heinonen, R. 1973. Humusversorgung, Bodenstruktur und Wasserhaushalt. Landw. Forsch. Sonderh. 30/11, 123–126.
- Heinonen, R. 1982. Jordens igenlamning och förhårdnande. SLU, Spec. skrifter 12. 24 s.
- Koenigs, F. F. R. 1963. The puddling of clay soils. Neth. J. Agr. Sci. 11 (2), 145–156.
- Lewin, R. 1984. Microbial adhesion is a sticky problem. Science 224, 375–377.
- Low, A. J. 1955. Improvements in the structural state of soils under leys. J. Soil Sci. 6, 179–199.
- Martin, J. P. Martin, W. P. et al. 1955. Soil aggregation. Adv. Agron. 7: 1–37.

- Quirk, J. P. 1978. Some Physico-Chemical Aspects of Soil Structural Stability – A review. P. 3–16. *In* Emerson, W. W. Bond, R.D. & Dexter, A. R. (ed.). Modification of soil structure. Wiley-Interscience.
- Schachtschabel, P. et al. 1982. Lehrbuch der Bodenkunde. 11. uppl. Stuttgart.
- Spoor, G. 1975. Fundamental aspects of cultivations. p. 128–144. *In* Soil physical conditions and crop production. MAFF Tech. Bull. 29.
- Tisdall, J. M. & Oades, J. M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33, 141–163.