

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

SER. C.

Avhandlingar och uppsatser.

N:o 461.

ÅRSBOK 38 (1944) N:o 3.

OM JORD OCH VATTEN PÅ
LANNA FÖRSÖKSGÅRD

AV

SIMON JOHANSSON

Pris 1 krona

STOCKHOLM 1944

KUNGL. BOKTRYCKERIET. P. A. NORSTEDT & SÖNER

441446

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

SER. C.

Avhandlingar och uppsatser.

N:o 461.

ÅRSBOK 38 (1944) N:o 3.

OM JORD OCH VATTEN PÅ
LANNA FÖRSÖKSGÅRD

AV

SIMON JOHANSSON

STOCKHOLM 1944

KUNGL. BOKTRYCKERIET. P. A. NORSTEDT & SÖNER

441446

Innehåll.

| | Sid. |
|---|------|
| Förord | 3 |
| Försöksgårdens jordarter | 3 |
| Markvittringen | 7 |
| Grundvattnets halt av lösta ämnen | 11 |
| Oxidations- och reduktionshorisonten | 19 |
| Lanna-lerans permeabilitet | 24 |
| Litteratur | 37 |
| Bil. 1. Kemisk analys å grundvattenprov | 38 |

Förord.

Vid försöksgårdens grundande, det är nu omkring 15 år sedan, företog jag jordartskarteringen av egendomen och i samband därmed gjordes vissa speciella undersökningar över vittringsförloppet, över grundvattnets halt av lösta ämnen samt över markens hydrologiska förhållanden, varvid särskilt intresse ägnades åt permeabilitetsbestämningar, enär dräneringsförsök ingingo som ett viktigt led i försöksplanen för gården.

Då nu en sammanfattning av dessa dräneringsförsök är under utarbetande och snart kommer att publiceras, har det ansetts lämpligt att bekantgöra de gjorda iakttagelserna.

Jordartskarta jämte pH-karta överlämnades på sin tid till försöksgården.

Försöksgårdens jordarter.

Lanna försöksgård ligger mitt på vårt lands största slättbygd, den s. k. Varaslätten, vars jordarts- och övriga agrikulturella förhållanden den är avsedd att representera.

Denna ovanligt plana lerslätt avvattnas genom Lidan med biflöden, vilka utskurit ravindalar i lersedimenten i regel ända ned till fast botten. Dessa för övrigt glest liggande ravindalar jämte enstaka låga gruskullar äro de enda topografiska avbrotten i den jämna lerytan.

Givetvis har det erbjudit stora svårigheter att dränera dessa stora, plana lerfält, där avloppsdiken kanske flera km långa måste grävas innan de naturliga avloppen nåddes. Staten har också måst träda hjälpende emellan. Vid mitten av 1800-talet upptogos de s. k. krondikena och först från denna tid var det möjligt att på slätten driva jordbruk i vanlig bemärkelse. På grund av översvämningar höst och vår måste stora delar av slättens lägre belägna områden användas som slätterängar. Till dessa låga områden dränerades

vattnet genom ett system av öppna diken, gående i alla möjliga riktningar för att till det yttersta utnyttja det ringa lokala fallet. Kartskissen över Lanna (fig. 1) med de i olika riktningar gående diken är en god illustration till dräneringssvårigheten på gården och även på slätten.

Denna plana topografi har haft inflytande särskilt på vittringsprocesserna och i viss mån även på jordartsförhållandena i ytlagret. Man får tänka sig att de översvämmade områdena utgjorde klarningsbäcken, där slam från de högre belägna fältens matjord avsatte sig.

De översvämmade områdenas rikliga gräsvegetation och samtidigt dåliga förmultning på grund av hämmad vattencirkulation i marken medförde en relativt hög humushalt och en starkt sur reaktion i matjorden, vilken sålunda i detta fall icke härrör från en stark basurlakning utan av hämmad luftcirkulation. Då grundvattnet ej kunde bortdräneras, blev det mer och mer anrikat på salter. Dessa förhållanden skola emellertid längre fram närmare beröras.

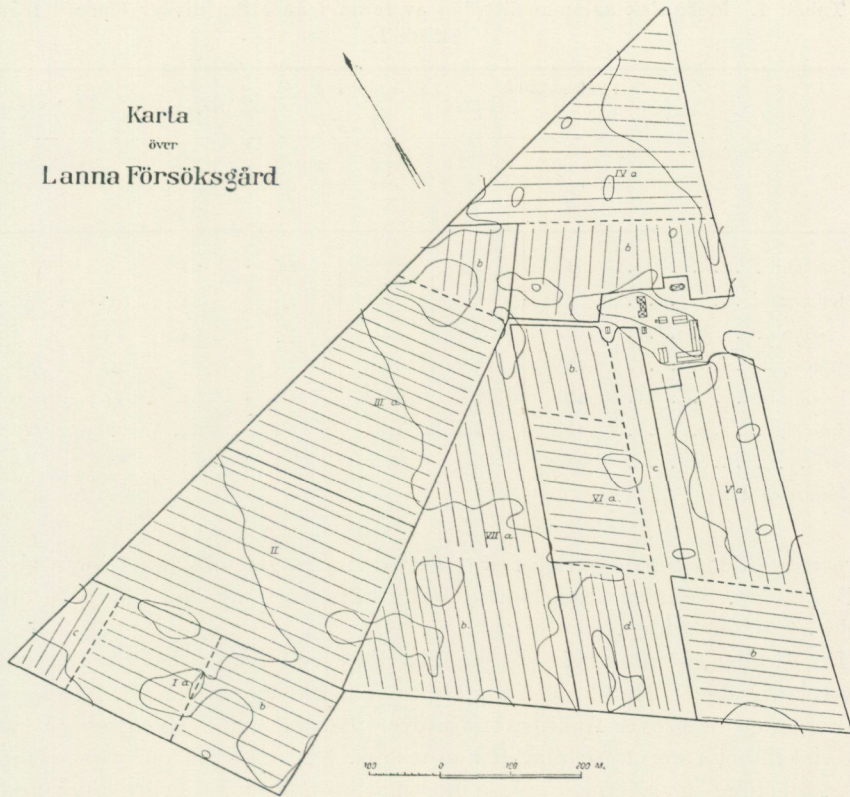
På Lanna liksom på slätten i övrigt består åkerjorden av en glacial, marin lera, endast det allra översta täcket kan vara en postglacial omsvämningsprodukt, som på Lanna vanligen ej är mäktigare än matjordslagret.

Lermaterialet torde så gott som uteslutande härstamma från den i Väst-sverige vitt utbredda järngnejsen, av vilken dock olika varieteter förekomma. Den vanligaste typen är en svårvittrad röd gnejs med ljus magnesiaglimmer. Mindre utbredning särskilt inom området norr härom, varifrån materialet hämtats, har den grå gnejsen med kalkrik plagioklas och med mörk glimmer (biotit), men på grund av den större lätthet varmed den grå gnejsen vittrar, kan denna sägas vara överrepresenterad i de lösa avlagringarna. Lätt vittande biotit, som är den förnämsta kalikällan i våra jordarter, torde ingå i relativt hög procent. Gödsling med kali har ej heller visat sig lönande.

Västergötlands kambro-silurberg ligga för långt bort och ha för liten areell utbredning för att i någon avsevärd grad kunna influera på lerans sammansättning härstädes. Inverkan från Kinnekulle, som ligger ett par mil norr härom kan dock spåras. I närheten framgår nämligen en rullstensås, den s. k. Salebyåsen, som har sin upprinnelse på Kinnekulle, och tack vare denna har leran å Lanna fått någon liten halt av kolsyrad kalk, vilken dock är så obetydlig att den ger sig tillkänna först i lager under torrskorpan i den s. k. såp-leran, dock ej som en fräsning för syra utan som en av små kolsyre-bubblor åstadkommen svag knottring av lerytan.

Den glaciala leran härstädes är i avseende på sin finlek eller halt av ler-substans av något varierande beskaffenhet på olika nivåer i en profil. I regel är det ju så, att inom områden med normal isavsmältning, med kontinuerlig regression av isranden, leran tilltager i finlek uppåt i profilen. Inom detta område, som ligger strax söder om det mellansvenska ändmoränstråket, där landisen stått stilla eller tidvis varit under framryckning, blir lagerföljden mera växlande. På Lanna blir leran lättare ju högre upp man kommer i profilen, dock varierar den icke mera i styvleksgrad än från mycket styv till styv lera med undantag av själva bottenlagren, som ju äro sandiga.

Det översta lagret eller matjordslagret är av betydligt lättare beskaffenhet,



1 : 10500

Fig. 1.

jordarten kan betecknas som mellanlera och inom något enstaka område t. o. m. som en lättlera. Det skall anmärkas att styvleksgraden är bestämd ur hygroskopiciteten.

Vid jämförande bestämningar av hygroskopiciteten hos matjord och alv, som utförts på talrika ställen i vårt land, har det framgått att hygroskopiciteten hos matjorden i regel ligger någon enhet lägre än hos alven, ehuru lerhalten, varpå hygroskopicitetstalet är ett relativt mått, kan vara densamma. Matjorden ligger i en närmast lägre styvleksklass än alven. Det kan alltså mycket väl hända, att den mellanlera, varav matjorden här består, endast är det ytliga lagret av alvens glaciala lera.

För att avgöra denna fråga, som här är av särskilt intresse, företogs mekanisk analys av en serie jordprov i en profil tagna från matjorden och från olika nivåer i underliggande alv. Profilen i fråga upptogs inom ett lågt liggande område i SV-delen av gården å skifte I. Resultatet framgår av tabell 1.

Av tabellen se vi, att i det djupaste provet, där leran hade såpkonsistens, är lerhalten högst eller 68 procent och därifrån avtager lerhalten tämligen kontinuerligt upp till matjordsgränsen, där lerhalten uppgår till 52 procent.

†I—441446. S. G. U., Ser. C, N:o 461. Johansson.

Tabell 1. Mekanisk sammansättning av leran från olika nivåer i profil från Skifte I.

| Korngrupp | Matjord | | | Torrskorpa | | | Såplera |
|----------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|
| | 0—10 cm % | 20—23 cm % | 27—31 cm % | 40—45 cm % | 60—65 cm % | 95—100 cm % | 240—250 cm % |
| Grovsand | 1.9 | 2.4 | 2.0 | 1.6 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| Mellansand | 7.8 | 8.2 | 2.5 | 1.3 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| Grovmo | 7.5 | 7.4 | 4.3 | 3.7 | 3.4 | 3.8 | 2.9 |
| Finmo | 16.2 | 15.8 | 12.7 | 11.5 | 12.7 | 10.3 | 6.9 |
| Grovmjåla | 16.0 | 16.9 | 13.9 | 12.6 | 12.7 | 11.7 | 9.7 |
| Finmjåla | 12.1 | 12.4 | 12.6 | 11.4 | 11.4 | 10.9 | 12.2 |
| Ler | 38.5 | 36.9 | 52.0 | 57.9 | 59.5 | 62.9 | 68.1 |
| Humus ca 4.0 | | | | | | | |

Procentvärdena för de övriga fraktionerna visa en slående likhet inom alvens olika nivåer. Sedimentationsbetingelserna hava varit mycket likartade under hela avsättningstiden.

I matjorden, varifrån två prov på olika djup äro tagna, är lerhalten betydligt lägre än i alven. Halten av finmjåla är ungefär densamma, men sedan öka halterna av de grövre fraktionerna utöver motsvarande i alven, ehuru likväl en viss likhet i kornfördelningen kan spåras. Nu är frågan om den kornstorleksfördelning analyserna uppvisa hos matjordslagret kan vara uppkommen genom bortslamning av ler från ett lager, som ursprungligen haft alvens sammansättning, eller om en helt annan avlagring, som avsatts under andra betingelser, föreligger.

Om en nedslamning in situ ägt rum, så kan denna endast ha berört lerfraktionen, eftersom halten av finmjåla är densamma som i alven, men en sådan separering plägar icke äga rum vid nedslammingsprocesser, då även partiklar grövre än ler pläga följa med. De grövre fraktionerna, mellansand och grovmo, visa dessutom så höga procentsiffror, att dessa icke kunna uppnås genom att frånräkna den kvantitet ler, som skulle blivit nedslammad. Till yttermera visso visar icke provet från plogsulan någon leranrikning, vilket borde vara fallet om nedslamning ägt rum.

Matjordslagret på Lanna är sålunda en annan geologisk avlagring än alven. Man har att välja mellan en vanlig postglacial strandbildning, som legat som ett tunt täcke ovanpå den glaciala leran och vid plöjning blivit inblandad i den glaciala leran, eller också är det en svämbildning avsatt under tidigare höst- och våröversvämningar, då stora delar av fälten stått under vatten. Matjord från högre belägna fält har uppslammats och sedan sedimenterat på de översvämmade områdena. En del av lermaterialet som icke kommit till avsättning i dessa klarningsbäcken har förts vidare ut i vattendragen.

För det sistnämnda alternativet talar matjordslagrets relativt stora djup.

Vanligen är det mellan 2.5 och 3 dm, men på många ställen har djup över 3 dm uppmätts. Och då dessa stora mäktigheter icke kunna hava åstadkommits genom plöjning, är det sannolikast, att matjorden utgöres av en svämbildning åtminstone inom de lägre områdena. Genom upprepad plöjning åt samma håll ha tegarna, vars bredd är lika med avståndet mellan de öppna dikena blivit kullriga, så att matjordslagret mitt emellan dikena är omkring 1 dm mäktigare än intill dessa, men så stora mäktigheter som upp till 4 dm kunna icke på detta sätt hava åstadkommits.

Matjordens höga humushalt, som ligger mellan 4—6 procent, står sannolikt i samband med en svag förmultningsintensitet, i sin tur orsakad av dålig genomluftning. Den starkt sura reaktionen som ligger mellan 5 och 5.5 pH torde snarare bero på svag oxidation av humussyrorna än på stark urlakning av baser.

Markvittringen.

I denna starkt sura matjord försiggår en relativt hastig silikatvittring. Den i matjorden bildade kolsyran jämte humussyrorna äro härvid de verksamma agenterna. I första hand angripas de relativt lösliga mineralen, biotit, kalkrika fältspater och hornblende eller de mineral som karakterisera den grå gnejsen. Ljus glimmer, kalifältspat och kalkfattiga natronfältspater, den röda gnejsens mineralassociationer, äro relativt svårlösliga, men kunna likväl vid långt driven finfördelning (hög lerhalt hos jordarten) även bidraga till kvantiteten upplösta ämnen.

Av dessa vittringsprodukter lösas de I- och II-värdiga baserna i markvätskan som karbonater och uttvättas av nederbörden i den mån de icke absorberas vid jordkolloiderna eller fastläggas i svårlösliga föreningar med humussyror som humater. De vid mineralens söndervittring frigjorda sesquoxiderna bilda tillsammans med kisel syra och humussyror kolloidala lösningar, som enligt Mattson bilda svårlösliga föreningar vid ett visst pH i markvätskan, föreningarnas isoelektriska punkt. Då markvätskan sjunker och påträffar lager med allt högre pH-värde, utfällas först järnföreningar och sedan aluminiumföreningar, eftersom järnföreningarna hava en på pH-skalan lägre liggande isoelektrisk punkt än aluminiumföreningar (1).

Utfällning av rost kan emellertid iakttagas inom alla nivåer i alven ända ned till såpleran, än impregnerande tunna skikt än tjocka bankar. Detta järn har emellertid varit löst i grundvattnet som järnkarbonat och hålles i lösning i syrefritt reducerande grundvatten. Då grundvattnets ytliga skikt komma i beröring med markluften, oxideras järnet till III-värdigt och utfälls som rost, gleipodsol. Den här vanliga förekomsten av rostutfällning i alven tyder på att grundvattnet är eller tidigare varit syrefritt åtminstone periodvis under året.

För att i någon mån belysa intensiteten av urlakning och anrikning av vittringsprodukter i en markprofil har använts Tamms oxalatmetod för särskiljande av den vittrade delen från den ovittrade mineralsubstansen. Metoden

har fått stor användning och har vid systematiska undersökningar visat sig kunna giva fördjupade inblickar i vittringsmekniken; som exempel härpå skall endast anföras den mycket intressanta undersökning som nyligen publicerats av Sante Mattson och medarbetare, varvid jordproven från de tidigare ingående studerade Uden- och Dalaprofilerna oxalatbehandlades (2). En fullt kvantitativ separering av vittrat från ovittrat erhålles emellertid icke. Tamm har själv framhållit att i fråga om leror ovittrade mineral i någon mån kunna angripas av lösningsmedlet och enl. Mattson är det icke under alla omständigheter givet att vittringskomplexet kvantitativt upplöses, särskilt anses den erhållna kvantiteten utlöst kisel-syra bliva för liten vid behandling med så starkt surt extraktionsmedel som surt ammoniumoxalat (pH 3.25).

Jordproven från samma profil, varifrån mekaniska analyser meddelats (tabell 1), extraherades med Tamms oxatlösning. Då lerhalten på de olika nivåerna är ganska lika (inom alven jämnt avtagande uppåt i profilen), så böra analyserna från de olika nivåerna kunna giva jämförbara värden, särskilt om värdena omräknas i procent av lerhalten. Man kan nämligen förutsätta att lerfraktionen i de olika skikten skall vara likartad både med avseende på mineralogisk sammansättning och kornstorleksfördelning.

I nedanstående fig. 2 äro de erhållna värdena grafiskt återgivna och torde värdena tillräckligt noga kunna utläsas av figuren utan tabellarisk uppställning. Överst i samma figur anges pH-värdet hos samma profil.

Vad först pH-värdet beträffar är detta mycket lågt i matjorden (pH 5.2) för såväl plogskiktet, räknat till 2 dm djup, som för det underliggande matjordsskiktet (2.0—2.3 dm). Därifrån stiger värdet mycket hastigt så att redan 2 dm under matjorden är pH vid eller något över neutralpunkten. Härifrån är värdet oförändrat mot djupet. Det är ett mycket tunt lager som tagit intryck av den starkt sura matjorden. Det har icke förekommit någon större transport av humussyror nedåt. Profilen verkar i hög grad jungfrulig.

Om vi se på halten oxatlösliga ämnen så är på 1 m:s djup, där jordarten kan antagas endast vara föga vittrad, halten av Al_2O_3 och SiO_2 så hög som 1 procent för vardera, det sura oxalatet har tydligen utlöst avsevärda mängder av den ovittrade, mineraliska substansen. Fe_2O_3 -halten är ännu högre eller 1.64 procent vilket nog får skyllas på förekomst av glei-bildning. På närmast provtagna högre nivå uppgår Fe_2O_3 -halten till knappt 1 procent. Det är därför antagligt att halten Fe_2O_3 skulle varit densamma på 1 m djup om icke tillfällighetsvis rost varit utfälld just på denna nivå.

Från denna endast föga vittrade lera utlöser oxalatet sålunda omkring 1 procent, beräknat på lersubstansen, av vardera ämnet.

Nära till hands ligger nu att anse de kvantiteter av oxatlösliga ämnen från jordprofilens högre liggande nivåer, varmed dessa överstiga 1 procent, såsom härstammade från vittringskomplexet. Ett sådant antagande vore emellertid förhastat. Av kurvan för oxatlöslig SiO_2 framgår att såväl i det humushaltiga lagret som i anrikningsskiktet utlöstes mindre än 1 procent eller ca 0.6—0.7 procent. I de vittrade lagren, vartill även anrikningsskiktet kan räknas, ut-

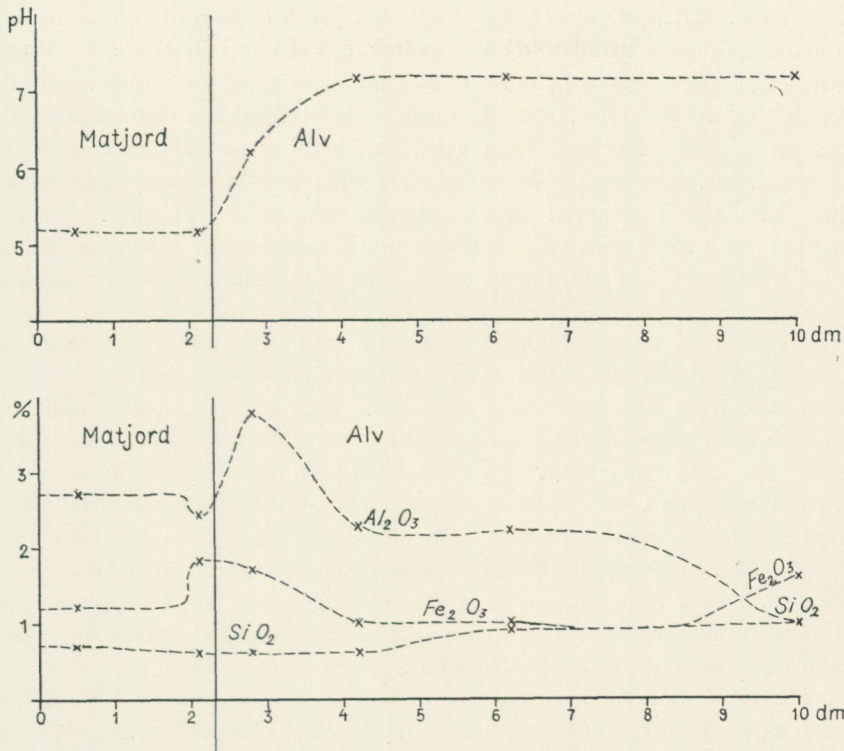


Fig. 2. Oxalatretraerad Fe_2O_3 , Al_2O_3 och SiO_2 beräknat på % lersubstans i prov från Lanna. Skifte I. Överst i figuren illustreras pH-värdena på olika nivåer.

löses mindre mängd SiO_2 än av ovittrad lera. Under den fortgående vittringen har tydligen en vittringsskorpa uppstått som skydd för den ovittrade delen, vilken icke helt upplöses av oxalatlösningen. Det är sannolikt SiO_2 som bildar det skyddande täcket. Det är bekant att kolloidal SiO_2 , som fått intorka, är mycket svår att åter bringa i lösning. Den övre delen i profilen ned till 4 dm djup, som visar låga halter av SiO_2 , kan förutsättas tidvis hava varit utsatt för stark uttorkning. Sannolikt är det så, att just SiO_2 -gelen är den broms som hejdar vittringsprocessernas fortskridande i vårt klimat. Vid lateritvittringen går även SiO_2 i lösning, bromsen är där borta och vittringen fortskrider ohejdat till fullständig söndervittring av mineralen och till stora djup.

Om det är så att SiO_2 -gelen bildar ett skydd mot vittringsagenterna kan den också förutsättas skydda de ovittrade mineralen mot oxalatlösningens inverkan. Det är därför sannolikt att Tamms reagens kan användas som medel att skilja vittrat från ovittrat även beträffande leror.

Sesquioxidernas kurvor visa anrikning beroende på utfällning i lagret närmast under matjorden. Vad beträffar Fe_2O_3 är maximet förskjutet högre upp än för Al_2O_3 (det ligger t. o. m. i humuslagrets nedre del) i överensstämmelse med lagen för isoelektrisk fällning. Järnföreningars isoelektriska punkt ligger

nämligen enl. Mattson vid ett lägre pH-värde än aluminiumföreningars, varför de förra tidigare utfällas, då markvätskan vid sjunkning möter stigande pH-värden. I detta speciella fall har emellertid matjordens undre skikt, där järnanrikning förekommer, ett pH-värde som är lika lågt som matjordens övre skikt, och det föreligger därför ingen anledning för utfällning av Fe_2O_3 . Utfällning har säkerligen försiggått på ett tidigare stadium i markprofilens utbildning, då pH-värdet i undre matjordsskiktet varit högre. Järnkonkretioner, som förekommo i det undre matjordsskiktet och som givit upphov till maximet i Fe_2O_3 -kurvan, äro sannolikt utfällda på ett tidigare stadium.

Såväl från matjordslagret som från anrikningsskiktet utlösas omkring dubbelt så mycket Al_2O_3 som Fe_2O_3 . I en järnpodsol brukar vanligen oxalatlösligt järn kvantitativt överväga över aluminium. Här äger motsatta förhållandet rum och i detta avseende kan jordmånen här betecknas som en humuspodsol, trots att humushalten icke är så avsevärt hög, endast omkring 4 procent.

Om nämligen profilen jämföres med den av Mattson och medarbetare så detaljerat och ingående undersökta Udenprofilen (2), vilken omfattar såväl en högre belägen »torr ända» med järnpodsol som en lägre »våt ända» med humuspodsol, finner man att Lannaprofilens relation mellan Al_2O_3 och Fe_2O_3 återfinnes i Udenprofilens »våta ända», där ett högt grundvattenstånd rådde och där markvegetationen var kärrartad.

Studiet av jordmånen bestyrker sålunda de slutsatser om de tidigare förhållandena på Lanna, som redan dragits ur jordartsförhållandena, nämligen att Lanna liksom stora delar av den plana Varaslätten tidvis varit översvämmad uppvisande liknande förhållanden, som är rådande i Uden-profilens »våta ända». Detta är av vikt att fastslå bl. a. för förståelsen av de nutida hydrologiska egenskaperna hos Lanna-leran.

Anledningen till den låga halten Fe_2O_3 i jämförelse med Al_2O_3 anses bero på att järnet i den syrefattiga miljö, som det höga grundvattenståndet åstadkom, gått i lösning som II-värdigt och återfinnes som gleiutfällning djupt ned i profilen, under det att aluminium till största delen bundits vid humussyror som aluminiumhumat.

En bestämd skillnad föreligger dock mellan Lannaprofilen och Udenprofilen i det att i den sistnämnda ingen anrikning vare sig av järn eller aluminium förekommer under urlakningsskiktet. I Lannaprofilen förekommer däremot ett tydligt anrikningsskikt. Jordmånen ifråga framstår därför som en mellanform mellan humuspodsol och järnpodsol. Med det växlande grundvattenståndet, från högt vattenstånd höst och vår till lågt under torra somrar, har miljön varit än reducerande än oxiderande. Vittringstypen karakteriseras därför både av humuspodsolens relativt höga Al_2O_3 -halt inom urlakningsskiktet som av järnpodsolens maximihalter för sesquioxiderna inom anrikningsskiktet.

Grundvattnets halt av lösta ämnen.

De vid mineralens söndervittring frigjorda sesquioxiderna jämte kiselsyra och andra svårslösliga ämnen såsom mangan och titan återfinnas som en kvarstående vittringsrest företrädesvis i anrikningsskiktet, endast en ringa del löses i markvätskan och medföljer denna till grundvattnet. Mineralens I- och II-värdiga kationer ingå däremot i mer eller mindre lösliga former, och i den mån de icke genom adsorption av markkolloiderna fastläggas på platsen eller i egenskap av näringssalter upptagas av vegetationen, urlakas de av nederbörden huvudsakligen såsom bikarbonater och ansamlas i grundvattnet, och slutligen bortföras i den mån detta bortdräneras.

Som vi skola se är grundvattnets halt av lösta ämnen icke konstant året om. Ett närmare studium av årsvariationerna ger i vissa avseenden en mera detaljerad inblick i markvittringsprocesserna än enbart ett studium av oxalatextraktet från de olika jordmåns horisonterna kan giva. Men innan analysresultatena diskuteras, torde det vara lämpligt förutskicka en resumé över grundvattensförhållandena i en lerjord.

I jämförelse med en sandjord är grundvattenmagasinet i en lerjord mycket begränsat. I vertikal led begränsas grundvattenmagasinet nedåt av den sprickfria leran, som här ligger på ett djup av 2 à 2.5 m. Och själva magasinets volym, som i grov sandjord utgöres i det närmaste av porerna mellan sandkornen, vars volym kan uppgå till en tredjedel av den totala volymen, varifrån avdrag måste göras för inneslutna luftblåsor och s. k. porvinkelvatten, utgöres magasinet i en lera endast av torksprickorna. Den sammanlagda volymen av dessa, vid de tillfällen sprickorna äro vattenfyllda och leran är vattenmättad uppgår enl. mätningar jag utfört på Lanna (se längre fram) endast till några få procent av totalvolymen, och ännu mindre är den volym som upptages av grundvattnet. Det blir icke stora vattenkvantiteter grundvattenmagasinet kan rymma. Vid ett 2 m djupt magasin kan det icke rymma mer än 20 à 30 mm nederbörd.

Under sommaren vid vegetationsperiodens slut rymmes däremot betydligt mera, ty då har genom avdunstning och transpiration vatten från leran uppsugits, som därvid krympt, och i motsvarande grad hava torksprickorna vidgats. Då grundvattenmagasinet sedermera påfyller under höstregnen, uppsuger den mer eller mindre uttorkade leran under svällning samma vattenkvantitet den tidigare avgivit. Med vattnet följer däri lösta ämnen, som i den mån de icke uppsugas av växtrötterna, impregnera leran till med tiden ständigt ökad koncentration. Det är mycket möjligt att de konkretionära bildningar av kolsyrad kalk (marlekor) eller av rost, som påträffas i leror inom rothorisonen, uppkomma just på grund av denna pågående koncentration av lösta ämnen i leran.

Om leran icke är dränerad och om fältet ligger plant utan lutning dvs. under sådana förhållanden, som kan antagas varit rådande på Lanna för ett 100-tal år tillbaka, så har endast en ringa del av grundvattnet kunnat rinna bort, och största delen av den mängd vittringssalter, som under tidernas lopp

uppstått med undantag av vad som bortförts av näringssalter genom slätter eller betesgång, skall återfinnas i grundvattnet eller vara absorberat i leran. Möjligen har någon svag grundvattenström gått från de högre liggande områdena mot de lägre, åstadkommande någon urlakning därstädes.

I och med att marken odlades och området dränerades genom öppna diken (se fig. 1), där sugdikena voro omkring 6 dm djupa, blev det någon omsättning på grundvattnet, då kunde åtminstone den övre delen av grundvattensmagasinet, nämligen den del som låg över dräneringsdjupet tömmas genom dränering och motsvarande mängd salter bortföras.

En ännu livligare omsättning av grundvattnet erhöles efter upptagning av de djupa kanaler, som nu genomskära försöksgården. Dessa kanaler äro omkring 2 m djupa och nå genom hela den vattenförande torrskorpan. Med den mycket höga permeabilitet leran här har, som vi skola se, är det numera en hastig omsättning av grundvattnet. Kanalerna upptogos vid egendomens överförande till försöksgård, det var 1929, och voro färdiggrävda 3 år innan dessa undersökningar utfördes.

Jämförande undersökningar av grundvattnets beskaffenhet såväl å den lågt liggande marken som å den högre belägna påbörjades sommaren 1932 och samtidigt togs grundvattensprov från några spridda ställen i landet med jordart likaledes av glacial lera. Dessa senare bestämningar återfinnas i bilagan.

Vattenprov hava tagits från två ställen i borrhål, där dagliga mätningar av grundvattenståndet utförts, dels å det lågt liggande skiftet II med havre, som sannolikt uppodlats först i mitten av förra århundradet, dels å det något högre belägna skiftet VII som låg i vall. Borrhålen upptogos till omkring 2.5 m djup för att nå genom hela det grundvattenförande torrskorpelagret.

Vattenproven togos i flaskor av Jenaglas med inslipad glaspropp. Före provtagningen länspumpades hålet och provet togs av det nya vatten, som runnit till från omgivningen. Någon förlust av fri kolsyra under provtagningen har icke kunnat undvikas, enär vattnet upphämtades ur borrhålet i litermått och påhålldes provtagningsflaskan. Proven togos samtidigt från båda skiftena och vid fyra olika tillfällen för att studera möjliga årsvariationer i grundvattnets sammansättning. Omedelbart efter provens ankomst till laboratoriet utfördes analyserna. Dessa äro gjorda av framlidne laboratorieassistenten Silas Sjöberg och återfinnas i nedanstående tabell.

Första provtagningen skedde den 18 augusti 1932 och andra provtagningen under högt grundvattenstånd den 9 december. Hösten hade varit mild och utan tjäle i marken. Tredje provtagningen gjordes den 16 mars året därpå strax efter tjällossningen med högt grundvattenstånd i marken och fjärde och sista provet togs följande sommar den 1 juli då åter grundvattnet stod lågt.

Om vi först granska värdena i tabellens sista kolumn, som upptager grundvattnets halt av fritt syre, varav dock endast bestämningar utförts från de två sista provtagningarna, finna vi att vattnet är syrerikt efter tjällossningen med 12.4 mg/l syre i de båda proven. Det nederbördsvatten som under den kalla årstiden upphopats i tjälen är syrerikt, enär de kemiska och bakteriologiska processerna, som förbruka syre äro hämmade av den låga marktem-

Tabell 2. Grundvattnets halt av lösta ämnen 1932—1933, mg/l.

| Provtagnings-tid | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | H ₃ N | CO ₂ total | CO ₂ halvb. | CO ₂ fri | SiO ₂ | SO ₃ | Cl | Nitrat- N | P ₂ O ₅ | O- förbr. | O ₂ fritt |
|---|--------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|------------------|-------------------|------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|-----------------|-------------|--------------|-------------------------------|--------------|-------------------------|
| <i>Skifte II.</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ¹⁸ / ₈ 32 | 1.9 | 3.1 | 46.8 | 44.0 | 7.2 | 160.4 | 0.02 | — | 276.0 | 12.0 | 12.0 | 0.0 | 13.8 | 0.63 | 0.0 | 9.8 | — |
| ⁹ / ₁₂ 32 | 4.6 | 1.1 | 46.0 | 39.0 | 2.4 | 125.8 | 0.13 | 327.0 | 238.0 | 6.5 | 8.0 | 4.6 | 42.2 | 0.75 | 8.0 | 7.4 | — |
| ¹⁶ / ₃ 33 | 3.4 | 4.0 | 32.2 | 32.0 | 4.4 | 77.4 | 0.00 | 195.2 | 163.7 | 5.4 | 13.0 | 28.9 | 12.5 | 1.70 | 0.64 | 6.7 | 12.4 |
| ¹ / ₇ 33 | 2.0 | 2.4 | 29.2 | 23.0 | 1.9 | 89.4 | 0.20 | 244.0 | 207.7 | 8.4 | 9.0 | 0.3 | 10.9 | 0.22 | 0.68 | — | 0.0 |
| Med. | 3.0 | 2.6 | 38.5 | 34.5 | 4.0 | 113.2 | 0.09 | — | 221.4 | 8.1 | 10.5 | 8.4 | 19.9 | 0.82 | 2.33 | — | — |
| <i>Skifte VII.</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ¹⁸ / ₈ 32 | 2.2 | 2.8 | 58.8 | 36.0 | 4.4 | 40.4 | 0.02 | — | 186.0 | 11.5 | 16.0 | 0.0 | 2.0 | 0.32 | 0.0 | 9.6 | — |
| ⁹ / ₁₂ 32 | 6.8 | 3.4 | 35.4 | 21.0 | 7.2 | 34.2 | 0.15 | 129.6 | 110.8 | 5.7 | 22.0 | 7.7 | 43.0 | 0.55 | 2.8 | 8.8 | — |
| ¹⁶ / ₃ 33 | 4.4 | 3.0 | 33.8 | 25.0 | 5.2 | 30.2 | 0.02 | 126.0 | 117.0 | 7.9 | 12.0 | 1.7 | 8.2 | 1.10 | 1.68 | 1.6 | 12.4 |
| ¹ / ₇ 33 | 1.8 | 2.4 | 29.2 | 8.0 | 1.5 | 29.0 | 0.15 | 169.0 | 128.9 | 8.4 | 12.0 | 0.4 | 3.1 | 0.95 | 0.52 | — | 6.2 |
| Med. | 3.8 | 2.9 | 39.3 | 22.5 | 4.6 | 33.4 | 0.09 | — | 135.8 | 8.4 | 15.5 | 2.5 | 14.1 | 0.73 | 1.25 | — | — |

peraturen och för övrigt ligga luftblåsorna inneslutna och skyddade i isen. Vid smältningen av den luftfyllda tjälisen tillföres grundvattnet stora kvantiteter syre och antagligen mycket mera än med höstregnen, då ännu kemiska och bakteriologiska processer i de skikt, som genomrinnas av regnvattnet pågå. Det är tjälbildningen vi ha att tacka för vårens syrerika grundvatten och som gör att omsättningarna i marken av kemisk och mikrobiologisk natur gå i en för vegetationen sund riktning.

Efter tjällossningen innehåller grundvattnet mera syre, än vad som åtgår till oxidationen av den organiska substansen, ty enligt bestämningen av syreförbrukningen åtgick endast för de båda skiftena 6.7 mg resp 1.6 mg (se kolumnen för O-förbrukning), men likväl sjunker syrehalten under våren och sommaren ytterligare, så att den 1 juli syrehalten i grundvattnet å skiftet II är 0 och å skifte VII 6.2 mg/l. Det lägre liggande skiftet har nu ett reducerande grundvatten under det att skifte VII ännu har halva syremängden kvar. Det har på båda ställena förbrukats mera syre än vad som åtgår till oxidation av den organiska substansen och andra i grundvattnet förekommande oxiderbara ämnen. Tydligtvis har en del av grundvattnets syre åtgått till oxidation av tvåvärdigt järn som ingår i de lättvittrande mineralen biotit och hornblende. Vittringsprocesserna äro icke inskränkta till det översta markskiktet utan som redan Altonen visat pågå de även djupare ned i markprofilen eller inom hela torrskorpezonen.

Som ett ungefärligt relativt mått på grundvattnets halt av organiska ämnen kan syreförbrukningen användas. Ur det starkt sura matjordsskiktet urlakas av nederbörden vattenlösliga humussyror, som i det neutrala eller svagt alkaliska elektrolytrika grundvattnet med kationerna bilda humater. Dessa sönderdelas sedan så småningom genom oxidation. Normalt borde halten organiska föreningar vara störst efter höstregnen och sedan successivt avtaga efter tjällossningens syretillskott. I detta fall se vi emellertid att den organiska halten (mätt som O-förbrukning) är störst vid första provtagningen den 18 augusti. Men detta beror på en särskild omständighet. Det kom nämligen under månaden förut i juli en ovanligt stark lokal nederbörd på ända till 70 mm som hade en stark urlakning av organisk substans och stigande grundvattenstånd till följd. Därefter visar analyserna en successiv minskning av den organiska substansen, vilken minskning är störst å skifte VII beroende på att leran härstädes nått ett högre oxidationsstadium. Det tillgängliga syret kan här i större utsträckning tagas i bruk för sönderdelning av den organiska substansen.

Om vi så se på grundvattnets halt av basiska beståndsdelar och börja med sesquioxiderna Al_2O_3 och Fe_2O_3 , finna vi att grundvattnet innehåller avsevärda mängder av dem. I en lerjord, där vattnet följer sprickorna vid sitt nedsjunkande har man icke att vänta sig en så fullständig utfällning, då lösningen under sitt nedsjunkande passerar de lager i anrikningsskiktet, vars pH motsvarar järn- och aluminiumföreningarnas isoelektriska punkt och betingelser för fällning inträtt, som i en sandjord, där markvätskan silas fram i porerna mellan partiklarna. De variationer med årstiderna, som möjligen kunna utlösas ur värdena, äro troligen endast skenbara och bero sannolikt endast på

att längre eller kortare tid förflutit mellan nederbördsperioder och datum för provtagningen. Ju längre tid som förflutit ju mera har hunnit utfällas av sesquioxiderna. Det låga värdet på Al_2O_3 i augustiprovet beror sannolikt på att närmare en månad förflutit sedan det stora juliregnet.

Vad beträffar kalk och magnesia redovisar tabellen jämförelsevis höga värden. Vattenproven från kalkområden (se bil.) kunna uppvisa betydligt högre halter särskilt av kalk, men att den kalkfattiga Lannajorden, som enligt kalkningsförsöken har ett mycket stort kalkbehov, uppvisar så relativt höga halter både av kalk och magnesia, måste ha sin särskilda anledning, som vi kunna komma på spåren, om vi observera att halterna av dessa ämnen stadigt sjunka med varje provtagning. Detta kan icke betyda annat än att under provtagningstiden en utspädning av grundvattnet ägt rum, vilket måste vara en effekt av dräneringen. Särskilt måste effekten tillskrivas de nyligen upptagna kanalerna. Eftersom minskningen i halterna gått så hastigt som den gjort, kan den tidigare ytliga dräneringen till omkring 6 dm djup icke haft så stort inflytande på saltkoncentrationens minskande, det är först med de djupa kanalerna som grundvattenmassan åtminstone till stor del bortdränerats och ersatts med nytt vatten vid nederbörd. Den intensiva dräneringen har medfört ett elektrolytfattigare grundvatten, men om detta i sin tur varit till men för växtligheten är dock icke sannolikt, då med den intensiva dräneringen följer stora fördelar såsom minskad urlakning av matjordsskiktet genom minskning av den ytliga dräneringen m. m., som emellertid icke här skall diskuteras.

Ännu mera slående belägg för en under senaste tid pågående hastig omsättning av grundvattnet erhålles ur värdena för alkalimetallerna. Närmast faller i ögonen den stora disproportionen mellan Na_2O och K_2O . Under det att grundvattnets kalihalt i stort sett är normal, så visar halten av natron så höga värden att de icke enbart kunna härledas från fältspaternas vittring eller från åkerjordens gödsling, särskilt är detta fallet vad beträffar skifte II. Något klornatrium kan nog här i västra Sverige komma med nederbörden från västerhavet, men så långt från västkusten som Lanna är beläget, torde denna kvantitet icke vara av större betydelse. Men en annan saltkälla kan hänvisas till nämligen till det salta vatten, vari Västsveriges glaciala leror en gång avlagrades, och som envist hållits kvar mellan lerpartiklarna. Otvivelaktigt härrör den höga natronhalten härifrån. Att icke klorhalten visar motsvarande höga värden beror enbart på att kloren, som icke absorberas av jordkolloiderna mycket lättare uttvättas än natrium. Som var att vänta är klorhalten i det lågt liggande skifte II något större än i skifte VII.

Liksom förhållandet var med kalk och magnesia avtager koncentrationen av natron i grundvattnet starkt under försöksperioden. Ett avtagande som sker så hastigt att processen icke har kunnat pågå synnerligen länge. Med all sannolikhet sammanfaller början av den intensiva urlakningen med upptagandet av kanalerna och om processen fortgår i samma tempo skall det icke dröja länge förrän halten Na_2O sjunkit till normalt värde. Detta har också besannats. Vattenprov som togos ett par år senare och som analyserades på Na_2O visade normala halter.

Givetvis skall grundvattnet hastigare omsättas ju närmare kanalerna vi komma, ty i kanalernas omedelbara närhet blir grundvattenmagasinet genom avrinning tömt ända till botten. Längre från kanalerna sker tömningen genom avrinning endast till sugdikenas nivå. En vidare sänkning av grundvattensnivån här sker genom växternas transpiration och genom avdunstning, som i sig icke innebär någon egentlig förlust av upplösta ämnen med undantag av vad som absorberas i växterna och av jorden.

Som framgår av analysiffrorna är i skifte II halten av Na_2O vid försöksseriens början omkring 4 ggr så hög som i skifte VII. Redan före kanalernas upptagande har detta senare högre belägna skifte haft en livligare omsättning av grundvattnet än skifte II.

Det kan ju hända att efter långvariga regnperioder grundvattnet kommer att stiga ända upp i matjordslagret, givetvis numera efter genomförd dränering mera sällan än tidigare, och de i grundvattnet lösta salterna komma då att absorberas i matjordslagret, vars pH-värde därigenom kommer att stiga eftersom grundvattnet är svagt alkaliskt. Men även vid kapillär uppsugning t. ex. under våren då grundvattnet står nära matjordslagret sker en anrikning av salter i matjorden och särskilt då av natriumjoner som äro rikligt företrädda.

Den höga Na-halten i matjorden spelar en viss växtfysiologisk roll. Det har observerats på Lanna och för övrigt sedan länge på åtskilliga ställen i Västergötland att en oförklarlig skördeminskning kan inträffa vid gödning med kali. Hans Burström, som ägnat denna och andra växtfysiologiska frågor ett intressant studium på Lanna (3), kom till det resultatet, att vid påförning av kalialter till den förut kalirika jorden kan tillsammans med den höga Na-halten i jorden alkalimängden bliva för stor, så att alkaliförgiftning uppstår. Vid jämförelse mellan kalkade och okalkade parceller fann Burström att såväl i marken (i citronsyreextrakt) som i växterna Na-halten var större för de kalkade parcellerna. Burström är böjd att tillskriva de kalkade parcellernas större Na-halt föroreningar av Na i kalken; det är dock sannolikare att kalken, som absorberas starkare än natrium i jorden, förtränger de adsorberade Na-jonerna, så att dessa bliva lättare utlösbara av citronsyran och även lättare upptagbara av växten.

Beträffande de basiska beståndsdelarna återstår endast att säga några ord om ammoniak. För detta ämne visar tabellen två maxima i december och i juli. Decembermaximet står troligen i samband med att salpeterbakterierna, som under hösten ha vilopaus (4), icke hålla jämna steg med ammoniakförsjäsningen. Under våren efter tjällossningen ha tydligen salpeterbakterierna vaknat till ny aktivitet, ty då sjunker H_3N -halten till ett minimum under det halten nitratkväve stiger till sitt maximum. Syretillförseln med smältvattnet har tydligen verkat stimulerande. Varför H_3N -halten återigen är hög under juli men låg under augusti är materialet för litet för att bilda sig en mening om.

Som vi sett är det avsevärda mängder basiska ämnen grundvattnet innehåller och då detta har neutral reaktion måste det finnas motsvarande mängd syror. Sesquioxiderna, som för övrigt utgöra en relativt ringa del, taga inga syror i

anspråk. Möjligen äro de till en del bundna vid humussyror men resten torde förekomma som hydrat. Kiselsyran torde delvis förekomma i inaktiv kolloidal form, men också i aktiv jonform i stånd att avmätta baser. Halten av SiO_2 liksom av de övriga syraradikalerna SO_3 , Cl , NO_3 och P_2O_5 är emellertid obetydlig. Det är i stället kolsyran som huvudsakligen är saltbildande. Som synes av tabellen redovisar denna också för stora mängder halvbinden kolsyra, dvs. karbonaterna äro huvudsakligen sura karbonat.

Grundvattnets halt av sulfater visar stora årliga variationer. Störst är tillgången efter höstregnen i decemberproven, då matjorden urlakas på vattenlösliga sulfater. Detta synes vara en generell företeelse, som visat sig regelbundet återkomma å de övriga provtagningsplatserna (se bilagan). Skifte II visar ett undantag från regeln, i det vårprovet innehåller en abnormt hög halt av SO_3 ända till 28.9 mg/l, vilket är ganska oförklarligt. En övergödning av superfosfat har väl knappast förekommit, ty i så fall borde även halten av P_2O_5 ökat.

Under sommaren försvinner sulfatet, halten i augustiproven är för båda skiftena 0, vilket icke kan förklaras med att svavelsyran skulle övergå i en ännu svårslösligare förening än i form av gips, som är den antagliga bindningsformen. Sannolikt är det så att i det under sommaren mycket syrefattiga grundvattnet en reduktion av sulfat försiggår, kanske orsakad av organiska föreningar eller möjligen av svavelbakterier.

Vad beträffar klorean har denna tidigare diskuterats i samband med natrium. Här skall endast påpekas det stora tillskott, som grundvattnet erhåller under hösten, tydande på en hög halt av koksalt i matjordslagret som anrikats under sommaren och uttvättas med höstregnen.

Värdena för nitratkväve visa intet anmärkningsvärt; de följa på Lanna samma regel som gäller för de övriga grundvattensproven nämligen att det syrerika vårvattnet visar högsta halten, att salpeterbildning försiggår trots den låga temperaturen. De låga värdena under sommar och höst bero naturligtvis på att vegetation begärligt absorberar nitrat.

De erhållna värdena på fosforsyran återigen äro högst anmärkningsvärda fast svårtolkade. Lanna-jorden är känd för att vara mycket fosfatfattig eller rättare sagt för att hålla fosforsyran i för vissa växter mycket svårupptagbar form. Enligt Permans och Manells redogörelse för gödslingsförsöken på Lanna (5) äro särskilt vallväxter och rotfrukter mycket tacksamma för fosforsyre-gödning. Kålrötter gå överhuvudtaget icke att odla utan tillsats av fosfat. Havre däremot klarar sig ganska bra på den fosforsyra som finnes i jorden. Vidare visade kalkförsöken att om jorden kalkas med stora givor (6,000 kg CaO per ha och däröver) erhöles så stora skördestegringar att intet kalkförsök i vårt land kan uppvisa motsvarighet därtill. Försöken tolkas så, att kalken framkallat en indirekt kväve-fosforsyreverkan. Det finnes stora förråd av kväve och fosforsyra i Lannajorden, som göras växttillgängliga genom kalk.

Vad kalkens indirekta fosforsyreverkan beträffar har detta bekräftats av Burströms förut citerade undersökning. Han fann nämligen att fosforsyrehalten i växten (havre) var högre i kalkade parceller än i okalkade, det före-

kom en lyxkonsumtion av fosforsyra, och han tillskriver detta det kända förhållandet att kalken lösliggör fosforsyra ur svårlösliga järn- och aluminiumföreningar. Men å andra sidan vid extraktion av jorden med 2-procentig citronsyra enligt O. Arrhenius' metod att bestämma upptagbar fosforsyra i marken erhöles ingen skillnad mellan kalkad och okalkad jord. Den erhållna kvantiteten var tämligen normal och tydde icke på någon fosforsyrebrist i marken, vilket Burström anser röja en ofullständighet hos metodiken i detta fall.

Helt nyligen har G. Bjälfve i Lantmannen (6) publicerat en uppsats av stort intresse i detta samband. Han har undersökt sambandet mellan ärternas halt av fosforsyra och markens fosfathalt. I undersökningsserien ingår även prov från kalkningsförsöken å Lanna och av särskilt intresse är att markens halt av tillgänglig fosforsyra denna gång bestämts enligt Egnérs laktatmetod, varigenom en jämförelse kan erhållas mellan citronsyre- och laktatmetoden. Vid extraktion med citronsyra erhöles Burström en normal fosfatmängd och lika från okalkade och kalkade parceller, under det att laktatmetoden gav mycket låg fosfathalt å prov från okalkad parcell och något högre på kalkad parcell (kalkmängd = 6,000 kg CaO pr ha). De erhållna värdena voro 1.4 resp. 2.0 mg per 100 g jord. Om dessa värden omräknas till kg P₂O₅ i matjordslagret pr ha, varvid matjordslagrets djup sättes till 3 dm och jordens volymvikt till 1.2, erhålles för okalkad jord fosfatvärdet 96 och för kalkad 137, dvs. fosfatvärden som i båda fallen hänföra jorden till den näst lägsta fosfatklassen, inom vilken markens fosfattillstånd rubriceras som »otillfredsställande». Gränstalet till nästa klass »ej fullt tillfredsställande» är satt vid fosfatvärdet 150, och först vid värden över 450 räknas fosfattillståndet som »tillfredsställande». Att döma av kalkningens stora skördestegrande effekt förefaller det som om fosfattillståndet skulle vara bättre efter kalkningen än det »otillfredsställande» resultatet laktatmetoden givit.

I marken förekommer fosforsyran i olika former såsom apatit, som är fosforsyrans ursprungskälla, men med mycket långsamt flöde; huvudsakligen äro kulturväxterna hänvisade till sekundärt bildade, mer eller mindre lösliga kalkföreningar. Svårlöslig och otillgänglig för växterna är fosforsyran, då den i förbindelse med järn och aluminium ingår i det s. k. gelkomplexet, varur den endast kan lösgöras genom gelkomplexets sönderfallande, som kan åstadkommas genom ändring i markens pH-värde t. ex. genom kalkning. Ännu en och förmodligen viktig fosforsyretillgång ligger i de organiska ämnenas äggviteföreningar. I den mån de organiska ämnena förmultna, mineraliseras den ingående fosforsyran, och kan om den icke genast bindes i svårlösliga föreningar upptagas av växterna.

Tamm har framhållit att citronsyra upplöser gelkomplexet liksom oxalsyra, vilket icke det sura kalciumlaktatet förmår (7). Då genom citronsyremetoden normala och av kalkningen oberoende mängder erhöles, visar detta att relativt stora mängder av fosforsyran förekommer bunden i gelkomplexet och att kalkningen endast haft den verkan, att en del av gelkomplexets fosforsyra i stället bundits vid kalk. Men denna process kan icke påvisas genom citronsyremetoden. Däremot skall processen vara påvisbar genom laktatmetoden

som enligt Tamm huvudsakligen redovisar för kalkbunden fosforsyra och endast i ringa grad verkar utlösande på gelkomplexets fosforsyra.

Den fosfor, som lösliggöres vid de organiska föreningarnas förmultning, kan icke någon av extraktionsmetoderna redovisa för. Vid kalkning inträder en stegrad sönderdelning av organisk substans (kalkförsöken visade indirekt kväveverkan), och därmed måste samtidigt följa stegrad tillgång på växttillgänglig fosforsyra. Det är därför icke sannolikt att hela den indirekta fosforsyreverkan av kalken härrör från gelkomplexets lösliggjorda fosforsyra.

Om vi återgå till tabellen över grundvattnets halt av lösta ämnen finna vi att halten P_2O_5 vad beträffar decemberproven förvånansvärt nog är större än normalt (se bilagan). På det lågt liggande skifte II var halten ända till 8.0 mg/l, ett värde som endast överträffas hos augustiprovet från Bjerbolund, och säkerligen är fosfattillståndet icke på någon av dessa övriga jordar så otillfredsställande som på Lanna. Det synes vara så att kulturväxterna rata den vattenlösliga form av fosfat, den starkt sura Lannajorden kan erbjuda. Det vore av stort intresse fastställa anledningen härtill, men härför fordras särskilda undersökningar. Man kan av det föreliggande materialet endast förmoda, att med tanke på Lannajordens höga halt av aluminium i gelkomplexet det vattenlösliga fosfatet utgöres av aluminiumfosfat, som försmås av växterna, då aluminium som bekant är ett växtgift. Den så gott som totala missväxten i vissa grödor t. ex. kålrötter, under det andra grödor t. ex. havre klara sig skapligt, talar för antagandet.

Proven efter tjällossningen visa lägre halter och lägst å skifte II, vilket kan bero på att grundvattnet från höstens nederbörd delvis bortdränerats under vintern, då marken var tjälad och då intet nytt vatten tillkom från ytan, och dessutom på att fosfatet utfällts, då det kom med i den neutrala eller svagt alkaliska alven. Augustiprovens fullständiga avsaknad av fosfat torde bero på en fullständig utfällning.

Oxidations- och reduktionshorisonten.

I våra vattensedimenterade leror kan man urskilja ur vattenhalts- och konsistenssynpunkt två horisonter, en undre, där leran är blöt och av såplerekonsistens, och en övre torrare och fastare horisont, torrskorpan (8). Gränsen till såpleran ligger vanligen i fråga om styva leror på omkring 2.5 m, på backar djupare och i vattensjuka sänkor grundare. Torrskorpan har uppstått genom att leran förlorat vatten genom direkt avdunstning samt genom växternas transpiration, och denna vattenförlust gör sig gällande ett stycke nedanför själva rothorisonten eller så långt den kapillära vattenuppsugningen kan göra sig gällande. I lätta leror med god kapillär ledningsförmåga ligger därför såplerehorisonten betydligt djupare än i styva leror och grundast i de mycket styva lerorna. På Lanna med styv till mycket styv lera ligger såpleran på ca 2.5 m djup.

I torrskorpan är leran av en grå oxidationsfärg under det såpleran har en blå reduktionsfärg. Är leran glacial framträder dennas ursprungliga skära

oxidationsfärg även inom såplerehorisonten mer eller mindre tydligt, och särskilt tydligt om avlagringen utgöres av en mindre styv lera. I gränsen mellan torrskorpan och såpleran ligger en övergångszon som vanligen är flera dm mäktig, där leran endast fläckvis är blå och först så småningom antager såpleras blå färgton. I torrskorpans nedre del äro torksprickorna, i vilka grundvattnet står, ytterst tunna med stillastående grundvatten och ringa syretillförsel, varför oxidation av leran blir ofullständig.

Mängden grundvatten i denna nedre del är mycket obetydlig. Vill man därför bestämma det grundvattenförande skiktets tjocklek, vilket är nödvändigt känna för beräkning av lerans permeabilitet, är det icke lämpligt räkna med hela torrskorpan ända ned till såpleran, utan endast räkna med skiktet för rörligt grundvatten eller det skikt, där oxidationen är fullständig.

Som kriterium på om leran är oxiderad eller reducerad har satts när- eller frånvaron av tvåvärdigt järn vid extraktion med svaga organiska syror, som icke förmå utlösa det silikatbundna II-värdiga järnet. Ättiksyra befanns härvid vara lämplig och efter en del förförsök valdes 4 procentig ättiksyra, då denna ur leruppslamningen på ett dygn förmår utlösa i det närmaste maximal mängd av utlösbar II-värdigt järn.

I ättiksyreextraktet bestämdes II-värdigt järn på förslag av A. Bygdén kolorimetriskt som berlinerblått, vars färgstyrka i fråga om utspädda lösningar tilltager proportionellt mot järnhalten.

Standardlösning beredd genom upplösning i vatten av så mycket ferrosulfat $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ att koncentrationen kom att motsvara 1 mg Fe pr 200 ml lösning. För att förhindra oxidation av ferrosaltet under lösningens uppehållande tillsattes några droppar svavelsyra. I 100 ml av standardlösningen överfördes det II-värdiga järnet i kolloidal lösning av berlinerblått genom tillsättning av ca 1.5 ml i vatten upplöst ferricyankalium (koncentration 1 g ferricyankalium på 200 ml vatten). Då den kolloidala lösningen av berlinerblått märkbart ändras under ett dygn på så sätt att den något tilltager i färgstyrka, måste ny komparationslösning iordningställas för varje dag bestämningar skola utföras.

Vid provtagning av leran inpackades denna tätt i ett graderat glaströr, varvid glaströret i det närmaste fylldes och tillproppades för att undvika oxidation. Bestämningarna utfördes så fort möjligt vid hemkomst till kvarteret. Ur glaströret uttrycktes en lerpelare motsvarande 10 ml i en skål och 4 procentig ättiksyra påhålldes. Genom borstning uppslammades lerprovet i syran och överfördes i en flaska, och resten av den avmätta syran, 300 ml, påhålldes. Proven fingo så stå ett dygn med några omskakningar till bestämningen utfördes. Någon skillnad i resultatet erhöles icke om proven skakades varje halvtimme eller varje heltimme eller blott 3 ggr under hela extraktionstiden.

Metoden är ju icke fullt kvantitativ; efter längre extraktionstid eller vid val av starkare syra hade något mera järn extraherats, men för detta syfte, då det huvudsakligen gällt bestämma från- eller närvaron av II-värdigt järn, är den fullt användbar. Bestämningarna äro enkla och kunna utföras utan tillgång till laboratorium.

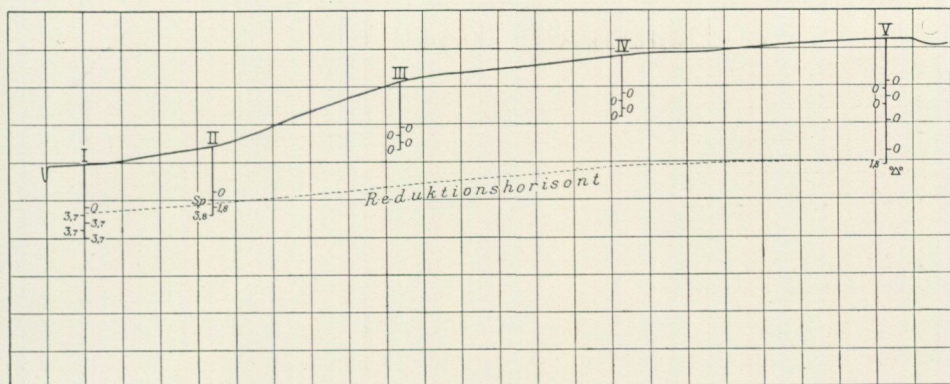


Fig. 3. Profil från Åkersholm, Skara. Siffrorna angiva Fe mg/ml. Oxidationshorisonten blir abnormt tunn nedanför backslutningen. Höjdskala 1:100. Längdskala 1:1000.

Mitt ursprungliga syfte med bestämningar av oxidationslagrets mäktighet var att söka utröna huruvida mäktigheten stod i något samband med dräneringsbehovet, på så sätt att om det oxiderade lagret var relativt tunt detta skulle tyda på för mycket vatten i marken, som behövde bortdräneras. Det visade sig emellertid snart att oxidationslagrets mäktighet, som bestäms av huru djupt grundvattennivån kan sjunka under torrperioder, huvudsakligen bestäms av jordartens beskaffenhet. Leror med litet plasticitetsområde, lättleror och mellanleror, avgiva mindre vatten per volymenhet än styva leror, och då dessutom de lättare lerorna hava större kapillär ledningsförmåga, sjunker grundvattennivån vid samma avdunstad vattenmängd betydligt djupare hos de förra.

En profil som upptogs på en egendom i närheten av Skara omfattande såväl styva som lättare leror belyser detta (fig. 3). På höjden (högra delen av profilen) består leravlagringen av lättare leror i växelagring med styvare och här är hela lerlagret ända ned till moränen åtminstone i den punkt V, där hela lagret genomborrades, oxiderat; först i själva gränsskiktet till morän gav analysen någon halt av järnoxidul, 1.8 mg/ml. Nedanför backslutningen är leran en styv lera och här ligger reduktionshorisonten endast omkring 1.5 m under markytan under det att normalt för denna lertyp djupet är ca 2 m. Marken nedanför backslutningen erhåller ett extra tillskott av vatten, vilket gjort att jorden nedanför backslutningen icke kunnat torka så djupt som normalt.

Halten av II-värdigt järn i reduktionslagret ligger mellan 3—4 mg/ml. Det har visat sig att detta värde är anmärkningsvärt konstant i olika profiler av fastmarksleror, gyttehaltiga leror uppvisa betydligt högre värden. Från värdet 0 stiger järnhalten hastigt till fulla värdet, som bibehålles mot djupet, med endast mindre avvikelser som betingas av ändringar i jordart. I regel visa skikten med styva leror högre järnhalt än skikt med lättare leror. Någon skillnad i järnhalt mellan skikt av blå lera och av den vanliga, ljusst röda glaciala leran har mot förmodan icke framkommit.

Av teoretiskt intresse är att avgöra varifrån det extraherbara järnet här-

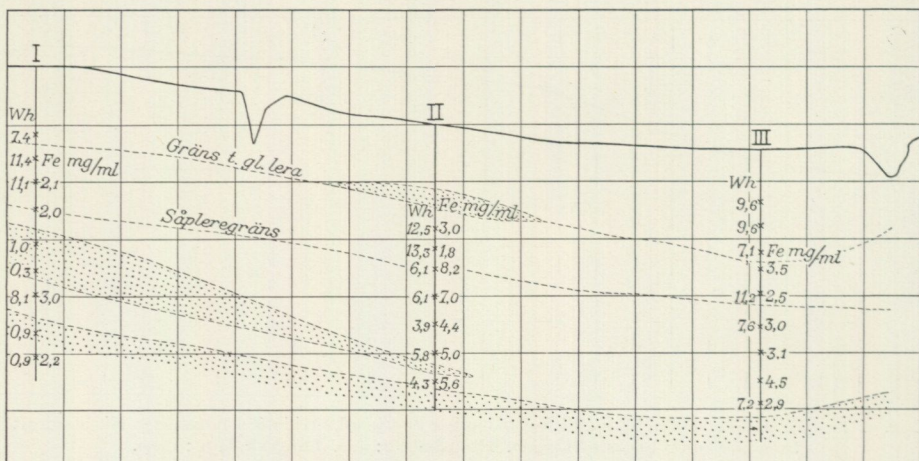


Fig. 4. Profil från Malfors. Upptagen av G. Ekström. Siffrorna in-tecknade till vänster om resp. borrhoprofilerna angiva hygroskopicitetstalet och siffrorna till höger Fe mg/ml. Reduktionshorisonten ligger betydligt över såpleregränsen och synes sammanfalla med gränsen till glacial lera. Prickat område är mo det övriga lera. Höjdskala 1 : 100. Längdskala 1 : 1000.

stammar. Silikatbundet II-värdigt järn kan härvid lämnas ur räkningen. Ett försök med extrahering av finriven biotit, det mineral där järnet lättast är utbytbar, gav endast en mycket svag blåfärgning vid utfällning. Troligen föreligger det extraherbara järnet i form av järnkarbonat. Svaveljärn, som också är lösligt i ättiksyras om än långsamt, uppstår mera undantagsvis vid närvaro av organiska föreningar i reducerande miljö. Men då är frågan varifrån har järnet kommit? Har det bildats så att säga in statu nascendi, då leran sedimenterade i det dåtida havet, eller har det kommit sedan leran avlagrades och som ett resultat av de sekulära vittringsprocesserna inom oxidationslagret? Det förra alternativet är icke troligt, ty havsvattnet är starkt syrehaltigt genom ständigt tillskott av syrerikt vatten från de smältande landisarna. Direkt belägg för varifrån järnet härstammar kan erhållas ur ovanstående profil (fig. 4) från Malfors vid Motalaström.

Profilen är upptagen av Dr Ekström vid jordartsbestämningar i anledning av kraftverksbygge därstädes. Jordartstypen framgår av värdena för hygroskopiciteten W_h , vilka in-tecknats till vänster om de linjer, som markera borrhoprofilerna. Siffrorna till höger angiva de erhållna värdena av II-värdigt järn. För övrigt har Ekström i profilen in-tecknat gränsen mellan postglacial och glacial lera och såplerehorisonten, som bestämts efter den metod som angivits i förut citerade arbete av Ekström och Flodkvist (8).

I de båda profilpunkterna I och III är halten av II-värdigt järn normal, den ligger omkring 3 och 4 mg/ml, men om vi se på den mellersta borrhoprofilen II går halten upp ända till 8 mg/ml. I denna profil förekommer en lins av grovmo på nivån 1—1.5 m under markytan, som tydligen står i orsaksförhållande till den höga järnhalten inom reduktionslagret.

Det extraherbara järnet i borrhoprofil II, åtminstone den kvantitet som utgör överskott över den normala halten, kan icke hava bildats under lerans sedi-

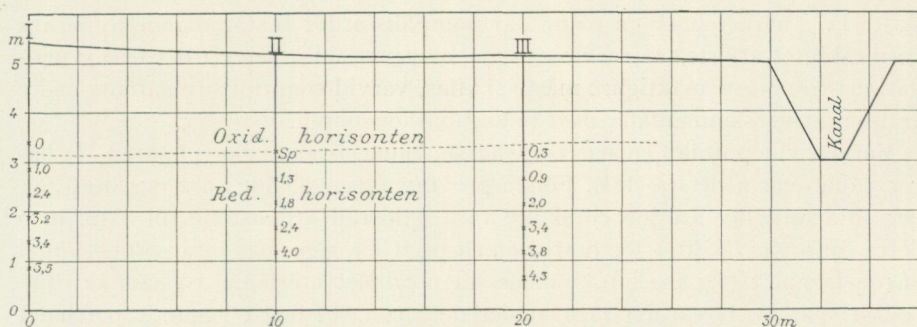


Fig. 5. Profil från Lanna. Skifte IV. Siffrorna angiva Fe mg/ml. Oxidationshorisontens djup kan uppskattas till ca 2.0 m.

mentation utan måste hava tillkommit efter det molagret avlagrats dvs. i post-glacial tid. Och helt säkert gäller detsamma för hela kvantiteten lösligt järn.

Molagret har avstängt lufttillförseln till grundvattnet, som förekommer under grovmon. Lagret ligger på så stort djup, 1—1.5 m, att porerna alltid stått vattenfyllda och sedan väl det i grundvattnet upplösta sura ferrokarbonatet passerat moskiktet är det sedan skyddat för oxidation. Där inget avskärande lager förekommer, kan luften nedtränga så långt sprickorna nå och ferrokarbonatet skall där bli mera utsatt för oxidation.

En fråga av hydrologiskt intresse är på vilket sätt järnet vandrat. Som vi sett förekommer järnet ovanligt jämnt fördelat inom såplerans olika nivåer från det övre gränsskiktet och ned till den fasta botten. Hade förflyttningen skett genom diffusion som för övrigt är en ytterst långsam process, borde halten avtaga mot djupet. Sannolikt är det så att järnet förflyttats passivt. Man måste antaga att såpleran icke är absolut vattentät, utan att en ström, om än mycket långsam, av grundvattnet pressas igenom såplerelagret och att järnet i det medföljande sura ferrokarbonatet fastlägges i leran genom basutbyte med kalk eller andra baser, såsom magnesium och alkalier.

Av de å profilen (fig. 4) in-tecknade värdena för II-värdigt järn framgår att relativt höga halter erhållits i punkter, som ligga mer än 1 m över såpleregränsen. Så höga halter som t. ex. 3.5 mg/ml måste tyda på mycket ofullständig luftväxling i denna nivå och att grundvattnet där praktiskt taget är stillastående. Magasinet för rörligt grundvatten sammanfaller därför icke med torrskorpelagret, så som detta definierats av Ekström och Flodkvist utan är betydligt grundare. Enligt min mening är det ur hydrologisk synpunkt lämpligare att låta grundvattensmagasinets djup sammanfalla med reduktionshorisonten.

På Lanna har gjorts några bestämningar dels å spridda punkter dels samlade till en profillinje för fastställande av reduktionshorisonten. Den visade sig ligga på ca 2 m med mycket små variationer på sin höjd några få dm. Såpleregränsen är icke bestämd men torde ligga omkring 0.5 å 1 m djupare enl. subjektiv skattning av konsistensen hos leran.

I fig. 5 meddelas bestämningarna från en profillinje. Denna är upptagen på

skifte IV i närheten av en plats, där pumpförsök för bestämmande av lerans permeabilitet utförts, enär för beräkning av permeabiliteten ett mått på grundvattensströmmens mäktighet måste skaffas, varvid som tidigare nämnts nedre gränsen anses sammanfalla med reduktionshorisonten.

Marken vid profillinjen har en svag sluttning, översta borrhålets (I) ligger 3 dm över nedersta (III). Första provtagningen skedde på 2 m:s djup under antagande av att jorden skulle vara oxiderad åtminstone till 2 m, men detta djup var för litet för borrhålet närmast kanalen; här visar provet ännu någon järnhalt (0,3 mg/ml). I mellersta borrhålet återfanns på samma djup endast spår av II-värdigt järn, under det att i det högst liggande borrhålet varje spår saknas på motsvarande djup. Djupare ned även under såplerehorisonten tilltar i denna profil järnhalten, vilket i någon mån är beroende på mot djupet tilltagande finlek hos leran.

Vid inläggning av reduktionshorisonten har jag valt att förlägga den vid den nivå, där spår av järn uppträder. Denna punkt kan ungefärligen erhållas genom extrapolering från de underliggande värdena.

Även i denna profil med den ringa lutningen höjer sig reduktionshorisonten allt närmare markytan ju längre ned åt sluttningen vi komma. Grundvattnet rör sig nedåt. På en lägre belägen punkt kan därför mera vatten avdunsta eller upptagas av växterna än på en högre punkt. Jorden på en lägre punkt blir därför icke torrlagd till samma djup som på en högre. Ju mera genomsläpplig och ju brantare sluttningen är ju mera skall detta förhållande göra sig gällande.

Lanna-lerans permeabilitet.

I en lerjord äro porerna mellan partiklarna (de texturala porerna) så trånga att någon vattenrörelse av betydelse genom dessa icke kan komma ifråga, undantagandes den vattenrörelse som åstadkommes vid avdunstningen genom de väldiga kapillära sugkrafterna eller genom växtrötternas osmotiska kraft. Det vatten, som här närmast är fråga om, är sjunkvattnet och grundvattnet och detta har endast tyngdkraften till drivande kraft. Skall någon vattenrörelse kunna ifrågakomma hos dessa vatten måste porer eller hålrum av en större storleksordning förekomma, s. k. strukturala porer eller hålrum, i matjorden bestående av mellanrummen mellan leraggregaten jämte maskgångar och rotkanaler och i alven utom av dessa senare kanaler av torksprickor i den mån de icke helt svällt igen vid nederbörd.

Av de visserligen sporadiska bestämningar, jag haft tillfälle utföra härstädes på matjordens texturala porositet och som närmast gällt jämförande undersökning på kalkad och okalkad jord, har det framgått att matjordens textur är ovanligt resistent. Jämfört med ett par andra egendomar i Västergötland, där jag närmare studerat den texturala porositetens växlingar, kan om Lanna-jorden sägas att den vid nederbörd i ovanligt hög grad bibehåller sin struktur. Orsaken härtill är icke närmare studerad. Hög vätejonkoncentration, som anses vara strukturbevarande, kan knappast vara anledningen, eftersom ingen

skillnad i porositet framkom vid jämförelse mellan kalkat och okalkat. Man kan möjligen gissa på att den relativt höga halten av sesquioxider i matjorden bildar med humussyror och lermaterial aggregat av stor beständighet mot vattenuppmjukning.

Vad alven beträffar, vars permeabilitet vi här mera ingående skola behandla, erbjuder den vid okulär besiktning av en skärning föga som skiljer den från alven hos andra lermarker av fastmarkstyp. Vi ha sålunda en övre torrskorpa till närmare 1 m djup, som är tätt genomdragen av torksprickor i alla riktningar och genomsatt av vertikalt stående, grövre rör efter maskar, och tunnare efter rötter. På 1 m djup och därunder bli sprickorna mera sammanhängande och glesare. Leran, som härifrån uppkastas vid grävning, faller lätt sönder i större bitar efter sprickytorna. Detta är så vitt jag funnit en generell företeelse hos leran i undre torrskorpelagret, men vad som syntes mig särskilt karakteristiskt för Lanna var att sprickytorna på omkring 1 m djup voro tydligt vattenslipade tydande på att särskilt här hade grundvattenströmmen sin gång.

Den lätthet varmed grundvattenströmmen framrinner, eller permeabiliteten, är beroende icke blott på huru vida sprickorna äro utan även på i vilken grad de bilda ett sammanhängande spricksystem. Sprickornas sammanlagda volym är för vattenrörelsen av mindre betydelse; däremot är den betydelsefull för uppskattning av grundvattensmagasinets storlek under antagande av att grundvattnet helt utfyller volymen, vilket som vi skola se icke helt är fallet.

Sprickvolymen i alvens olika nivåer har bestämts genom uttagande av jordprov i orubbat tillstånd. Härför har använts en provtagningscylinder av vanlig konstruktion med en svag konisk vidgning uppåt motsvarande 1 mm ökning av diametern på 1 dm längd. Cylindern var 1.5 dm hög och rymde 1,147 ml. Å varje nivå uttogs 3 parallellprov som i naturfuktigt tillstånd vägdes var för sig. De tre proven sammanslogos till ett generalprov, varå vattenhalten och jordmaterialets specifika vikt bestämdes. Differensen mellan cylindervolymen och summan av jordvolymen och vattnets volym är luftvolymen eller sprickvolymen, som uttryckes i procent av totalvolymen.

Provtagningen skedde under sommaren i början av juni å ett relativt högt beläget ställe å ett skifte, som då låg i träda för att få så liten uttorkning av alven som möjligt. Helst borde bestämning utförts när grundvattenståndet står som högst och sprickorna svällt igen i största möjliga utsträckning, ty det är vid denna tid, som markens permeabilitet är av det största intresset. Vid provtagningsstillfället stod grundvattnet 80 cm under markytan. Vid provtagningen på djup under grundvattensnivån måste gropen hållas läns. Alven består av en homogen glacial styv lera med W_h mellan 8 och 9. Matjordslagret var 25 cm mäktigt på platsen.

I tabell 3 äro upptagna de beräknade värdena av sprickvolymen jämte de värden som ligga till grund för beräkningarna. Då endast 3 parallella föreliggas har det ansetts mindre upplysande att uträkna medelfelet. Jag har i stället i en kolumn upptagit variationsområdet för bestämningarna av vikten (P_f) å de naturfuktiga proven dvs. differensen mellan högsta och lägsta erhållna

Tabell 3. Sprickvolymen i olika nivåer inom torrskorpan.

| Djup cm | Pf Med. g | Var. omr. för Pf g | Sp. v. | Vattenh. % | Ber. spr. vol. % |
|-------------------|--------------|--------------------------|--------|---------------|---------------------|
| 25—40 | 2,115 | 10 | 2.70 | 23.0 | 10.3 |
| 50—65 | 2,181 | 33 | 2.70 | 25.6 | 5.1 |
| 75—100 | 2,149 | 72 | 2.71 | 27.2 | 5.5 |
| 100—115 | 2,096 | 75 | 2.72 | 30.5 | 8.4 |
| 150—165 | 2,037 | 24 | 2.72 | 37.1 | 4.3 |

jordvikt. I förhållande till de höga jordvikterna (över 2 kg) äro dessa differenser oväntat små. De största skillnaderna uppträda på nivåerna närmast över och under 1 m:s nivån, vilket möjligen kan sättas i samband med att spricksystemet på denna nivå, som tidigare framhållits, är relativt glest och att provcylindern var för liten för att giva ett gott genomsnittsvärde av jordvikten. Specifika vikten tilltager jämnt och sakta mot djupet och återspeglar lerans förut omnämnda, tilltagande finlek mot djupet. På grund av avdunstning har vattenhalten i lagren över det tillfälliga grundvattenståndet minskat mot då jorden var vattenfylld ända upp till matjordslagret, varför sprickvolymen här på grund av lerans krympning i motsvarande grad ökat och detta naturligtvis mest i det översta lagret. Om vi antager, att vattenhalten hade varit densamma i översta lagret, inom nivån 25—40, som i den närmast underliggande 50—65 cm eller 25.6 procent dvs. en ökning med 2.6 procent, motsvarar denna ökning en minskning i sprickvolymen på 4.7 procent, dvs. vi erhålla tillnärmelsevis samma sprickvolym i övre torrskorpelagret eller 5,6 procent och kanske ännu något mindre under tider då grundvattnet når upp till matjorden. I de djupare lagren är sprickvolymen större trots att dessa översvämmas av grundvatten.

Om vi dessutom taga hänsyn till att sprickorna i det övre torrskorpelagret äro mera dispergerade än i det undre, följer därav, att de måste vara betydligt tunnare och erbjuda större motstånd mot vattenrörelsen än i det undre lagret. Detta står också i överensstämmelse med vad jag tyckt mig märka vid pumpning av borrhål upptagna till olika djup, naturligtvis då även med hänsyn taget till olikhet i vattentryck vid olika djupa borrhål.

Största sprickvolym har erhållits på nivån under 1 m, där ända till 8.4 volymprocent har erhållits. Att observera är att största sprickvolymen sammanfaller med vanligt dräneringsdjup, och så djupt ned som under 1.5 m har en sprickvolym på 4.3 procent kunnat registreras. Så höga värden så djupt ned i torrskorpan måste ha sina speciella orsaker och närmast till hands ligger antagandet, att samma orsaker gälla för Lanna, som dem Ekström och Flodkvist i deras förut citerade undersökning visat hava orsakat stark sprickbildning med åtföljande hög permeabilitet inom områden som rönt inflytande av Hjälmarsänkningen. Utom i gyttjelerorna kunde även en permanent sprickbildning iakttagas i glaciala leror fast naturligtvis icke av den storleksordning

som hos gyttjelerorna, men likväl så pass utbildad att en tydlig skillnad kunde konstateras i vattentillrinningen i borrhål från samma leror liggande över och under Hjälmarens forna vattenstånd. En hastig sänkning av grundvattenståndet åstadkommer även i leror utan organiskt material en permanent sprickbildning och åtföljande hög permeabilitet.

Som tidigare omnämnts ha Varaslättens lågt liggande områden genomgått en hastig sänkning av grundvattenståndet vid upptagningen av de s. k. krondikena och vad särskilt Lannaområdet beträffar hava avrinningsförhållandena ytterligare förbättrats genom de nyligen upptagna kanalerna. Även här har sålunda en hastig sänkning av grundvattenståndet förekommit, varför en motsvarande effekt på permeabiliteten kan förutsättas.

Av sprickvolymbestämningar kan man dock icke som tidigare framhållits draga slutsatser om permeabilitetens exakta storlek; de kunna endast vid jämförelse med förhållandena på andra ställen giva vissa antydningar. Exakta metoder för bestämningar av permeabiliteten hos leror och andra jordarter i deras naturliga lagring voro naturligtvis ur flera synpunkter, särskilt ur dräneringssynpunkt mycket önskvärda. Man hade då ett medel att ur hydrologisk synpunkt bättre jämföra olika områden med varandra, vilket sannolikt skulle vara till stort gagn vid uppgrändet av dräneringsplaner.

Inför Flodkvists »allmänna regel», innebärande att vattnet i lerjordar huvudsakligen rör sig i det permeabla matjordsskiktet och endast en mindre del genom den svärgenomsläppliga alven, synes, som Flodkvist också poängterar, permeabilitetsbestämningar av alven hava förlorat i betydelse (9). Till en viss grad är detta riktigt, men enligt min mening har Flodkvist underskattat dräneringen genom alven. Även på hans undersökta fält, där alven betecknas som »svärgenomsläpplig eller ogenomsläpplig», fortsätter dock avrinningen genom dränrören även sedan grundvattenytan sjunkit under matjordslagret. Den undre torrskorpans permanenta sprickor utgöra de huvudsakliga ledningsbanorna för grundvattenströmmen. I den övre torrskorpan förekomma stora fluktuationer i vattenhalt och sprickorna kunna svälla igen mer eller mindre, men i detta lager förekomma gångar efter maskar och rötter och på våren efter tjällossningen även tjälsprickor, som möjliggöra kommunikation med den undre torrskorpans mera permeabla skikt.

Dessutom är det ju så att hos oss nederbördsperioderna vanligen uppträda med långa tidsintervall, varför även om avrinningen går långsamt, grundvattenytan under mellantiden kan sänkas avsevärt och utrymme beredas för kommande nederbörd, eventuellt så stort att grundvattenytan icke når upp i matjordslagret, vilket ur flera synpunkter måste betecknas som direkt skadligt.

Enligt min mening föreligger det fortfarande starka skäl för ett närmare utforskande av markens permeabilitet. Sannolikt är sprickigheten hos torrskorpans undre lager, som är av största betydelse för vattenavledningen, mycket variabel. I vårt småkuperade land förekommer allmänt avstängda sänkor, som genom upptagande av avloppsdiken hastigt blivit torrlagda, dvs. betingelser för uppkomsten av en starkt permeabel undre torrskorpa har skapats (10). Dessa naturliga förutsättningar böra naturligtvis beaktas vid planläggning av

dräneringsföretag, men skulle förbises om icke en förundersökning av permeabilitetsförhållandena verkställdes.

En okulär besiktning av sprickigheten i en skärning ger föga vägledning undantagandes i fråga om gyttjeleror, där sprickorna äro av en helt annan storleksordning upp till dm-vida. I en minerogen lera kan de tunna sprickornas permeabilitet icke bedömas. En ungefärlig och relativ uppskattning av permeabiliteten ger däremot iakttagelse av huru hastigt vattnet rinner till i ett borrhål eller, vilket också förordas, bestämning av grundvattenytans lutning från en kanal eller ett dike. Dessa båda metoder kunna emellertid som vi skola se utbildas till kvantitativa metoder, som medgiva en beräkning av permeabilitetskonstanten, av k -värdet i Darcy's bekanta formel.

På Lanna har jag också prövat framkomligheten av metoden att laboratoriemässigt på uttagna jordprov med den naturliga strukturen i behåll bestämma k -värdet genom bestämning av perkoleringshastigheten. Som var att vänta gåvo bestämningar mycket ojämma resultat, under det i en del prov, tagna ur övre torrskorpan, vattnet endast droppade fram, kom i andra prov, där tillfälligtvis ett maskhål fanns, vattnet fram i en stråle. Proven från undre torrskorpan gåvo bättre överensstämmelse. Det skulle dock erfordras ett stort antal prov för att erhålla ett tillförlitligt medeltal.

Metoden att bestämma vattnets sjunkhastighet genom vattenpåhållning på en begränsad yta av den naturliga marken kan ej heller giva användbara resultat för beräkning av k -värdet. Om jorden vore fullt homogen så att vattenfronten i marken efter en viss tid stode i ett plan och om dessutom ingen utbredning åt sidorna förekomme, då kunde k beräknas ur formeln

$$Q = k \cdot \frac{H + l}{l},$$

där Q är nedsjunken vattenmängd per tidsenhet och ytenhet, H vattendjupet över markytan och l är längden av den jordpelare, som vid ett visst ögonblick genomrunnits. $H + l$ är alltså vattentrycket. Om H är mycket litet i förhållande till l , blir $k = Q$. Om försöket utföres då marken är full av grundvatten och alltså är som tätast och vid den permeabilitet som ur dränerings-synpunkt är av intresse, då måste det nedträngande vattnet utbreda sig åt sidorna i okontrollerbara banor, vilket gör försöket värdelöst.

Som redan omnämnts utfördes på Lanna en del bestämningar av tillrinningshastigheten till borrhål. Man kunde konstatera att tillrinningshastigheten var ovanligt stor på Lanna och genom att variera borrhålens djup kunde en viss uppfattning om de olika lagrens större eller mindre permeabilitet i förhållande till varandra erhållas, men något exakt uttryck för permeabiliteten, dvs. ett siffermässigt uttryck för k -värdet ansåg jag det omöjligt erhålla, då man icke känner inom vilken jordvolym vattenrörelsen försiggår.¹ Det återstod ingen annan utväg än att anordna ett pumpförsök med samtidig bestäm-

¹ Senare har S. B. Hooghoudt i Verhandlungen der Sechsten Kommission der internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft, Zürich 1937 framställt en på empirisk väg genom modellförsök funnen formel för beräkning av k enl. »borrhålsmetoden». Formelns allmängiltighet kan dock betvivlas.

ning av grundvattenytans fallkurva inom den uppkomna sänkningstratten enligt metod, som ursprungligen föreslagits av Thiem och som sedermera utförligt behandlats av Richert (11).

Försöket utlades på plan mark på 4-årig vall å skifte IV och ca 40 m från kanalen. Det hål som skulle pumpas borrades till 3 m djup för att vara säker på att det grundvattenförande lagret var genomborrat. Observationshålen omkring pumphålet voro placerade i enlighet med Richerts föreskrift dels parallellt med, dels vinkelrätt mot grundvattenströmmens riktning, i detta fall

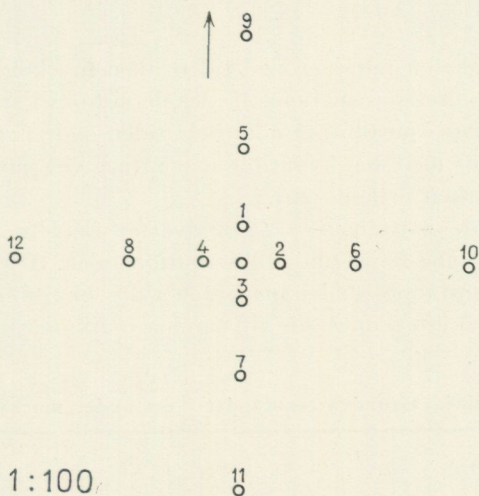


Fig. 6. Observationshålens placering vid pumpförsök. Pilen anger grundvattenströmmens riktning. Skala 1 : 100.

vinkelrätt mot och parallellt med kanalen. Avstånden mellan hålen togos dock med tilltagande avstånd på så sätt att hålen närmast centrum placerades 0.5 m, de därpå följande 1.5 m och de yttersta 3 m från centrum. Hålens placering och använd numerering framgår av ovanstående skiss (fig. 6). De längst från centrum belägna observationshålen togos endast 1 m djupa, de övriga 2 m. Över observationshålen placerades en tunn brädlapp, varifrån grundvattenståndet tid efter annan uppmättes under pumpningens gång. Markytan vid borrhålen avvägdes och befanns det lägst liggande borrhålet (hålet närmast kanalen) ligga 5 cm under det högst liggande (hålet längst från kanalen). Marken hade sålunda en svag lutning mot kanalen.

Före pumpningens början kl. 10²⁰ uppmättes grundvattenståndet i de olika hålen. De erhållna värdena jämfördes de under pumpningens gång erhållna resultaten äro sammanställda i tabell 4.

Läns-pumpningen började kl. 10³² och 10 minuter därefter eller kl. 10⁴² var tillrinningshålet läns-pumpat. Det hade då uttagits 37.5 l vatten. Därpå hölls vattenståndet konstant ca 1 dm över borrhålets botten och antecknades tid som åtgick för uppumpning av 12.5 l vatten. Kl. 17⁴⁹ avslutades försöket,

det hade då pågått oavbrutet i över 7 timmar. I nedanstående tidsserie angivas de tider vid vilka 12.5 l vatten uppumpats.

Tid för tillrinning av 12.5 l vatten.

| | | | | | | | | |
|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Kl. | 10 ^t , 50 ^m , | 11 ^t , 16 ^m , | 11 ^t , 35 ^m , | 11 ^t , 54 ^m , | 12 ^t , 14 ^m , | 12 ^t , 36 ^m , | 12 ^t , 59 ^m , | 13 ^t , 22 ^m , |
| Tid i min. . . | 17 | 17 | 19 | 19 | 20 | 22 | 23 | 23 |
| Kl. | 13 ^t , 46 ^m , | 14 ^t , 11 ^m , | 14 ^t , 35 ^m , 30 ^s , | 15 ^t , 02 ^m , | 15 ^t , 28 ^m , | 15 ^t , 56 ^m , 30 ^s , | 16 ^t , 24 ^m , | |
| Tid i min. . . | 24 | 25 | 24.5 | 26.5 | 26 | 28.5 | 27.5 | |
| Kl. | 16 ^t , 52 ^m , | 17 ^t , 21 ^m , | 17 ^t , 49 ^m . | | | | | |
| Tid i min. . . | 28 | 29 | 28. | | | | | |

Tillrinningshastigheten minskar med tiden, men mycket långsamt, tydande på en hög permeabilitet hos marken. Under de sista två timmarna är tillrinningen i det närmaste konstant. Under hela tiden hade uppumpats 225 l vatten eller tillsammans med den kvantitet som uttogs vid pumphålets länsande, 37.5 l, hade ur marken uttagits 262.5 l.

Genom upprepade mätningar av grundvattenståndets läge kunde sänkningsrattens utbildning följas under observationstiden. I nedanstående tabell angives grundvattenståndet under markytan i de olika observationshålerna vid olika tider. Siffrorna äro reducerade till samma marknivå (nivån för det lägst liggande borrhålet).

Tabell 4. Grundvattenståndet i cm under markytan.

| Observ.-hål nummer | Kl. 10 ³⁰ | Kl. 11 ³⁰ | Kl. 13 ⁰⁰ | Kl. 14 ³⁰ | Kl. 16 ⁰⁰ | Kl. 17 ³⁰ |
|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 44.5 | 72.5 | 90.5 | 98.0 | 101.0 | 105.0 |
| 2 | 44.0 | 89.5 | 109.0 | 116.0 | 120.0 | 123.0 |
| 3 | 44.5 | 103.0 | 122.0 | 130.0 | 132.0 | 137.0 |
| 4 | 45.0 | 79.0 | 97.0 | 102.0 | 107.0 | 110.0 |
| M | 44.5 | 86.0 | 104.6 | 111.5 | 115.0 | 118.8 |
| 5 | 45.5 | 54.0 | 67.0 | 74.0 | 78.5 | 82.0 |
| 6 | 44.5 | 56.5 | 69.0 | 75.5 | 79.0 | 82.0 |
| 7 | 45.0 | 57.5 | 74.0 | 82.5 | 88.0 | 91.5 |
| 8 | 45.5 | 56.5 | 71.0 | 78.0 | 83.0 | 86.5 |
| M | 45.1 | 56.1 | 70.3 | 77.5 | 82.1 | 85.5 |
| 9 | 45.0 | 46.0 | 48.5 | 52.0 | 55.0 | 57.5 |
| 10 | 44.5 | 46.0 | 51.0 | 56.0 | 59.0 | 62.5 |
| 11 | 45.5 | 46.5 | 51.0 | 55.0 | 58.0 | 61.0 |
| 12 | 46.0 | 47.0 | 52.0 | 57.0 | 60.5 | 63.5 |
| M | 45.3 | 46.4 | 50.6 | 55.5 | 58.3 | 61.1 |

Vid utgångsläget kl. 10³⁰ ligger grundvattenytan i det närmaste horisontellt. En liten sänkning i hålen närmast centrum kan dock konstateras. Grundvattenet fyller de uppborrade hålen och tillräckligt lång tid sedan dessa uppborras har icke förflutit för att vattenytan skulle hinna få fullt horisontellt läge.

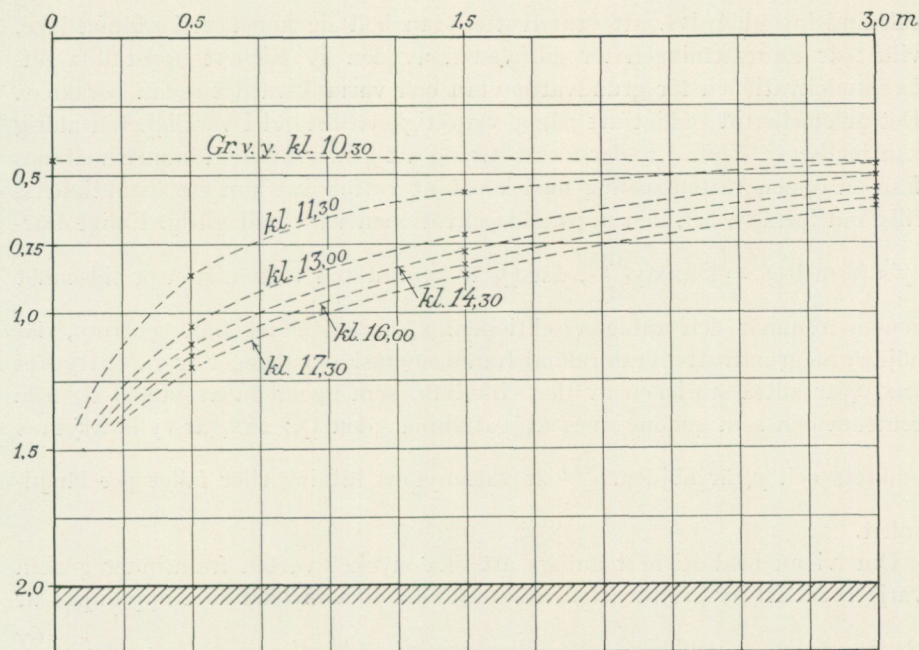


Fig. 7. Grundvattenytans läge under pågående pumpning vid olika tider.

Under pumpningen utbildas sänkningstratten förvånansvärt symmetriskt, det är endast i borrhålen närmast centrum, där större differenser i vattenståndet uppkommit. Skillnaden mellan högsta och lägsta samtidigt uppmätta vattenstånd kan här uppgå till något över 3 dm. I observationshål liggande 1.5 m från centrum uppgår största skillnaden till 1 dm och i de ytterst belägna till 6 cm. Ur hydrologisk synpunkt kan leran betecknas som i stort sett homogen.

I fig. 7 äro medeltalsvärdena för de observerade vattenstånden (se tabell 4) avsatta på tillhörande avstånd från centrum och punkterna tillhörande samma tidsmoment hava sammanbundits med på fri hand dragna kurvor avsedda att angiva grundvattenytans kurvatur vid olika tider, översta kurvan 1 timme efter pumpningens början och sedan för varje halvannan timme. Om kurvorna tänkas rotera omkring centrumaxeln erhålles grundvattenytans sänkningstratt vid respektive tidsmoment.

Redan efter 1 timmes pumpning har grundvattenytan sjunkit märkbart i de yttersta observationshålen 3 m från centrum och genom utdragning av kurvan, som asymptotiskt närmar sig den allmänna grundvattensnivån utanför, kan inverkan uppskattas hava nått till omkring 3.5 m från centrum. Grundvattenytan sänker sig hastigast i närheten av centrum som naturligt är, men redan efter 2.5 timmars pumpning efter kl. 13⁰⁰ går sänkningens ungefär lika 0.5 m och 1.5 m från centrum. Vattenytorna ligga i fortsättningen nära konformt inom detta avstånd.

Avsikten var att pumpningen skulle fortsätta så länge att ett varaktighets-

tillstånd inträdde dvs. att grundvattenytan höll sig konstant i samma läge, vilket är förutsättningen för giltigheten av den av Richert uppställda differentialekvationen för grundvattenytan och varur k -värdet sedan beräknas. Det är emellertid tydligt att något varaktighetstillstånd i verkligheten aldrig kan realiseras. Endast under förutsättning att grundvattenströmmen matades från en öppen vattenbassäng med konstant vattennivå kan ett varaktighetstillstånd inträda, och den uppställda ekvationen vara fullt giltig. Enligt Dar-

cy's formel $Q_1 = k 2\pi x_1 y_1 \frac{dy_1}{dx_1}$, där Q_1 är kvantiteten vatten, som pr tidsenhet

genomströmmar den antagna sektionen. x_1 är avståndet från centrum, där höjden på grundvattenytan räknat från ogenomsläppligt lager är y_1 . Uttrycket $2\pi x_1 y_1$ är alltså storleken av den cirkelyta, som ligger på avståndet x_1 från centrum och som genomrinnas av vattenmängden Q_1 ; $2\pi x_1$ är cylinderytans

omkrets och y_1 är höjden. $\frac{dy_1}{dx_1}$ är vattenytans lutning eller fallet per längdenhet.

Om vi nu med Richert antaga att lika mycket vatten framrinner genom varje tvärsnitt av grundvattenströmmen eller lika mycket som uppumpas ur centrumhålet, mängden Q , då gäller generellt ekvationen $Q = k 2\pi x y \cdot \frac{dy}{dx}$

och som vid integration ger grundvattenytans ekvation.

I praktiken uppfylles emellertid icke detta villkor, ty som framgår av försöket, sjunker grundvattenytan ständigt och detta innebär att mera vatten strömmar fram genom tvärsnitten ju närmare centrum de förläggas. Om vi t. ex. jämföra vattenytorna i fig. 7 vid tiderna kl. 11³⁰ och kl. 1⁰⁰, så har på 1.5 timme framströmmat genom tvärsektionen liggande 1.5 m från centrum så mycket vatten, som rymts i den under tiden torrlagda jordvolymen uppströms denna tvärsektion, dvs. vattnet i den jordvolym som avgränsas av de båda vattenytorna. I tvärsektionen 0.5 m från centrum har på samma tid runnit fram en betydligt större vattenmängd; det har tillkommit det vatten som rymts i den torrlagda jordvolymen mellan de båda cylinderytorna. Endast under förutsättning att grundvattenytan har nått ett oföränderligt läge är vattenkvantiteten, som strömmar genom olika sektioner konstant, och då kan Richerts formel tillämpas för beräkning av k -värdet.

Den uppställda ekvationen har dessutom den egenskapen att med tilltagande avstånd från centrum stiger samtidigt värdet på y , dvs. vattenytan i sänkningstratten kommer att skära den horisontella grundvattenytan utanför i en vinkel i stället för att asymptotiskt närma sig denna som naturligt vore. Ekvationen för grundvattenytans ställning mellan tvenne sugdiken, vilka giva elliptisk form åt vattenytan, anses också bättre motsvara verkligheten än de som giva en skarp rygg åt kurvan på mitten.

Jag har anmodat en fysiker, Magister Jens Lindhard, söka uppställa en ekvation för grundvattenytans inställning vid pumpförsök. Han kom till en differentialekvation, som var av 2dra graden, och i vilken även tiden in-

gick som oberoende variabel; den är emellertid icke integrerbar och har därför endast teoretiskt intresse. Vid beräkning av grundvattenytans ekvation mellan två sugdiken erhöles olika uttryck under förutsättning att grundvattenytan var i stigande och under förutsättning att den var i fallande. I förra fallet närmade sig formeln uttrycket för en ellips, i senare fallet förelåg en cosinuskurva.

För beräkning av k -värdet ur det föreliggande pumpförsöket har det därför varit nödvändigt att gå en annan mera omständlig väg. Man måste nämligen beräkna den vattenkvantitet, som strömmar igenom en viss cylinderyta. Sedan denna uträknats och sedan grundvattenytans lutning i denna yta grafiskt uppmätts, kan Darcy's formel direkt tillämpas.

Först måste då beräknas den mängd grundvatten som per volymsenhet jord kan bortdräneras. Denna kvantitet får naturligtvis icke sättas lika med sprickvolymen, som för övre torrskorpan tidigare bestämts till omkring 5 procent (tabell 3), utan är naturligtvis betydligt mindre. En del av volymen intages av luft, och dessutom kommer säkerligen vid grundvattnets sjunkande en del vatten att bliva kvarhängande i de tunnare sprickorna.

För beräkning av den jordvolym, som genom pumpningen dränerats, väljes den jordvolym, som begränsas av den första vattenståndskurvan vid kl. 11³⁰. Det är nämligen svårt avgöra vid vilken punkt de efterföljande kurvorna skära den horisontella grundvattenytan. Volymen av den rotations kropp vars mantelyta beskrives av nämnda vattenståndskurva kan tillnärmelsevis beräknas. Beräkningen gav till resultat att en jordvolym på ca 3,160 l dränerats. Den vattenkvantitet, som under tiden uppumpats, uppgick till 71.8 l, men härifrån skall dragas den mängd vatten som levererats från de upptagna borrhålen, enligt beräkning 36 l vid 1 dm diameter på hålen. Återstår 35.8 l, som dränerats ur en jordvolym på 3,160 l, dvs. grundvattnet intager ej större volym än omkring 1.1 volymprocent eller omkring $\frac{1}{5}$ av hela sprickvolymen, resten intages av luft och suspenderat vatten.

Med kännedom om den grundvattenförande volymens storlek kan man nu beräkna huru mycket vatten som strömmar fram under en viss tid genom en bestämd cylinderyta, och då trycket i denna yta eller tangentens lutning tillnärmelsevis kan uppskattas, så äro de faktorer kända, varur k -värdet kan beräknas.

Som exempel på tillvägagångssättet skall en beräkning utföras av k -värdet i genomströmningsytan 1.5 m från centrum under tiden från kl. 11³⁰—kl. 1⁰⁰. Medelhöjden y_1 på cylinderytan är 135 cm, om det ogenomsläppliga lagret antages ligga på 2.0 m djup. Cylinderytan Y_1 blir då $2\pi 152 \cdot 135 = 127,170$ cm². Av de uppdragna kurvorna (fig. 7) kan trycket eller tangentens lutning hos första kurvan (från kl. 11³⁰) uppskattas till 6.5/50 och hos andra kurvan till 9.25/50. Medeltalet blir 7.88/50.

Genom cylinderytan Y_1 har på 1.5 timme framströmmat så mycket vatten, som under samma tid uppumpats (54 l) minskat med den vattenmängd, som kommit från borrhålen belägna 0.5 m och 1.5 m från centrum, vilken beräknats till 10.3 l. Härifrån skall ytterligare dragas den vattenmängd, som dränerats

från den jordvolym, som är begränsad av de båda vattenståndskurvorna innanför ifrågavarande cylinderyta.

För beräkningen av denna jordvolym beräknas först ytan av den figur, som inneslutes mellan kurvorna och avstånden 1.5 och 0.5 m från centrum. Denna yta är i det närmaste lika med ytan av en parallelogram med höjden 1.0 m och de båda parallella sidorna 0.186 resp. 0.142 m. Ytan blir då 0.164 m². Tyngdpunkten för denna yta ligger i det allra närmaste på 1.0 m avstånd från centrum och enligt känd formel är då volymen av den kropp som erhålles, då ytan tänkes rotera kring centrum, $2\pi \cdot 1.0 \cdot 0.164 = 1.03$ m³.

Den återstående volymen innanför avståndet 0.5 m från centrum är tillnärmelsevis lika med $\frac{2}{3}$ av en cylinder vars bas har radien 0.5 m och höjden lika med avståndet mellan kurvorna 0.5 m från centrum, vilket är 0.186 m. Uträkningen ger volymen 0.1 m³. Den dränerade volymen är alltså $1.03 + 0.1 = 1.13$ m³, som med en vattenkapacitet av 1.1 volymprocent har lämnat 12.5 l vatten.

Fråndrages även denna kvantitet från den uppumpade mängden återstår endast 31.2 l, som passerat cylinderytan Y_1 , under tiden mellan kl. 11³⁰ och kl. 1⁰⁰. Omräknat pr timme blir detta 20.8 l.

Om de funna värdena insätts i Darcy's formel

$$Q = k \cdot Y_1 \frac{dy}{dx}, \text{ erhålles}$$

$$20,800 = k \cdot 127,170 \cdot \frac{7.88}{50} \text{ eller } k = 1.04 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{timme.}$$

Samma beräkning av k-värdet har utförts för sista delen av försöksperioden mellan kl. 16⁰⁰—kl. 17³⁰. Härvid erhöles ekvationen $23,300 = k \cdot 109,270 \cdot \frac{10.8}{50}$

och $k = 0.99 \cdot \text{ml/cm}^2 \cdot \text{timme}$. Den beräknade permeabiliteten är en obetydlighet mindre än i försökets början, men den framrinnande vattenmängden genom den fixerade ytan är nu i slutet av pumpperioden större än den var i början 23.3 l mot 20.8 l, trycket är ju också större 10.8/50 mot 7.88/50.

Om vi göra en uträkning av k-värdet med användning av Richerts formel

$$Q = k \pi x_1 y_1 \frac{dy}{dx} \text{ och integrera ekvationen mellan värdena}$$

$$x = 1.5, y = 1.15$$

$$\text{och } x = 3.0, y = 1.39$$

$$\text{erhålles } k = 0.84 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{timme.}$$

Ett betydligt lägre värde erhålles, men att skillnaden ej blir större beror på att kurvorna i detta fall gå nära konformt med endast en ringa sänkning under sista delen av pumpperioden.

Teoretiskt sett är det riktigare att beräkna k-värdet efter den här föreslagna rent aritmetiska metoden. Beräkningarna bliva visserligen mera omständiga, men i gengäld kan försöket avslutas efter några få timmar mot annars först efter många timmar kanske dagar.

Det var i viss mån en överraskning att k -värdet utföll så högt som vid omkring 1.0 hos denna glaciala lera. Vid jämförelse med Ekströms laboratoriebestämningar av olika jordarters permeabilitet får man gå så högt i kornstorlek som till mellansand för att finna en motsvarighet. Men att jämställa dräneringsbehovet hos Lanna-leran med mellansandens vore emellertid förhastat, då dessa jordarter med avseende på andra hydrologiska egenskaper äro så vitt skilda.

Den exceptionellt höga permeabiliteten hos Lanna-leran stöder antagandet att denna varit utsatt för en hastig uttorkning, varvid en permanent sprickbildning uppstått. Då uppstår frågan om allmängiltigheten av de på Lanna utförda dräneringsförsöken. De böra tydligen endast tillämpas inom områden, som genomgått en liknande hastig torrläggning. Varaslättens lågt liggande plana lerslätter kunna sannolikt räknas dit, åtminstone de som ligga på något avstånd från de naturliga vattendragen.

Det har länge stått som önskemål att få fram undersökningsmetoder varigenom den optimala gränsen för dräneringsintensiteten (dikesavstånd och dikesdjup) på förhand kunde bestämmas. Problemet är dock ännu för vagt formulerat för att medge en lösning. Om den allmänna fordran uppställs att dräneringen skall avlägsna skadligt överskottsvatten, så inställer sig frågan; vilket vatten är skadligt och huru hastigt bör det i så fall avlägsnas. Om vi t. ex. antaga att grundvatten som står uppe i matjordslagret är skadligt, verkar urlakande på näringssalterna och tillslammande på jorden, så kunde den fordran uppställas att grundvattnet aldrig skall tillåtas stiga upp i matjorden. Den fordran är emellertid omöjlig att tillfredsställa, ty om lera, då den är vattenmättad, endast förmår rymma ca 1 volymprocent vatten, som här är fallet, stiger grundvattennivån med 1 dm för varje mm nederbörd. Då under höstnederbörden lera normalt blir vattenmättad, så kan ingen vanlig dränering helt förebygga momentan vattendränkning av matjorden.

Tills vidare får man nöja sig med att tillämpa erfarenheten från dräneringsförsök på områden av likartad beskaffenhet. En förbestämning av en så viktig hydrologisk egenskap som permeabiliteten bör då icke underlåtas. Detta kan ske efter modifierad metod av Richert, som här föreslagits, eller också eventuellt efter Hooghoudts metod, som helt enkelt bestod i att bestämma vattnets stighastighet i borrhål.

En sedan gammalt rekommenderad metod är att bestämma grundvattenytans stigning från en kanal eller ett dike. Ju längre bort inverkan kan spåras, ju genomsläppligare är marken. På Lanna märktes inverkan ända till ett 40-tal meter från kanalen, vilket måste tyda på en mycket hög permeabilitet. Metoden kan emellertid utformas till en kvantitativ metod med tillämpning av samma förfaringssätt, som använts vid beräkningen av pumpförsöket.

Vi känna grundvattenytans läge vid två tillfällen vid tiden t_1 och t_2 (se fig. 8) med en tidsskillnad på T timmar. Grundvattenströmmens mäktighet är i ett visst tvärsnitt h_1 och har vid tiden t_2 sjunkit till h_2 . Fallet, som grafiskt uppmätes, är i förra fallet i_1 och i senare i_2 . Medelfallet under tiden

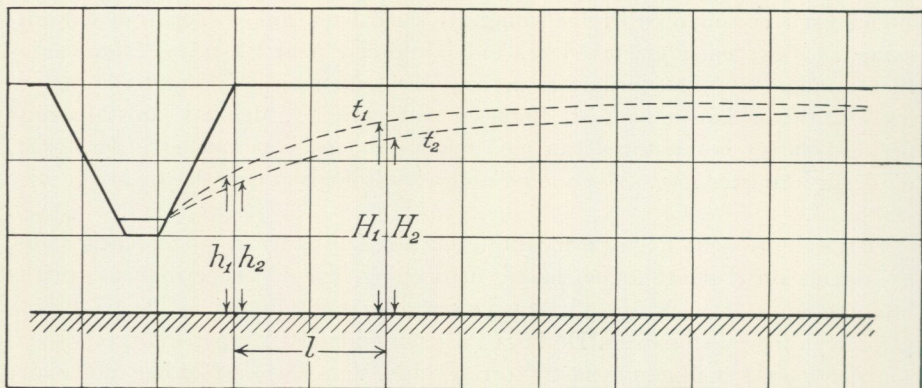


Fig. 8. Beräkning av k-värdet ur grundvattenytans sänkning under viss tid.

T blir $\frac{i_1 + i_2}{2}$ och strömmens medeldjup $\frac{h_1 + h_2}{2}$. Vi får då $Q_1 = k \cdot \frac{i_1 + i_2}{2} \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot T$, där Q_1 är genomrunnen vattenmängd på en 1 m bred strimla av fältet.

På samma sätt erhålles uttrycket för genomrunnen vattenmängd (Q_2) genom en sektion 1 m från föregående där lutningen är I_1 resp. I_2 . Vi erhålla

$$Q_2 = k \cdot \frac{I_1 + I_2}{2} \cdot \frac{H_1 + H_2}{2} \cdot T \text{ eller vid subtraktion}$$

$$Q_1 - Q_2 = k \cdot \frac{T}{4} [(i_1 + i_2) \cdot (h_1 + h_2) - (I_1 + I_2) \cdot (H_1 + H_2)]$$

Men $Q_1 - Q_2$ är den vattenmängd, som rymmes i den torrlagda jordvolymen mellan de båda avsnitten.

$$\text{Alltså är } Q_1 - Q_2 = \frac{h_1 - h_2 + H_1 - H_2}{2} \cdot 1 \cdot \frac{pv}{100},$$

där pv är den grundvattenförande volymen i procent av totalvolymen och som särskilt måste bestämmas. Detta kan tillnärmelsevis ske genom att bestämma huru högt grundvattenytan stiger pr mm nederbörd, vid de tider, då jorden är fullt vattenmättad och all fallande nederbörd kan förutsättas ansamlas till grundvattnet.

Skulle grundvattenytan under försökstiden ligga högt (nära markytan), så att sänkning på grund av avdunstning har inträtt, måste en reduktion härför införas vid beräkningen. Den översta kurvan sänkes med ett belopp motsvarande avdunstningen, vilket belopp erhålles från observationer utanför sänkingsområdet.

Litteratur.

1. Mattson, S., and Gustavsson, Y. The chemical characteristics of soil profiles. III. The podzol complex. Lantbrukshögskolans Ann. Vol. 2. 1935.
2. Bengtson, B., Karlsson, N., and Mattson, S. The pedography of hydrologic soil series: IV. The distribution of Si, Al, Fe, Ti, Mn, Ca and Mg in the Uden podzol and the Dala brown earth series. Lantbrukshögskolans Ann. Vol. 11. 1943.
3. Hans Burström, Kemisk-fysiologisk analys av kalknings- och gödslingsförsök på sur lerjord. K. Lantbr. Ak. Tidskrift 1937.
4. Hugo Osvald, Valinge. Fyra uppsatser om marken och vegetationen. Sveriges Allmänna Lantbrukssällskaps skrifter nr. 37. 1929.
5. O. Perman och E. Manell, Preliminär redogörelse för gödslings-, kalknings- och baljväxtodlingsförsök vid Lanna försöksgård 1929—1936. K. Lantbr. Ak. Tidskr. 1937.
6. G. Bjälfve, Ärternas kokbarhet och fosfathalt. Lantmannen nr 3. 1944.
7. Olof Tamm, Några synpunkter på den svenska skogens fosfatfråga. Svensk Botanisk Tidskrift. Bd 36. 1942.
8. Gunnar Ekström och Herman Flodkvist, Hydrologiska undersökningar av åkerjord inom Örebro län. S. G. U. Årsbok 19. 1926.
9. Herman Flodkvist, Kulturtechnische Grundwasserforschungen. S. G. U. Årsbok nr 25. 1931.
10. Gunnar Ekström, Hydrogeologiska undersökningar (inom Göta älvs dalgång). Tekn. Medd. från Kungl. Vattenfallsstyrelsen. Ser. B. Nr 9. 1926.
11. J. G. Richert, Om Sveriges grundvattenförhållanden. Stockholm 1911.

Kemisk analys å grundvattenprov.

Utförda å Sveriges geologiska undersöknings laboratorium av K. S. Sjöberg.

Mängderna angivna i mg/l.

| Lokal | Aug. 1932 | Dec. 1932 | Mars 1933 | Juli 1933 | Aug. 1932 | Dec. 1932 | Mars 1933 | Juli 1933 |
|-----------------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | pH | | | | Al ₂ O ₃ | | | |
| Lanna Skifte II | 7.4 | 7.7 | 7.2 | 7.4 | 1.9 | 4.6 | 3.4 | 2.0 |
| » » IV | 7.3 | — | — | — | 0.26 | — | — | — |
| » » VII | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.7 | 2.2 | 6.8 | 4.4 | 1.8 |
| Uddeholm, Värml. | 5.6 | 6.8 | 6.6 | 6.1 | 4.6 | 0.74 | 0.80 | 1.0 |
| Varpnäs, » | 6.1 | 6.7 | 6.2 | 7.2 | 4.4 | 11.2 | 8.0 | 4.6 |
| Erikstad, Dalsl. | 7.6 | 6.9 | 6.8 | 7.7 | 6.2 | 10.4 | 3.6 | 2.0 |
| Färgelanda, » | 7.4 | 6.6 | 6.4 | 7.5 | 4.0 | 19.9 | 5.4 | 14.6 |
| Dingle, Boh. | 7.7 | 7.5 | 6.9 | — | 9.4 | 5.7 | 11.2 | — |
| Klagstorp, Vg. | — | 6.6 | 5.9 | — | — | 36.8 | — | — |
| Bjebolund, Sk. | 7.3 | 7.7 | 7.2 | — | 7.0 | 4.2 | 3.2 | — |
| Önnestad, » | 7.2 | 8.3 | 7.1 | — | 22.6 | 16.8 | 28.8 | — |
| Bräkne-Hoby, Bl. | 7.4 | 7.5 | 7.7 | 7.2 | 32.8 | 11.0 | 1.2 | 3.4 |
| Linköping | 7.3 | 7.6 | 7.5 | 7.5 | 4.2 | 1.6 | 7.6 | 11.2 |
| Årby, Uppl. | 7.2 | 7.7 | 7.5 | 7.2 | 30.2 | 4.0 | 13.4 | 2.8 |
| Offer, Ångerm. | 6.2 | 6.4 | — | — | 4.8 | 0.8 | — | — |
| Sala | 7.7 | 7.4 | 7.8 | 7.5 | 21.2 | 5.6 | 1.4 | 11.6 |
| | Fe ₂ O ₃ | | | | CaO | | | |
| Lanna Skifte II | 3.1 | 1.1 | 4.0 | 2.4 | 46.8 | 46.0 | 32.2 | 29.2 |
| » » IV | 3.7 | — | — | — | 49.0 | — | — | — |
| » » VII | 2.8 | 3.4 | 3.0 | 2.4 | 58.8 | 35.4 | 33.8 | 29.2 |
| Uddeholm, Värml. | 14.2 | 1.7 | 4.6 | 3.4 | 25.0 | 34.0 | 33.2 | 41.6 |
| Varpnäs, » | 3.2 | 2.8 | 2.8 | 4.0 | 9.4 | 11.2 | 19.4 | 13.0 |
| Erikstad, Dalsl. | 2.4 | 4.2 | 4.0 | 9.6 | 32.8 | 23.2 | 19.0 | 30.6 |
| Färgelanda, » | 3.6 | 4.5 | 5.2 | 4.6 | 28.6 | 4.0 | 15.2 | 7.8 |
| Dingle, Boh. | 4.0 | 2.9 | 7.4 | — | 34.4 | 28.0 | 14.8 | — |
| Klagstorp, Vg. | — | 13.7 | — | — | — | 12.0 | 11.8 | — |
| Bjebolund, Sk. | 2.2 | 2.3 | 5.2 | — | 249.0 | 103.6 | 62.6 | — |
| Önnestad, Sk. | 2.7 | 4.6 | 5.8 | — | 156.2 | 156.0 | 111.4 | — |
| Bräkne-Hoby, Bl. | 3.0 | 2.8 | 3.4 | 2.4 | 31.0 | 76.6 | 65.0 | 51.2 |
| Linköping | 2.3 | 1.8 | 2.8 | 1.8 | 150.0 | 140.2 | 131.6 | 123.2 |
| Årby, Uppl. | 1.4 | 1.2 | 4.0 | 1.8 | 64.6 | 85.8 | 66.8 | 74.0 |
| Offer, Ångerm. | 8.8 | 9.6 | — | — | 27.4 | 33.2 | — | — |
| Sala | 2.3 | 1.8 | 3.0 | 2.0 | 69.8 | 79.8 | 94.8 | 70.8 |

| Lokal | Aug. 1932 | Dec. 1932 | Mars 1933 | Juli 1933 | Aug. 1932 | Dec. 1932 | Mars 1933 | Juli 1933 |
|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|
| | MgO | | | | K ₂ O | | | |
| Lanna Skifte II | 44.0 | 39.0 | 32.0 | 23.0 | 7.2 | 2.4 | 4.4 | 1.9 |
| » » IV | 26.0 | — | — | — | 5.0 | — | — | — |
| » » VII | 36.0 | 21.0 | 25.0 | 8.0 | 4.4 | 7.2 | 5.2 | 1.5 |
| Uddeholm, Värml. | 14.0 | 5.0 | 11.0 | 18.0 | 17.3 | 5.8 | 4.4 | 3.0 |
| Varpnäs, » | 4.0 | 8.0 | 10.0 | 8.0 | 3.4 | 3.1 | 4.8 | 2.4 |
| Erikstad, Dalsl. | 26.0 | 8.0 | 5.0 | 26.0 | 15.4 | 3.4 | 4.8 | 2.4 |
| Färgelanda, » | 33.0 | 3.0 | 5.0 | 5.0 | 5.3 | 1.0 | 3.4 | 7.6 |
| Dingle, Boh. | 40.0 | 31.0 | 11.0 | — | 19.2 | 4.4 | 4.8 | — |
| Klagstorp, Vg. | — | 4.0 | 8.0 | — | — | 2.0 | 1.4 | — |
| Bjebolund, Sk. | 47.0 | 51.0 | 10.0 | — | 16.8 | 6.7 | 3.8 | — |
| Önnestad, » | 5.5 | 12.0 | 7.0 | — | 3.8 | 2.8 | 3.8 | — |
| Bräkne-Hoby, Bl. | 15.0 | 56.0 | 22.0 | 26.0 | 3.8 | 1.4 | 2.4 | 3.6 |
| Linköping | 6.3 | 15.0 | 9.0 | 15.0 | 3.3 | 4.8 | 3.8 | 2.4 |
| Årby, Uppl. | 30.0 | 28.0 | 18.0 | 24.0 | 5.4 | 4.4 | 4.4 | 3.8 |
| Offer, Ångerm. | 37.0 | 35.0 | — | — | 5.4 | 3.4 | — | — |
| Sala | 36.8 | 29.0 | 28.0 | 29.4 | 3.8 | 6.2 | 4.4 | 2.9 |
| | Na ₂ O | | | | H ₃ N | | | |
| Lanna Skifte II | 160.4 | 125.8 | 77.4 | 89.4 | 0.02 | 0.13 | 0.0 | 0.20 |
| » » IV | 55.6 | — | — | — | 0.03 | — | — | — |
| » » VII | 40.4 | 34.2 | 30.2 | 29.0 | 0.02 | 0.15 | 0.02 | 0.15 |
| Uddeholm, Värml. | 20.4 | 5.2 | 12.4 | 15.0 | 0.01 | 0.1 | 0.05 | 0.10 |
| Varpnäs, » | 0.4 | 13.4 | 5.0 | 16.0 | 0.02 | 0.15 | 0.03 | 0.07 |
| Erikstad, Dalsl. | 13.6 | 23.2 | 5.6 | 25.0 | 0.01 | 0.4 | 0.0 | 0.15 |
| Färgelanda, » | 17.3 | 15.6 | 4.0 | 2.2 | 0.03 | 0.25 | 0.0 | 0.10 |
| Dingle, Boh. | 310.6 | 256.0 | 27.8 | — | 0.17 | 0.13 | 0.03 | — |
| Klagstorp, Vg. | — | 19.6 | 22.6 | — | — | 0.15 | 0.10 | — |
| Bjebolund, Sk. | 782.0 | 200.6 | 15.8 | — | 0.05 | 0.20 | 0.02 | — |
| Önnestad, » | 28.0 | 28.8 | 22.2 | — | 0.0 | 0.20 | 0.0 | — |
| Bräkne-Hoby, Bl. | 38.2 | 45.8 | 26.6 | 27.2 | 0.0 | 0.35 | 0.0 | 0.03 |
| Linköping | 21.0 | 22.0 | 13.2 | 17.6 | 0.04 | 0.05 | 0.0 | 0.05 |
| Årby, Uppl. | 13.6 | 25.2 | 12.4 | 5.4 | 0.4 | 0.05 | 0.01 | 0.04 |
| Offer, Ångerm. | 17.2 | 13.6 | — | — | 0.45 | 0.80 | — | — |
| Sala | 12.2 | 6.2 | 19.8 | 9.6 | 0.04 | 0.05 | 0.01 | 0.04 |
| | CO ₂ total | | | | CO ₂ halv. | | | |
| Lanna Skifte II | 327.0 | 195.2 | 244.0 | 276.0 | 238 | 163.7 | 207.7 | |
| » » IV | 129.6 | — | — | 168.0 | — | — | — | |
| » » VII | 129.6 | 126.0 | 169.0 | 186.0 | 110.8 | 117.0 | 128.9 | |
| Uddeholm, Värml. | 99.6 | 117.1 | 134.0 | 56.2 | 58.6 | 83.6 | 151.7 | |
| Varpnäs, » | 46.0 | 38.0 | — | 28.0 | 19.5 | 16.0 | 27.8 | |
| Erikstad, Dalsl. | 108.8 | 49.2 | 152.0 | 104.0 | 90.0 | 37.2 | 130.2 | |
| Färgelanda, » | 74.2 | 46.8 | 53.1 | 135.0 | 35.3 | 29.2 | 53.3 | |
| Dingle, Boh. | 401.4 | 70.8 | — | — | 349 | 55.4 | — | |
| Klagstorp, Vg. | 36.6 | 32.1 | — | — | 5.2 | 24.4 | — | |
| Bjebolund, Sk. | 259.0 | 172.4 | — | 444 | 230 | 123.2 | — | |
| Önnestad, » | 292.4 | 245.4 | — | 227 | 234 | 168.0 | — | |
| Bräkne-Hoby, Bl. | 292.0 | 148.8 | 208.0 | 106 | 237 | 143.4 | 186.6 | |

| Lokal | Aug. 1932 | Dec. 1932 | Mars 1933 | Juli 1933 | Aug. 1932 | Dec. 1932 | Mars 1933 | Juli 1933 |
|-----------------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|--------------|--------------|
| Linköping | | 262.0 | 165.5 | 266.0 | 132 | 195 | 153.7 | 227.0 |
| Årby, Uppl. | | 259.6 | 159.6 | 229.0 | 188 | 164 | 139.3 | 198.9 |
| Offer, Ångerm. | | 147.0 | — | — | — | 61.6 | — | — |
| Sala | | 212.8 | 245.4 | 219.1 | 222 | 206 | 208.6 | 198.4 |
| | | CO ₂ fri | | | | SiO ₂ | | |
| Lanna Skifte II | 12.0 | 6.5 | 5.4 | 8.4 | 12.0 | 8.0 | 13.0 | 9.0 |
| » » IV | 10.8 | — | — | 8.4 | 16.0 | — | — | — |
| » » VII | 11.5 | 5.7 | 7.9 | 8.4 | 16.0 | 22.0 | 12.0 | 12.0 |
| Uddeholm, Värml. | 68.7 | 19.8 | 30.8 | 53.7 | 43.0 | 6.0 | 17.0 | 12.0 |
| Varnäs, » | 27.6 | 17.4 | 20.9 | 2.2 | 29.0 | 31.0 | 16.0 | 36.0 |
| Erikstad, Dalsl. | 8.8 | 10.0 | 10.5 | 11.9 | 19.0 | 18.0 | 23.0 | 18.0 |
| Färgelanda, » | 13.2 | 21.2 | 15.7 | 17.5 | 40.6 | 25.0 | 18.0 | 65.0 |
| Dingle, Boh. | — | 19.9 | 8.5 | — | 21.0 | 10.0 | 24.0 | — |
| Klagstorp, Vg. | — | 8.0 | 3.6 | — | — | 54.6 | 14.0 | — |
| Bjebolund, Sk. | 25.4 | 10.7 | 12.3 | — | 13.0 | 6.0 | 7.0 | — |
| Önnestad, » | 28.3 | 38.3 | 27.7 | — | 12.0 | 10.0 | 7.0 | — |
| Bräkne-Hoby, Bl. | 22.3 | 17.2 | 3.5 | 23.8 | 22.0 | 10.0 | 8.0 | 17.0 |
| Linköping | 19.0 | 6.8 | 8.4 | 16.5 | 14.4 | 9.0 | 3.0 | 11.0 |
| Årby, Uppl. | 6.4 | 7.1 | 7.0 | 18.5 | 12.0 | 9.0 | 12.0 | 9.0 |
| Offer, Ångerm. | — | 63.4 | — | — | 34.0 | 30.0 | — | — |
| Sala | 15.8 | 15.4 | 8.8 | 10.8 | 12.0 | 13.0 | 7.0 | 10.4 |
| | | SO ₃ | | | | Cl | | |
| Lanna Skifte II | 0.0 | 4.6 | 28.9 | 0.3 | 13.8 | 42.2 | 12.5 | 10.9 |
| » » IV | 0.0 | — | — | — | 7.9 | — | — | — |
| » » VII | 0.0 | 7.7 | 1.7 | 0.4 | 2.0 | 43.0 | 8.2 | 3.1 |
| Uddeholm, Värml. | 0.0 | 0.2 | 0.7 | 0.2 | 5.7 | 13.6 | 10.3 | 5.1 |
| Varnäs, » | 0.0 | 0.7 | 1.3 | 0.4 | 9.0 | 9.8 | 6.8 | 7.2 |
| Erikstad, Dalsl. | 3.0 | 0.7 | 2.1 | 1.8 | — | 9.6 | 6.9 | 4.6 |
| Färgelanda, » | 0.0 | 2.6 | 0.9 | 0.3 | 4.9 | 3.8 | 5.1 | 5.1 |
| Dingle, Boh. | 2.1 | 10.4 | 1.9 | — | 137.2 | 55.8 | 112.5 | — |
| Klagstorp, Vg. | — | 11.1 | — | — | — | 1.8 | — | — |
| Bjebolund, Sk. | 4.8 | 17.0 | 3.4 | — | 644.0 | 131.6 | 204.2 | — |
| Önnestad, » | 1.7 | 13.1 | 0.6 | — | 29.0 | 18.6 | 15.3 | — |
| Bräkne-Hoby, Bl. | 0.0 | 15.8 | 0.8 | 0.2 | 2.0 | 20.0 | 1.8 | 2.9 |
| Linköping | 0.0 | 13.3 | 1.1 | 0.1 | 6.2 | 7.5 | 6.1 | 6.9 |
| Årby, Uppl. | 0.0 | 3.6 | 1.3 | 0.9 | 11.2 | 11.5 | 7.9 | 9.1 |
| Offer, Ångerm. | 0.0 | 4.1 | — | — | 98.8 | 109.6 | — | — |
| Sala | 0.0 | 7.8 | 0.4 | 0.4 | 14.0 | 16.5 | 10.8 | 11.1 |
| | | Nitrat-N | | | | P ₂ O ₅ | | |
| Lanna Skifte II | 0.63 | 0.75 | 1.7 | 0.22 | 0.0 | 8.0 | 0.64 | 0.68 |
| » » IV | 0.20 | — | — | — | 0.0 | — | — | — |
| » » VII | 0.32 | 0.55 | 1.10 | 0.95 | 0.0 | 2.8 | 1.68 | 0.52 |
| Uddeholm, Värml. | 0.35 | 0.20 | 0.20 | 1.8 | 4.2 | 2.54 | 1.66 | 0.80 |
| Varnäs, » | 0.39 | 0.65 | 2.2 | 0.55 | 0.44 | 0.98 | 0.18 | 0.40 |
| Erikstad, Dalsl. | 1.55 | 1.5 | 3.6 | 0.60 | 0.30 | 0.56 | 0.38 | 0.40 |

| Lokal | Aug. 1932 | Dec. 1932 | Mars 1933 | Juli 1933 | Aug. 1932 | Dec. 1932 | Mars 1933 | Juli 1933 |
|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| Färgelanda, Dalsl. | 0.24 | 0.75 | 0.50 | 0.25 | 3.46 | 0.60 | 0.52 | 0.76 |
| Dingle, Boh. | 0.64 | 0.45 | 0.90 | — | 4.60 | 0.42 | 0.52 | — |
| Klagstorp, Vg. | — | 0.65 | — | — | — | 0.42 | 0.30 | — |
| Bjerbolund, Sk. | 0.41 | 0.60 | 0.34 | — | 10.82 | 0.52 | 0.60 | — |
| Önnestad, » | 0.12 | 0.08 | 0.30 | — | 1.3 | 0.70 | 0.42 | — |
| Bräkne-Hoby, Bl. | 0.53 | 0.40 | 3.0 | 0.49 | 0.32 | 0.18 | 0.38 | 0.22 |
| Linköping | 0.19 | 0.08 | 3.2 | 0.13 | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 0.42 |
| Årby, Uppl. | 1.85 | 0.40 | 1.6 | 0.87 | 0.44 | 0.76 | 0.52 | 0.42 |
| Offer, Ångerm. | 0.60 | 0.07 | — | — | 0.40 | 1.4 | — | — |
| Sala | 0.33 | 0.17 | 0.20 | 0.37 | 0.60 | 0.52 | 1.7 | 0.50 |
| | O-förbrukning | | | | O ₂ fritt | | | |
| Lanna Skifte II | 9.8 | 7.4 | 6.7 | — | | | 12.4 | 0.0 |
| » » IV | 4.4 | — | — | — | | | — | — |
| » » VII | 9.6 | 8.8 | 1.6 | — | | | 12.4 | 6.2 |
| Uddeholm, Värml. | 187 | 15.8 | 8.8 | 18.0 | | | 15.5 | 6.2 |
| Varpnäs, » | 27.6 | 3.8 | 26.6 | 9.0 | | | 10.4 | 0.0 |
| Erikstad, Dalsl. | 4.8 | 9.8 | 1.6 | 4.4 | | | 9.2 | 6.2 |
| Färgelanda, » | 6.0 | 7.4 | 1.4 | 13.0 | | | 4.4 | 0.0 |
| Dingle, Boh. | 17.4 | 8.3 | 3.0 | — | | | 0.0 | — |
| Klagstorp, Vg. | — | 8.9 | 11.5 | — | | | 10.2 | — |
| Bjerbolund, Sk. | 22.0 | 7.0 | 4.2 | — | | | 0.0 | — |
| Önnestad, » | 36.8 | 3.6 | 11.2 | — | | | 9.3 | — |
| Bräkne-Hoby, Bl. | 3.7 | 8.8 | 11.2 | 11.2 | | | 21.7 | 3.1 |
| Linköping | 7.0 | 1.4 | 10.6 | 10.0 | | | 9.3 | 0.0 |
| Årby, Uppl. | 6.0 | 1.8 | 13.4 | 10.0 | | | 17.4 | 9.3 |
| Offer, Ångerm. | 25.0 | 28.3 | — | — | | | — | — |
| Sala | 4.0 | 2.6 | 5.0 | 10.0 | | | 21.7 | 1.4 |

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNINGS SENAST UTKOMNA PUBLIKATIONER ÄRO:

Ser. Aa. Geologiska kartblad i skalan 1 : 50 000 med beskrivningar.

| | Pris kr |
|--|---------|
| N:o 175 <i>Nya Kopparberget</i> av N. H. MAGNUSSON och G. LUNDQVIST 1932 | 4,00 |
| › 176 <i>Storvik</i> av B. ASKLUND och R. SANDEGREN 1934 | 4,00 |
| › 177 <i>Grängesberg</i> av N. H. MAGNUSSON och G. LUNDQVIST 1933 | 4,00 |
| › 178 <i>Gävle</i> av R. SANDEGREN, B. ASKLUND och A. H. WESTERGÅRD 1939 | 4,00 |
| › 179 <i>Forshaga</i> av R. SANDEGREN och N. H. MAGNUSSON 1937 | 4,00 |
| › 180 <i>Färö</i> av H. MUNTHE, J. E. HEDE och G. LUNDQVIST 1936 | 4,00 |
| › 181 <i>Smedjebacken</i> av G. LUNDQVIST och S. HJELMQVIST 1937 | 4,00 |
| › 182 <i>Lidköping</i> av S. JOHANSSON, N. SUNDIUS och A. H. WESTERGÅRD 1943 | 4,00 |
| › 183 <i>Visby och Lummelunda</i> av G. LUNDQVIST, J. E. HEDE och N. SUNDIUS 1940 | 4,00 |
| › 184 <i>Hedemora</i> av G. LUNDQVIST och S. HJELMQVIST 1941 | 4,00 |
| › 185 <i>Horndal</i> av R. SANDEGREN och B. ASKLUND 1943 | 4,00 |

Ser. C. Årsbok 34 (1940)

| | |
|---|------|
| N:o 431 MAGNUSSON, N. H., Herrängsfältet och dess järnmalmer. Med en tavla. Summary: The Herräng field and its iron ores. 1940 | 3,00 |
| › 432 ARRHENIUS, O., Fosfathalten hos svenska torvslag. 1940 | 0,50 |
| › 433 LUNDQVIST, G., Bergslagens minerogena jordarter. 1940 | 2,00 |
| › 434 LUNDQVIST, G., Sjösediment från Gotland. Zusammenfassung: Binnen- seesedimente aus Gotland. 1940 | 2,50 |
| › 435 BROTZEN, F., Flintrännans och Trindelrännans geologi (Öresund). Med en tavla. Zusammenfassung: Die Geologie der Flint- und Trindelrinne (Öresund) 1940 | 1,00 |
| › 436 THORSLUND, PER, On the Chasmops series of Jemtland and Södermanland (Tvären). With 15 Plates. 1940 | 5,00 |
| › 437 WESTERGÅRD, A. H., Nya djupborringar genom äldsta ordovicium och kambrium i Östergötland och Närke. Med kemiska analyser av GUNNAR ASSARSSON. Summary: New Deep Borings through the Lowest Ordo- vician and Cambrian of Östergötland and Närke (Sweden) 1940 | 2,00 |

Årsbok 35 (1941)

| | |
|---|------|
| N:o 438 ÖDMAN, OLOF H., Geology and ores of the Boliden deposit, Sweden. With 48 plates. 1941 | 8,00 |
| › 439 DU RIETZ, T., Nyare undersökningar inom Remdalens malmtrakt och dess omgivningar. Med 4 tavlor. 1941 | 3,00 |
| › 440 SAHLSTRÖM, K. E., Jordskalv i Sverige 1936—40. Med en karta. Resume: Erdbeben in Schweden 1936—40. 1941 | 0,50 |
| › 441 SUNDIUS, N., Oljeskiffrar och skifferoljeindustri. 1941 | 3,00 |
| › 442 WESTERGÅRD A. H., Skifferborringarna i Yxhultstrakten i Närke 1940. Med 3 tavlor. Kemiska analyser av G. ASSARSSON. Summary: Borings through the Alum shale in the neighbourhood of Yxhult in Närke made in 1940. 1941 | 2,00 |
| › 443 GAVELIN, SVEN, Relations between ore deposition and structure in the Skellefte district 1941 | 0,50 |

Årsbok 36 (1942)

| | |
|--|------|
| N:o 444 ÖDMAN, OLOF H., Copper ores of the «Red beds» type from Visingsö, Sweden. 1942 | 1,00 |
| » 445 KULLING, O., Grunddragen av fjällkedjerandens bergbyggnad inom Västerbottens län. Med 1 karta. 1942 | 6,00 |
| » 446 LUNDQVIST, G., Sjösediment och deras bildningsmiljö. 1942 | 1,00 |
| » 447 GRIP, E. and ÖDMAN, O. H., The telluride-bearing andalusite-sericite rocks of Mångfallberget at Boliden, N. Sweden. 1942 | 1,00 |
| » 448 DU RIETZ, T., Kvartsitskollorna i Ormsjö-Täsjötrakten. Med en karta. 1943 | 1,00 |
| » 449 HJELMQVIST, SVEN, Stribergs malmfält. Geologisk beskrivning. Med 3 tavlor. Zusammenfassung: Der Striberger Erzbezirk. Geologische Beschreibung. 1942 | 3,00 |
| » 450 JOHANSSON, S., Soil consolidation. Soil-settling process 1943 | 1,00 |
| » 451 BROTZEN, F., Die Foraminiferengattung Gavelinella nov. gen. und die Systematik der Rotaliiformes. Mit 1 Tafel. 1942 | 2,00 |

Årsbok 37 (1943)

| | |
|--|------|
| N:o 452 ÖDMAN, OLOF H., Geology of the copper deposit at Laver, N. Sweden. With 2 plates. 1943 | 1,00 |
| » 453 HJELMQVIST, SVEN, Die Natronreiche Randzone des Granitmassivs nördlich von Smedjebacken in Dalarna. Ein Beitrag zum Studium der Granitbildung. 1943 | 1,00 |
| » 454 GAVELIN, SVEN, On the distribution of metals at Rävliiden, N. Sweden, and in some other copper-zinc ores. 1943 | 1,00 |
| » 455 THORSLUND, PER, Gränsen ordovicium—silur inom Storsjöområdet i Jämtland. Summary: The Ordovician—Silurian Boundary in the Jemtland Storsjön area. 1943 | 1,00 |
| » 456 LARSSON, W., Zur Kenntnis der alkalinen ultrabasischen Ganggesteine des Kalixgebiets, Nordschweden. 1943 | 1,00 |
| » 457 LUNDQVIST, G., Norrlands jordarter. Med 2 tavlor. 1943 | 3,00 |
| » 458 WICKMAN, F. E., A graph for the calculation of the age of minerals according to the lead method. With one plate. 1944 | 1,00 |

Årsbok 38 (1944)

| | |
|---|------|
| N:o 460 SUNDIUS, NILS, On the substitution relations in the amphibole group. 1944 | 0,50 |
| » 461 JOHANSSON, S., Om jord och vatten på Lanna försöksgård. 1944 . . . | 1,00 |

Ser. Ca.

| | |
|--|-------|
| N:o 26 GRANLUND, ERIK, Beskrivning till jordartskarta över Västerbottens län nedanförl odlingsgränsen. Karta i skalan 1:300 000. 1943. | 8,00 |
| » 30 MAGNUSSON, N. H., Ljusnarsbergs malmtrakt. Berggrund och malmfyndigheter. Med 2 tavlor. Summary: Geology and ore deposits of Ljusnarsberg. 1940 | 7,00 |
| » 33 MOLIN, K., A general earth magnetic investigation of Sweden carried out during the period 1928—1934 by the Geological survey of Sweden. Part 3. Horizontal intensity. With 4 plates. 1941 | 10,00 |
| » 34 MOLIN, K., A general earth magnetic investigation of Sweden carried out during the period 1928—1934 by the Geological survey of Sweden. Part 4. Vertical intensity. With 5 plates. 1942 | 10,00 |

Distribueras genom *Generalstabens Litografiska Anstalt. Stockholm 1.*