

**CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
INSTITUTIONEN FÖR VATTENBYGGNAD**

Meddelande nr 83



Kalkning av försurade sjöar

Del 1

Problembeskrivning samt utvärdering av kalkningen av Östra Nedsjön

av

Sören

Per

Larsson

Lindquist

Examensarbete 1974:5

Göteborg

PROGRAM

Examensarbete i vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola.

KALKNING AV FÖRSURADE SJÖAR

Utveckling av principer för doseringsförfarande med utgångspunkt från fältstudier och tidigare erfarenheter av kalkning i Östra Nedsjön.

Examensarbete 1975:5

Teknologerna:
Per Lindqvist
Sören Larsson

Examensarbete 1975:10

Teknologerna:
Torbjörn Lage
Roger Gustavsson

Bakgrund

Den under senare år ökade försurningen av luft, vatten och mark har tilldragit sig allt större uppmärksamhet. Bl. a. presenterades försurningsproblematiken i form av "Sweden's case study" inför FN:s miljövårdskonferens i juni 1972 i Stockholm. Orsakerna till försurningen är många. Den viktigaste är kanske försurning från nederbörden. Ett annat bidrag till försurningen av marken och det avrinnande vattnet utgör det moderna skogsbruket med dess monokultur av barrväxter i förening med ökade kalhyggen. Men även andra faktorer såsom sura utsläpp från industrier, ökning av sura gödningsmedel, minskad kalkanvändning i jordbruket, dikning m. m. har bidragit till den allmänna försurningen.

Beträffande fisk trivs den bäst i neutralt eller svagt alkaliskt vatten. Går pH-värdet under 6,0 kan koldioxid och i vattnet lösta järnsalter medföra skador på fisken. Går pH-värdet under 5,0 kan laxfiskar ej längre fortplanta sig och även den utvuxna fiskens trivsel är nedsatt. Sjunger pH-värdet under 4,5 börjar övrig fisk att taga skada, särskilt reproduktionen är allvarligt hindrad. Vatten med pH-värde under 4,0 är letalt för de flesta fiskarter.

Försurningen synes nu vara accelererad och har i många fall fortskridit så långt att vissa sjöar ej längre kan erbjuda någon trivsel för fisk-

bestånd. I en del fall har fisken fått sin reproduktion avsevärt reducerad eller nästan helt spolierad. Samtidigt har fiskens tillväxt avtagit, vilket kan bero både på försämrade ämnesomsättning och minskad närings-tillgång.

Åtgärder mot försurningen.

Försurning genom nederbörd och skogsbrukets ändrade metoder torde ej kunna hejdas då detta skulle förutsätta både nationella och internationella ingripanden med så stora ekonomiska konsekvenser att man rimligen ej kan räkna med någon hejdad försurning inom överskådlig framtid. Man är därför nödsakad att lokalt vidtaga åtgärder för att motverka försurningen. Detta har i huvudsak skett genom kalkning av sjöarna och omgivande terräng.

Kalkningen av våra vatten erbjuder många problem av både praktisk och ekonomisk art. Kalken är ett relativt billigt ämne men spridningen av den kan bli ganska kostnadskrävande, om den ej genomföres rationellt.

Kalkningsåtgärder vid Östra Nedsjön

Östra Nedsjön tillhör Mölndalsåns avrinningsområde.

Vid en vattenundersökning som länsstyrelsens naturvårdssektion och fiskerikonstulent Sune Sander utförde under hösten 1970 visade det sig att pH-värdet i sjön hade sjunkit från 6,1 år 1968 till 5,05.

I Östra Nedsjön består fiskarterna av vitfisk såsom gädda, abborre, mört och sutare samt laxfiskar såsom öring, röding och inplanterad siklöja. Av särskilt intresse är rödingsbeståndet som är unikt - det är det sydligaste beståndet som finns i vårt land. Det kan få stor framtida betydelse för odlingsarbetet, då man genom korsning mellan olika bestånd med skilda ärftliga egenskaper kan få fram nya elittyper av röding.

Nedsjön har drabbats av en fortgående försurning i likhet med många andra vatten i västra Sverige. Försurningen från nederbörden var under åren 1960-65 $10-20 \text{ mg H}^+/\text{m}^2$ och år och har nu ökat till 20-30 mg

H^+ /m²/år. Man har anledning att räkna med en fortsatt ökning av försurningen från nederbörden. Beståndet av röding i sjön var före kalkningen allvarligt hotat genom bristande reproduktion och fisken visade dålig tillväxt. Kalkningsprogram för Östra Nedsjön gjordes i första hand med tanke på att snabbt hejda försurningen varigenom det direkta hotet mot rödingen kunde avvärjas. Spridning har i mindre omfattning utförts direkt i sjön och därvid har olika sorters kalk använts såsom exempelvis Aga-kalk, T-kalk och jordbrukskalk. Den största kalkmängden har emellertid utspridits utefter Nedsjöns stränder och i terrängen omkring tillrinnande vattendrag.

För att få tillfredsställande långtidsverkan spreds avsevärda mängder av kalk över land inom Nedsjöns avrinningsområde. Dessutom skulle, om marken hade varit tjälbunden under de senaste vintrarna, även omgivande mossar ha kalkats. (Detta har nu endast skett i begränsad omfattning. Exempelvis kan nämnas att Store Mosse belägen nära sjöns sydända har påförts en viss mängd kalk).

Vidare uppgifter om insatta kalkningsåtgärder finns dokumenterade.

Målsättningen med examensarbetet

Syftet med examensarbetet är att utveckla principer för dosering av kalk varvid en effektiv, jämn inblandning av kalken i vattenvolymen eftersträvas. Förutom egna försök och undersökningar som nu kan göras i Ö. Nedsjön så är en kritisk granskning av tidigare kalkningsförsök lämplig utgångspunkt för utarbetning av rekommendationer vad gäller doseringsteknik. Det är viktigt att framhålla att Ö. Nedsjön som ligger längst uppströms i avrinningsområdet har en mycket långsam extern vattenomsättning och det är därför viktigt att man vid utarbetande av principer för doseringsmetodik just för in vattendragets karakteristika vad gäller externt och internt vattenutbyte (cirkulationsdynamik) som en väsentlig bedömningsfaktor.

Examensarbetets uppläggning

Följande uppläggning i stort föreslås för examensarbetet. Den slutliga planeringen och detaljuppläggningen av arbetet utföres av teknologerna under samråd med handledarna.

1975:5 Studium av förutsättningarna för och resultatet av kalkspridningen på land vid Östra Nedsjön.

Problemställningar här berör urlakningsförloppet och transportvägar för det kalkbemängda "lakvattnet" i mark- och grundvatten samt slutligen exfiltration och inblandning av kalkvattnet i sjön vid utläggning från t. ex.

skogsmark

åker och äng

moss- och myrmark

annan strandmark vid sjöar och tillflöden.

Denna förundersökning skall ge underlag för prognoser beträffande urlaknings- och transportförloppet samt inblandningsförloppet i sjön.

1975:10 Ytvattendosering i tillrinnande bäckar

Målsättningen med denna del av undersökningen är att bestämma spridningen och om möjligt uppehållstiden för kalklösning som doseras i sjön eller dess tillflöden. Bestämningen skall ske med hjälp av spårämnesförsök i sjön och resultaten från dessa försök skall jämföras med teoretiska beräkningar.

Momentan dosering av spårämne vid två tillfällen.

- a) sommarskiktning - begränsad blandning mellan ytvatten och bottenvatten på grund av den stabila termiska skiktningen.
- b) höstcirkulation - möjligheter till effektiv inblandning av kalk i sjön kan då bedömas gynnsammare.

Mätprogram:

- a) temperaturprofiler
- b) vindförhållanden
- c) provtagning spårämnesutbredning (t. ex. ett 30-tal fasta mätpunkter - olika lokaler, varierande djup) veckovis 4-5 omgångar efter varje dosering.

Slutrapport

Före den slutliga avrapporteringen inbjudes till seminarium där resultatet av examensarbetet presenteras och diskuteras.

Litteratur

Litteraturstudier bör omfatta lämpliga avsnitt i limnologi - sjöars temperatur - och stabilitetsförhållanden - recipienthydraulik - vattenomsättningsmodeller - samt geohydrologisk och annan litteratur som anvisas.

Handledare, kontakter m. m.

Dessa examensarbeten sker närmast i samråd med Kgl. Fiskeristyrelsen och Lantbruksnämnden i Älvsborgs län. Diskussioner vad gäller projektuppläggning har skett med följande "referensgrupp":

Dr. Harald Alander f. d. fiskerintendent .

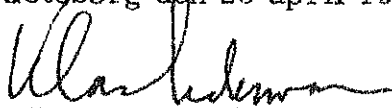
Fiskerikonsulent Sune Sander

Civ. ing. Andrej Serednicki, Fiskeristyrelsen

Fil. kand. Bo Holmberg, -"-

Som biträdande handledare fungerar civ. ing. Lars Bergdahl samt för examensarbete 1975:5 geolog Anders Eriksson.

Göteborg den 25 april 1974


Klas Cederwall

FÖRORD


I början av 1974 tog Lantbruksnämnden i Älvsborgs län och Fiskeristyrelsen kontakt med docent Klas Cederwall vid Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, för att förhöra sig om möjligheten att få till stånd ett examensarbete rörande försurnings- och kalkningsproblematiken vid Östra Nedsjön, Hindås. Från institutionens sida var intresset för projektet stort och under våren utarbetades ett program för examensarbetet i samråd med Lantbruksnämnden i Älvsborgs län och Fiskeristyrelsen.

Examensarbetet började i juni 1974 med fältarbete. Beräkningar, utvärderingar och färdigställande av rapporten har utförts under hösten och våren 74/75.

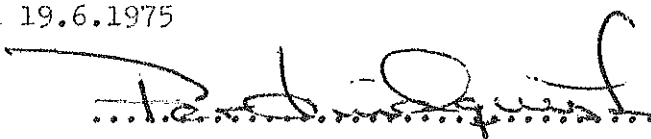
Under vårt arbete har många personer visat intresse för examensarbetet och även varit oss behjälpliga i olika frågor. Vi riktar ett tack till alla dessa och speciellt vill vi tacka våra handledare, docent Klas Cederwall, civilingenjör Lars Bergdahl och geolog Anders Eriksson samt fiskerikonsulent Sune Sander, Svante Göthblad, samt övriga medlemmar i arbetsgruppen för Östra Nedsjön. Vi vill också tacka Inger Hansson, Lantbruksnämnden, som har svarat för utskrift av rapporten.

Efter utfört examensarbete överlämnar vi följande rapport.

Göteborg den 19.6.1975



Sören Larsson



Per Lindqvist



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning

Inledning	sid.	1
Kap. 1	Försurning	
1.1	Allmänt om försurning	3
1.2	Försurningens orsaker	7
1.3	Skador	13
1.4	Åtgärder	18
1.5	Försurningsteori	20
1.6	Översikt över förhållanden av betydelse för försurning av sjöar och vattendrag	23
2	Östra Nedsjön och dess avrinningsområde	
2.1	Topografisk översikt	24
2.2	Östra Nedsjön - en beskrivning	27
2.3	Geologisk översikt	28
2.4	Meteorologisk och hydrologisk översikt	32
3	Försurning av Östra Nedsjön	51
4	Kalk	
4.1	Allmänt	57
4.2	Kalkens effekter	57
4.3	Kalkens upplösning	59
4.4	Andra kalkningsprojekt	61
5	Kalkning av Östra Nedsjön	
5.1	Projektets tillkomst och genomförande	65
5.2	Praktiska erfarenheter från kalkning	66
5.3	pH före och efter kalkning	69

6	Kartläggning av pH-förhållanden med mera i Östra Nedsjöns avrinningsområde	
6.1	Bakgrund	73
6.2	Nordöstra tillrinningsområdet	75
6.3	Tubbaredbäckens tillrinningsområde	79
6.4	Store Mossens tillrinningsområde	88
6.5	Övriga tillrinningsområdet	92
7	Lysimeterförsök	
7.1	Allmänt	95
7.2	Lysimeterförsök vid Östra Nedsjön	96
8	Resultat och slutsatser	
8.1	Kalkning på mark	99
8.2	Kalkning i vattensystem	102
9	Rekommendationer	109
	Litteraturlista	113
	Bilaga 1-4:	

SAMMFATTNING

Detta examensarbete behandlar försurning och kalkning av försurade sjöar. Utgångspunkten har varit kalkningsprojektet vid Östra Nedsjön i Hindås. För att erhålla en långtidsverkan har kalken här spridits i avrinningsområdet. Denna kalkning har skett under åren 1973 till sommaren 1974 med totalt 2000 ton kalk. Uppgiften har varit att göra en dokumentation och en utvärdering av detta kalkningsprojekt. Utgående från detta ges allmänna rekommendationer för kommande kalkningsprojekt.

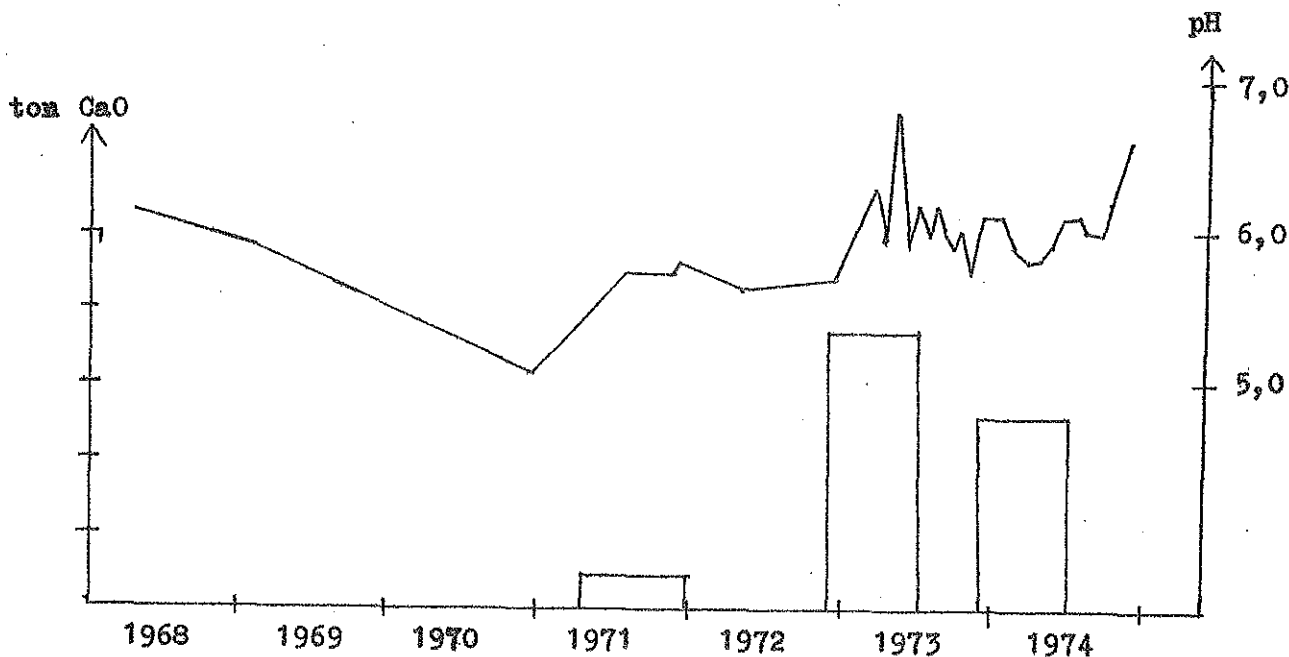
Vid Östra Nedsjön har det visat sig att kalkning av åkermark varit gynnsam. Effekten av kalkning på övrig mark får dock ses med en viss tveksamhet och rekommenderas inte, såvida marken ej ger en kraftig ytvattnavrinning eller har hög genomsläpplighet. Där mossar kalkats har effekten varierat. Mycket bra resultat har erhållits där kalken har lagts i mossens lagg vid utflödet, medan där kalken lagts ute på högmossen har ingen effekt erhållits.

Effekten av kalkningen i de tillrinnande bäckarna till Östra Nedsjön har i de flesta fall hittills varit god, även om effekten har varierat. Bästa effekten har erhållits där en överdosering av kalk har skett. Huruvida en långtidsverkan kan erhållas är dock alltför tidigt att bedöma. Det är tveksamt om man, som vid Östra Nedsjön nödvändigtvis måste kalka hela bäcksträckan. Troligtvis kan samma effekt uppnås genom kalkning av nedströmsdelen i en bäck. Det synes som om, vid kalkning i bäckar, en del av kalken antingen löst eller suspenderad avrinner till sjön. En del av effekten i bäcken går då förlorad men kommer ändå sjön tillgodo. Sammanfattningsvis kan sägas att kalkning i tillrinningsområden kan, genomförd på ett riktigt sätt, ge en fullgod neutralisation av det sura nederbördsvattnet under en längre tid.

INLEDNING

Kalkningsprojektet vid Östra Nedsjön har successivt vuxit fram sedan hösten 1970, då det konstaterades att även denna stora sjö hade drabbats av den pågående försurningen av våra sjöar och vattendrag. På hösten 1970 konstaterade man att pH-värdet hade sjunkit till 5,05 jämfört med 6,1 år 1968.

För att bevara det värdefulla rödingbeståndet i sjön beslöt man från fiskevårdshåll att åtgärder snabbt måste vidtagas. Trots små ekonomiska resurser lyckades man under 1971 få ut 100 ton CaO direkt i sjön. För att erhålla en verkan på lång sikt måste ytterligare åtgärder vidtagas. Man räknade med att uppnå detta genom att sprida kalk i tillrinningsområdet. Kontakt togs med Arbetsmarknadsstyrelsen och anslag erhöles för ett sådant kalkningsprojekt. Totalt har fram till sommaren 1974 drygt 2000 ton kalk spridits ut längs bäckar, sjöstränder och på mossar.



pH-förändringar i Östra Nedsjön åren 1968-1975 och kalkningsinsatser i Östra Nedsjöns avrinningsområde räknat i ton CaO.

För Östra Nedsjön har tidigare skrivelser och rapporter samlats i en redovisning kallad "Något om kalkningsprojektet vid Östra Nedsjön nov. 1972 - febr. 1974", vilken sammanställts av fiskerikonsulenterna Sune Sander och Martin Eriksson.

Sedan våren 1974 följs kalkningsprojektet också av Institutionen för vattenbyggnad vid Chalmers Tekniska Högskola, och två examensarbeten har utförts i anslutning till projektet. Det ena syftar till att klarlägga Östra Nedsjöns interna vattenomsättning och behandlar endast själva sjöbäckenet. Det andra, som redovisas här, syftar till att klargöra problematiken kring kalkens spridning på mark. Med mark avses i detta sammanhang all yta utanför sjöytor, d v s även bäckar och mossar ingår. Problemställningar som berörs i examensarbetet är urlakningsförloppet och transportvägar för det kalkbemängda "lakvattnet" i mark- och grundvatten samt slutligen exfiltration och inblandning av kalkvattnet i sjön.

1. FÖRSURNING

1.1 Allmänt om försurning

1.1.1 Utbredning

Man har på senare år allt mer insett faran med den ökade försurningen av luft, vatten och mark, som fortlöpande sker både i Sverige och utomlands. Bland annat presenterades försurningsproblematiken i "Svedeås Case Study" [1] inför FN:s miljövårdskonferens i juni 1972 i Stockholm. Försurningen är idag utbredd över i stort sett hela Skandinavien. De hårdast drabbade delarna är sydvästra och mellersta Sverige samt södra Norge, där mark, sjöar och vattendrag försurats kraftigt under de senaste decennierna.

1.1.2 Vatten

I början av 1960-talet upprättades ett vattenkemiskt observationsnät med stationer i Sverige, Norge och Finland för att bland annat studera förändringarna i ytvattens kemi. Materiel från dessa undersökningar [2] visar, att pH-värdet varierar relativt kraftigt, men en klar försurningstrend kan dock urskiljas. Fluktuationerna i pH-värde beror dels på variationer i biologisk aktivitet under året, dels på det inbördes förhållandet mellan ytvatten- och grundvattenavrinning, industriutsläpp etc. Som exempel kan nämnas Klarälven, som har försurats ca 10 % per år. Se fig. 1.1.

Förändringen i Klarälven får anses "naturlig", eftersom mätpunkten ligger uppströms större industrier. De sura "pikarna" på kurvan beror sannolikt på ytvattenavrinning av surt smältvatten. Generellt kan man säga att pH-värdet är 0,5 enheter lägre på vintern än på sommaren.

Någon uppföljning av pH-förändringarna i Östra Nedsjöns vattensystem, Mölndalsån, på liknande sätt som för Klarälven finns ej.

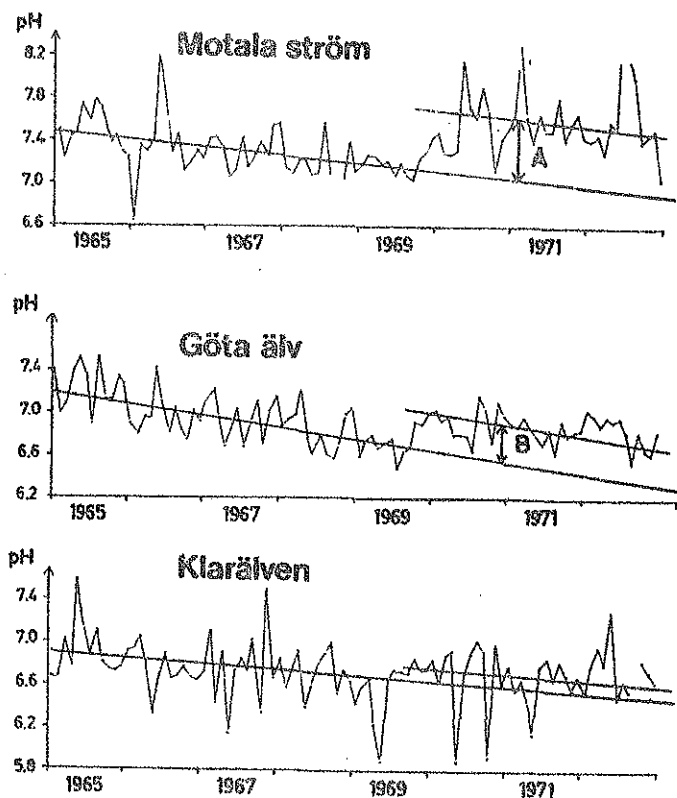


Fig 1.1. pH-värden från Motala ström,
Göta älv och Klarälven 1965-1972.
(Ur Diagnos SNV 1974:1)

1.1.3 Mark




Försurning av vatten är intimt sammankopplad med den kemiska sammansättningen av d v s geologin hos omkringliggande mark. Man har i "Hushållning med Mark och Vatten", SOU 1971:75 [3] sammanställt en karta över markens känslighet mot försurande ämnen. Se fig. 1.2.

Fig. 1.2. Markens känslighet för sura ämnen.

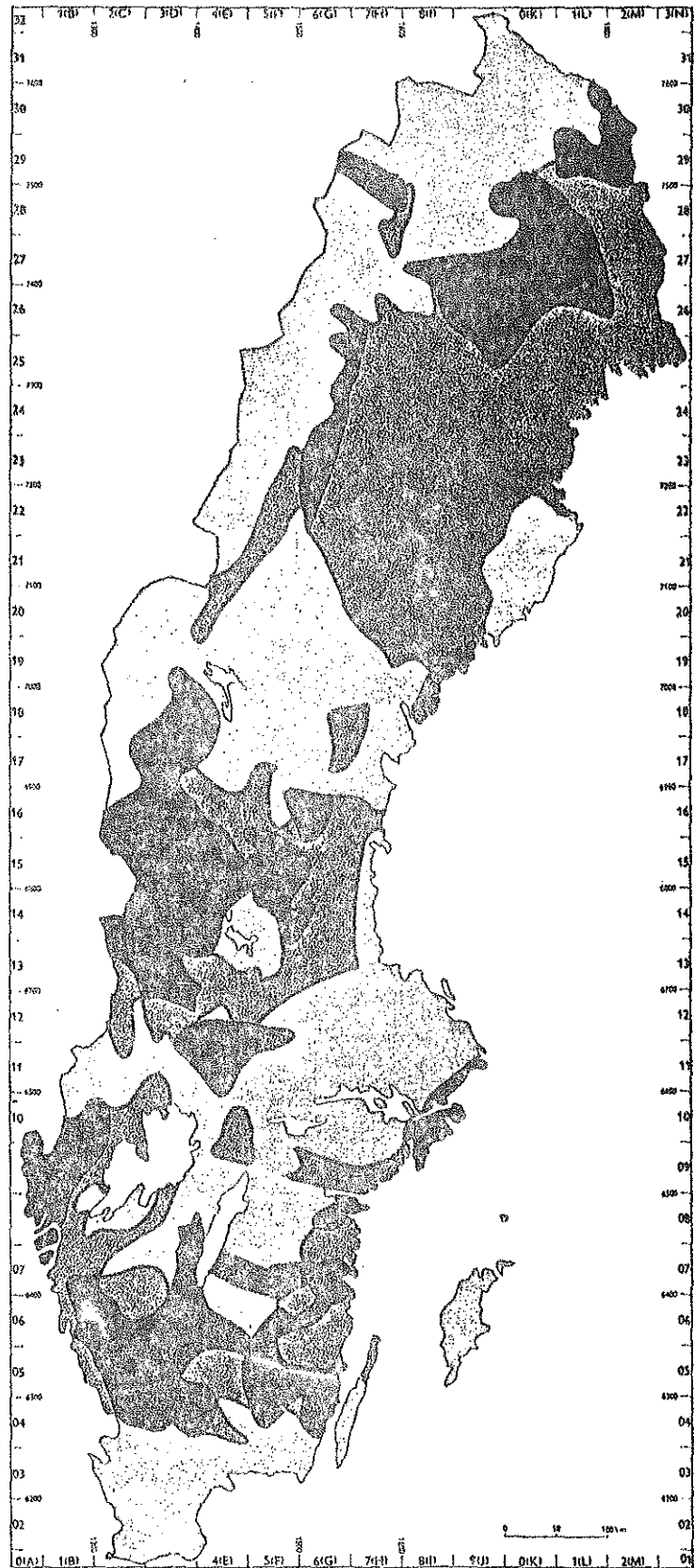
Kartan är baserad på en sammansättning av faktorer med ogynnsam inverkan på markens förmåga att motstå sura ämnen och andra luftföroreningar.

De faktorer som betraktats som ogynnsamma är berggrundens näringsfattigdom, förekomst av lätta jordar (sand, lättsavsläpningar), förekomst av kallt berg eller tunt jordtäcke, dominans av rena barrskogar samt hög humiditet. En korrigering har skett av dessa faktorer med faktorer som gynnar motståndskraften mot sura ämnen. De faktorer som därvid beaktats är förekomst av kalkrika resp. flinkorniga jordarter. Sammenvägningen av alla dessa faktorer är mycket osäker. Barrskogsfaktorn och kalkpåverkan på lätta jordar har getts mindre tyngd än övriga faktorer.

Källor: Ent. fig. 8: 16, 4: 17, 4: 16, 4: 20. Troedsson, T, Skogsmarkens hydrologi. Inet. för ekologisk marklära, Skogshögskolan. Publ. nr 40 1955. Troedsson, T, Skoglig markkartering som grund för bedömning av bördigheten. Inet. för ekologisk marklära, Skogshögskolan. Publ. nr 43, 1956.

-  Mot föroreningssur ämnen känsliga områden.
-  Mot föroreningssur ämnen mycket känsliga områden.
-  Mot föroreningssur ämnen extremt känsliga områden.

(Ur SOU 1971:75, Hus-
hållning med mark
och vatten [3])



När det gäller markens försurning är det främst skogsmark som studerats. I "Sweden's Case Study" [1] redovisas en kartläggning över skogsjordarnas försurningsstatus. Se fig. 1.3.

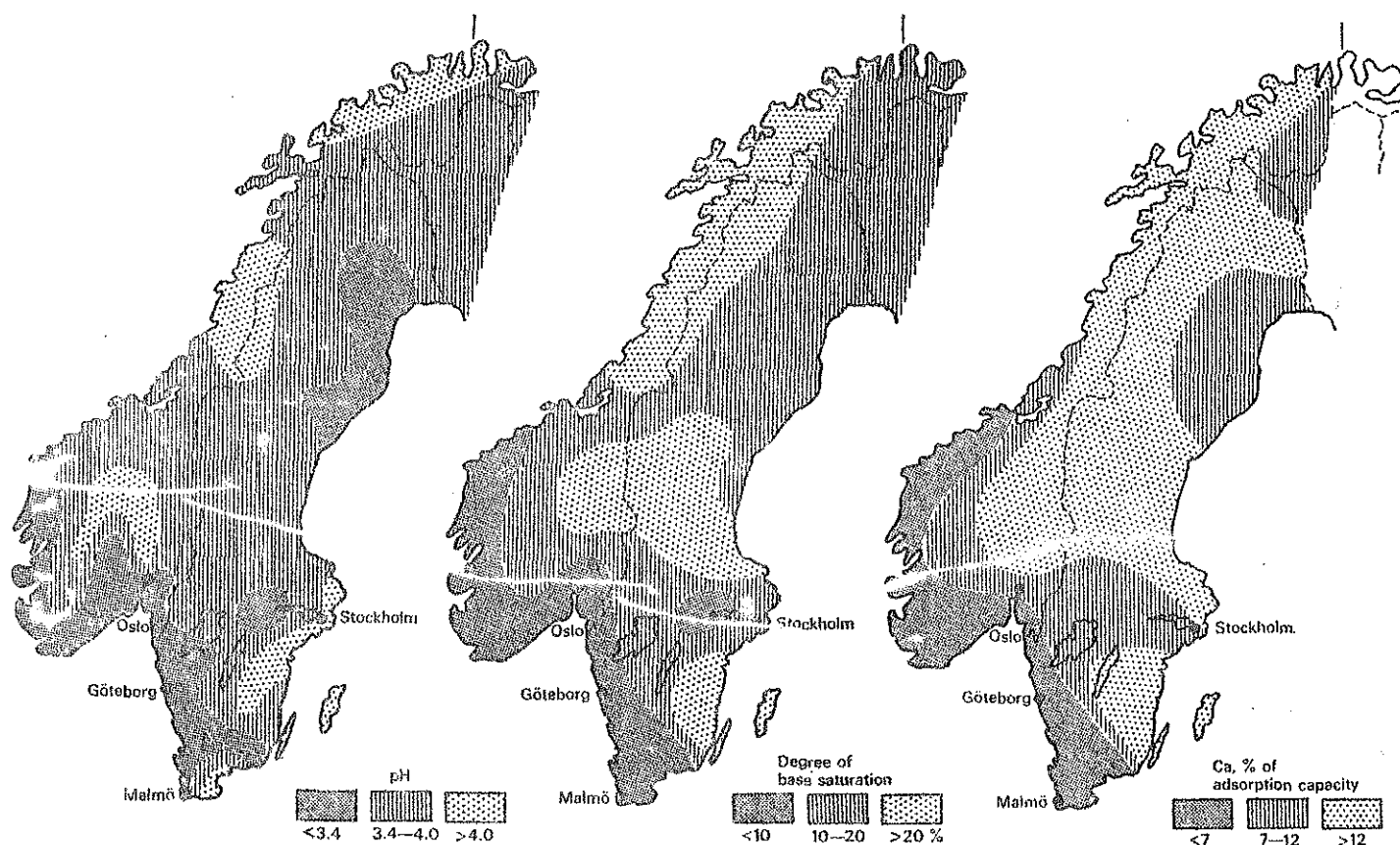


Fig. 1.3. pH-värdets fördelning i skogsjordar i Sverige och Norge.

Basmättnadsgradens fördelning i Sverige och Norge.

Kalciummättnadsgradens fördelning i Sverige och Norge.

(Ur Sweden's case study for the United Nations conference on the human environment [1])

1.2 Försurningens orsaker

1.2.1 Allmänt

Många processer i naturen, som t ex nedbrytning av markens organiska substans och rötternas andning, har surgörande effekt. Dessa processer torde ej bidra i någon högre grad till den ökade försurningen, utan orsakerna till denna ökning kan huvudsakligen hänföras till mänskliga aktiviteter. Orsakerna till den ökade försurningen är många. Viktigast är försurning av luft och nederbörd, vilken härrör från utsläpp vid förbränning av fossila bränslen. Direkt försurande är också sura utsläpp från industrier och reningsverk, samt användandet av sura gödselmedel inom jordbruket.

Andra faktorer av betydelse är minskad kalkning, omvandling av åker- och ängsmark till skogsmark, skogsdikning, skogsgödsling och kalavverkningar.

1.2.2 Nederbörd

Det står idag helt klart att luftens och nederbördens ökade surhet är den faktor, som kraftigast bidragit till försurningen av mark och vatten. Luftens och därmed nederbördens surhet beror på balansen mellan tillförda syror och baser till atmosfären. Vid förbränning av fossila bränslen bortgår genom rökgaserna koldioxid (CO_2), svaveldioxid (SO_2) och stoft. Nederbördsvatten får på grund av enbart kolsyrans inverkan ett pH-värde på ca 6,0 [2]. Inom större delen av Europa är luftens halt av syror större än halten av baser, d v s nederbörden är sur. Över Europa finns ett nät av stationer, där nederbördens och luftens kemiska sammansättning analyseras månadsvis. Det har visat sig att sammansättningen förändrats successivt sedan början av 50-talet. Nederbördens pH-värden visar, trots variationer, en klart sjunkande tendens över hela Europa, endast hastigheten varmed försurningen sker varierar. Se fig. 1.4.

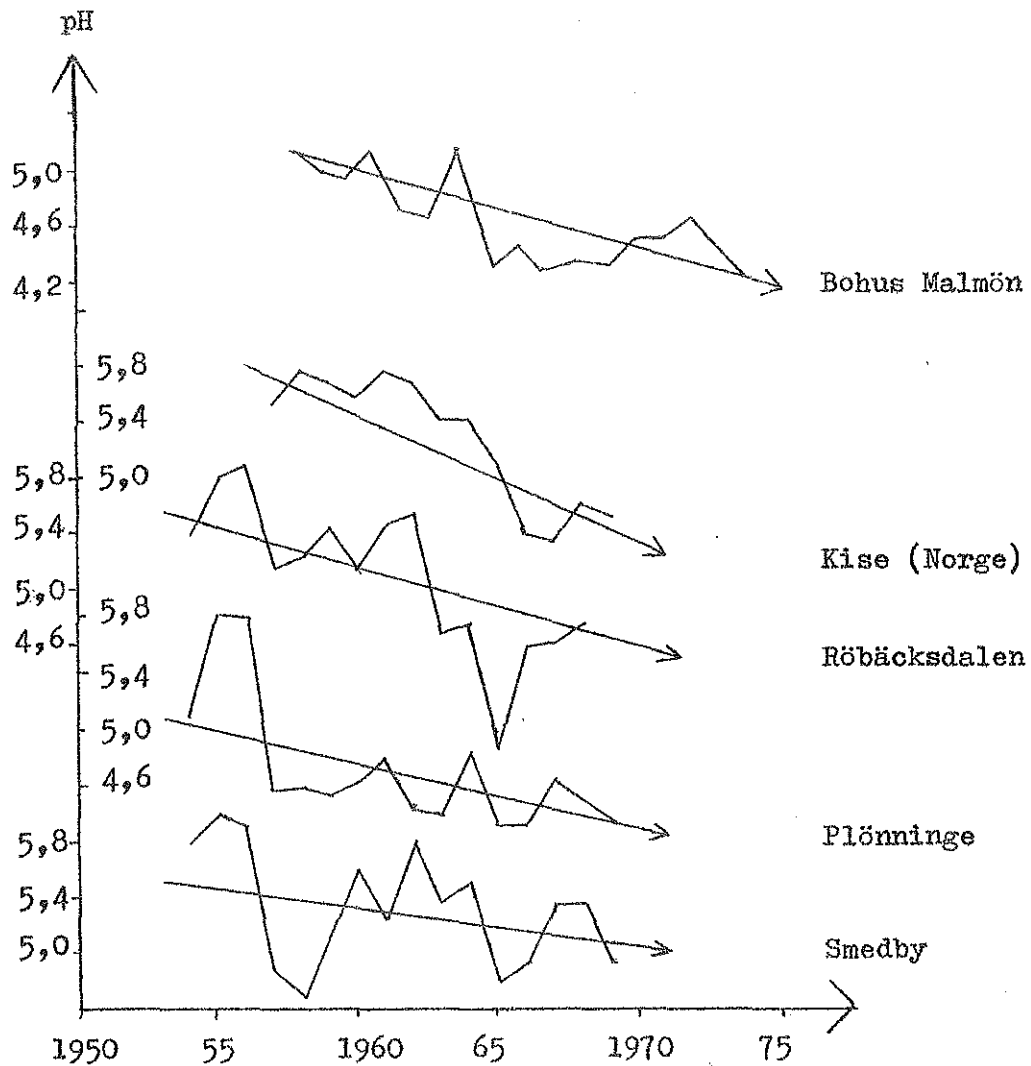


Fig. 1.4. Årsmedelvärden av pH-värdet i nederbörd vid några mätstationer i Sverige och Norge. (Efter S. Odén, Nederbördens försurning - ett generellt hot mot ekosystemen [2])

Fig. 1.5 visar fördelningen av årsnederbördens pH-värde i Europa. Man kan även här se hur försurningen har ökat med åren. En annan sak, som bör observeras, är försurningens centrum i området kring Belgien och Holland samt försurningens successiva utbredning mot de skandinaviska länderna. Under kortare perioder kan mycket låga pH-värden erhållas, som exempel har vid svenska västkusten värden under 3 uppmätts i enstaka regn.

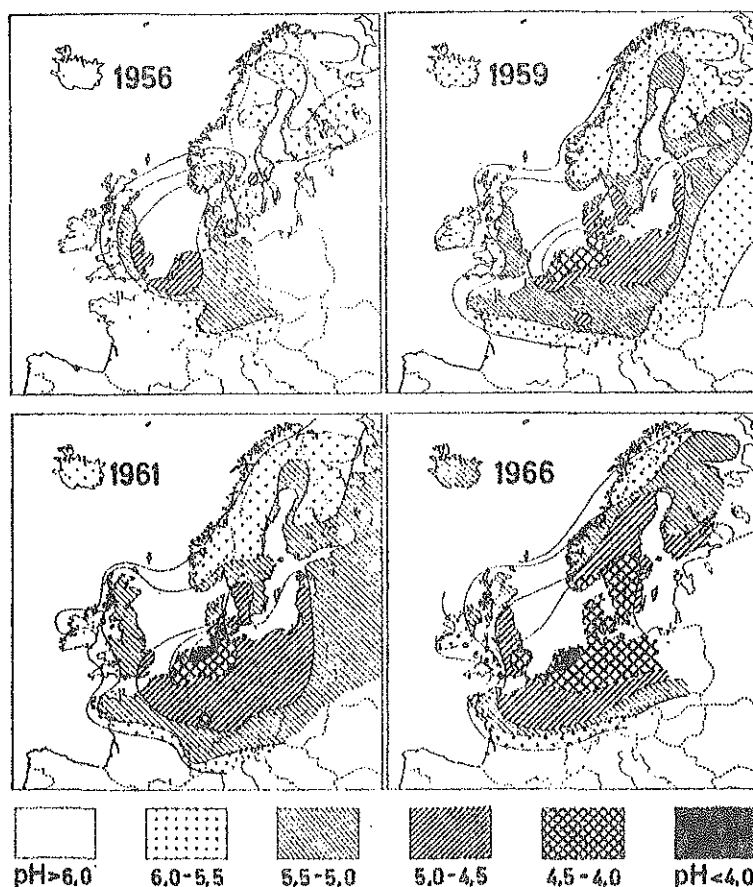


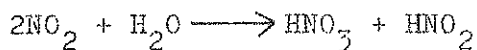
Fig. 1.5. Kartorna visar den areala fördelningen av årsnederbördens pH-värde inom Europa för åren 1956, —59, —61 och —66. Observera den ökade försurningen av nederbörden med åren, läget av försurningens centrum samt försurningens utbredning i vindriktningen mot Skandinavien. Ryskt datamaterial för två år klargör försurningens koncentriska utbredning från de centraleuropeiska industriområdena. Kartorna utförda av förf. på basis av det samlade atmosfärskemiska datamaterialet.

Ur S. Odén, Nederbördens försurning - ett generellt hot mot ekosystemen [2])

Att försurningen ej uppmärksamats i lika hög grad på kontinenten som i Skandinavien beror på att dessa länder har en geologi som gör att marken är mindre känslig mot försurande ämnen. Dessa länder har dessutom ett litet antal sjöar.

De ämnen som har en försurande effekt är främst de svavel- och kväveoxider, som bildas vid förbränning av fossila bränslen som t ex olja, kol och koks. De största emittenterna är värme- och kraftanläggningar,

industrin samt motorfordon. Forskningen har hittills koncentrerats på svavlets roll i försurningsfrågan, men på senare tid har man börjat misstänka att kvävedioxid (NO_2) svarar för en stor del av försurningen. Kvävedioxid är mycket starkt oxiderande. Den reagerar med luftfuktighet under bildning av salpetersyra och salpetersyrlighet.



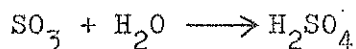
Denna reaktion är 680 gånger surare än svaveldioxidens reaktion med luftfuktighet. En del bedömare har på grundval härav ansett att kvävedioxidutsläpp är en huvudorsak för påvisad nederbördsförsurning, medan andra ansett kvävedioxidens bidrag vara ungefär 25 % [4].

Svavel förekommer i olika former i atmosfären t ex sulfatjon (SO_4^{2-}), svaveldioxid (SO_2) och svavelväte (H_2S).

Svaveldioxiden i atmosfären oxideras under inverkan av solstrålning till svaveltrioxid, enligt formeln



Svaveltrioxid förenar sig mycket lätt med vatten och vattenånga, varvid svavelsyra H_2SO_4 bildas.



Vid nederbördstillfällena sköljs svavelsyran ut ur luften och tillförs mark och vatten.

Vårt viktigaste bränsle idag är oljan. Oljans svavelhalt är av stor betydelse, eftersom nästan allt svavel återfinns i rökgaserna, som svaveldioxid eller svaveltrioxid. Vid förbränning bildas ungefär 20 kg svaveldioxid per ton olja och procent svavel i oljan [5].

Den olja som används mest i Sverige är normalsvavlig, d v s den innehåller ungefär 2,5 % svavel. Lågsvavlig olja, som används i storstadsområden, innehåller maximalt 1 % svavel. Sveriges totala svaveldioxidutsläpp var 1973 drygt 1 miljon ton, där eldningsoljan för uppvärmning svarade för ca 50 % och kraftindustrin för ca 20 %. Resterande del härör från industriprocesser, motorfordon m.m. [6]. Om en miljon ton emitterad SO_2 skulle neutraliseras med kalk skulle det åtgå 870 000 ton CaO .

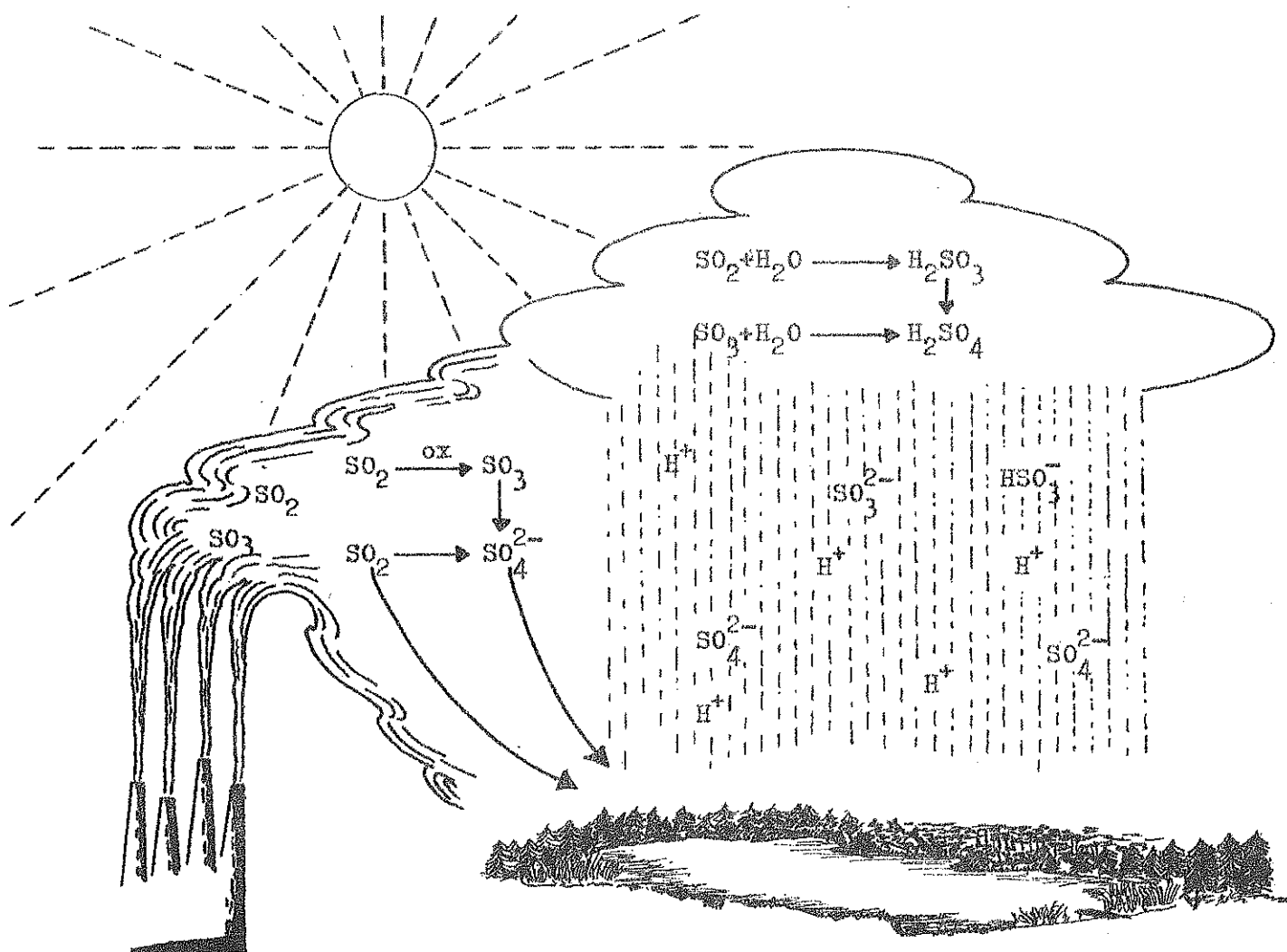


Fig. 1.6. Schematisk bild av svavelemissionens inverkan på nederbördens försurning.

Totalt släpps i hela världen ut ungefär 80 miljoner ton svaveldioxid per år från mänskliga aktiviteter. Detta utgör endast 10-20 % av svavelemissionen till luften från naturliga källor, som till exempel organiska förrottnelseprocesser och vulkaner. Då denna naturliga emission kan antas balanseras i det globala ekosystemet, är endast antropogena d v s mänskligt betingade svavelutsläpp av intresse för försurningsproblematiken.

Det bör påpekas att de antropogena svavelutsläppen är koncentrerade till de industrialiserade delarna av världen. Nordväst- och Centraleuropa, som utgör endast 1 % av totala jordytan, svarar för 20 % av det totala utsläppet från mänsklig aktivitet.

Spridningsförloppet av svaveldioxid är svårt att helt klargöra. Bland forskare råder delade meningar om vad som styr detta förlopp. Klart står dock att svavlet kan transporteras långa sträckor, troligen över hundra mil [7]. För t ex England har konstaterats att 80 % av svavel-emissionen transporteras med vindar till Skandinavien och Centraleuropa. En undersökning i Uppsala visar vidare att 1 o/oo emitterat svavel utfaller inom stadskärnan och 1 % inom en radie av 10 km. Halva mängden har utfallit inom 100 km radie. Resten sprids på större avstånd, trots att utsläppen i detta fall skett på låg höjd [2].

Med anledning av svalets långa transportsträckor skiljer man mellan närdeposition och fjärrdeposition. Det intressanta i detta sammanhang är att fastställa hur stor del av svavelnedfallet, som kan härledas till inhemska respektive utländska källor. Ett exakt värde torde ej gå att fastställa, då fördelningen sannolikt varierar på grund av klimatologiska faktorer. Man är på forskarhåll säker på att mer än hälften, kanske ända upp till 85 %, kan hänföras till utländska källor [8]. Under de senaste 20 åren har svaveltillförseln över Sydsverige fördubblats. Studerar man syranedfallets fördelning finner man att denna är störst längs kustlinjen mot övriga Europa. Se fig. 1.7.

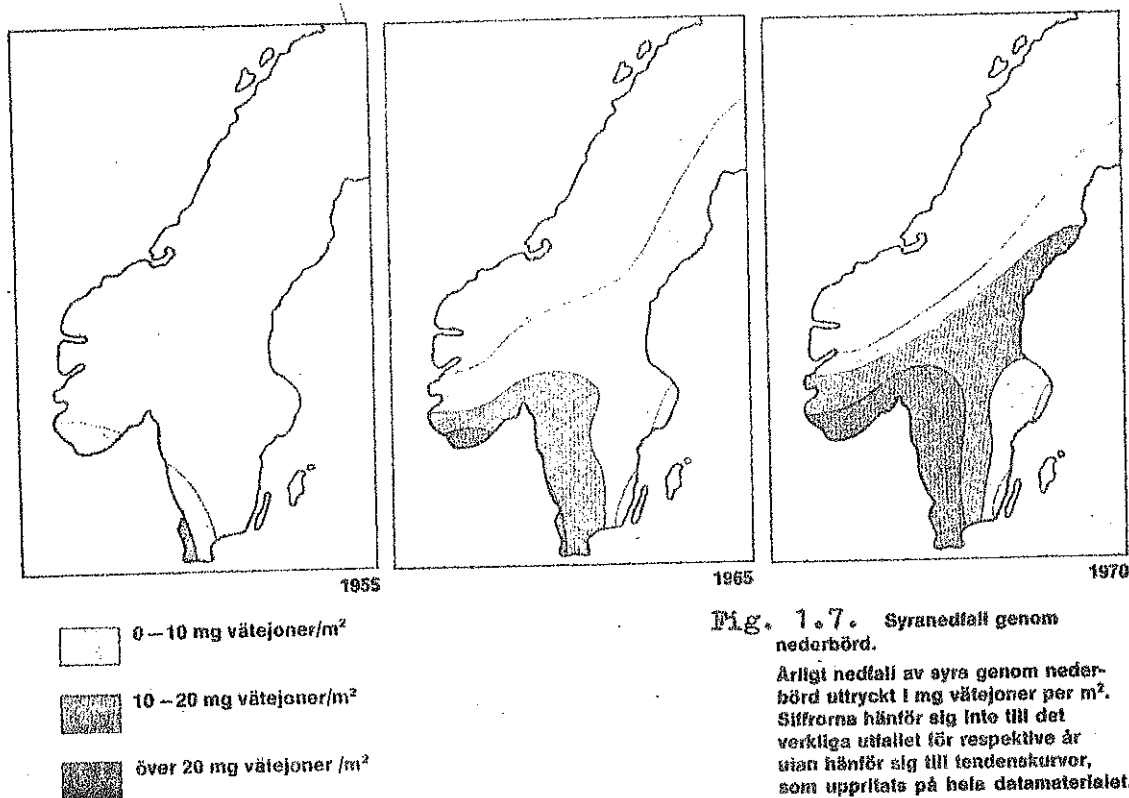


Fig. 1.7. Syranedfall genom nederbörd.

Årligt nedfall av syra genom nederbörd uttryckt i mg vätejoner per m². Siffrorna hänför sig inte till det verkliga utfallet för respektive år utan hänför sig till tendenskurvor, som upprättats på hela datamaterialet.

Källa: Air Pollution Across National Boundaries. The Impact on the Environment of Sulphur in Air and Precipitation. (Rapport till FN:s generalsekreterare, utarbetad under ledning av prof. Bert Bolin, Stockholm 1971.)

(Ur SOU 1971:75, Hushållning med mark och vatten [3])

En jämförelse med fig. 1.3 visar att det är inom denna zon man också finner de suraste jordarna. För att få aktuella värden på syranedfallet genom nederbörd kan man anta att 1970 års värden i fig. 1.7 kan ökas med 30 %. Detta innebär att för Västsveriges del är syranedfallet genom nederbörd mer än 15 kg svavelsyra per ha och år. Detta behandlas utförligare i kapitel 3.2.

Närmaste nederbördsstation till Östra Nedsjön, där pH-mätningar utförs på nederbörd, ligger på Bohus-Malmön på ca 10 mils avstånd. Se fig. 1.4.

1.2.3 Jord- och skogsbruk

För att motverka jordens försurning behövs kalk, eftersom den neutraliserar syror i jorden. Man anser att 40 % av vår åkerareal är i behov av grundkalkning, d v s en förbättring av jordens pH-status och att 80 % är i behov av underhållskalkning, d v s ersättning för förluster främst genom urlakning [9]. En undersökning utförd av lantbrukshögskolan visar

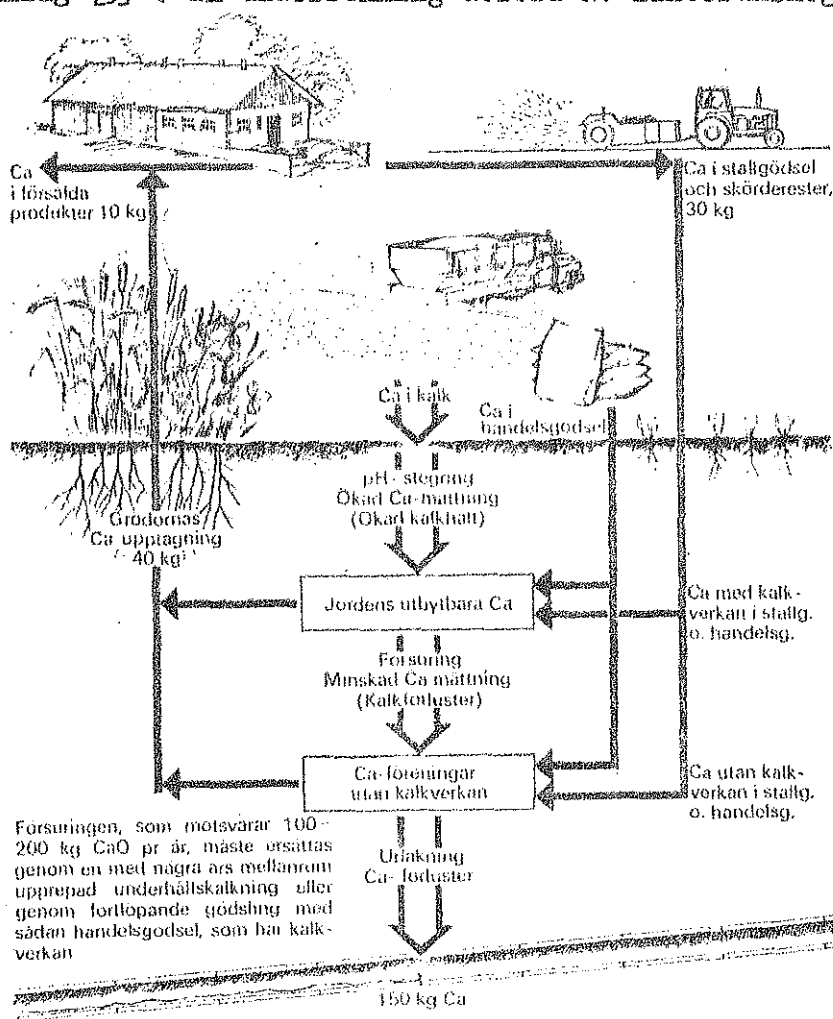


Fig. 1.8. Åkerjordens kalk- och kalciumbalans. Siffror i kilo per ha och år. Efter S L Jansson. (Ur Troedsson - Nyqvist Marklära och Markvård)

att, från otjälad och obevuxen mark, urlakas i medeltal en kalciummängd motsvarande 78 kg kalciumoxid (CaO) per hektar och 100 mm nederbörd [10]. Det är rimligt att anta att 200-300 mm nederbörd faller under den tid av året då åkerjorden är otjälad och obevuxen. Detta medför ett behov av underhållskalkning på 150-250 kg CaO/ha. år.

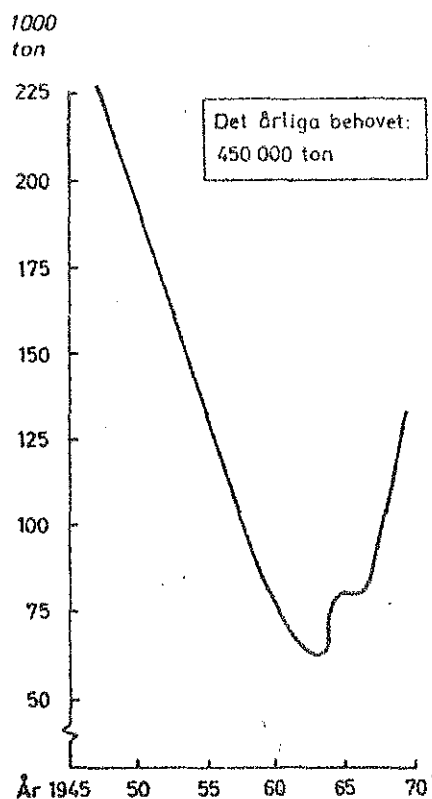


Fig. 1.9. Totalförbrukning av kalk (CaO) i Sverige 1945-1969, 1000 ton. (Ur Ericsson-Fersson, Aktuellt om kalkning, Lantbruks-högskolan [9])

Kalkanvändningen motsvarar inte genomsnittsbehovet hos våra jordar. Eftersom försurningen ökar är underhållskalkningen mer nödvändig nu än tidigare.

År 1964 var kalkförbrukningen den lägsta sedan seklets början, 20 kg CaO/ha.år. Anledning till den minskade kalkanvändningen under 40- och 50-talen var att konstgödselmedlen, som då började användas, innehöll i medeltal 20 kg CaO/ha. Inom jordbruket ansågs att man fick den erforderliga kalkmängden på köpet vid användning av konstgödsel. Denna mängd var dock långt ifrån tillräcklig, vilket innebar att marken blev känsligare mot försurande ämnen. Under senare år har man börjat använda mer högkoncentrerade gödselmedel, som innehåller lite eller inget kalcium. Många av de idag förekommande gödselmedlen, som t ex ammonisulfat och urea, är direkt surgörande.

Kalkens effekter behandlas i kapitel 4.2.

Inte bara jordbruket, utan även det moderna skogsbruket, bidrar till den ökande försurningen. Inom jord- och skogsbruk pågår en strukturomvandling. Man planterar barrskog på mark, som tidigare varit åker och äng eller varit lövskogsbevuxen. Eftersom barrförne är fattigare på basiska och rikare på sura ämnen än lövförne, bidrar denna omvandling till den ökande försurningen [11]. Det har också konstaterats att det vatten som passerar genom barrträdkronorna och när marken har lägre pH-värde än det som passerar lövverket i en lövskog [12].

För att öka den produktiva skogsarealen har utdikning av mossar och sankmarker blivit vanlig inom skogsbruket. Vid dikning minskas vattnets uppehållstid i marken och därmed minskar möjligheterna för det sura nederbördsvattnet att neutraliseras. Dessutom tillförs det mycket sura mossvattnet direkt till sjöar och vattendrag.

Vid skogsgödsling, som man har börjat tillämpa på senare år, används, liksom inom jordbruket, sura gödselmedel. Med nuvarande skogsgödsling, med intervall på 6-8 år, beräknas risken för försurning vara liten, även om en temporär pH-sänkning kan befaras vid varje gödslingstillfälle [12].

Vid kalavverkning ökar avrinningen av det sura nederbördsvattnet från hygget med ungefär 50 %. Dessutom bildas, efter kalavverkning, stora mängder nitrat i marken, för att sedan urlakas och därigenom bidra till försurningen [12].

1.3 Skador

Svaveldioxidproblemet är inte enbart en fråga om försurning av mark och vatten, även hälsoeffekter, skador på vegetationen och ökad korrosion är allvarliga problem. I detta examensarbete är det givetvis försurning av vatten som är av störst intresse, och som tidigare nämnts är vattnets försurning intimt sammankopplad med försurning av mark.

Försurning av våra sjöar och vattendrag utarmar de limniska ekosystemen. Försurningens effekter på organismer är inte helt klarlagda. Det finns undersökningar, som visar att artantalet plankton sjunker med sjunkande pH-värde [13]. Mest känd är dock pH-värdets påverkan på fisk. Försurningen påverkar fisk både direkt och indirekt. Direkt påverkan innebär i första hand att reproduktionen störs. Rom och yngel är betydligt känsligare för låga pH-värden än äldre fisk. Mycket låga pH-värden gör vatten letalt även för äldre fisk. Bland de olika fiskarterna är det laxfiskar-

na som är känsligast, och i vissa områden som drabbats hårt har laxfiskarna helt slagits ut. En sammanställning av pH-värdets effekt på fisk finns utförd av Sötvattenlaboratoriet. Se tabell 1:1. Indirekt påverkan kommer av att tillgången på fiskföda minskar och detta sker vid ett pH-värde som ligger över det som är direkt skadligt för fisken. Detta tar sig uttryck i att fisken blir småvuxen.

Låg produktion av plankton och andra organismer gör att sura sjöar blir näringsfattiga, genom minskad planktontillgång m m, och får ett ökat siktdjup, uppemot 15 meter. Detta skulle kunna kallas oligotrofiering. Se fig. 1.10.

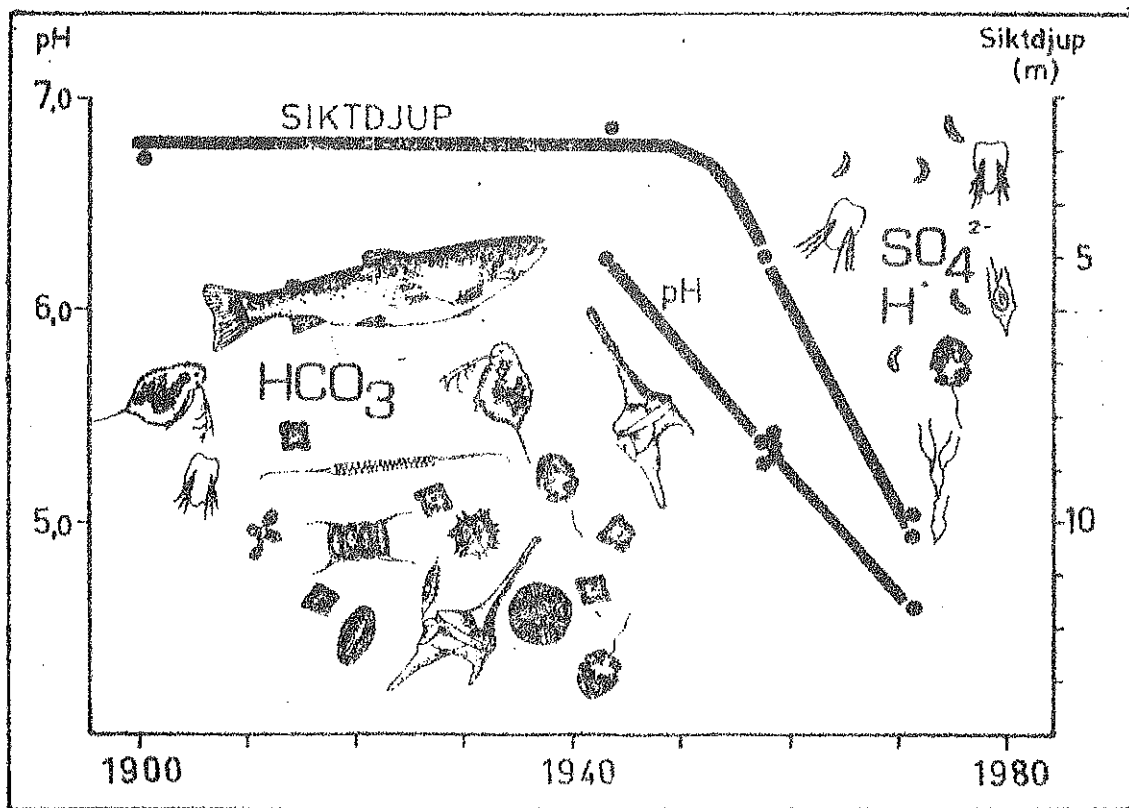


Fig. 1.10. Samband försurning - pH, siktdjup och biomassa. Exemplet hämtat från St. Skarsjön (Ljungskile). (Ur Försurningens inverkan på västkustsjöar, SNV 1973:7 [13])

Tabell 1:1 Summering av pH-värdets effekt på fisk
(Sötvattenlaboratoriet i Drottningholm)

pH-område	Effekt
3,0 - 3,5	Det är osannolikt att någon fisk kan överleva mer än några timmar inom detta område, trots att vissa växter och ryggradslösa djur kan existera vid ännu lägre pH.
3,5 - 4,0	Området är letalt för salmonider. Det finns bevis för att mört, sutare, abborre och gädda kan överleva inom området, antagligen efter att först ha acklimatiserat sig till något högre och icke letala pH, men den lägre gränsen i området kan dock vara letalt för mört.
4,0 - 4,5	Sannolikt skadligt för salmonider, sutare, braxen, mört, guldfisk och karp som inte tidigare har acklimatiserat sig till låga pH-värden, men motståndskraften för detta pH-område ökar med fiskens storlek och ålder. Fisken kan acklimatisera sig till dessa nivåer, men endast mört och gädda kan fortplanta sig av de fyra arterna abborre, braxen, mört och gädda.
4,5 - 5,0	Troligen skadligt för rom och yngel av salmonider, och i det långa loppet är fortvarighet av dessa pH-värden skadligt för ett fiske som baseras på nämnda arter. Karp kan skadas.
5,0 - 6,0	Är sannolikt inte skadligt för någon fiskart förutsatt att koncentrationen av fri koldioxid inte är större än 20 ppm och förutsatt att vattnet inte innehåller järnsalter, som fälls ut som ferrihydroxid. Hydroxidens giftighet är inte känd.
6,0 - 6,5	Är sannolikt inte skadligt för fisk om inte mer än 100 ppm fri koldioxid är närvarande.
6,5 - 9,0	Oskadlig för fisk men toxiciteten hos andra gifter kan påverkas av pH-ändringar inom detta område.
9,0 - 9,5	Sannolikt skadlig för salmonider och abborre om pH kvarstår på denna nivå under en avsevärd tid.
9,5 - 10,0	Letalt för salmonider om pH kvarstår på denna nivå under en längre tid, men kan uthärdas under korta perioder. Är möjligen skadligt för vissa arters utvecklingsstadier.
10,0 - 10,5	Kan uthärdas av mört och salmonider under kortare perioder men är letalt vid längre tids inverkan.
10,5 - 11,0	Snabbt letalt för salmonider. Förlängd vistelse i pH vid områdets övre gräns verkar letalt på karp, sutare, guldfisk och gädda.
11,0 - 11,5	Snabbt letalt för alla fiskarter.

Andra följder av vattnets försurning kan vara värdeminskning av sjöar som råvattentäkter. pH-värden under 5,5 medför betydligt ökade kostnader vid renvattenframställning. Vid låga pH-värden ökar dessutom korrosionen på vattenledningar m.m.

1.4 Åtgärder

Eftersom huvudorsaken till försurningen kan härledas till svavelutsläpp, måste den riktiga åtgärden på lång sikt vara att minska dessa utsläpp. Detta kan göras på två olika sätt, antingen genom rening av rökgaserna eller också genom eldning med lågsvavlig olja.

Rökgasrening innebär avskiljning av svaveldioxid. Utveckling av sådan utrustning ägnas för närvarande stort intresse världen över och vid stora emittenter kan rökgasrening bli ett både lämpligt och konkurrenskraftigt alternativ. En nackdel med rökgasrening är de stora slammängder som måste tas om hand. Till exempel vid den anläggning för rökgasavsvavling som finns vid Södersjukhuset i Stockholm, där man reducerar svavel-dioxidhalten med 97 %, får man en slammängd på 1,5 ton/h. Allmänt kan man räkna med en slammängd på 75 kg per m³ olja och procent svavel [5].

Med lågsvavlig olja avses olja med en svavelhalt av maximalt 1 %. Det finns naturligt lågsvavliga oljor på marknaden, men den största mängden olja, som saluförs, har högre svavelhalt, och olja med ända upp till 5 % svavelhalt förekommer. Man skiljer på tunna och tjocka eldningsoljor. Den tunnolja som säljs i Sverige innehåller i genomsnitt 0,5 % svavel, medan svavelhalten i tjockolja är ca 2,5 % i genomsnitt. En process för avsvavling av tunn eldningsolja är i allmänt bruk inom oljeindustrin. Det är vid avsvavling av de tjocka eldningsoljorna som man har stött på tekniska problem. Nya metoder är dock under utveckling, bl a en svensk metod där man vid Shells raffinaderi i Göteborg kan avsvavla tjockolja ända ned till 0,4 % svavelhalt.

På Statens Naturvårdsverks (SNV) initiativ förbjöds den 1 juli 1969 all användning av eldningsoljor med svavelhalt högre än 2,5 %, om ej tillfredsställande rökgasrening fanns. Hösten 1971 presenterade SNV ett nedtrappningsprogram där målsättningen för 1980 var att svavelhalten i tjockolja skulle sänkas till maximalt 1 %, såvida ej rökgasrening fanns, och svavelhalten i tunn eldningsolja och dieselolja till maximalt 0,1 %. Det höga priset på lågsvavlig olja samt det skärpta försörjningsläget har gjort det ekonomiskt omöjligt att följa nedtrappningsprogrammet, och SNV har tvingats lämna ett flertal dispenser.

Om den målsättning som satts upp av SNV trots allt kommer att kunna hållas, innebär detta att totala svavelutsläppet 1980 ej ligger över 1970 års värden, som var 950 000 ton svaveldioxid, där drygt 80 % beror på eldning med olja. Detta innebär dock inte någon lösning på försurningsproblemet utan endast att man lyckats hejda den ökade försurnings- takten av mark och vatten, som kan hänföras till inhemskt svavelutsläpp. Detta får ändå anses som ett steg i rätt riktning, även om målsättningen inte uppnås förrän in på 80-talet. Enligt SNV innebär nedtrappningspro- grammet en kostnad av i genomsnitt 50 milj. kronor per år under en tio- årsperiod vid en merkostnad av 30-40 kr per ton lågsvavlig olja. Efter 1980 blir den årliga merkostnaden 500 milj. kronor per år, jämfört med oförändrad användning av normalsvavlig olja.

Det är tveksamt om det svenska svavelnedtrappningsprogrammet kommer att få önskad effekt om inte andra länder i Europa följer Sveriges exempel, då enligt vissa forskare endast 15-40 % av svavelnedfallet i Västsverige kommer från inhemska källor. Även om dessa siffror skulle vara för låga, är det helt klart att en stor del av nedfallet kommer utifrån. Det ford- ras alltså även internationella åtgärder mot svavelutsläppen. Problemen på detta område är mycket stora, varför en lösning endast kan ses på sikt. Om man lyckas åstadkomma en sänkning av totala svavelnedfallet, genom in- ternationella åtgärder, är det sannolikt, att sjöar och vattendrag så småningom kommer att återställa sig själva, förutsatt att försurningen ej gått för långt. Denna återställningsprocess tar förmodligen mycket lång tid.

I väntan på ett internationellt åtgärdsprogram och kanske en slutgiltig lösning av svavelfrågan, är man hänvisad till lokala åtgärder för att motverka försurningen. Detta har i huvudsak skett genom kalkning av sjöar och omgivande terräng, vilket höjer pH-värdet och alkaliniteten. Kalk behandlas i kapitel 4.

I sjöar som drabbats hårt av försurning är kalkning inte alltid till- räckligt. Man måste ofta även vidtaga särskilda åtgärder, för att åter- ställa sjöns biologiska status.

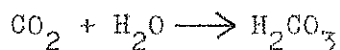
Kalkning av våra vatten medför många problem, av både teknisk och ekono- misk art. Kalk är ett relativt billigt ämne, men spridning av den kan bli kostnadskrävande. På grund av vattenomsättning och tillskott i syra- nedfall, kan kalkning direkt i sjöar tänkas få relativt kort verkan. En strävan vid kalkning är att få så långvarig effekt som möjligt, samti- digt som man vill ha en snabb verkan. Ett sätt att erhålla långtidsverkan

är att kalka i och intill tillrinnande vattendrag. Någon i detalj utarbetad metod för en sådan kalkning finns ej för närvarande. I kapitel 8 och 9 lämnas synpunkter på hur en kalkning med långtidsverkan bör genomföras.

Andra åtgärder som bör vidtagas mot försurningen är att minska de sura utsläppen, från industrier och reningsverk, i recipienter. En övergång från sura fällningsmedel, såsom aluminiumsulfat, till kalk skulle ge, det till recipienten avrinnande avloppsvattnet, ett högre pH-värde och ett stort basöverskott. Kalkslammet skulle dessutom kunna spridas inom de sura sjöarnas tillrinningsområden.

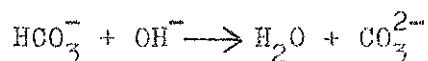
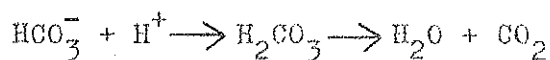
1.5 Försurningsteori

En ökning av vätejonkoncentrationen i en lösning ger upphov till ett lägre pH-värde. pH-värdet definieras som den negativa logaritmen av vätejonkoncentrationen. Påpekas bör att en ökning, alternativt minskning, av pH-värdet med en enhet innebär 10 gånger lägre respektive högre vätejonkoncentration. pH-värdet för rent vatten är 7, men sådant vatten är svårt att framställa. Nederbördsvatten får i allmänhet ett pH på omkring 5,6 beroende på enbart luftens innehåll av koldioxid, som i liten mängd löses i vatten under bildning av kolsyra.



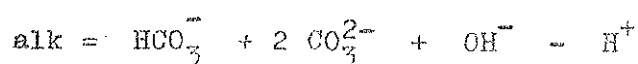
Naturliga vatten innehåller lösta, dissocierade salter. En del av dessa ger upphov till ett motstånd mot pH-förändringar. De kallas för buffertämnen. Den viktigaste lösta buffertsubstansen i naturliga vatten är bikarbonatjonen, HCO_3^- .

Buffertverkan kan uttryckas:



Hårda, kalrika vatten innehåller som regel en hög andel av bikarbonatjoner och är mindre känsliga gentemot syratillsats. Mjuka, kalkfattiga vatten har låg bikarbonathalt och är ytterst känsliga gentemot syratillsats.

Alkalinitet är ett mått på förekomsten av basiska ämnen och definieras som



Vid pH-förhållanden under pH 7 gäller

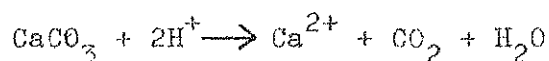
$$\text{alk} = \text{HCO}_3^- - \text{H}^+$$

Inom intervallet pH 6-7 är

$$\text{alk} \approx \text{HCO}_3^-$$

Alkaliniteten avtar snabbt i sjöar med lägre pH-värde än 5,5 och saknas så gott som helt vid lägre pH än 5,0. En minskning i alkalinitet kan orsakas dels genom utspädning med regnvatten, som har ingen eller liten alkalinitet, dels genom tillsats av syra starkare än kolsyra.

Bikarbonatsystemet, HCO_3^- , är i sötvatten det enda lösta buffertsystem man behöver ta hänsyn till. Däremot finns i marken fasta buffertsystem, som har betydligt högre buffertkapacitet, t ex kalciumkarbonat (CaCO_3).



Dessa system är däremot trögare än bikarbonatsystemet. Man förstår av detta att ju längre det försurade nederbördsvattnet står i kontakt med marken desto bättre kan dessa fasta buffertsystem reagera och återställa syra-basbalansen.

De försurande faktorerna

Som tidigare nämnts fås en pH-sänkning, enbart av luftens koldioxid, till omkring 5,6. Nederbördsanalyser har visat att i Västsverige ligger regnvattnets pH-värde mellan 4-5. Syrabelastningen genom nederbörd ligger för Västsveriges del mellan 300-400 ekvivalenter H_2SO_4 /ha • år. En ekvivalent svavelsyra är 49 g H_2SO_4 . Detta innebär ett nedfall av 15-20 kg H_2SO_4 /ha • år. Dessutom tillkommer en torrdeposition av svavel. Mängder och spridningsförlopp är föga kända och några detaljerade värden finns ej.

I marken pågår ständigt processer, vilka ytterligare höjer vätejonkoncentrationen. Dessa processer är dels av kemisk, dels av biologisk natur. I de övre marklagren sker oxidativa processer under CO_2 -avgivning. Markens CO_2 -halt är därför mycket högre än vid jämviktsläget med atmosfären. Den ökade kolsyrehalten i markvattnet medför härigenom en stark urlakning av baser i marken. De bildade sura ämnena neutraliseras mer och mer ju längre vattnet tränger ned i marken. Detta medför ett lägre pH i ytlagren än längre ned i markprofilen.

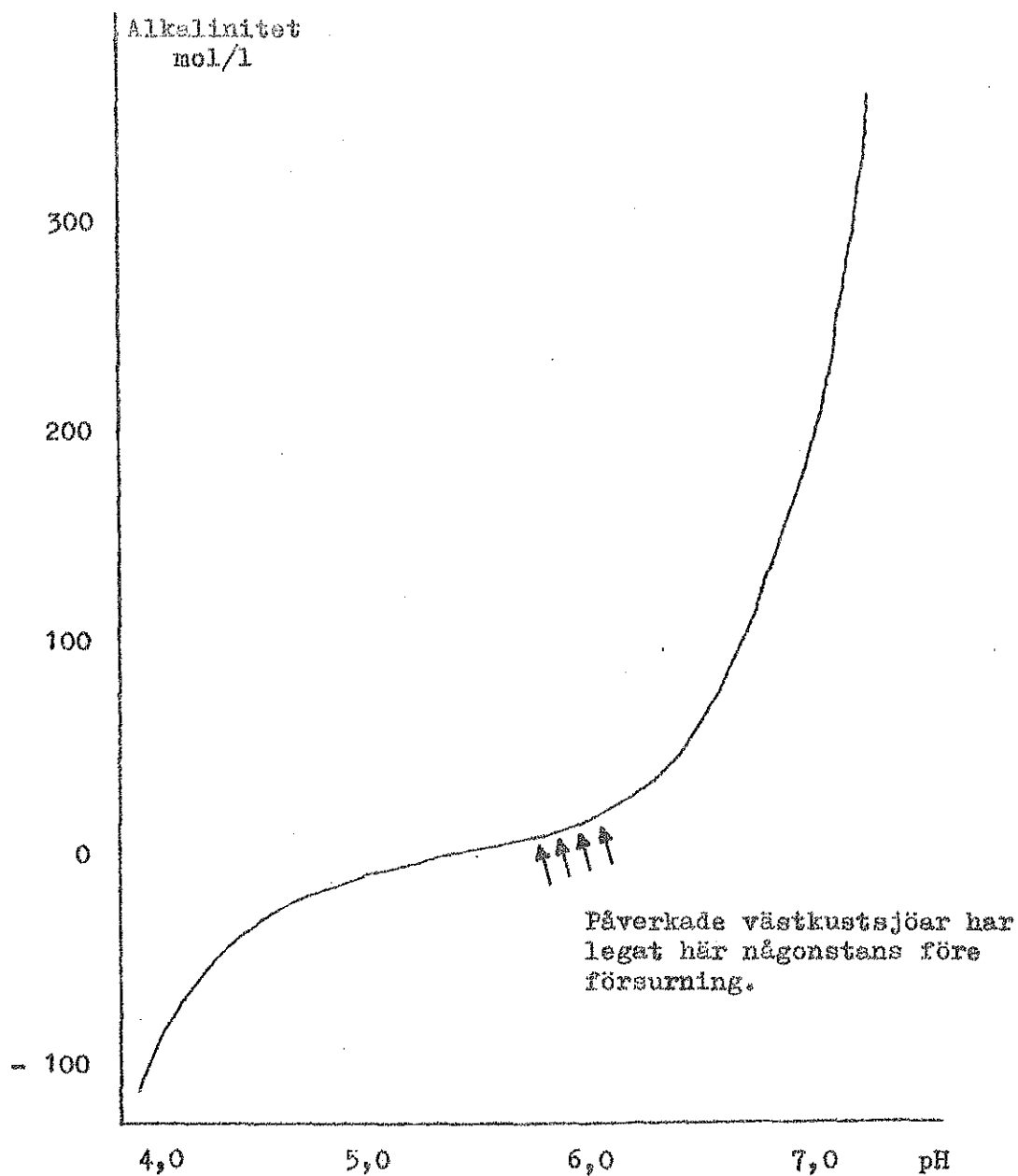


Fig. 1.11.

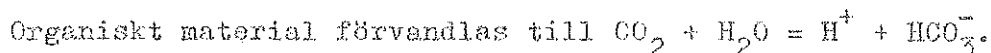
Samband mellan pH och alkalinitet i nederbörd och i sjöar, vars pH och alkalinitet följer nederbördens.

Ann. Alkalinitet är mätt på förekomsten av basiska ämnen; över $\text{pH} = 5,6$ uttryckt som ekvivalenter HCO_3^- , under som H_3O^+ med negativt tecken.

(Ur A Karlén, Släpp ut svavlet när utspädningsförhållandena är goda).

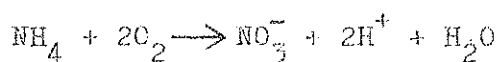
Följande naturliga markreaktioner är av vikt för försurnings skeendet:

1. Markrespiration.



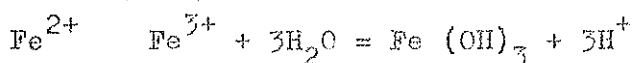
Denna process sker också i sjöar och sjösediment.

2. Ammonium oxideras till nitrit och nitrat i luftad jord, vilket leder till försurning.



Detta sker bl a vid användning av ammoniumhaltiga gödningsmedel.

3. Tvåvärt järn oxideras till trevärt järn, vilket protolyserar vatten.



Denna reaktion inträffar på kalhyggen när podsoler friläggs och för-
anleder antingen ökat basutflöde eller försurning.

4. Svavelväte oxideras till svavelsyra och sulfider oxideras till oxider, med lägre pH-värden till följd. Denna reaktion uppträder vid luftning av anaeroba, starkt reducerande markzoner i myr och skog.

1.6 Översikt över förhållanden av betydelse för försurning av sjöar och vattendrag

Om man skall vidtaga lokala åtgärder mot försurningen i form av t ex kalkning, är det viktigt att man i varje enskilt fall studerar de speciella faktorer som inverkar på försurningsförloppet. Av stor betydelse är därvid de hydrologiska faktorerna, såsom nederbörd, avrinning och vattenomsättning. Även förhärskande vindriktning, SO₂-emittenter och syranedfall är av intresse och direkta åtgärder för att minska svavelutsläppen är i första hand önskvärda. En sjös buffertkapacitet är till stor del beroende på den kemiska sammansättningen av berggrund och jordarter i tillrinningsområdet. Topografin spelar in på så sätt, att den bestämmer vattnets uppehållstid i mark, och därmed den tid vattnet står i kontakt med markens fasta buffertsystem, som är långsamma. I olika områden kan finnas faktorer av speciell art, som till exempel sura utsläpp från industrier eller reningsverk och soptippar.

2. ÖSTRA NEDSJÖN OCH DESS AVRINNINGSSOMRÅDE

2.1 Topografisk översikt

2.1.1 Avrinningsområdets läge och storlek

Östra Nedsjön är källsjö i Mölndalsåns vattensystem och är belägen i Älvsborgs län på gränsen till Sydsvenska höglandet, vid Hindås, mitt emellan Göteborg och Borås, 36 km från kusten. Avrinningsområdet omfattar enligt egen planimetrering, 41,1 km², vilket överensstämmer med den beräkning som utförts av Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI). Östra Nedsjöns yta utgör därav 7,5 km². Se fig. 2.1.

2.1.2 Marknivåer och markslag

Geomorfologiskt betecknas området som ett strukturpräglad sprickdalslandskap. Områdets medelhöjd ligger omkring +150. Några av denna trakts högsta punkter ligger invid och i avrinningsområdet, Ängelsås +243 i norra delen och Nessaråsen +233 i södra delen. Se fig. 2.1.

Östra Nedsjöns botten ligger i de djupaste delarna omkring nivån +40, vilket således innebär en nivåskillnad sjöbotten - bergstopp på 200 m. Se fig. 2.2.

Marken utgörs huvudsakligen av barrskogsbevuxen berg- och moränmark. En stor del utgörs även av mossmark, vilken som regel också är något **skogbevuxen**. Den största delen av den odlade marken finns i Morjhultsområdet. Den består där huvudsakligen av blockröjda morännytor. I de lägre delarna omkring Östra Nedsjön består åkermarken av sandjordar. Många småsjöar finns i avrinningsområdet. De största är: (Se fig. 2.1)

1. Tvättesjön	20,4 ha
2. Veresjön	15,4 "
3. S:a och L:a Hallesjön	10,1 "
4. Hagasjön	6,5 "
5. Östra Rörsjön	4,7 "
6. Morjesjön	4,3 "
7. Stora Furutjärn	3,9 "
8. Längesjön	3,2 "

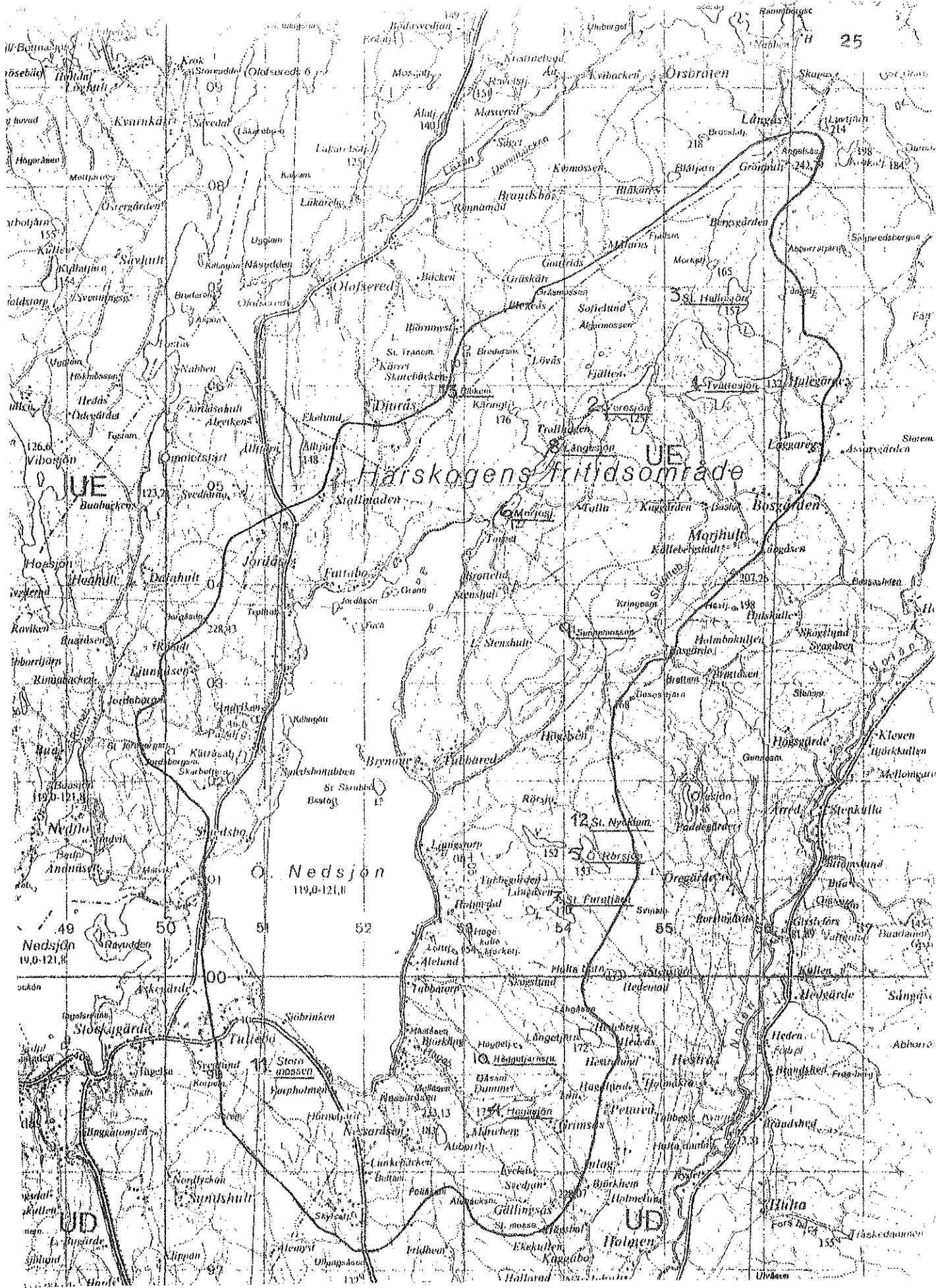
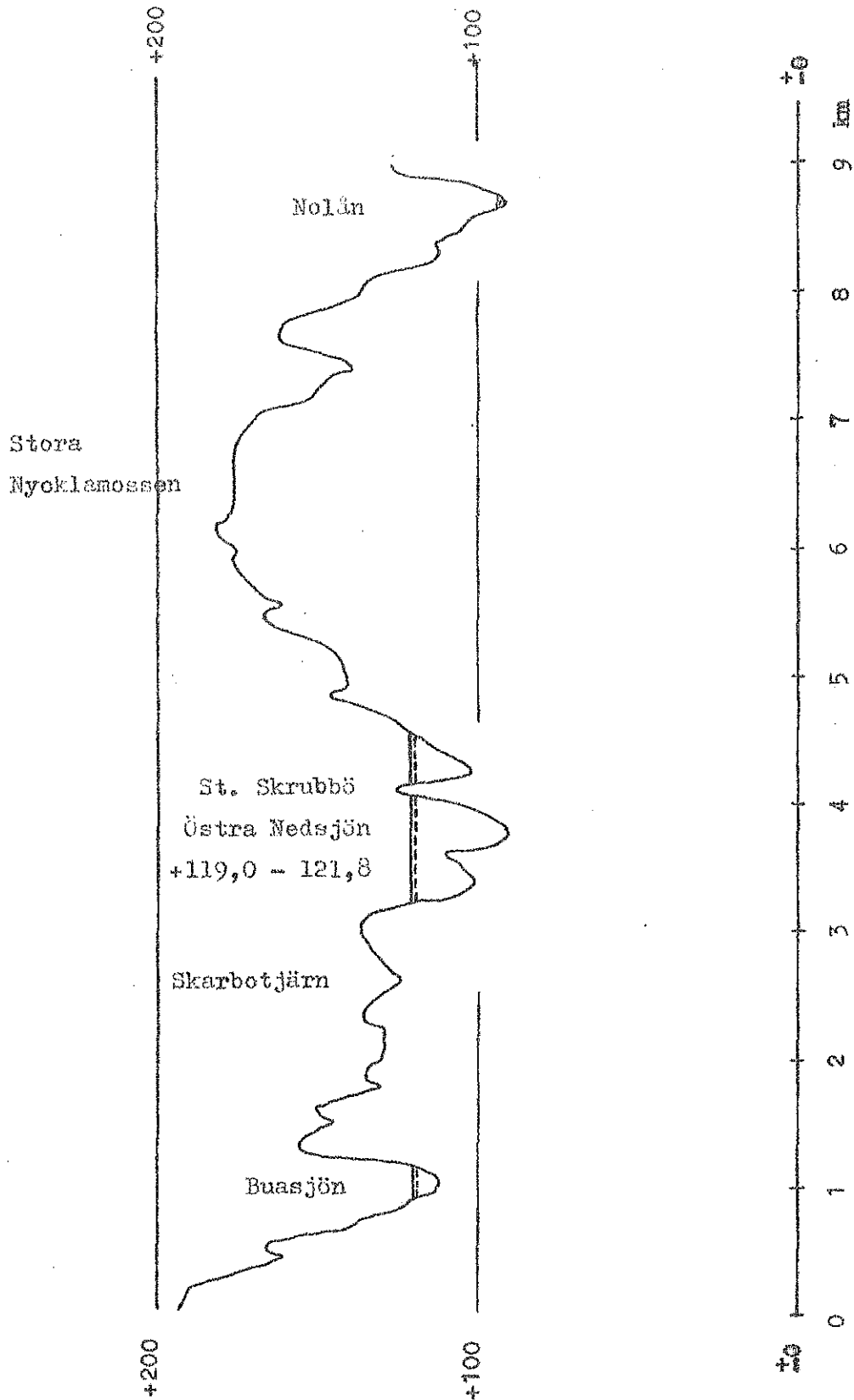


Fig. 2.1. Översigtskarta över Östra Nedsjöns avrinningsområde. Utdrag ur det topografiska kartbladet 7 C BORÅS SV. Skala 1:50000.

Figur 2.2. Profil vid Östra Nedsjön.

Höjdskala 1:2000
Längdskala 1:50000



De största mossarna är: (Se fig. 2.1)

9. Sunnamossen	22,7 ha
10. Höggetjärnmossen	20,9 "
11. Stora Mossen	20,8 "
12. Stora Nyckelmossen	19,5 "
13. Riekemossen	16,3 "

Fördelning av mark på olika markslag:

	Areal	% av avrinningsområdet
Total sjöyta	826 ha	20,1
<u>Total mossmarksyta</u>	<u>424 "</u>	<u>10,3</u>
Total våtmarksyta	1250 "	30,4
Åker- och ängsmark	220 "	5,4
<u>Skogsmark</u>	<u>2640 "</u>	<u>64,2</u>
Avrinningsområde	4110 "	100

Total våtmarksyta samt åker- och ängsmark har planimetrerats, och återstoden har antagits vara skogsmark, vari hyggen, impediment och dylikt ingår. Flera stora hyggen har iakttagits, men ytan av dessa har ej beräknats, eftersom de ej finns kartlagda.

2.2 Östra Nedsjön - en beskrivning

Sjöns areal är 750 ha (egen planimetrering). Under sommaren 1974 ekolo-
dades sjön med 590 lodskott, varvid man, vid normalt medelvattenstånd, uppmätte ett maximidjup på 76,5 m, beläget östsydost om utloppet, ungefär mitt i sjön. På de flesta ställen finns ett smalt strandbälte, utanför vilket djupet snabbt tilltar. I södra delen av sjön finns ett stort djupområde, med djup överstigande 50 m. Som Sven P. Ekman uttryckte det efter sin djuplodning 1907: "Mycket få sydsvenska sjöar med så jämförelsevis liten areal som Östra Nedsjön äger ett så djupt och vidsträckt djupområde". Medeldjupet vid normalvattenstånd är 31,4 m, vilket medför en vattenvolym på 242 milj. m³. Genom vattendom 1921 får sjön regleras mellan +119,0 och +121,8, alltså en regleringshöjd av 2,80 m.

Sjön är ur närings synpunkt, att betrakta som oligotrof, har klart vatten med siktdjup över 10 m och är näringsfattig. Strandvegetation saknas, utom på vissa mindre områden, där glasa bestånd av vass och dylikt finns. Strandskanten består till största delen av blockig mark. Längs stränderna är botten grovstenig, med inslag av sandstränder på några ställen. Sjön

pdäminner om sjöarna i barrskogsområdena i Norrland, en likhet som ytterligare förstärks av de barrskogsbeklädda bergen omkring sjön.

Sjön har ett tjugotal mindre tillflöden, varav de största är tillflödet från Morjesjön samt Tubbaredsbäcken vid Östra stranden. Östra Nedsjön avvattnas till den strax intill liggande Västra Nedsjön, genom en 200 m lång kanal. Bakström i kanalen förekommer i sällsynta fall, men saknar praktisk betydelse.

Östra Nedsjön är synnerligen värdefull ur fiskesynpunkt, eftersom den har ett av vårt lands sydligaste naturliga rödingbestånd. Förutom röding finns även öring och vitfiskarna gädda, abborre, mört samt sutare. Sjön provfiskades 1966 och resultaten redovisas i [14]. Ett nytt provfiske utfördes sommaren 1974.

2.3 Geologisk översikt

2.3.1 Berggrund

Berggrundens beskaffenhet är en viktig faktor för markens buffringsförmåga, eftersom ovanliggande jordlager är en produkt av berggrunden.

Det har visat sig, att det nästan genomgående är områden med basfattig berggrund och stor nederbörd, som har drabbats hårdast av föroreningen.

Vid undersökningstillfället pågick bergartskartering i området, utförd av Sveriges Geologiska Undersökning (SGU). Genom tillmötesgående från SGU har den nya karteringen ställts till vårt förfogande. Berggrunden i Östra Nedsjöns avrinningsområde består till största delen av rödgrå, sur suprakrustalgnejs, som är kalifältspatrik. Den är oftast ädlig och omkristalliserad. Ett visst inslag av metabasiter i form av dioritintrusioner finns i området. Se fig. 2.3. Dioritintrusionerna är mörka, vanligen massformiga bergarter. De innehåller bl a Ca-rika mineral, vilka skulle kunna ge upphov till alkaliskt vatten. Förekomsterna är dock så små att de saknar praktisk betydelse. Ett stråk väster om Östra Nedsjön består av en grå, förskiffred, något ädlig gnejs, som har en granodioritisk sammansättning. Den innehåller Ca-rika mineral, vilket gör att den inte är lika sur som den rödgrå gnejsen.

Det är viktigt att känna till att en sur bergart i sig själv ej kan ge upphov till surt vatten, utan den gör endast att marken blir känsligare mot försurande ämnen.

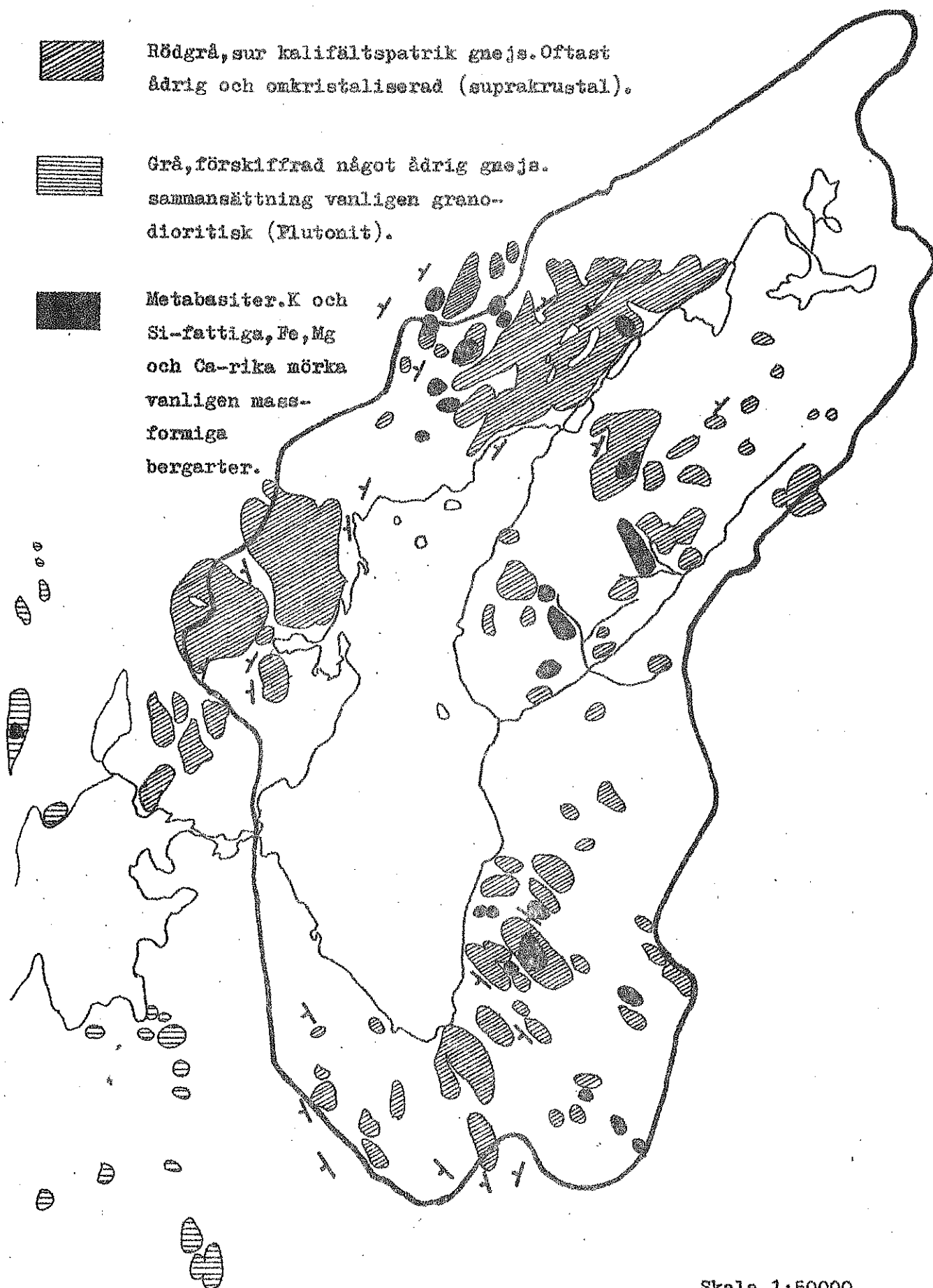


Fig. 2.3. Bergartskarta utvisande berg i dagen.

Upprättad efter SGU:s pågående bergartskartering.

Enligt SGU är berggrunden i området tät och sprickfattig, vilket medför att berggrundvattnet kan misstänkas vara relativt orörligt, jämfört med grundvattnet i de branta moränsluttningarna.

Strykningen är i norra delen huvudsakligen NO-SV orienterad, och i södra delen NV-SO orienterad.

Man kan misstänka att den djupa sjön ligger i en korsningspunkt mellan två olika spricksystem, dels ett nordost-sydvästligt som är tydligast urskiljbart i den nordvästra delen av avrinningsområdet och dels ett nordväst-sydöstligt, tydligast urskiljbart i den sydöstra delen. Detta skulle kunna vara den direkta orsaken till det djupa bäckenet som Östra Nedsjön utgör.

2.3.2 Jordarter

SGU:s nya jordartskartering har ännu inte påbörjats i detta område, varför nedanstående uppgifter grundar sig på jordartskartan från 1860-talet, nummer A b 7. Se fig. 2.4.

Jordarterna i avrinningsområdet utgörs till största delen av hårt packad morän, 62 %. Endast 7 % utgörs av isälvmaterial och den rikliga förekomsten av mossar medför att det finns 13 % torv i området. Resterande 18 % utgöres av berg i dagen. De minerogena jordarterna är en produkt av berggrunden. Isrörelseriktningen har varit nordöstlig och moränen synes, av blockmaterialet att döma, vara helt dominerad av den underliggande berggrunden. Längre upp i Västergötland finns Ca-rika mineral, men ingen transport av dessa ned till Östra Nedsjöns avrinningsområde har ägt rum och moränen är alltså korttransporterad. Två moränprov har tagits ur den grå, ovittrade bottenmoränen, då det inte kan tänkas att det finns någon naturlig kalk i ytlagret, på grund av att kalken där urlakats. Moränproverna har analyserats med avseende på kalkhalt av SGU. Båda proverna visade 0,0 % CaCO_3 . Kornstorlekssammansättningen på proverna framgår av fig. 2.5.

Berg i dagen, hårt packad morän och brant topografi medför snabb ytavrinning i samband med nederbörd. Några mätningar av avrinningens tidsförlopp har ej utförts. På nordöstra sidan verkar moränen bestå av grövre material med stora stenar och block. Ingenting bestämt kan sägas om moräntjockleken, men förmodligen har flacka områden tjockare moränlager än branta områden. De tunnare moränlagren i sluttningarna och på höjderna innehåller också grövre material, vilket ytterligare ökar avrinningen från sådana områden.

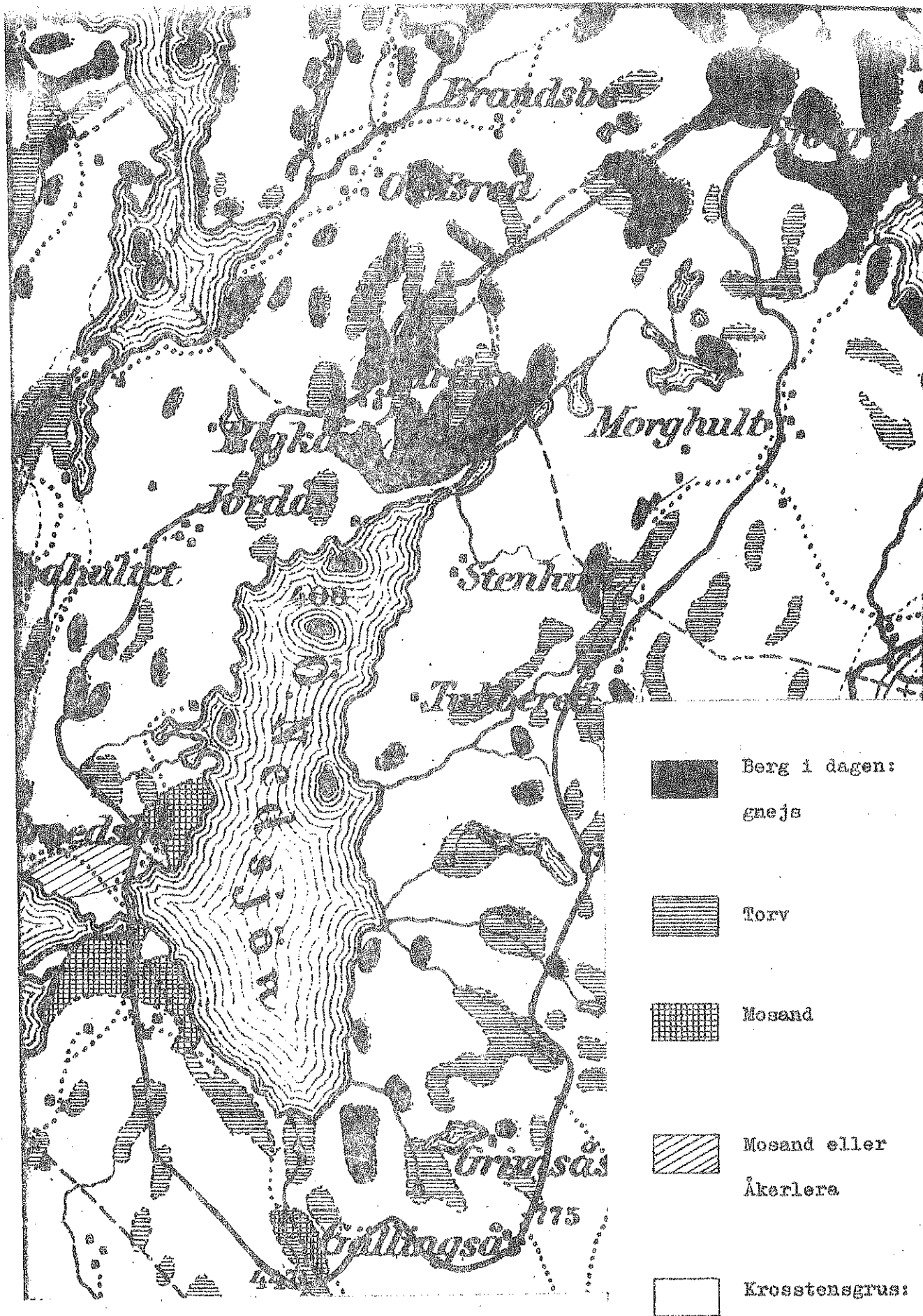
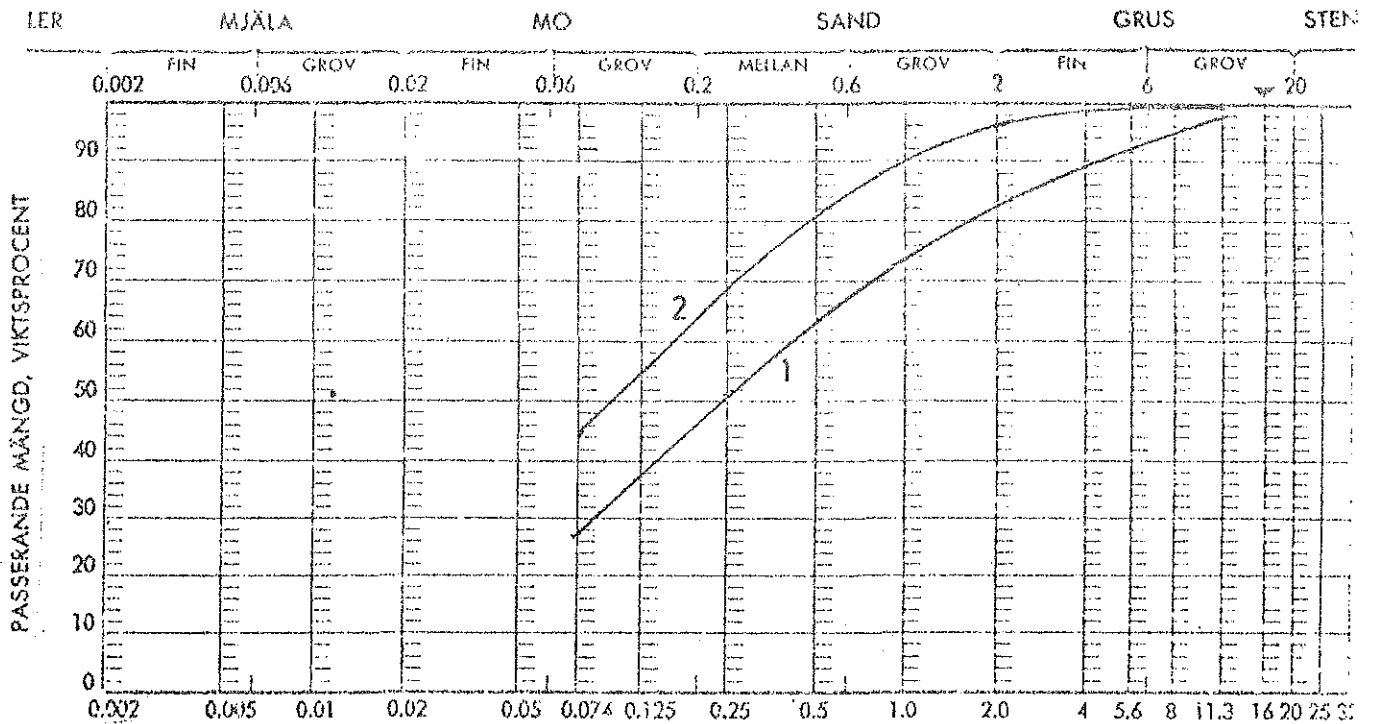


Fig. 2.4. Jordartskarta, utdrag ur det geologiska kartbladet Ab 7. Skala 1:50000.

KORNSTORLEKSDIAGRAM



Kurva	Sektion	Djup	Jordart	Tjällfarlighetsgrupp
1	södra delen		sandig moig morän	IID
2	norra delen		moig morän	III D

Fig.2.5. Kornstorleksdiagram för två moränprover från Östra Nedsjöns avrinningsområde.

2.4 Meteorologisk och hydrologisk översikt

2.4.1 Allmänt

Östra Nedsjön ligger inom ett av de nederbördsrikaste områdena i Sverige. Sjön är belägen i den södra barrskogsregionen, på gränsen till sydsvenska höglandet. Närheten till kusten gör dock att Östra Nedsjön ligger inom det område, som ur klimatologisk synpunkt räknas som lokalmaritimt. Området ligger omedelbart ovanför högsta kustlinjen.

2.4.2 Nederbörd

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI, har ett stort antal mätstationer över hela Sverige. För Östra Nedsjön är det två stationer, vars influensområde täcker avrinningsområdet nämligen, P 707 Bollebygd och P 703 Fågelns. Fr.o.m. 1971 indrogs stationen Fågelns och stationen Bollebygd fick ny beteckning och heter numera 7240 Bollebygd.

Månadsvis nederbörd i mm enligt SMHI för 7240 Bollebygd 1940-1974 redovisas i tabell 2.1 och för P 703 Fågelns 1951-1970 i tabell 2.2.

För att få ett mera representativt medelvärde på årsnederbörden för Östra Nedsjöns avrinningsområde har Thiesens utjämningsmetod använts. Tillvägagångssättet i denna metod är att man förbinder mätstationerna med räta linjer. I dessa linjers mittpunkt dras vinkelräta linjer, som då bildar polygoner kring mätpunkterna. Summan av produkten mellan varje stations nederbörd och ytan av respektive polygon delat med totala arean ger ett utjämnat värde på medelnederbörden.

Planimetrering har givit att 2610 ha lika med 63,5 % av Östra Nedsjöns nederbördsområde faller inom polygonen för stationen Fågelns och 1500 ha lika med 36,5 % av nederbördsområdet inom polygonen för stationen Bollebygd. Gemensamma värden för de två stationerna finns för åren 1951-70, varför beräkningarna utförts på värden från denna tidsperiod.

Som årsmedelvärde på nederbörden för Östra Nedsjöns avrinningsområde här erhållits 922 mm för perioden 1951-70. Beräkningsresultaten redovisas i tabell 2.3.

För att visa frekvensfördelningen för nederbörd under ett hydrologiskt år, har beräkningar utförts och frekvenskurva ritats enligt fig. 2.6 och 2.7. För att få bra resultat vid frekvensberäkningen bör man ha längsta möjliga mätserie. För stationen Bollebygd finns endast mätvärden från och med 1941, alltså en ganska kort serie. Som jämförelse har därför frekvenskurvan för närmast belägna nederbördsstation med lång mätserie, P 740 Öjared medtagits. Årsmedelvärdet för Öjared ligger visserligen 23 % under Bollebygdsvärdet. Den goda överensstämmelsen mellan kurvornas utseende ger dock att Bollebygdskurvan, trots kort mätserie, torde kunna tillämpas.

H=75 m.ö.h.

År- tal	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
1940	23	32	62	48	24	72	120	136	147	63	117	51	895
41	8	38	38	13	17	50	97	160	37	52	39	80	629
42	38	32	33	24	56	28	78	71	112	101	55	110	738
43	113	138	59	65	33	91	68	134	81	96	107	80	1065
44	149	31	36	50	60	60	110	58	208	81	148	108	1099
45	125	78	46	28	66	64	97	141	57	78	40	57	877
46	73	87	18	40	37	162	92	111	197	27	115	57	1016
47	27	8	60	72	0	68	94	4	78	25	126	40	602
48	87	65	44	73	30	50	58	170	94	108	70	88	937
49	145	45	28	114	71	60	62	115	32	235	85	243	1235
50	40	99	60	100	42	84	78	84	162	104	126	64	1043
51	112	64	68	149	7	23	52	136	74	18	101	156	960
52	60	37	15	59	51	64	86	144	117	119	51	73	876
53	73	41	31	89	66	136	137	181	140	53	107	55	1109
54	100	34	91	27	113	138	88	71	193	182	116	110	1263
55	63	29	24	32	126	39	32	67	90	115	36	151	804
56	89	20	23	28	45	100	94	114	65	67	54	110	809
57	88	91	66	40	37	56	61	189	186	152	41	74	1081
58	51	91	15	26	68	52	133	104	31	89	59	122	841
59	141	22	48	105	44	48	65	30	66	111	56	97	833
60	121	52	16	47	32	109	190	124	46	50	163	152	1102
61	66	49	53	46	54	108	123	111	76	123	110	57	976
62	116	105	34	85	82	74	77	231	126	77	69	69	1145
63	8	7	37	48	57	44	77	167	70	136	169	41	861
64	52	33	4	57	42	87	129	47	78	173	68	165	931
65	102	26	30	43	45	104	128	90	143	67	50	102	930
66	33	81	96	52	52	48	57	88	98	105	95	114	919
67	102	90	95	66	70	86	57	94	120	264	68	82	1194
68	76	34	104	82	69	99	77	58	47	147	77	32	902
69	78	24	35	40	153	36	23	83	98	38	174	18	800
70	24	25	73	73	46	73	93	32	98	160	93	44	834
71	76	57	51	52	20	85	73	111	63	95	124	59	866
72	19	23	29	68	91	115	99	63	23	38	134	135	837
73	56	100	26	71	67	33	50	76	80	44	131	94	828
74	88	58	31	0	30	22							

Tabell 2.2. Nederbörd i mm vid P703 Fågelns N 57 46' / 0 12 25'

H=110 m.ö.h.

År- tal	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
1951	105	58	70	105	15	27	52	116	64	14	94	146	876
52	60	46	12	54	48	57	65	124	98	112	52	59	787
53	64	47	16	81	62	131	122	192	158	57	92	52	1074
54	96	25	92	18	67	98	61	53	174	168	100	91	1043
55	55	27	16	22	100	17	20	48	85	99	35	132	656
56	75	22	21	28	36	78	96	103	50	64	56	102	731
57	78	83	53	29	30	51	63	124	189	120	39	55	914
58	53	86	16	21	55	48	139	87	32	72	52	92	765
59	116	22	43	98	40	40	32	24	62	110	58	85	730
60	111	38	18	54	30	70	139	157	37	38	131	152	975
61	74	42	40	37	46	99	120	83	77	97	115	60	890
62	118	98	50	76	64	52	76	194	117	82	71	76	1074
63	12	7	43	45	50	45	84	156	65	113	166	56	842
64	44	34	1	63	37	122	111	36	87	188	59	137	919
65	97	23	23	65	28	102	109	66	121	64	68	135	901
66	39	91	90	56	58	45	58	83	82	80	100	140	922
67	95	82	104	71	60	58	59	78	132	314	64	67	1184
68	64	41	120	79	70	110	59	70	61	145	64	40	923
69	79	26	45	41	165	38	23	94	102	34	143	20	809
70	29	112	112	99	40	60	93	34	85	130	90	31	832

Den 16 augusti 1974 uppsamlades vid Östra Nedsjön ett vattenprov på nederbörd, vilket analyserades av Kemiska stationen i Skara med följande resultat.

pH	5,9
Hårdhet °dH	0,4
Bedningstal	34
Alkalinitet, total, mval/l	0,01
Klorid, mg Cl/l	< 1,0
Sulfat, mg SO ₄ /l	18
Totalkväve, mg N/l	1,68
Totalfosfor, mg P/l	0,051

Anmärkningsvärt är det höga pH-värdet. pH-värdet är emellertid en mycket känslig parameter och den långa tiden mellan provtagning och analys (3 dagar) kan mycket väl innebära att värdet var betydligt lägre vid provtagningen. Den låga alkaliniteten visar, att man ligger mycket nära inflektionspunkten på titrerkurvan. Jämför fig. 1.11.

Under juli och augusti 1974 gjordes kontinuerligt egna pH-mätningar på nederbörden i Göteborg. Ett medelvärde på 4,2 erhöles. Högsta och lägsta värde var 4,70 resp. 3,85.

Tabell 2.3. Medelvärde av nederbörd i mm för Östra Nedsjöns utlopp.

År- tal	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Året
1951	108	60	69	121	12	26	52	123	68	16	97	150	902
52	60	43	13	56	49	60	73	131	105	115	52	64	821
53	67	45	22	84	64	133	128	188	151	56	98	53	1089
54	98	28	92	21	84	113	71	60	181	173	106	98	1125
55	58	28	19	26	83	25	24	55	87	105	35	139	684
56	80	21	22	27	39	86	94	107	56	65	55	105	757
57	82	86	58	33	33	53	62	148	188	132	40	62	977
58	52	88	16	23	60	50	137	93	32	81	59	103	794
59	125	22	45	101	42	42	44	26	64	110	77	89	787
60	115	43	17	52	38	84	158	145	40	42	143	152	1029
61	69	45	45	40	49	102	121	93	77	107	113	59	920
62	117	101	44	79	71	60	76	208	120	80	70	74	1100
63	11	7	41	46	53	45	81	160	67	121	167	51	850
64	47	34	1	61	39	109	118	40	84	183	62	147	925
65	99	24	27	57	34	103	116	75	129	65	62	123	914
66	37	87	92	55	56	46	58	85	88	89	98	131	922
67	98	85	101	69	64	68	58	84	128	296	65	72	1188
68	68	38	114	80	70	106	66	66	56	146	69	37	916
69	79	25	41	41	161	37	23	90	101	36	154	19	807
70	27	80	98	90	42	65	93	33	90	141	91	36	886
Medel	75	50	49	58	57	71	83	101	96	108	86	88	922

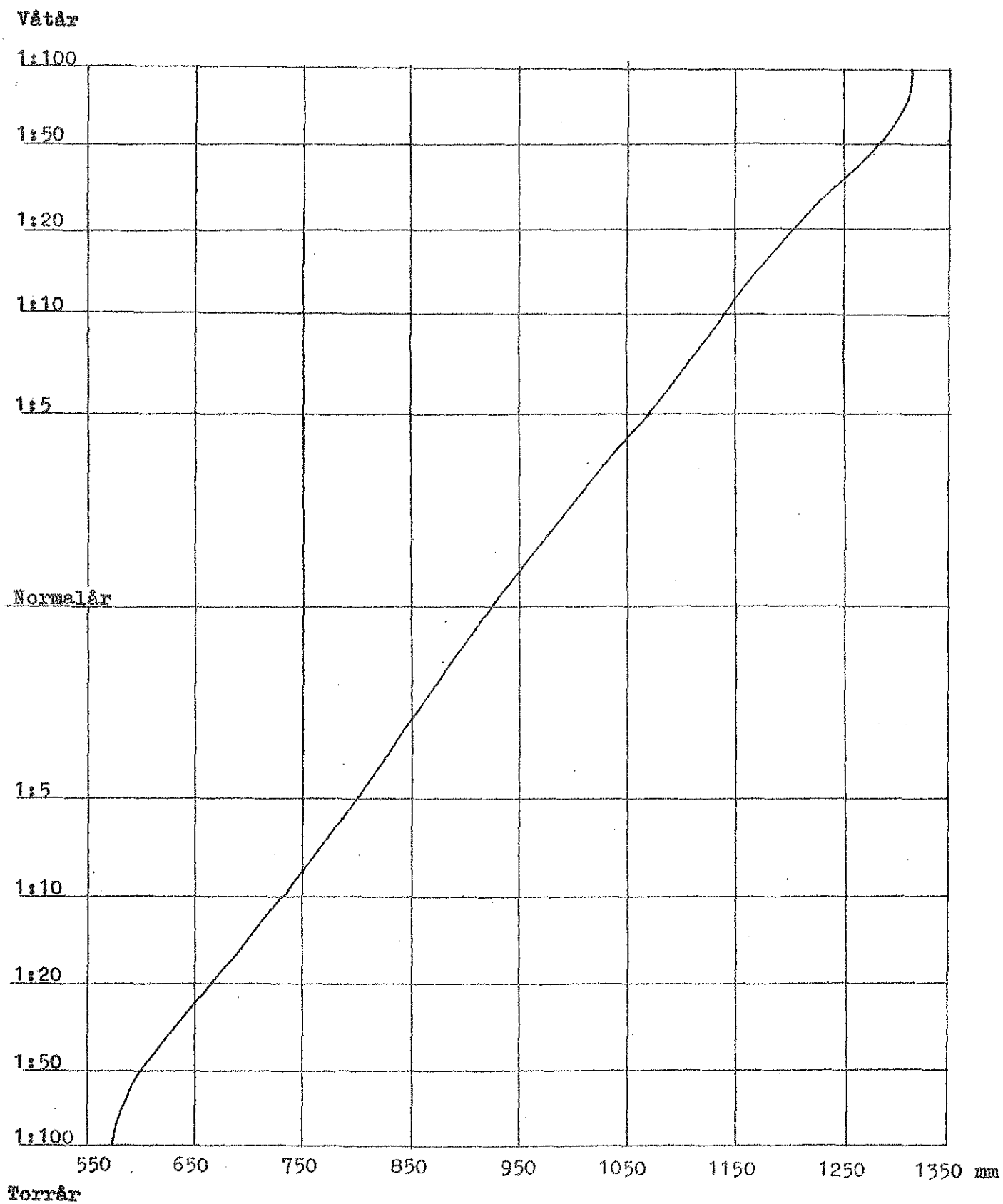


Fig. 2.6. Frekvensfördelning för 7240 Bollebygd åren 1940/41 -1972/73.

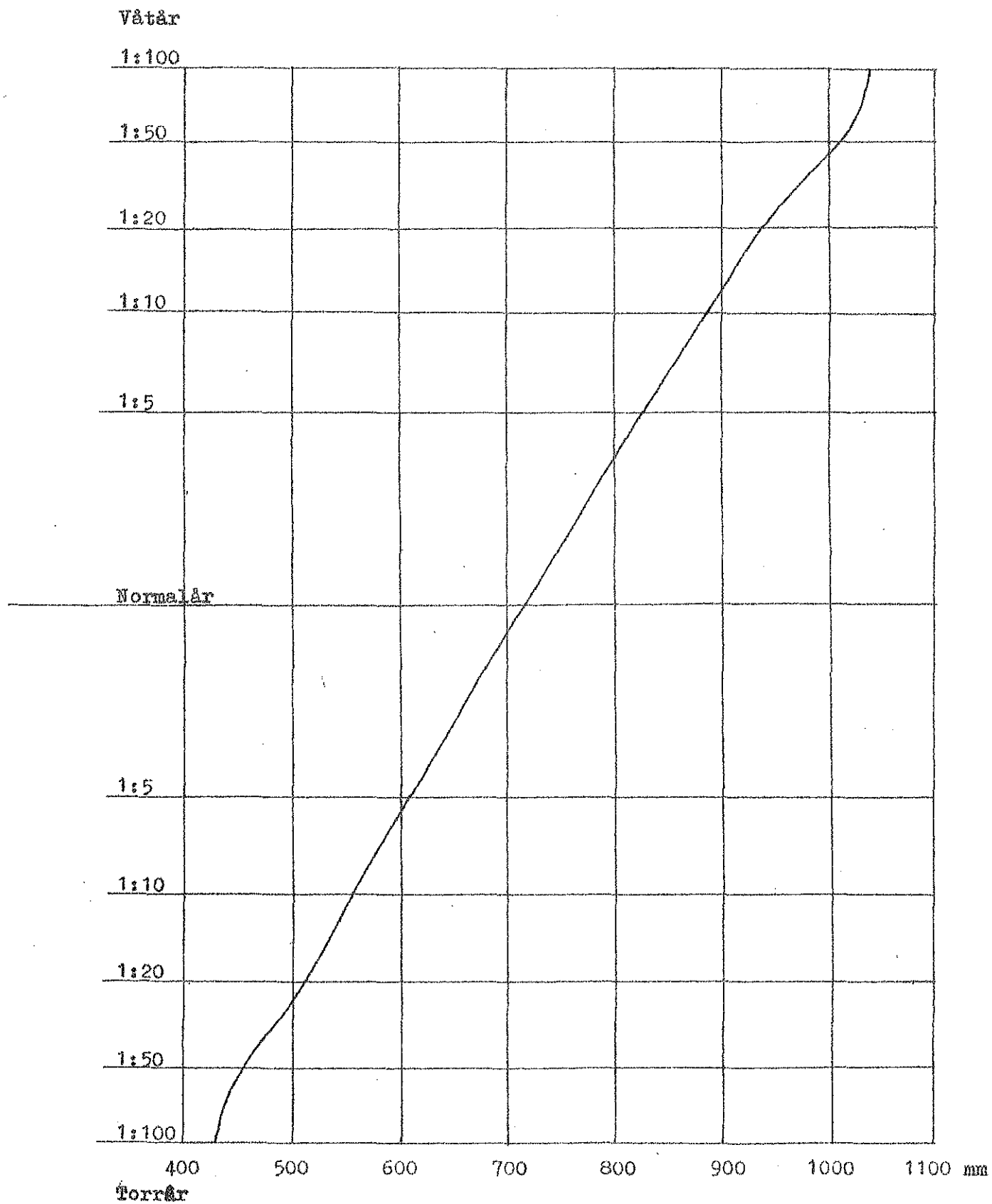


Fig. 2.7. Frekvensfördelning för P 740 Öjared åren 1882/83-1972/73.

2.4.3 Temperatur

För SMHI:s station i Bollebygd har temperaturen registrerats endast sedan 1971. För att få ett representativt värde på årsmedeltemperaturen, har därför medelvärdet mellan Göteborg och Borås beräknats för åren 1951-70. Årsmedeltemperaturen erhöles därvid till 6,7°C. Se tab. 2.4. Som jämförande material redovisas temperaturvärdena från stationen Bollebygd för åren 1971-73.

Tabell 2.4. Medeltemperatur i °C som medelvärde för Göteborg och Borås.

År- tal	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Medel- år
1951	-1,6	-0,3	-2,1	4,9	9,8	14,7	15,5	16,2	13,0	7,8	5,3	3,6	7,2
52	-0,6	-0,3	-1,4	6,8	10,4	12,4	15,6	14,7	9,4	5,9	0,8	-0,4	6,1
53	-1,1	-2,7	3,4	6,2	21,6	16,8	16,0	15,4	12,4	10,1	5,4	2,2	8,0
54	-2,7	-4,6	0,9	3,8	12,1	14,4	14,9	14,7	11,9	7,6	2,7	2,2	7,5
55	-3,0	-5,4	-2,6	3,4	8,0	13,2	19,4	18,3	13,5	7,2	3,7	-1,1	6,2
56	-2,0	-8,2	0,4	3,1	10,4	14,0	16,5	13,4	11,8	7,4	0,6	2,3	5,8
57	1,2	0,6	1,1	4,7	8,9	13,9	16,5	15,0	10,0	8,8	3,5	0,3	7,0
58	-2,6	-5,2	-3,9	3,1	9,4	14,4	16,5	14,9	13,2	9,5	5,3	0,3	6,2
59	-1,8	-0,6	3,4	6,7	11,7	15,1	18,1	17,5	12,4	8,0	5,1	1,5	8,0
60	-2,6	-3,1	1,3	5,0	11,8	15,3	15,1	15,2	12,1	6,7	4,1	1,5	6,9
61	-1,5	2,0	4,3	7,1	10,5	15,3	15,1	14,2	13,6	11,3	4,3	-1,5	7,9
62	0,4	0,1	-3,0	5,6	8,5	13,2	14,4	13,3	11,0	9,2	2,8	-2,2	6,2
63	-8,2	-6,0	-1,3	5,0	11,6	15,6	15,6	15,5	12,5	8,7	5,2	-1,5	6,0
64	0,1	-2,0	-0,4	6,5	11,7	14,0	14,5	14,8	11,5	7,0	4,6	0,3	6,9
65	-0,3	-2,5	-0,4	5,2	9,3	14,5	14,1	14,1	13,2	8,9	0,0	-2,4	6,2
66	-5,1	-6,2	1,0	2,1	10,8	16,6	16,0	14,7	11,6	8,1	3,3	0,0	6,1
67	-2,8	0,3	4,2	4,8	10,6	13,8	16,3	15,8	13,3	10,0	5,3	-1,3	7,5
68	-3,6	-2,5	2,2	7,1	9,0	16,6	15,9	16,9	13,2	7,7	2,2	-0,5	7,0
69	-1,4	-5,2	-2,9	4,4	7,7	16,4	17,1	17,7	13,6	8,9	2,8	-3,4	6,5
70	-6,0	-8,0	-1,2	2,0	10,3	16,9	14,4	15,4	10,8	7,7	2,1	0,2	5,4

Månadsmedeltemperaturer 1951 - 70 °C

-1,5	-2,0	0,7	4,9	10,4	14,2	16,0	15,1	11,8	7,6	3,2	0,1	6,7
------	------	-----	-----	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----

Medeltemperatur i °C för Bollebygd P707

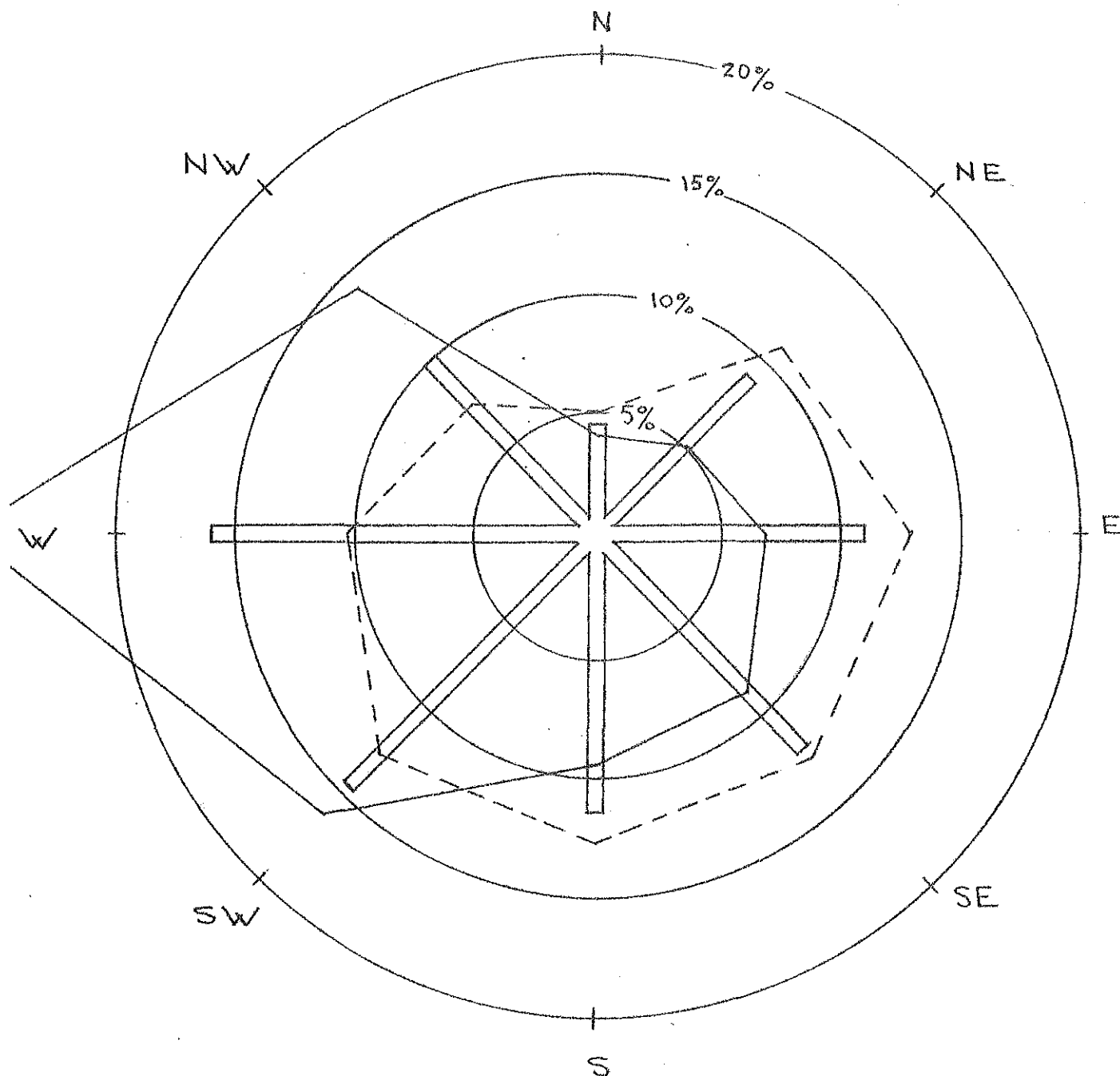
71	-1,3	-0,3	-1,2	4,4	11,3	13,4	16,3	14,8	10,1	7,6	2,0	2,5	6,6
72	-4,4	-0,4	1,4	4,8	10,8	14,1	17,2	14,0	9,0	6,2	3,4	3,3	6,6
73	-0,3	1,0	3,7	3,6	10,2	15,1	17,2	13,6	10,4	3,5	-0,4	-0,1	6,5
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	

2.4.4 Vind

Vindförhållandena är i detta sammanhang av intresse, då försurningen till stor del beror på vindburna föroreningar.

Då vinddata för området saknas, redovisas Göteborgs och Borås värden. Se tabell 2.5.

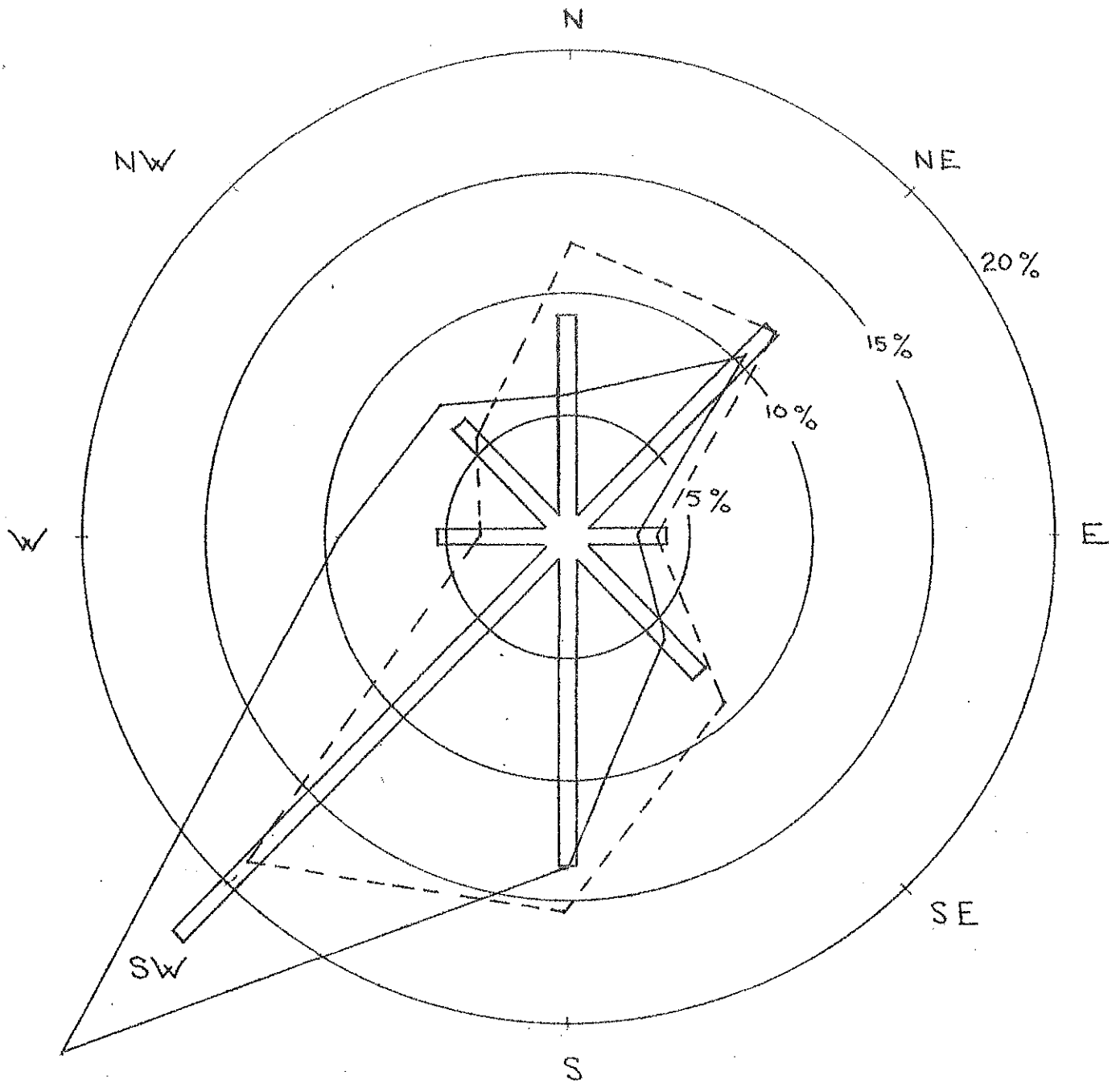
I fig. 2.8 och 2.9 redovisas procentuell frekvens av olika vindriktning 1931-60, medelvärden för året, jan. resp. juli.



Långt under 11,1% av tiden

Fig.2.8. Procentuell frekvens av olika vindriktningar åren 1931-60

GÖTEBORG



Lungt under 18,9% av tiden

Fig.2.9. Procentuell frekvens av olika vindriktningar åren 1931-60
BORÅS.

Tab. 2.5.

Procentuell frekvens av olika vindriktningar, 1931-1960

Vindriktning	Året	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Borås													
N	9,1	12,1	13,2	11,7	10,4	10,1	6,3	5,9	5,8	7,1	8,9	8,5	9,4
NE	11,9	11,9	13,3	15,0	11,9	16,9	11,3	10,5	10,2	7,7	10,0	12,6	11,4
E	4,0	3,7	4,2	6,0	3,7	6,0	2,7	2,9	2,7	2,3	3,6	5,3	4,4
SE	7,8	9,3	7,9	7,1	8,0	6,3	5,5	5,8	6,9	6,5	9,0	11,1	10,7
S	13,5	15,5	12,0	11,3	12,8	9,9	13,7	13,6	13,2	13,0	13,8	17,6	15,1
SW	23,0	18,9	18,0	17,3	23,1	21,7	33,0	29,6	27,4	25,2	23,6	18,2	20,6
W	5,3	3,5	3,7	4,3	5,7	6,6	8,3	9,5	5,9	4,7	5,1	3,3	3,5
NW	6,4	5,4	7,6	7,1	8,4	8,1	7,0	7,3	5,0	6,1	5,3	5,1	4,9
Lugnt	18,9	19,6	20,1	20,3	16,1	14,2	12,2	14,8	22,9	27,4	20,6	18,3	20,0
Göteborg													
N	4,7	5,0	6,4	5,9	4,6	5,3	4,1	4,4	3,4	4,0	4,1	4,0	5,2
NE	9,1	10,9	13,0	12,0	10,3	11,0	5,9	5,1	7,1	7,8	8,8	8,9	8,9
E	11,0	13,9	15,2	13,7	10,4	12,3	7,0	7,0	7,5	6,8	11,8	12,9	12,8
SE	12,0	12,9	11,5	13,2	9,9	7,7	8,1	8,9	11,8	12,3	13,9	18,5	15,4
S	11,5	12,9	11,3	10,6	12,5	13,3	9,9	9,4	10,4	10,7	11,6	13,9	12,5
SW	14,6	12,9	11,6	10,9	14,8	17,9	18,6	16,3	14,9	14,9	15,2	12,8	14,3
W	16,0	10,3	10,7	10,9	16,0	12,4	27,4	26,2	22,3	18,2	13,9	9,5	11,8
NW	10,0	7,6	7,6	9,4	12,4	11,1	12,5	14,2	11,6	11,5	8,8	6,9	6,9
Lugnt	11,1	13,2	12,8	13,5	8,9	10,6	6,5	8,6	10,8	13,7	12,0	12,3	12,3

Procentuell frekvens av olika vindstyrkor, Beaufort, 1931-1960

Vindstyrka (Beaufort)	Året	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Borås													
0	19	20	20	20	16	14	12	15	23	27	24	18	20
1	81	80	80	80	84	86	88	85	77	73	76	82	80
2	59	59	59	56	63	65	70	62	55	52	58	59	57
3	36	35	38	34	40	40	44	35	32	32	36	35	35
4	20	20	22	19	22	21	25	17	17	19	21	19	19
5	9,9	10	13	9,5	12	10	11	7,2	6,9	9,6	11	10	9,3
6	4,0	4,0	5,9	4,6	4,6	3,2	3,6	2,3	2,5	3,9	5,1	4,9	3,7
7	1,3	1,6	1,7	2,2	1,2	0,9	0,7	0,8	0,7	1,2	1,7	2,0	1,3
8	0,4	0,3	0,5	0,8	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,6	0,4	0,9	0,4
9	0,09		0,2	0,3			0,1			0,1	0,2	0,2	0,1
10	0,01			0,0							0,0	0,0	
11													
12													
Göteborg													
0	11	13	13	13	9	11	6	9	11	14	12	12	12
1	89	87	87	87	91	89	94	91	89	86	88	88	88
2	80	80	79	78	83	81	86	82	79	78	80	79	80
3	56	58	55	53	60	56	63	56	56	53	58	57	57
4	31	34	33	28	33	28	33	28	28	31	35	33	34
5	15	18	17	12	16	13	14	11	12	16	20	15	18
6	5,4	7,1	6,3	4,3	4,6	3,7	5,3	3,9	3,3	6,6	8,6	4,5	6,3
7	1,6	2,1	2,0	1,2	1,4	1,1	1,1	1,1	1,1	1,7	2,9	1,6	1,7
8	0,37	0,5	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	0,8	0,5	0,7
9	0,11	0,2		0,1	0,1			0,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,2
10	0,02				0,0						0,1	0,0	
11	0,01											0,0	
12	0,00											0,0	

Vindstyrka, Beaufort	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vindhastighet, m/s	0-0,2	0,3-1,5	1,6-3,3	3,4-5,4	5,5-7,9	8,0-10,7	10,8-13,8	13,9-17,1	17,2-20,7	20,8-24,4	24,5-28,4	28,5-32,6	>32,7

2.4.5 Hydrologiska beräkningar

För att kunna beräkna den teoretiska uppehållstiden för Östra Nedsjöns vatten, måste man förutom nederbörds mängden även känna till avdunstningens storlek. Avdunstningen beror av nederbörd, temperatur, sjöprocent, markbeskaffenhet, vegetation, grundvattenytans läge m.m. Ett flertal metoder finns, för att beräkna avdunstningen. Här används Tamms metod, där avdunstningen varierar med temperatur och sjöprocent [15].

$$E = 222,3 + (22,7 + 0,0737 p) T \quad (2.1)$$

E = sjöprocent; T = temperatur

Formeln gäller bara för årsvärden, och för att få månadsvärden har konstanterna i formeln dividerats med 12, även om fördelningen under året ej blir riktig, då avdunstningen är större under sommaren än under vintern.

$P = 20,1$ %; T fås ur tabell 2.4.

Avdunstning i mm:

MEDEL	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MEDEL
													ÅR
1951-70	14	12	21	34	51	63	68	65	55	42	28	19	472

Normalt räknar man med en avdunstning från sjöyta på 600 mm per år. Medelavdunstningen från landytan inom Östra Nedsjöns avrinningsområde skulle då bli.

$$\frac{472 - 0,201 \cdot 600}{1 - 0,201} = 440 \text{ mm/år}$$

Som en jämförelse visas nedan en beräkning av avdunstningen enligt Turc [15].

$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \quad (2.2)$$

P = årsnederbörd

$L = 300 + 25T + 0,05T^2$, där T =årsmedeltemperaturen.

P fås ur tabell 2.3

T " " " 2.4

$E = 425 \text{ mm/år}$

Ur tabell 2.3 fås:

Nederbörd i mm.

MEDEL	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MEDEL
													ÅR
1951-70	75	50	49	58	57	71	83	101	96	103	86	88	922

Nyttig nederbörd fås som medelnederbörd minus medelavdunstning (N - A).

Nyttig nederbörd i mm för Östra Nedsjöns avrinningsområde:

MEDEL	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MEDEL
													ÅR
1951-70	61	38	28	24	6	8	15	35	41	66	54	69	450

Avrinningsområdets storlek är 41,1 km².

Total nederbördsmängd över avrinningsområdet, räknat på medelnederbörd åren 1951-70 blir 37,9 miljoner m³/år.

Avrinning (nyttig nederbörd) för Östra Nedsjön blir 18,5 miljoner m³/år
= 0,59 m³/s.

Enligt Tryselius, "Average annual Runoff" 1931-60", ligger Östra Nedsjön inom ett område med avrinning 14-16 l/s. km². Med avrinning 14 l/s. km² fås en total årsavrinning på 0,57 m³/s.

Östra Nedsjöns yta är 7,5 km² = 18,3 % av avrinningsområdets totala yta.

Total nederbördsmängd på Östra Nedsjöns yta blir 6,9 miljoner m³/år räknat på medelnederbörden 1951-70.

På grund av avdunstningen från sjöyta erhålles en nyttig nederbörd över Östra Nedsjön på 2,4 miljoner m³/år.

Tillrinning till Östra Nedsjön vilket alltså är lika med total avrinning minskad med nyttig nederbörd på sjöytan, har beräknats till 18,5 - 2,4 = 16,1 miljoner m³/år.

Ur resultatet från djuplodningen 1974 har Östra Nedsjöns volym vid normalvattenstånd beräknats till 242 miljoner m³. Den teoretiska uppehållstiden för Östra Nedsjön kan då beräknas till

$$T = \frac{V}{Q} \quad \begin{array}{l} V = \text{sjövolymen} \\ Q = \text{avrinning} \end{array}$$

$$T = \frac{242 \cdot 10^6}{18,5 \cdot 10^6} = \underline{13 \text{ år}}$$

2.4.6 Avrinning

I början av ett regn kvarhålls en stor del av nederbörden av vegetationen. En del går åt för att fylla ut ojämnheter i markytan samt genomdränka markens ytlager, medan resten infiltreras i marken. Infiltrationsfaktorn anger hur stor del av nederbörden, som infiltreras i marken. Infiltrationen varierar kraftigt med markens beskaffenhet, lutning och vegetation [16]. Infiltrationen varierar också med årstiderna och kan under vegetationstidens mest intensiva del vara noll för skogbevuxen mark, medan den för helt obevuxen mark kan vara mycket stor. Av det vatten som infiltrerar stannar en del kapillärt bundet i de övre lagren och avdunstar så småningom, huvudsakligen till följd av växternas transpiration, medan en del sjunker djupare och bildar grundvatten. Med grundvatten menas den vattenmättade zon, där porvolymen helt uppfylls av vatten. Se fig. 2.10.

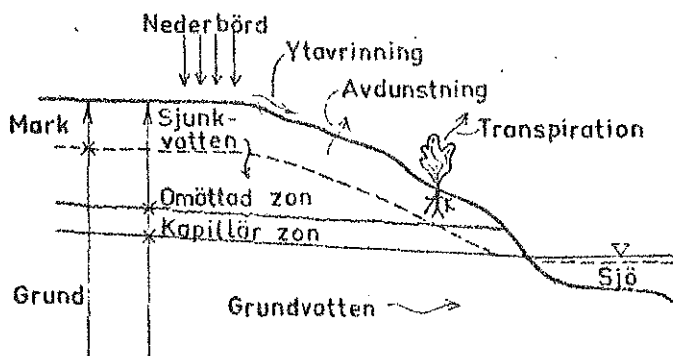


Fig.2.10. Vattnets kretslopp och förekomst i mark.

(Ur Reinius Vattenbyggnad del 2 17)

Eftersom infiltrationsfaktorn varierar kraftigt är det svårt att fastställa en infiltrationsfaktor för ett helt avrinningsområde. På grund av att morän och berg i dagen dominerar Östra Nedsjöns tillrinningsområde (80 %) kan man anta att medelvärdet på infiltrationsfaktorn ligger mellan 0,1 - 0,2 [17].

Lysimeterförsök (Troedsson Skogshögskolan) har visat att på exakt samma nivå och med invid varandra liggande försök har under samma tid mycket olika sjunkvattenmängder uppsamlats [11]. Troedssons lysimeterförsök visar

också att mycket liten del av nederbörden når grundvattnet på bred front, utan större delen går genom sprickor och rotkanaler direkt och relativt snabbt till grundvattnet [18]. En och samma nederbörds mängd ger under olika delar av året och på närliggande platser helt olika grundvattentillskott. Den största grundvattenbildningen sker under tjällossningen och senhösten.

Avrinningen kan uppdelas i tre komponenter:

Ytvattenavrinning är den vattentransport som sker direkt på markytan, i bäckar och sjöar samt i våtmarker och på tjälad mark.

Markvattenavrinning är den vattentransport som sker i den omättade markvattenzonen. Denna är starkt beroende av markens permeabilitet, vilken ofta är störst i de översta marklagren, medan på djupare nivåer marken är mer svärgenomsläpplig, bland annat till följd av att fina partiklar sköljts ner dit och satt igen porerna. Vid regn bildas framför allt i de övre lagren ett flöde, som når ytvattendragen något senare än vatten som flutit ovan mark. Inom många områden är markvattenavrinningen dominerande.

Grundvattenavrinning är den vattentransport som sker i den mättade markvattenzonen. Denna transport sker i riktning mot bäckar och sjöar, där det exfiltreras. Flödet är i regel litet och förhållandevis opåverkat av tillfälliga fluktuationer i nederbörden och därmed konstant med tiden. Under perioder med långvarig torka eller under tider då marken är frusen dominerar grundvattenavrinningen.

Grundvattnet rinner genom porösa jordlager eller bergarter och bergsprickor och rinner i den riktning där minsta motstånd möter, d v s i stort sett vinkelrätt mot markens nivåkurvor. I homogen sand eller grus rinner grundvattnet som en enhetlig utbredd ström, men i morän och i sprickigt berg ofta i lokala ådror.

Grundvattnets hastighet varierar och kan teoretiskt bestämmas med Darcy's lag

$$v = k \cdot I \quad \text{där}$$

v = vattnets bruttonhastighet (m/s)

k = permeabilitet, Darcy's koefficient (m/s)

I = hydraulisk gradient, tryckfall per längdenhet (dimensionslös)

Vattnets nettohastighet v_n är

$$v_n = \frac{v}{n} \quad \text{där}$$

n = effektiv porvolym.

Nettohastigheten är således den verkliga hastighet med vilken vattnet transporteras. För moränen kan antagas ett värde på permeabiliteten av $k = 10^{-6}$ m/s [17]. Med en gradient på 1:10 fås då en bruttohastighet hos grundvattnet på 5 m/år. Kornstorleksdiagram (fig. 2.5) ger att porvolymen för moränen i Östra Nedsjöns avrinningsområde är ca 40 % [16]. Detta ger en nettohastighet hos grundvattnet på mellan 7-8 m per år. Det bör påpekas att detta endast är ett exempel med ett antaget värde på genomsläppligheten och gradienten. Grundvattenhastigheten kan mycket väl variera mellan 20 m och någon decimeter per år. I en moig moräns undre, packade lager, vid ett fall på 1:30, fann Hesselman vid ett fältförsök en nettohastighet på 5,5 m/år. I de luckrare ytlagren var hastigheten betydligt större [11]. Grundvattenhastigheten för morän varierar, men allmänt kan sägas att den är mycket låg.

Grundvattnet rinner mot diken, bäckar och sjöar där större delen exfiltrerar och blir ytvatten. Se fig. 2.11.

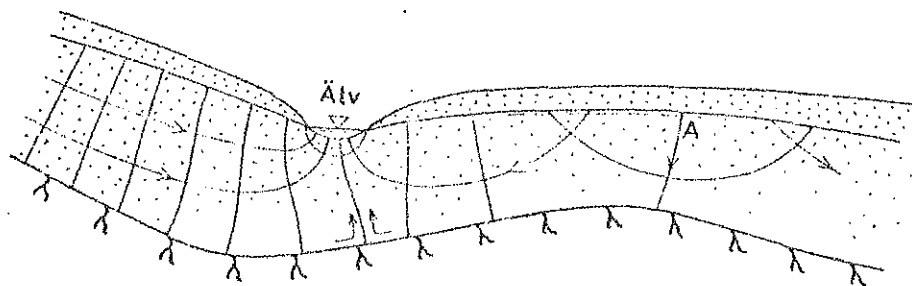


Fig.2.11. Strömbild visande grundvattnets rörelse mot en älv eller en bäck. (Ur Reinius Vattenbyggnad del 2 [17])

Eftersom grundvattnet rinner vinkelrätt mot nivåkurvorna ger topografin runt Östra Nedsjön att större delen av grundvattnet exfiltrerar i bäckar och endast en mindre del exfiltrerar direkt i sjön. Största delen av markytan utgörs av infiltrationsytor, där en större eller mindre del av nederbörden infiltrerar till grundvattnet. Nära och strax intill sjöar och bäckar kan exfiltrationsytor förekomma, där utsipprande grundvatten kan iakttas. Om markytan är brant kommer infiltrationen att bli liten, medan däremot ytavrinningen blir stor. Om markytan är flack kan grundvattnet på ett stort område stå vid markytan. Detta ger upphov till kärr- myr- eller sumpmark.

Infiltrationsfaktor anger hur stor del av nederbörden som infiltreras. Normalt avses därvid att uppehållstiden för det infiltrerade vattnet skall vara så lång att ett "egentligt" grundvatten bildas. Skall markvattnet, som ligger mellan grundvattnet och ytvattnet och som har kort uppehållstid, medräknas, erhålles betydligt högre infiltrationsfaktorer och skulle allt vatten som passerar markytan räknas som infiltration, d v s även det vatten som genom evapotranspiration lämnar marken skall infiltrationsfaktorn, i väl-dränerade områden, representera en större vattennängd än totala avrinnningen. I detta arbete har dock valts att bibehålla infiltrationsfaktorn i betydelsen, den del av nederbörden som bildar egentligt grundvatten [17] d v s förhållandet under längre tid, vanligen ett eller flera år mellan den till de egentligt grundvattenförande lagren infiltrerade vattennängden och nederbörden.

Fig. 2.12. Grundvattenavrinning vid starka regn och tjällossning.

Grundvattenhastigheten K_1 K_2 K_3 K_4

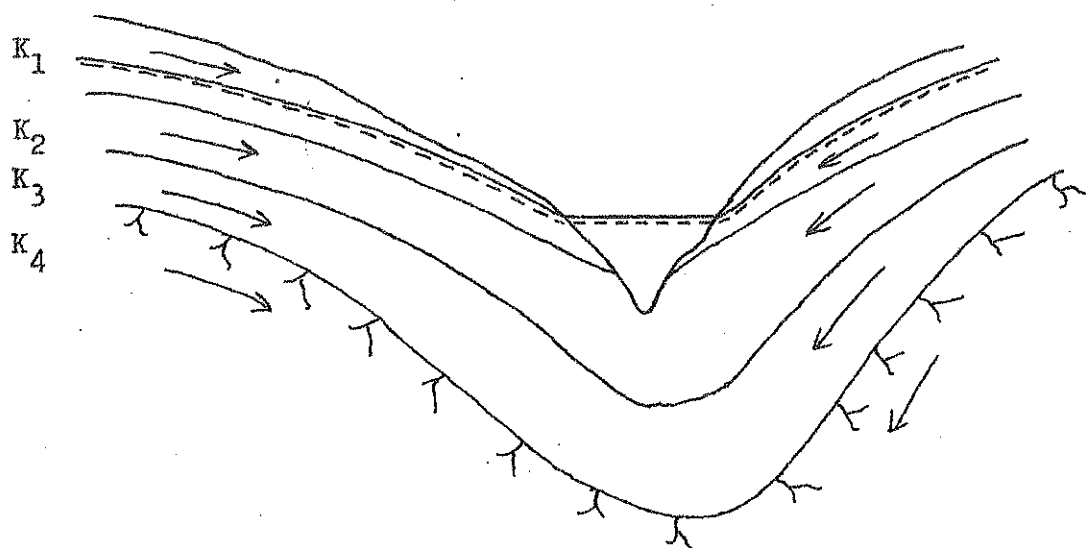
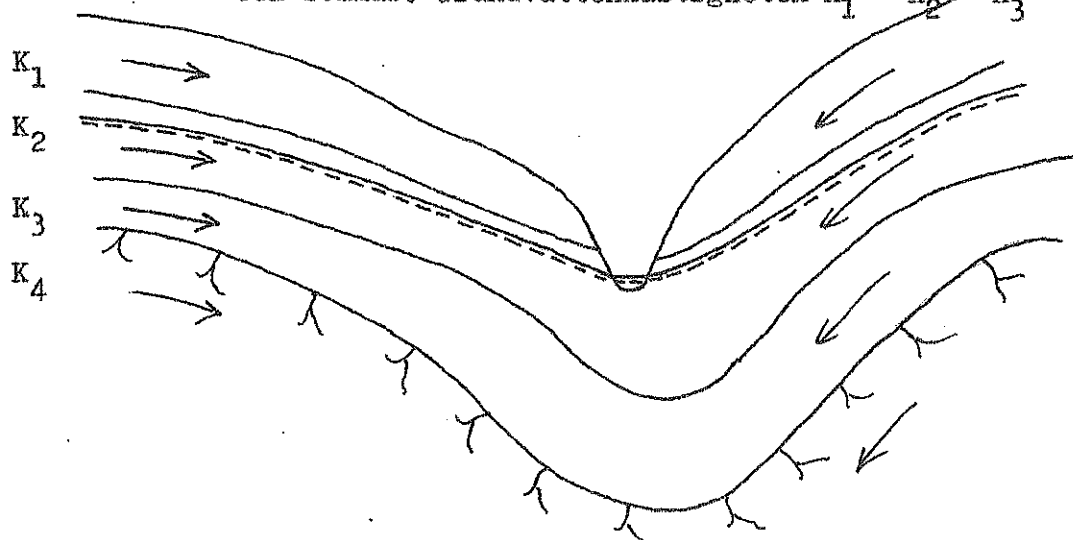


Fig. 2.13. Grundvattenavrinning vid lågvattenföring under vinter

och sommar. Grundvattenhastigheten K_1 K_2 K_3 K_4



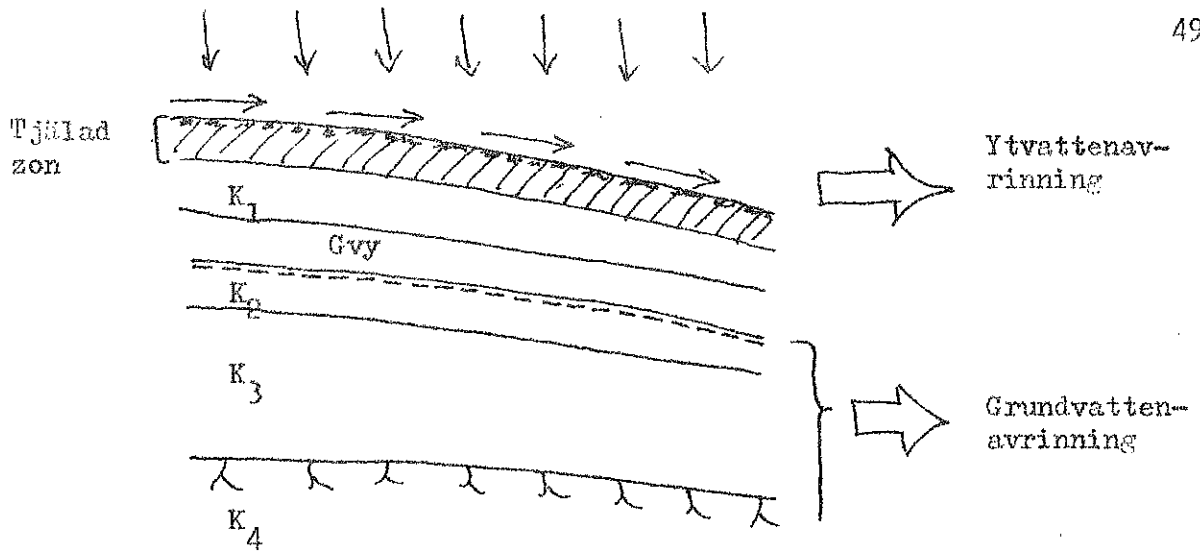


Fig. 2.14.a. Ytvattenavrinning vid tjälad mark

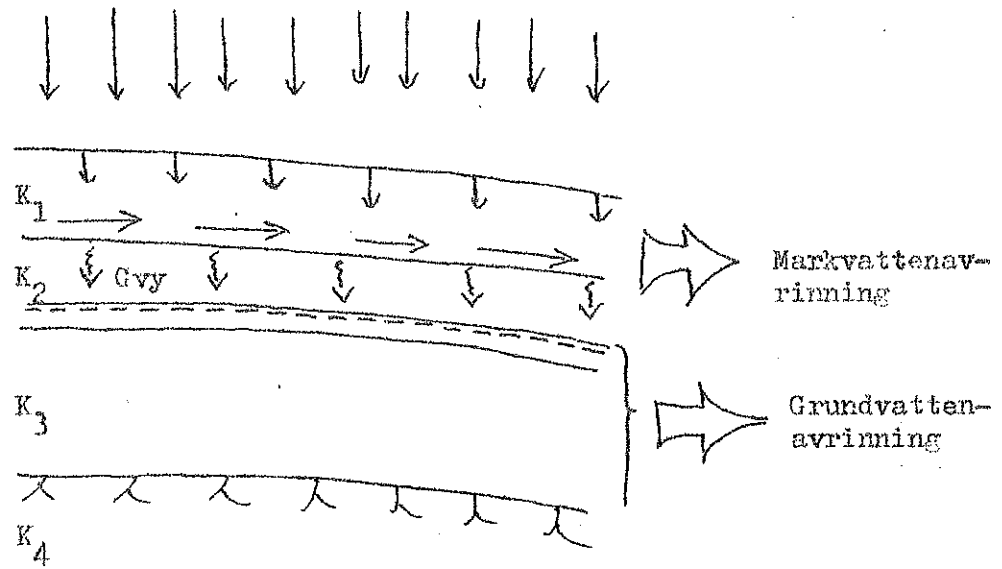


Fig. 2.14.b. Markvattenavrinning vid stark nederbörd

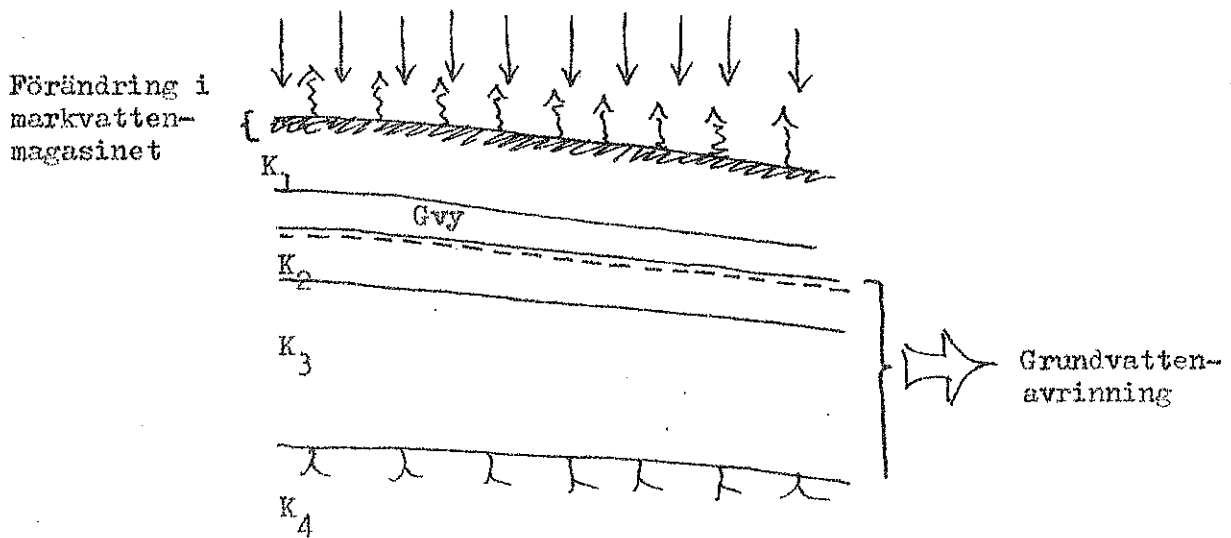


Fig. 2.14.c. Grundvattenavrinning under sommar och vinter

Vid sidan om huvudtopografin finns en slags mikrotopografi. Detta leder till att lokalt och nära markytan erhålles mycket korta strömningsvägar för grundvattnet. Det innebär att gränsen mellan yt-, mark- och grundvatten blir diffus. Inom ett landområde kommer ofta det mesta av nederbörden att passera in och ut i mark och grund. Rent ytvatten inom landområden uppkommer förmodligen endast under snösmältningen och möjligen under mycket häftiga regn.

Det är viktigt att i detta sammanhang få en uppfattning om hur stor del av nederbörden som avrinner, dels som grundvatten och dels som mark- eller ytvatten. Som tidigare nämnts kan man för Östra Nedsjöns tillrinningsområde anta ett medelvärde på infiltrationsfaktorn av 0,1 - 0,2. Detta innebär att 10-20 % av den totala nederbörds mängden avrinner som grundvatten. Resten d v s 80-90 % avrinner inte som mark- eller ytvatten, utan den största delen 50-60 % stannar kvar i trädskronorna och i markvegetationen för att sedan avdunsta. Följaktligen avrinner 20-40 % av den totala nederbörden som mark- eller ytvatten. Då närmare 80 % av Östra Nedsjöns tillrinningsområde utgörs av skogsmark kan man anta att den i kapitel 2.4.5 beräknade avdunstningen (472 mm) är något för låg. Detta innebär att den beräknade avrinningen ($0,59 \text{ m}^3/\text{s}$) i verkligheten är lägre, antagligen 5-10 % lägre. Motsvarande ökning av den teoretiska uppehållstiden i sjön erhålles då.

3. FÖRSURNING AV ÖSTRA NEDSJÖN

Östra Nedsjön ligger i ett område, som är extremt känsligt för försurning. Jämför fig. 1.2. Området har alla de egenskaper som kännetecknar västsvenska sura sjöar. De är belägna över högsta kustlinjen och har stor årlig nederbörd, vilket medför stort syranedfall. De har oftast små och kuperade avrinningsområden med basfattig berggrund samt stor andel kallt berg. Dessa faktorer gör att det sura nederbördsvattnet har liten möjlighet att neutraliseras innan det når sjöarna.

I Östra Nedsjöns avrinningsområde finns ingen verksamhet med surgörande utsläpp, såsom industrier, avfallstippar, reningsverk eller dylikt. Därför kan försurningen av Östra Nedsjön uteslutande härledas till nederbörden och med den samverkande faktorerna. Allmänt kan sägas att syranedfalllets surgörande effekt på avrinnande vatten ytterst beror på markens beskaffenhet. Både markens kemiska sammansättning, som är en produkt av underliggande berggrund, och vattnets uppehållstid bestämmer buffertkapaciteten. Det dominerande markslaget i Östra Nedsjöns tillrinningsområden är barrskog, som tillsammans med den relativt stora arealen mossmark ytterligare bidrar till försurningen. Jämför kapitel 1.2.3.

En undersökning av drygt 300 västsvenska sjöar utfördes 1970-72 av Fiskeristyrelsen med flera [19]. Denna visar att ca 30 % av sjöarna hade pH lägre än 5. Se fig. 3.1. Ser man bara på sjöarna i Älvsborgs län finner man att 20 % hade pH lägre än 5. En ny undersökning av sjöar i Älvsborgs län i januari 1975 visar att, av 129 sjöar, 53 har pH lägre än 5, vilket motsvarar 40 %. Vid undersökningen 1971 kontrollerades också buffertkapaciteten. Se fig. 3.2. Mer än hälften av sjöarna hade låg alkalinitet, vilket medför stor känslighet mot sura ämnen.

Som tidigare nämnts beror försurningen av Östra Nedsjön på syranedfall genom nederbörd. Beträffande nederbördens försurning, se kap. 1.2.2 och fig. 1.4.

Bohus-Malmö är den för Östra Nedsjöns avrinningsområde närmast belägna och mest representativa nederbördsstationen, där nederbörd analyseras kontinuerligt. Fig. 3.3 visar årsmedelvärden av svavel, nitrat och pH i nederbörd vid Bohus-Malmö. Vid en undersökning av Komosse har nederbörden analyserats under år 1972 vid Älmö, 7 mil öster om Östra Nedsjön. pH i nederbörden varierade mellan 4,1 - 5,9 med medelvärdet 4,6 [20].

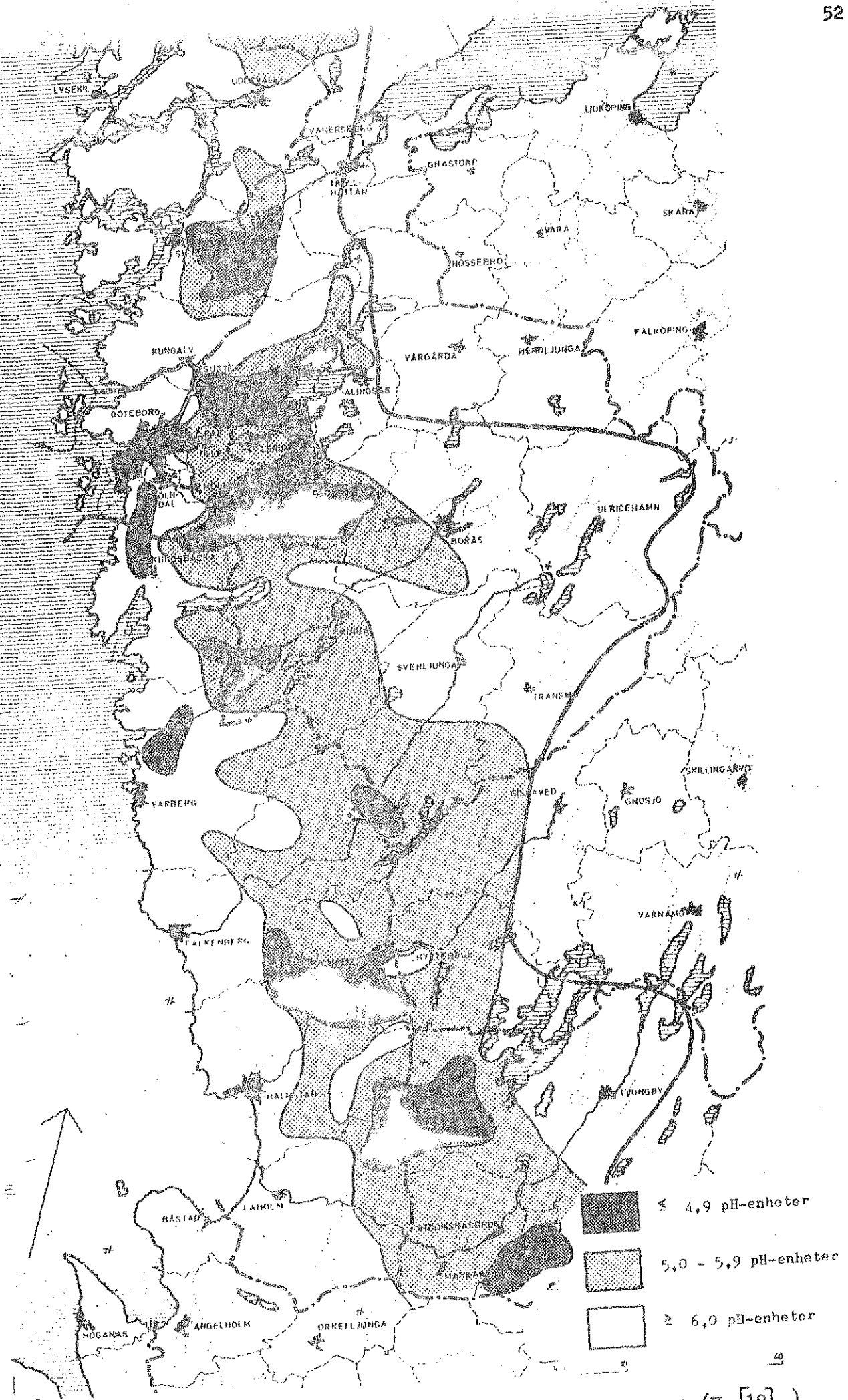
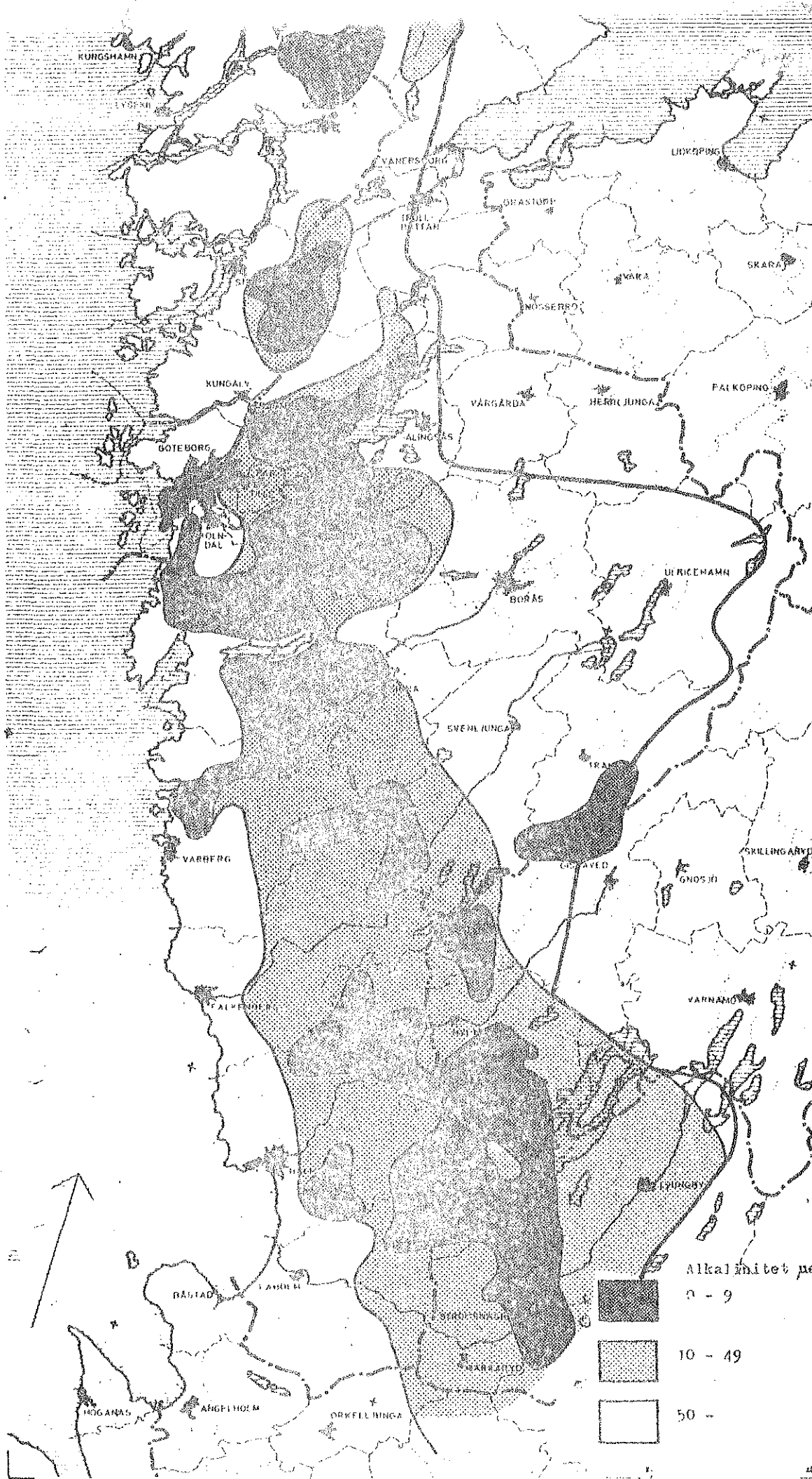





Fig. 3.1. pH-värden i västsvenska sjöar 1971 (Ur [19])



Alkalinitet per kv/1 1971

	0 - 9
	10 - 49
	50 -

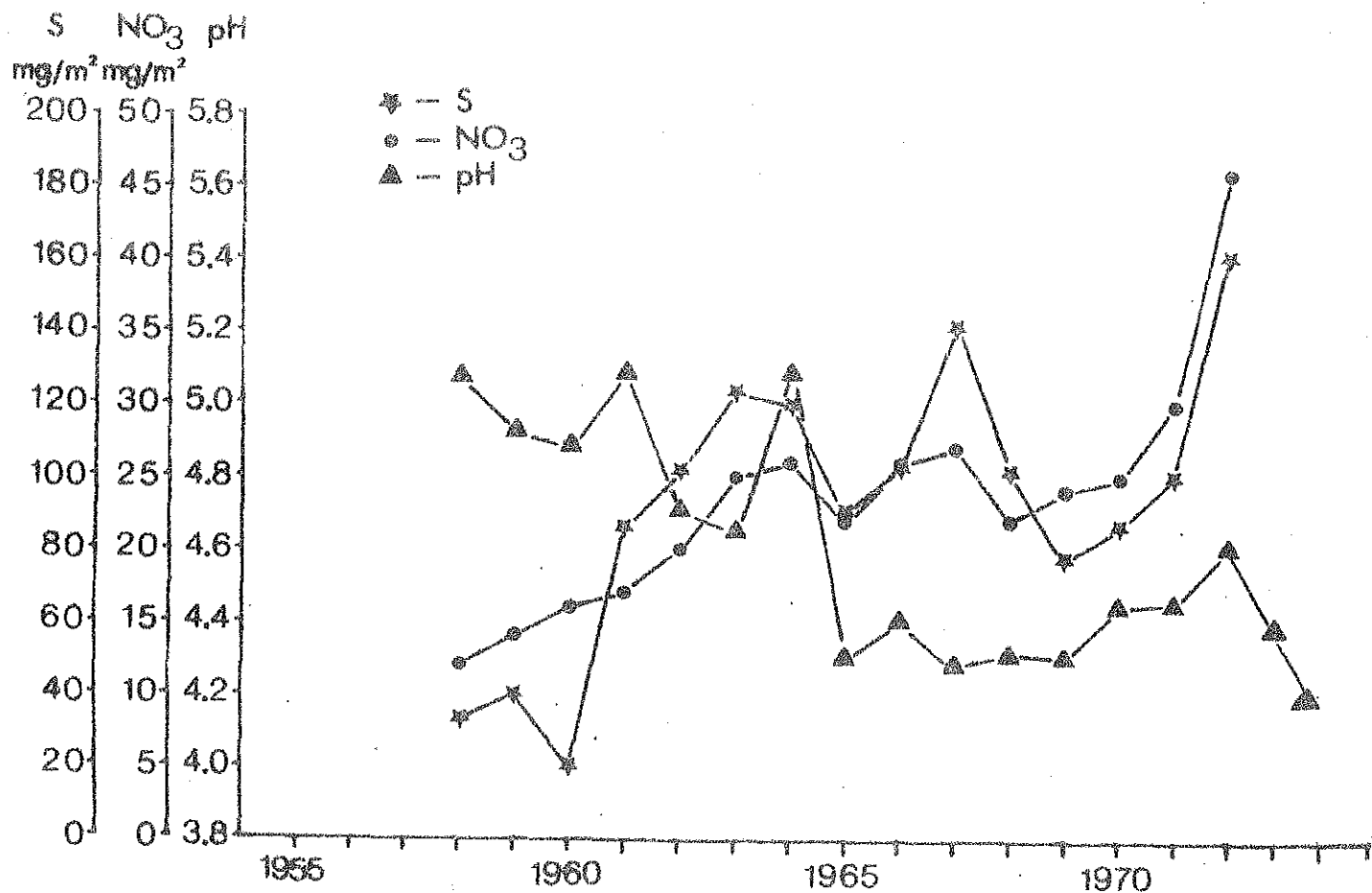


Fig. 3.3. Årsmedelvärden av S, NO₃ och pH i nederbörd i Bohuslän.

Vid pH-mätningar av nederbörd i Östra Nedsjöns avrinningsområde våren 1973, i samband med en undersökning omkring värmekraftverket i Stenungsund, uppmättes pH-värden varierande mellan 3,8 - 4,2. Undersökningen visade att mer än 95 % av svavelemissionen transporterades längre än 1,5 km från Stenungsund [8].

Eftersom svavelhalten i luften är en avgörande faktor för nederbördens försurning är det intressant att se vilka svavelemitterande källor det finns på västkusten. Se fig. 3.4. De största svavelemitterande industrierna ligger väster och norr om Östra Nedsjön. Enligt kapitel 2.4.4 är den förhärskande vindriktningen västlig. Enligt Söderlund, Meteorologiska Institutionen, Stockholms Universitet (MISU), gäller att av den mängd svavel, som tillförs Östra Nedsjöns avrinningsområde med nederbörden, kommer endast 15-40 procent från inhemska källor [8].

CO₂-emitterande industrier
på västkusten

ungefärliga värden ut-
tryckt som SO₂ ton/dygn

Äsnersbruk 2,7 t/d

Air-Co Alloy, Vargön
5 t/d

Homens Bruk AB, Vargön
3,3 t/d

Ferrolegeringar AB,
Trollhättan 13 t/d

Lilla Edet, 2,9 t/d
Cöta, 0,8 t/d

EMSC Chemicals, Stenungs-
sund 2 t/d

Unifos, Stenungsund
0,6 t/d

MoDo, Stenungsund 2 t/d

KemaNord, Stenungsund
0,2 t/d

Vattenfall, Stenungs-
sund 100 t/d

Synrel AB, Nol 0,1 t/d

Surte Glasbruk, Surte
5,7 t/d

BP raffinaderi, Götte-
borg 6 t/d

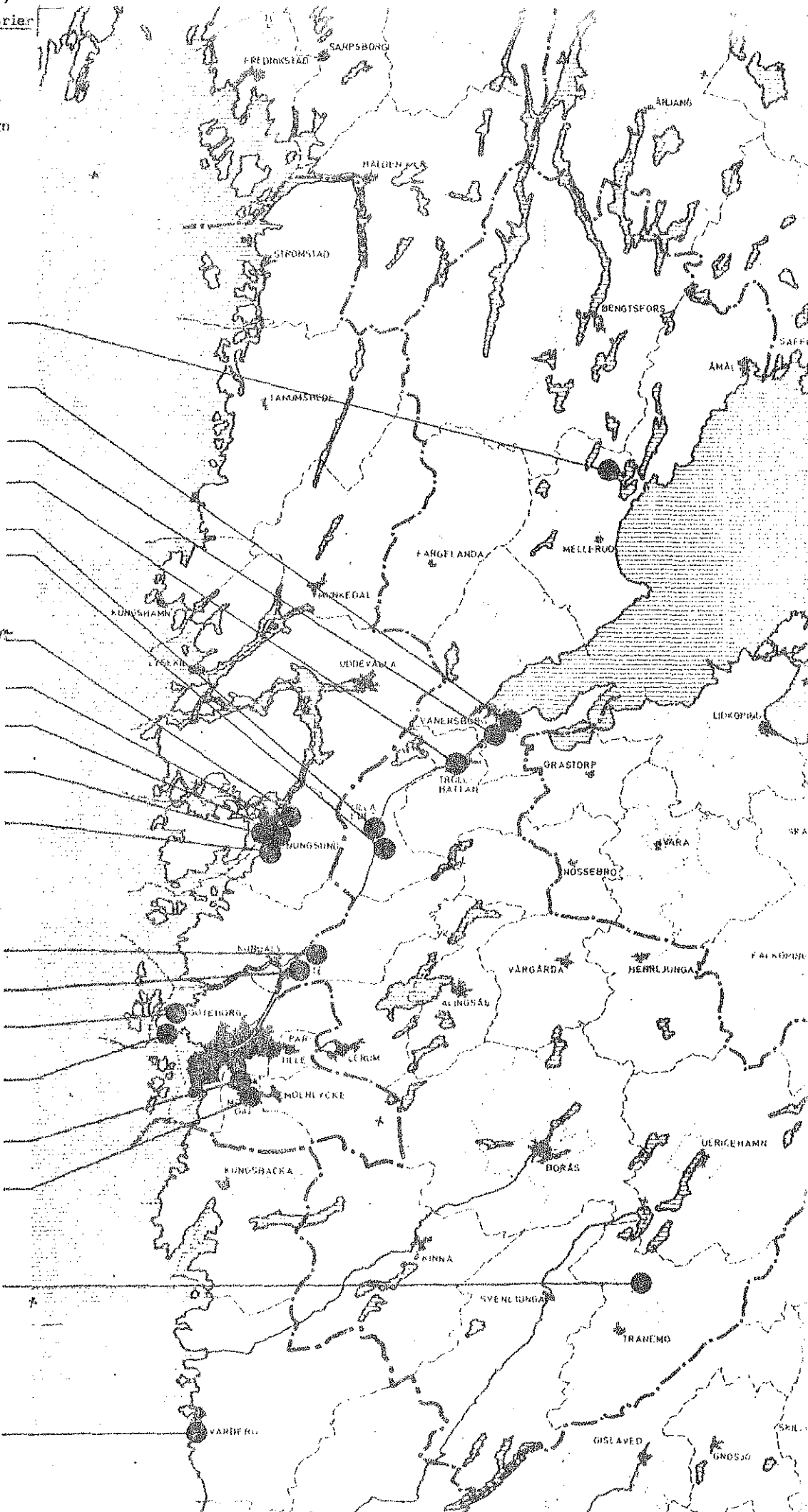
Shell-Koppartrans,
Göteborg 6 t/d

Papyrus, Målindal 4 t/d

SOAB, Målindal 0,5 t/d

Limmareds Glasbruk,
Limmared 2,6 t/d

Yngeredsfors Kraft AB,
Varberg 1 t/d



I fig. 1.7 har syranedfallet genom nederbörd redovisats. Det årliga nedfallet av syra har ökat och kan nu antas vara mer än 50 mg vätejoner, $H^+/m^2 \cdot \text{år}$, i Västsverige, vilket motsvarar ett genomsnittligt pH-värde i nederbörd lägre än 4,5. Ur nederbördens pH-värde kan syranedfallet bestämmas. Ett årligt genomsnittsvärde för pH i nederbörd på 4,0 motsvarar 0,1 g H^+/m^3 nederbördsvatten. För Östra Nedsjöns avrinningsområde, med en nederbörd på 922 mm/år, blir syranedfallet då 90 mg $H^+/m^2 \cdot \text{år}$. För ett genomsnittligt pH-värde på 5,0 blir motsvarande mängd 9 mg $H^+/m^2 \cdot \text{år}$. En pH-minskning med en enhet innebär ju att syranedfallet blir tio gånger större.

Ett rimligt antagande är att årsmedelvärdet av pH i nederbörden i Östra Nedsjön ligger mellan 4,2 - 4,6. Om medelvärdet är 4,4 betyder det att syranedfallet är 37 mg $H^+/m^2 \cdot \text{år}$, vilket räknat som svavelsyra motsvarar en ekvivalent mängd av 75 ton H_2SO_4 , som faller ned över Östra Nedsjöns avrinningsområde per år. Denna syramängd skall buffras. Över Östra Nedsjöns yta, 7,5 km², faller, vid pH 4,4 i nederbörden, varje år 14 ton svavelsyra, som endast kommer i kontakt med det lösta buffertsystemet i sjövattnet. Eftersom $CaCO_3$, som är det viktigaste fasta buffertsystemet i marken, saknas (se kapitel 2.3.2) eller endast finns i liten omfattning, kan man anta att markens buffertsystem är av liten betydelse. Det är alltså främst de lösta buffertsystemen i vattnet som får ta hand om syranedfallet.

Som tidigare nämnts, kapitel 1.3, ökar siktdjupet när sjövattnet blir surare. Detta beror på låg produktion av mikroorganismer. Vid en sjöbeskrivning från september 1933 var siktdjupet 6,4 m i Östra Nedsjön. Under 1974 varierade siktdjupet mellan 5-11 m.

I bilaga 3 redovisas analysresultat från en jordundersökning från olika platser i Östra Nedsjöns avrinningsområde.

4. KALK

4.1 Allmänt

Kalk är ett gemensamt namn för kalksten (kalciumkarbonat CaCO_3), bränd kalk (kalciumoxid CaO) och släckt kalk (kalciumhydroxid Ca(OH)_2). Alla kalkningsmedel framställs av kalksten, en bergart som förekommer i vårt urberg liksom i sedimentberggrunden i koncentrerade formationer på vissa ställen i landet. Efter krossning eller finmalning kan kalkstenen direkt användas som kalkningsmedel. Den kan också förädlas genom att den upphettas till ca 1200° . Därvid avgår koldioxid (CO_2) och man erhåller bränd kalk. Genom att sätta vatten till den brända kalken erhålls släckt kalk. Förutom de ovan nämnda kalciumföreningarna består kalk till en mindre del av förorenande oxider av järn, kisel och aluminium. Detta gäller för naturprodukter. Fås kalken som en restprodukt vid industriell tillverkning, förekommer även andra karbonater såsom magnesium, kalium och kiselkarbonater.

Kalkningsmedlen värderas efter mängden syraneutraliserande substanser, omräknad till kalciumoxid (CaO). Tabell 4.1 ger en översikt av olika kalkningsmedel och deras kalkverkan. 1 ton CaO har samma syraneutraliserande verkan som 1,3 ton släckt kalk eller 1,8 ton kalkstensmjöl.

4.2 Kalkens effekter

Kalk har en rad kemiska, biologiska och fysikaliska effekter. Främst bland dessa står dess syraneutraliserande verkan. Bland kalkens effekter på mark märks dess förmåga att göra flertalet växtnäringsämnen mer lättillgängliga, stimulans av mikroorganismernas verksamhet samt att jorden får en god struktur. Bland kalkens effekter på vatten framstår som viktigast:

1. Neutralisation av sura ämnen
2. Näringsämnen blir mer lättillgängliga
3. Ökning av karbonatkoncentrationen, vilket kan bli till nytta för fotosyntesen.
4. Förändring av sedimentets struktur och kemiska sammansättning, med snabbare nedbrytning av organiskt material som följd.

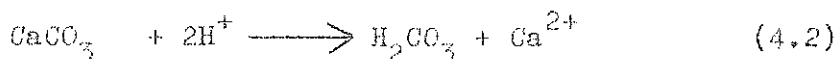
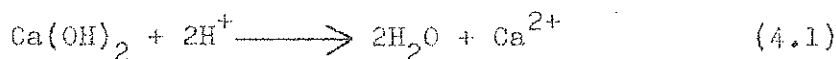
"Kalkning - en försummad åtgärd"

Aktuellt från Lantbrukshögskolan Nr 157, år 1971

Kalkningsmedel	Innehåll	Kalkverkan CaO-värde, %
KALKSTENSMJÖL Jordbrukskalk KB-kalk Preparerad jordbrukskalk	Kalciunkarbonat, CaCO_3 (Kolsyrad kalk)	45-52
BRÄND KALKSTEN Bränd kalk Osläckt kalk	Kalciunoxid, CaO (Ren kalk)	70-90
SLÄCKT KALK Hydratkalk Puderkalk Mjölcalc	Kalciunhydroxid Ca(OH)_2 (Kalkhydrat)	55-70
DOLOMITMJÖL	Kalciun-magnesium-karbonat (Ca, Mg) CO_3	ca 50
BASHALTIG SLAGG ¹⁾ Wargö-kalk T-kalk	Kalciun-magnesium-silikathaltig biprodukt från smältverk	50-55
FILTERKALK	Kalciun-magnesium-kaliumhaltig biprodukt från cementfabriker, uppsamlad på dammfilter	40-50
SLÄMKALK	Kalciunkarbonathaltig biprodukt från råsockertillverkningen	ca 25
KALKMESA	Kalciunkarbonathaltig biprodukt från tillverkning av trämassa enligt sulfat- metoden. Ibland innehåller kalkmesan värtsskadliga ämnen. Dessa kan oskadlig- göras, om mesan får ligga i smala strängar och luftas över en vinter.	ca 30
MÄRGEL	Jordart innehållande kalciunkarbonat och andra kalciunföreningar. Benämnes ibland lermärgel, sandmärgel m.m.	ca 20

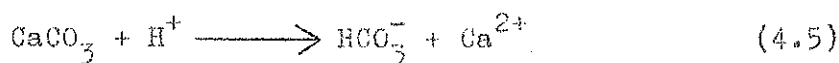
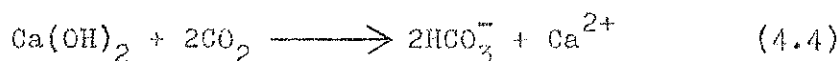
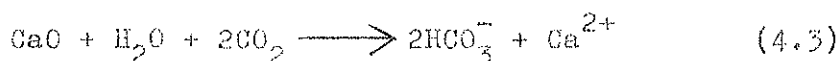
1) Thomasfosfat är en bashaltig slagg - ett kombinerat fosforgödsel- och kalkningsmedel - innehållande 5,9 - 6,8 % P, 36 % Ca, 2 % Mg m.fl. ämnen. Kalkverkan, CaO-värdet, är 40 %.

Syra neutraliseras genom att vätejoner reagerar med kalkens anjoner, det vill säga hydroxid- och karbonatjoner och bildar vatten respektive kolsyra



Detta resulterar i en minskning av vätejonkoncentrationen och därmed en höjning av pH-värdet. I koncentrerad lösning av släckt kalk kan pH-värdet uppgå till högst ca 12,5. Vid kalkning av sjöar sjunker dock pH snabbt, först genom utspädning och sedan genom att den släckta kalken reagerar med koldioxiden, i luft och vatten, och bildar kalciumkarbonat. Användes kalkstensmjöl kan man högst få ett pH i vatten på ca 8, men i naturliga vatten stiger pH sällan över 7. Eftersom pH över 9 är skadligt för fisk (se tabell 1.1) måste man, vid kalkning av sjöar med släckt eller bränd kalk, iakttaga viss försiktighet. Användes krossad kalksten eller kalkstensmjöl torde ingen risk finnas att pH höjes till för fiskarna skadlig nivå 21.

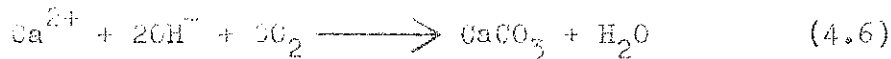
Kalken ger förutom höjning av pH även en ökning av alkaliniteten, vilket höjer buffringsförmågan mot sura ämnen. Alkaliniteten består, som visats i kapitel 1.5, till största delen av vätekarbonatkoncentrationen. Kalkens alkalinitetshöjande effekt kan då skrivas:



4.3 Kalkens upplösning

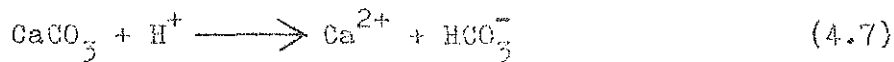
Bränd kalk bildar med vatten, under värmeavgivning, släckt kalk, som är lösligt i vatten jämfört med kalciumkarbonat. Bränd kalk bör inte spridas direkt i naturen, då den kan vara skadlig för växter och djur. Doserar den däremot direkt i vatten erhålles släckt kalk. Vid kalkning med släckt kalk, som är lösligt i vatten, sker i första hand en syra-neutralisation, enligt formel (4.1), varvid en kraftig pH-höjning inträder. Den släckta kalken reagerar så småningom med koldioxid och bil-

dar kalciumkarbonat och bikarbonat, varvid det förra fälls ut.



Bikarbonat bildas endast om CO_2 finns i överskott enligt formel (4.5).

Kalciumkarbonat är endast obetydligt löslig i vatten, men löses lätt av syror, även kolsyra, under bildning av HCO_3^- -joner. Luftens koldioxid ökar halten vätejoner i vatten, på grund av bildning av kolsyra. Rent vatten löser endast 14 mg CaCO_3 per liter, regnvatten 40 mg/l och vatten mättat med koldioxid löser 900 mg CaCO_3 per liter, medan rent vatten löser $1,7 \cdot 10^5$ mg $\text{Ca}(\text{OH})_2$ per liter. Lösligheten i vatten för kalciumbikarbonat är $1,7 \cdot 10^5$ mg $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ per liter, (se kapital 1.5). Kalciumkarbonat är som nämnts lättlösligt i syra, och mer lättlösligt ju starkare syran är. Eftersom svavelsyra och salpetersyra, vilka svarar för huvuddelen av syran i nederbörd, är bland de starkaste syror som finns, så förmår de lösa stora mängder kalciumkarbonat. Att syra löser CaCO_3 lätt, beror främst på att karbonatjonen i sur lösning bildar HCO_3^- eller H_2CO_3 , men också på att koldioxid avgår från lösningen, varigenom koncentrationen av karbonatjoner minskar. I en neutral lösning, pH 7 är den totala förekomsten av karbonat delad i proportionerna 19 % H_2CO_3 , 81 % HCO_3^- och endast 0,038 % CO_3^{2-} . Karbonatjonen binder alltså vätejoner, när kalksten löses.



Som tidigare nämnts övergår den mängd släckt kalk, som ej åtgår för syraneutralisation, så småningom till kalciumkarbonat. Man får vid kalkning följaktligen kalciumkarbonat oberoende av vilken kalksort som användes, om man kalkar för att motverka försurning under en längre tidsperiod och alltså doserar mer än vad som åtgår för en kortsiktig höjning av pH-värdet. Man kommer således att få kalciumkarbonat liggande, vid och i bäckar, på sjöbottnar och på stränder, som depåer, vars upplösningstid till största delen är beroende av syrainnehållet i nederbörden. Av betydelse för upplösningstiden är också den utspridda kalkens fraktioner och dess tendens att sammanbakas och bilda aggregat eller större kakliknande formationer. Ju finkornigare kalkstenen är desto snabbare löses den upp och desto snabbare blir dess verkan. Vill man ha en verkan på lång sikt, bör alltså grövre fraktioner användas. Om

däremot en snabb verkan vill uppnås, bör släckt eller bränd kalk användas. En tredje sak som kan påverka kalkens upplösningstid är, om järnhaltigt vatten förekommer, att järnkarbonat och andra föreningar faller ut på ytan av kalken och försvårar vattenutbytet med denna. Risken för detta är särskilt stor om grövre fraktioner av kalksten används eller om kalken bildar aggregat.

4.4 Andra kalkningsprojekt

Kalkning är en sedan många år använd metod, för att höja fiskproduktionen i sjöar och fiskodlingar både i Sverige och utomlands. Korttids-effekterna från flera av dessa kalkningar finns redovisade av bland annat Waters (1956), Berzins (1962) och Ahl m fl (1969). Vid dessa har man i samtliga fall fått en pH-höjning och även en höjning av fosforhalten. Vad gäller övriga parametrar har skiftande resultat erhållits.

Undersökningar av kalkningsprojekt bör utföras under längre tid för att säkrare slutsatser skall kunna dras. En sådan långtidsundersökning har utförts av Wilander och Ahl [22]. De har studerat en liten sjö i Bergslagen, Ljustjärn med en yta av 5 ha. Den har studerats sedan 1965 och den kalkades i april 1966. Den utspridda kalkmängden, 10 ton släckt kalk, motsvarar 20 mg CaO per liter. Ljustjärn har ett mycket litet avrinningsområde och följaktligen en lång teoretisk uppehållstid, omkring 14 år. Analysresultat på olika parametrar redovisas i tabell 4.2 och 4.3.

Time	Ca	Mg	Na	K	Alk	SO ₄	Cl	Tot-N	Tot-P	Absorbance
1965 20/ 3	0.024	0.008	0.027	0.008	0.000	0.069	0.028	0.272	0.010	0.039
17/ 8	—	—	—	—	0.000	—	—	—	0.009	0.052
1966 5/ 4	0.050	0.018	0.020	0.010	0.000	0.069	0.030	0.362	0.013	0.017
3/ 6	0.341	0.014	0.023	0.010	0.300	0.077	0.027	0.358	0.016	0.045
14/ 7	0.392	0.012	0.019	0.010	0.339	0.090	0.023	0.454	0.021	0.035
22/ 8	0.387	0.017	0.020	0.009	0.339	0.084	0.024	0.385	0.022	0.070
4/10	0.419	0.017	0.023	0.009	0.354	0.088	0.022	0.312	0.017	0.043
1967 27/12	0.375	0.018	0.023	0.010	0.296	0.100	0.016	0.335	0.020	0.056
1969 15/12	0.561	0.020	0.039	0.021	0.305	0.099	0.023	0.284	0.091	0.032
1970 22/ 3	0.344	0.019	0.036	0.012	0.263	0.127	0.028	0.497	0.008	0.045
1971 20/ 2	0.329	0.025	0.023	0.012	0.232	0.122	0.027	0.353	0.007	0.039
1972 25/ 3	0.281	0.025	0.027	0.012	0.203	0.128	0.024	0.416	0.008	0.051

Tabell 4.2. Viktade medelkoncentrationer för olika parametrar i Ljustjärn. Värdena givna i mekv/l, Tot-N och Tot-P givna i mg/l.

Depth m	1965		1966							1967	1969	1970	1971	1972
	20/3	17/3	5/4	3/6	14/7	22/8	4/10	28/12	27/12	15/2	22/3	20/2	25/3	
0.5	4.39	4.78	4.47	6.71	7.51	8.59	7.27	7.20	7.10	---	---	---	---	
1	---	4.81	---	---	---	---	---	---	---	7.01	7.00	7.14	6.70	
2	---	4.79	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
3	---	4.79	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
5	4.75	4.79	4.67	7.89	8.29	7.75	7.35	7.16	7.12	6.85	6.75*	6.57	6.52	
7	---	4.75	---	---	---	---	---	7.13	---	---	---	6.39	6.41	
8	---	4.70	4.47	---	---	---	---	---	7.02	---	6.52	---	---	
9	---	4.72	---	9.36	9.80	9.43	7.35	---	---	6.94	---	---	---	
10	---	4.70	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
11	5.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---	6.50	---	---	

* 4 m

Tabell 4.3. pH-värdets variation i Ljustjärn.

Det är svårt att se några klara tendenser, utom för alkalinitet, kalcium och pH-värde. Wilander och Ahl förklarar variationen i näringsämnen med att de biologiska förhållandena har varierat. Som synes höjdes alkaliniteten kraftigt direkt efter kalkningen, men har sedan visat en klart sjunkande tendens. Se fig. 4.1 där alkalinitetsvärdena är inprickade.

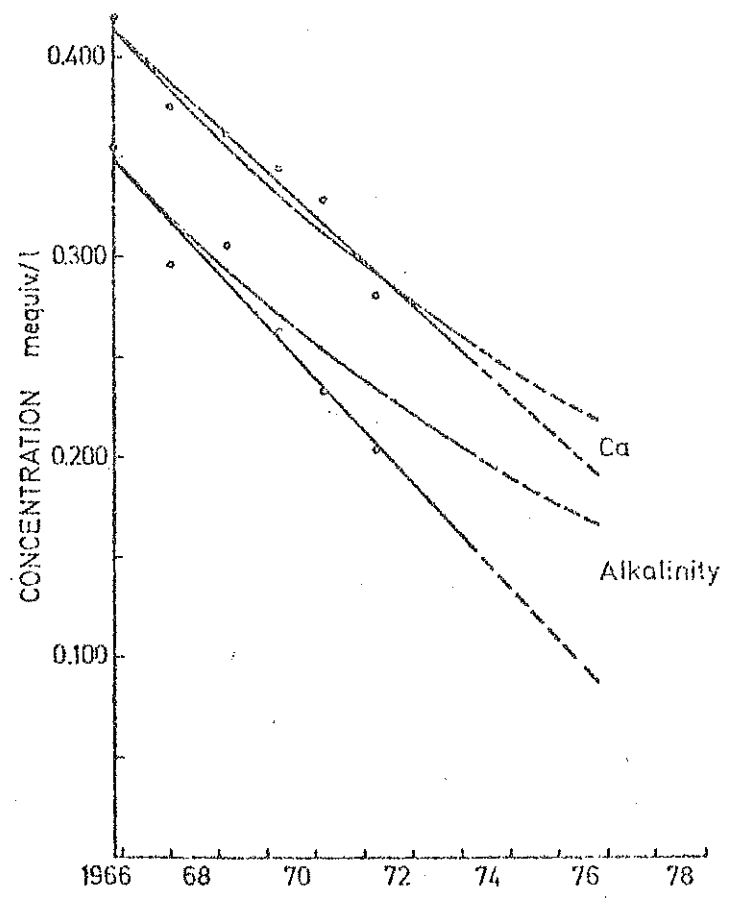


Fig. 4.1. Linjära trender och kurvor för utspädning för alkalinitet och kalcium.

Detta ger en linjär trend enligt den nedre kurvan. Om man antar att fullständig omblänning i sjövattnet sker, skulle alkaliniteten, enbart med hänsyn till utspädningen, ha avtagit enligt den övre kurvan, som beskrives med en exponentialfunktion. Att lägre alkalinitetsvärden erhöles, än vad utspädningen skulle ha givit, förutsätter man beror på syratillskott genom nederbörd. Skillnaden har beräknats för varje år och värden visas i tabell 4.4. Man har sedan tagit hänsyn till denna försurning i exponentialfunktionen för utspädning. Med hänsyn till de olika värdena på försurning fås då kurvor på hur alkaliniteten avtar med tiden. Se fig. 4.2.

Year	mequiv./l year	mequiv./m ² year
1966--68	0.002	1
1968--69	0.006	4
1969--70	0.006	4
1970--71	0.008	5
1971--72	0.009	6

Tabell 4.4. Beräknade värden på försurning. Värdena är skillnaden mellan de två alkalinitetskurvorna i figur 4.1.

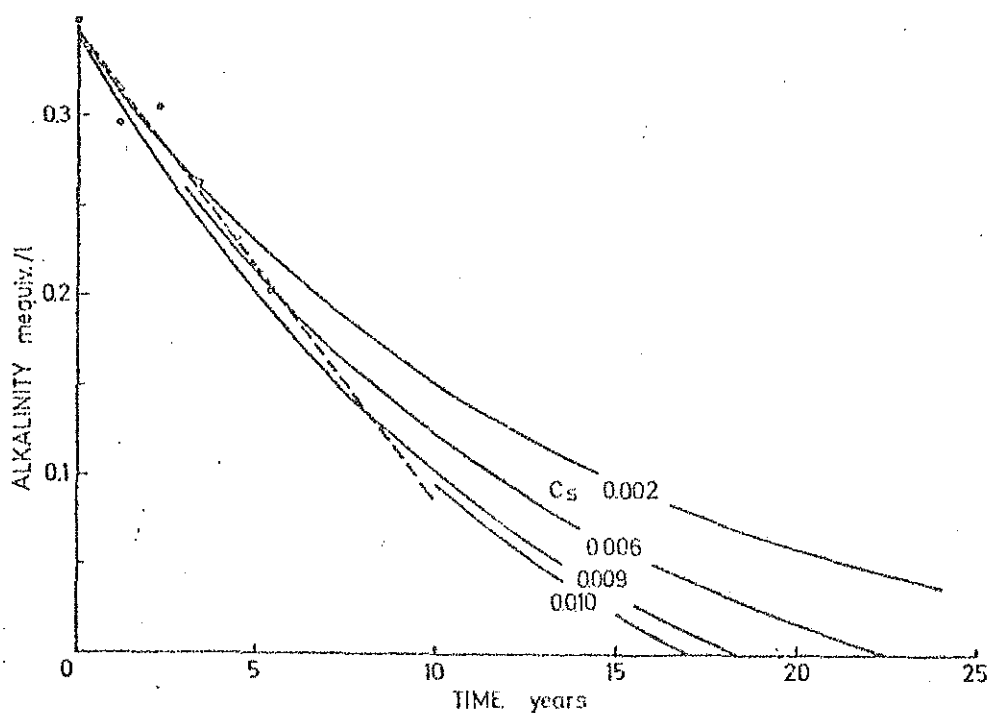


Fig. 4.2. Beräknade trender på alkalinitet, med hänsyn tagen till försurningen. Linjära trenden tagen från tabell 4.2.

Sedan försurning genom nederbörd blev allmänt känd i slutet av 1960-talet har kalkning av sjöar mot försurning blivit allt vanligare i Sverige. Mest omfattande åtgärder har vidtagits i Västsverige. Någon kalkning i Norrland har ej förekommit. Vid Fiskeristyrelsens inventering av kalkningsverksamheten i svenska fiskevatten 30 april 1974, hade 57 sjöar kalkats under 1973 och planer fanns för ytterligare ett 40-tal kalkningsprojekt.

Sedan 1973 bedriver Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning (IVL) ett forskningsprojekt kallat: "Jämförande undersökning av olika tekniker för återställande av försurade sjöar". Undersökningarna utföres i sex små skogssjöar i två geografiskt skilda områden, tre sjöar i Bohuslän och tre i Värmland. Projektet skall pågå i fem år. Man har bland annat kommit fram till, att inte enbart syran i nederbörden accelererar försurningen, utan även att de av surheten inducerade biologiska förändringarna i sjöarnas ekosystem bidrar till denna acceleration. Vad beträffar Östra Nedsjön har inga data framkommit som vare sig bekräftar eller förnekar att denna teori skulle vara riktig.

IVL har också genomfört en undersökning av olika kalksorters lämplighet för kalkning av sura sjöar. Undersökningen redovisades i tidskriften Vatten nr 2, 1975, [23]. Det visade sig att basiska slaggar, som till exempel T-kalk, samt finmalen kalciumkarbonat var särskilt intressanta för kalkning av sjöar på grund av sin intermediära löslighet jämfört med de momentant lösliga kalkprodukterna (CaO , Ca(OH)_2) och de svårlösliga, grovkorniga kalciumkarbonaterna. Det bör påpekas att detta gäller kalkning direkt i sjöar. Vid kalkning i bäckar kan den grovkorniga kalciumkarbonaten komma i fråga. På bäckbottenarna skapar den goda lekplatser för fisk. Den är också lämplig att använda om man buffrar det sura bäckvattnet i kalkbrunnar.

Alla kalkningsprojekt har inte lyckats. Det finns flera exempel på misslyckade försök, bland annat därför att botten består av slam och dy, varvid vattenutbytet med kalken minskat eller helt försvunnit och kalken blivit inaktiv.

I kapitel 8 beräknas kalkbehov och redovisas konsekvenserna av kalkning på olika ställen i Östra Nedsjöns avrinningsområde.

5. KALKNING AV ÖSTRA NEDSJÖN

5.1 Projektets tillkomst och genomförande

Vid en vattenundersökning, som utfördes av Länsstyrelsens i Älvsborgs Län naturvårdssektion och fiskerikonstulent Sander hösten 1970, konstaterades att pH-värdet i Östra Nedsjön hade sjunkit från 6,1 år 1968 till 5,09. I flera av de tillrinnande bäckarna uppmättes pH-värden mellan 4,0 - 4,8. Se bilaga 1.

Eftersom pH-värdet i regel sjunker ungefär 0,5 enheter under vinterhalvåret, vilket skulle få katastrofala följder för det värdefulla rödingbeståndet, såg man sig tvungen att snabbt vidtaga åtgärder. Östra Nedsjöns fiskevårdsförening beslöt att inköpa kalk. För att höja pH-värdet till 6,0 i sjön beräknades en kalkmängd, motsvarande 100 ton CaO, åtgå. Kalken inköptes dels från AGA-gas i Göteborg som kalkvatten, dels från Västsvenska Lantmän i Trollhättan som T-kalk. T-kalk är kalcium-magnesiumsilikat-haltig biprodukt från AB Ferrolegeringar i Trollhättan. T-kalk är alltså en blandning av CaSiC_4 och MgSiC_4 , som båda har syreneutraliserande verkan. T-kalk har ca 60 % CaO-verkan och sönderdelas direkt i vatten och bildar kalciumhydroxid Ca(OH)_2 , som genom inverkan av luftens koldioxid bildar CaCO_3 . Eftersom T-kalk i vatten ger Ca(OH)_2 är det möjligt att med T-kalk erhålla pH-värden uppemot 12. Resultat av analyser gjorda på AGA-kalk och T-kalk redovisas i bilaga 2.

I april 1971 kunde den första kalkningen ske, och innan årets utgång hade man fått ut hela den beräknade mängden i sjön. Vid slutet av år 1971 var i genomsnitt pH-värdet i sjön 5,8. På hösten 1972 var värdet oförändrat. Resultatet var alltså gott, men på grund av vattenomsättningen i sjön och den ökande försurningen, måste ytterligare åtgärder vidtagas för att höja buffringsförmågan på lång sikt. Man hoppades att detta skulle kunna uppnås genom att sprida kalk längs bäckar och sjöstränder samt på mossar och åkermark i avrinningsområdet. Det beräknades att totalt 825 ton kalk med 50 %-tig CaO-verkan skulle åtgå för en tioårsperiod. Kostnaden beräknades uppgå till 285 000 kr för fritt utspridd kalk. I september 1972 gjordes framställning till Arbetsmarknadsstyrelsen (AMS) för erhållande av dessa pengar. Ansökan beviljades och i slutet av november kunde arbetet börja med landets största kalkningsprojekt. Första tiden bedrevs arbetet för hand, men så småningom utrustades en skogs-traktor med kompressoraggregat och tank. Den milda vintern 1972/73 gjorde

det omöjligt att få ut kalken som planerats, varför ytterligare medel begärdes från ÅRS för att kunna fullfölja projektet. Kalkningen i Östra Nedsjöns tillrinningsområde har alltså utförts i två stapper, den första från november 1972 till och med juni 1973 och den andra från november 1973 till och med juni 1974. I den första kalkningen spreds sammanlagt 1200 ton kalk ut, 750 ton räknat som CaO, varav 70 ton kalkstensmjöl och resten T-kalk. I den andra kalkningen spreds sammanlagt 900 ton kalk ut, 530 ton räknat som CaO, varav 235 ton kalkstensmjöl och resten T-kalk. Av dessa 900 ton spreds 368 ton på åkermark i avrinningsområdet, fördelat på 320 ton T-kalk och 48 ton kalkstensmjöl. All övrig kalk är utlagd på 10-20 m:s bredd längs bäckar, sjöstränder och på mossar.

Kalken har i huvudsak levererats av Västsvenska Lantmän i Trollhättan. T-kalken har fraktionen 0-1 mm. Kalkstensmjölet har levererats som torkat 0-1 mm och en mindre del (60 ton) som 0-3 mm, vilken spridits på sommarstugetomter i området. Detta grova kalkstensmjöl samt 48 ton kalkstensmjöl 0-1 mm har levererats från Cementas fabrik i Ingaberga.

När kalkningen slutfördes i juni 1974 hade totalt 2100 ton kalk spridits i tillrinningsområdet till en kostnad av nästan 600 000 kr. Se fig. 5.1.

För att få en uppfattning om kalkens inverkan på skogens produktivitet har fem provytor utlagts. Två av dessa är kalkade med drygt 4000 kg per ha och har varsin okalkad referensyta strax intill. Den femte provytan har kalkats med 1500 kg per ha. Någon redovisning ingår ej i detta arbete.

5.2 Praktiska erfarenheter från kalkning

Vid kalkningen direkt i Östra Nedsjön under 1971 doserades totalt 258 ton kalk (100 ton CaO). 222 ton inköptes från AGA-gas i Göteborg och levererades som kalkvatten (30 % CaO). Kalkvattnet tömdes direkt från tankbil i Tubbaredsbäcken och nådde sjön inom några minuter. Resterande mängd 36 ton (63 % CaO) i form av T-kalk trycktes med kompressor ut över sjön och dess stränder på tre ställen, där lastbilen kunde komma intill.

Det stora kalkningsprojektet började i slutet av november 1972. Arbetlaget som bestod av 6 man, varav en förman, utrustades med skyddskläder. Första tiden genomfördes kalkningen helt för hand, med kalken i 50-kilos papperssäckar. Dessa visade sig vara för tunga samtidigt som de tog åt sig fukt och lätt gick sönder. Man övergick därför till 25-kilos plast-säckar. Under tiden omkonstruerades en, av domänverket ägd, skogs-

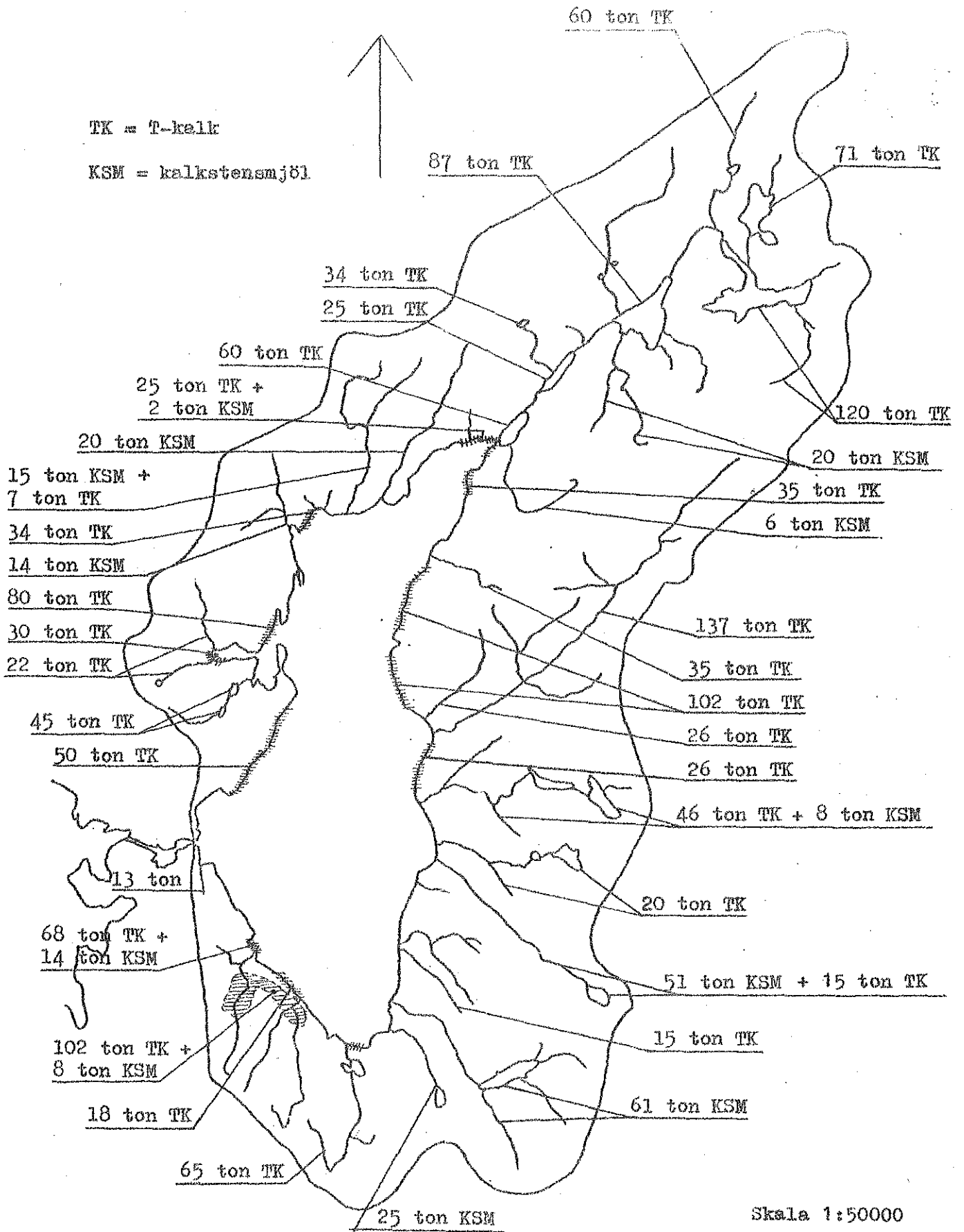


Fig. 5.I. Utspridd kalkmängd i Östra Nedsjöns avrinningsområde 1971 - 74.

traktor så att ett kompressoraggregat och en tank rymmande $6,8 \text{ m}^3$ kalk påkopplades. En större, siloliknande behållare rymmande 30 m^3 uppställdes vid Tubbareid. Meningen med detta arrangemang var att kalk kunde transporteras i lös vikt och tryckas ut via en påkopplad 3", upp till 60 m lång slang. Resultatet blev att spridningsarbetet blev lättare och kapaciteten ökade 3-4 gånger.

Spridningen från traktor hade dock vissa nackdelar. Eftersom traktortanken endast rymde $6,8 \text{ m}^3$, vilket motsvarar ca 9 ton kalk, innebar det många och ofta långa och tidsödande transporter från kalkstationen vid Tubbareid. Det stora och tunga traktorekipaget hade på många ställen svårt att ta sig fram i oländig terräng och handkalkning fick tillgripas. Runt svåråtkomliga sjöar genomfördes denna handkalkning på vintern, då isen kunde utnyttjas för att dra fram kalken på kälkar. Kalkning av mossar och våtmarker var planerad att genomföras på vintern, då den frusna marken skulle bära traktorekipaget. De milda vintrarna 1973 och 1974 gjorde kalkning från traktor i stort sett omöjlig på dessa marker.

En annan olägenhet var att kalken rök kraftigt, på grund av det höga tryck man måste ha för att få ut den. Detta höga tryck gjorde att det fordrades flera man att sköta slangen från tanken. Dessa blev då kraftigt utsatta för det rykande kalkstoffet. Vid stark vind blev förhållandena särskilt besvärande. Försök gjordes därför med en grövre kalksort 0-3 mm. Denna visade sig ryka mindre än den tidigare använda 0-1 mm, men i gengäld hade den en benägenhet att klumpa ihop sig i traktortanken.

Vid sidan om kalkningsprojektet gjordes ett mindre försök genom Cementas försorg, där man testade ett kalkstensmjöl (0,2 - 1,5 mm) med de finaste fraktionerna borttagna. Det visade sig att detta kalkstensmjöl var lätt-sprutat och rök mindre än de som använts vid kalkningen.

Det är svårt att säga någonting om hur de olika kalksorterna uppför sig efter kalkningen. Vid inventering av avrinningsområdet har emellertid en del iakttagelser gjorts. Kalk som utlagts på åkrar har på flera ställen klumpat ihop sig och bildat centimeterstora, hårda aggregat. Tendenser till aggregatbildning kan också iakttagas på andra ställen i den kalkade terrängen. Även i bäckar och sjöar har på vissa ställen kalken hårdnat och bildar sammanhängande kakor. Dessa platser sammanfaller i stort sett med de platser, där försök gjorts med särskilt stora givor. I övrigt har dock kalken fått en jämn spridning och på de flesta ställen kan man något år efter kalkningen ej se några spår av denna på marken.

Kalkningen kan till en början ge en störande naturbild på grund av att kalk fastnar på vegetationen. Vid kalkningen kring Östra Nedsjön har man noterat att om regn följer nära inpå kalkningen "tvättas" vegetationen helt ren. Om däremot lång tid förflyter får regnet svårare att "tvätta" vegetationen ren.

Såväl yt- som grundvatten i Östra Nedsjöns avrinningsområde har en hög järnhalt. Detta har resulterat i att kalken, särskilt på de ställen där den hårdnat, fått en brunaktig färg på grund av utfällda järnhydroxider och järnkarbonater. Järnkarbonat (FeCO_3) kan visserligen inte existera i sur lösning, men på kalkens yta är det förmodligen så basiskt att järnkarbonat kan fällas ut. Detta försvårar utlösningen av kalken, eftersom löslighetsprodukten för järnkarbonat (FeCO_3) är $10^{-10,68}$ och för järnhydroxid ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) är $10^{-38,04}$, jämfört med löslighetsprodukten för kalciumkarbonat (CaCO_3) som är $10^{-8,32}$. Dessa löslighetsprodukter gäller för rent vatten. Ferrihydroxid är mycket svårslösligt, endast $48,10^{-9}$ g/l i rent vatten. Detta försvårar eller omöjliggör utbytet mellan kalk och vatten.

Några platser har iakttagits, där kalken på bäckbottnarna har en grovkornig, grynig karaktär. Detta kan bero på att det finkorniga materialet antingen har spolats bort eller lösts upp. Denna grovkorniga kalk har ej överdragits av utfällda järnhydroxider, troligen beroende på att kalkkornen, på grund av det forsande bäckvattnet, mer eller mindre håller sig i rörelse.

I Östra Nedsjöns avrinningsområde finns både bofast befolkning och sommargäster. Vid kontakt med dessa har framkommit att man i allmänhet ställt sig positiv till kalkningsprojektet, vilket visar att man är medveten om försurningsfaran för Östra Nedsjön och värnar om sin sjö. Jordbrukarna har haft särskild anledning att vara nöjda, då enligt uppgift de kalkade åkrarna givit en förbättrad skörd. Folk som fiskat i Östra Nedsjön och de övriga småsjöarna efter kalkningen tycker sig ha märkt att tillgången på och konditionen hos fisken har förbättrats.

5.3 pH före och efter kalkning

Några äldre undersökningar av pH för Östra Nedsjön finns ej. De tidigaste är från 1967 och omfattar småsjöar i avrinningsområdet. För Östra Nedsjön är det tidigaste värdet från 1968, då det låg på 6,1. En sammanställning av pH och alkalinitet från samtliga undersökningar i Östra Nedsjöns avrinningsområde har här gjorts, vilken redovisas i bilaga 1.

Från och med att kalkningen kom igång i april 1971 har pH-värdet kontinuerligt undersökts i området av länsstyrelsens naturvårdsenhet. Från och med februari 1973 har Kemiska stationen i Skara gjort kvartalsvisa analyser av Östra Nedsjöns vatten. I Östra Nedsjön har man haft tre provtagningslokaler. En vid utflödet (83) och två ute i sjön (80Y, 81Y). Vid de två ute i sjön har även analyser av djupvattnet gjorts (80B, 81B). Se fig. 5.2. En viss försiktighet bör iakttas vid jämförelser med de tidigaste pH-värden i sammanställningen, då dessa kommer från undersökningar gjorda av olika institutioner med antagligen olika pH-metrar. Vissa värden är tagna i fält och andra på laboratorium.

Från de tidigare mätningarna är det svårt att dra några säkrare slutsatser om kalkningens korttidsverkan, eftersom detaljerade uppgifter om tidpunkt för kalkning i de olika områdena saknas. En del iakttagelser kan dock göras.

Östra Nedsjön: Det var det låga pH-värdet på 5,05 i december 1970 som gav upphov till kalkningsprojektet. Efter den första kalkningen, direkt i sjön, under 1971 kunde man notera en pH-höjning till ca 5,8. pH-värdet var i stort sett oförändrat hösten 1972, men sedan kalkningen av avrinningsområdet kommit igång i november 1972, höjdes pH ytterligare några tiondelar och har i stort sett legat omkring 6,0 i hela sjövolymen sedan dess. En tendens, till att pH-värdet ligger någon eller några tiondelar lägre på djupare vatten än i ytan, kan urskiljas. Denna tendens är tydligast för sommarmånaderna. Dessutom kan en pH-sänkning på ett par tiondelar under senvintern och våren noteras, såväl 1974 som 1975.

Vid undersökning av västsvenska sjöar 1970-72 18 var alkaliniteten noll både i december 1970 och i maj 1971. Dessa värden får ses med en viss reservation, eftersom lägre koncentrationer än 0,01 mekv/l är svåra att mäta. Klart står dock att alkaliniteten har ökat sedan kalkningsprojektets början och har under hela perioden i stort sett varierat mellan 0,01 - 0,06 mekv/l. Detta värde förefaller lågt, men man bör då veta att en tillsats av 1000 ton kalk (CaCO_3), fullständigt löst i sjön, endast ger en genomsnittshöjning av alkaliniteten på 0,08 mekv/l.

Under våren 1975 var alkaliniteten relativt jämnt fördelad i hela sjövolymen och varierade mellan 0,01 - 0,02 mekv/l. Det går ej att dra några slutsatser av detta, då man även under kalkningen haft perioder med låga alkalinitetsvärden.

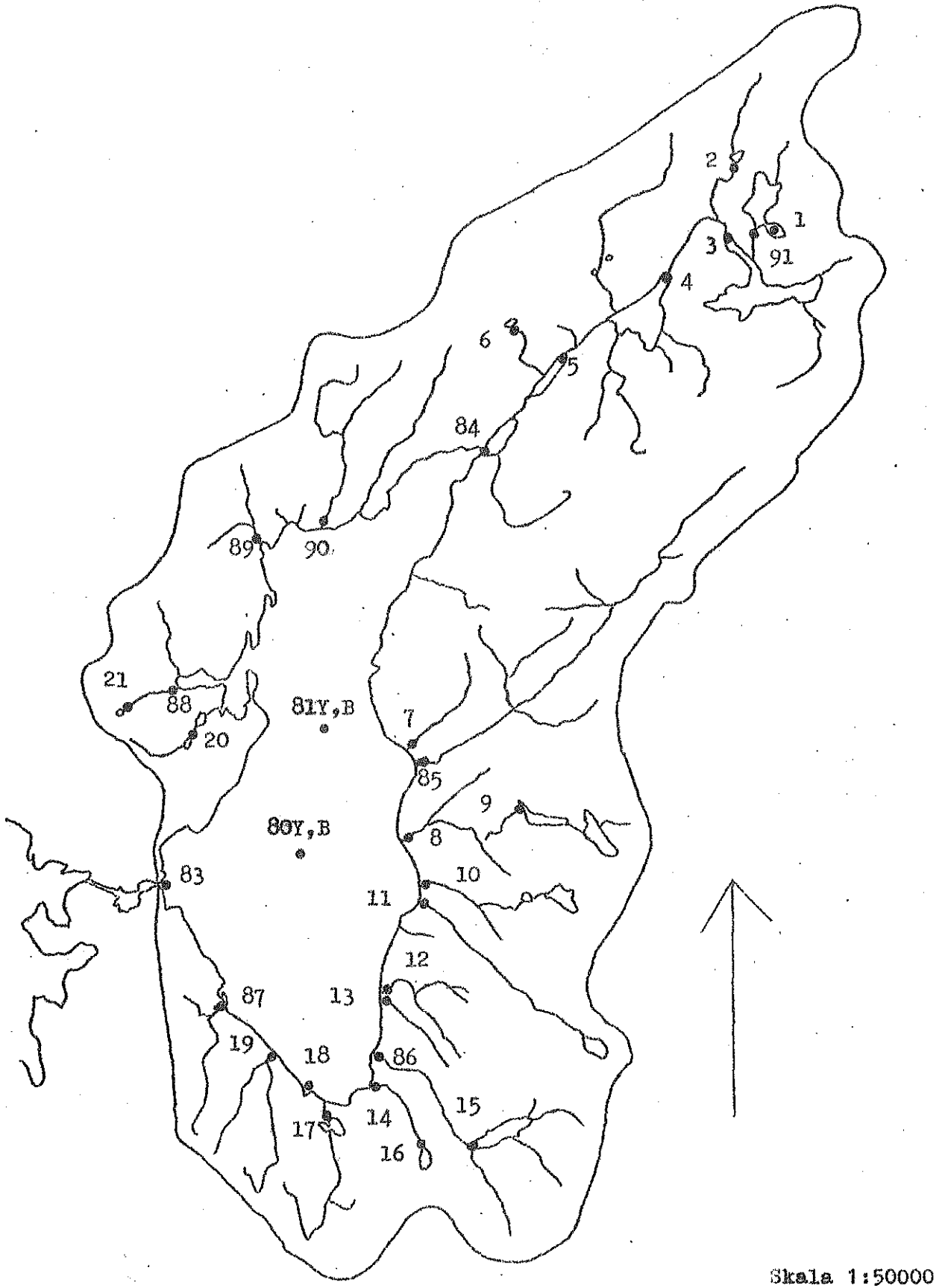


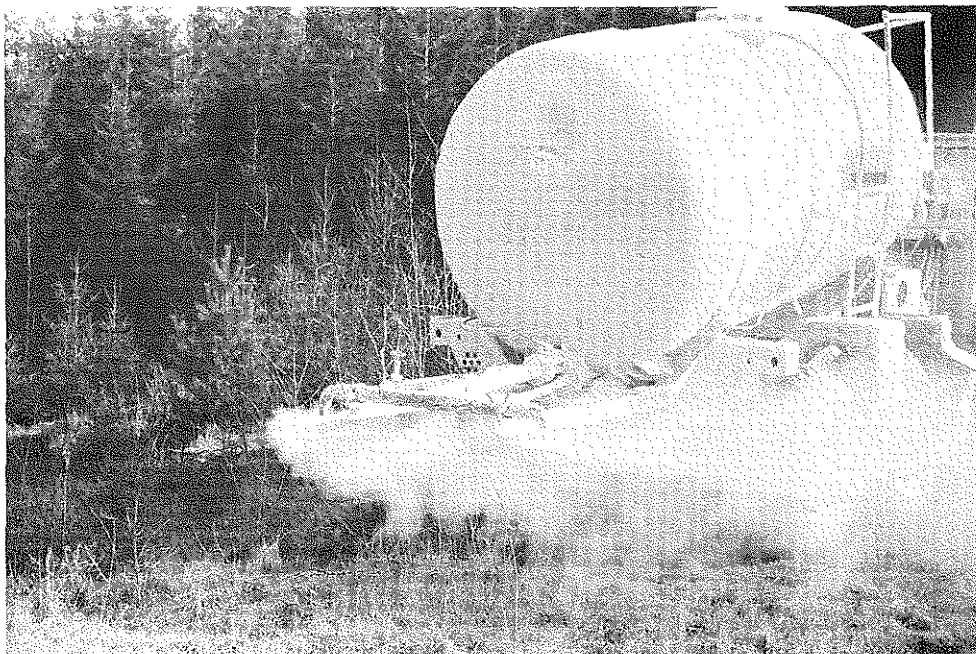
Fig. 5.2. Provtagningslokaler för pH och alkalinitet. Värdena redovisas i bilaga 1.

Tillrinnande bäckar: De pH-värden som finns före kalkningen visar att de flesta bäckar och sjöar i tillrinningsområdet hade låga pH-värden, mellan 4,0 - 4,8. Så lågt värde som pH 3,7 uppmättes 1968 i Mörkatjärn, (nr 2 i fig. 5.2). Alkalinitetsvärden före kalkningen finns endast i ett fåtal bäckar (88, 89 och 90) och har då varit noll eller mycket låga. Direkt efter kalkningen höjdes både pH-värdet och alkaliniteten, på en del ställen mycket kraftigt. De extremt höga pH-värdena avtog ganska snabbt och stabiliserade sig i stort sett mellan 6-7. pH och alkalinitet har haft bra värden sedan kalkningen förutom en period omkring februari 1974, då pH-värden under 5 och alkaliniteten 0 uppmättes i flera kalkade bäckar (84, 86 och 91). Detta beror troligen på den sänkning av pH och alkalinitet som allmänt sker vid snösmältning och tjällossning. Jämför Klarälven kapitel 1.1.2.

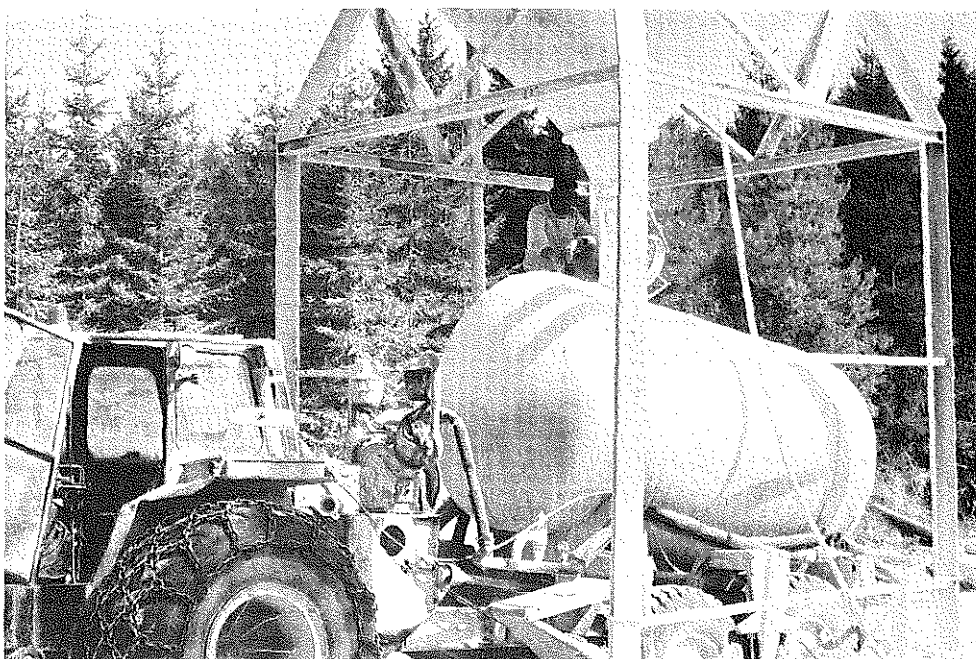
I kapitel 6 redovisas inom examensarbetet gjorda pH-undersökningar under fältarbete sommaren 1974. I samband härmed diskuteras de äldre värdena, som redovisas i bilaga 1, mer ingående.



Kalkning i bäck-
fåra via slang
från kompressor-
aggregatet



Kalkning direkt
från den traktor-
drivna kompressor-
tanken



Påfyllning av
kompressortanken
från en kalksilo

6. KARTLÄGGNING AV pH-FÖRHÅLLANDEN MED MERA I ÖSTRA NEDSJÖNS AVRINNINGSSOMRÅDE

6.1 Bakgrund

Vid en första inventering av avrinningsområdet stod det klart att det, inom ramen för detta arbete, var omöjligt att detaljstudera hela området. Tre områden valdes därför ut för att detaljstuderas. Dessa områden är, nordöstra tillrinningsområdet med utlopp i Östra Nedsjön vid Morjesjöos - skogbevuxet moränområde med många sjöar, Tubbaredsbäckens tillrinningsområde - skogbevuxet moränområde med åker- och ängsmark och Store Mossens tillrinningsområde med övervägande delen mossmark. Se fig. 6.1. I övrigt har avrinningsområdet endast studerats översiktligt.

Ett antal pH-mätningar har gjorts i fält med portabel pH-meter av märket Radiometer, Copenhagen typ pHM 29 b på såväl ytvatten som grundvatten. Dessutom har, inom varje delområde, vattenprov tagits, vilka har analyserats på Kemiska stationen i Skara. Ett prov har tagits vid utloppet från varje delområde och ett har tagits så långt uppströms som möjligt. Avsikten med dessa analyser var att studera vad som händer med vattnet under transporten till Östra Nedsjön. Det bör poängteras att de slutsatser som här dras grundar sig på ett litet analysmaterial. Det hade varit önskvärt att betydligt fler analyser hade kunna göras för att kunna dra mer långtgående slutsatser. Det bör också påpekas att av de pH-värden som redovisas i detta kapitel, de på kartor redovisade utgör egna fältvärden. De som redovisas i samband med kemiska analyser är lab-värden från Kemiska stationen i Skara.

Sommaren 1974 var nederbördsfattig och vattentillgången dålig, vilket medförde att många bäckar var torra. Det har därför varit svårt att få en god helhetsbild av pH-förhållandena i området.

De tre delområdenas arealer och den procentuella fördelningen av olika markslag har bestämts genom planimetrering. Dessutom har hydrologiska beräkningar utförts för de olika områdena.

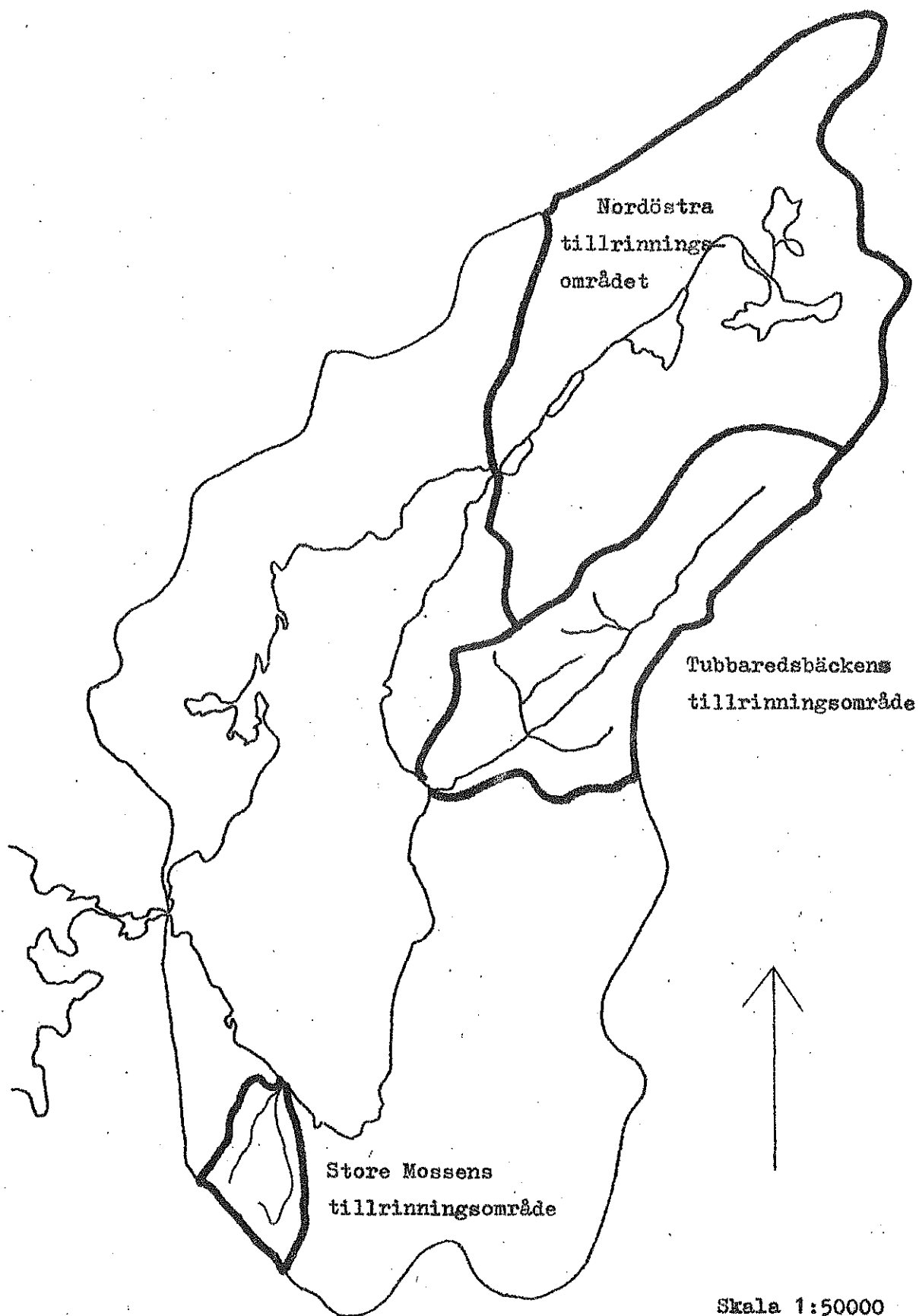


Fig. 6.1. Delområden inom Östra Nedsjöns avrinningsområde som har detaljstuderats.

6.2 Nordöstra tillrinningsområdet

	Area	
Sjöyta	55 ha	6 %
Mossmark	68 ha	7 %
Åker- och ängsmark	43 ha	4 %
Skogsmark	840 ha	83 %
Tillrinningsområde	1006 ha	100 %

Eftersom en del mossmark är skogbevuxen upptar skogsmarken i verkligheten en större andel av den totala ytan.

Nordöstra tillrinningsområdet utgör 30,1 % av Östra Nedsjöns tillrinningsområde. Den totala nederbörden över detta område är då 9,30 milj. m³/år.

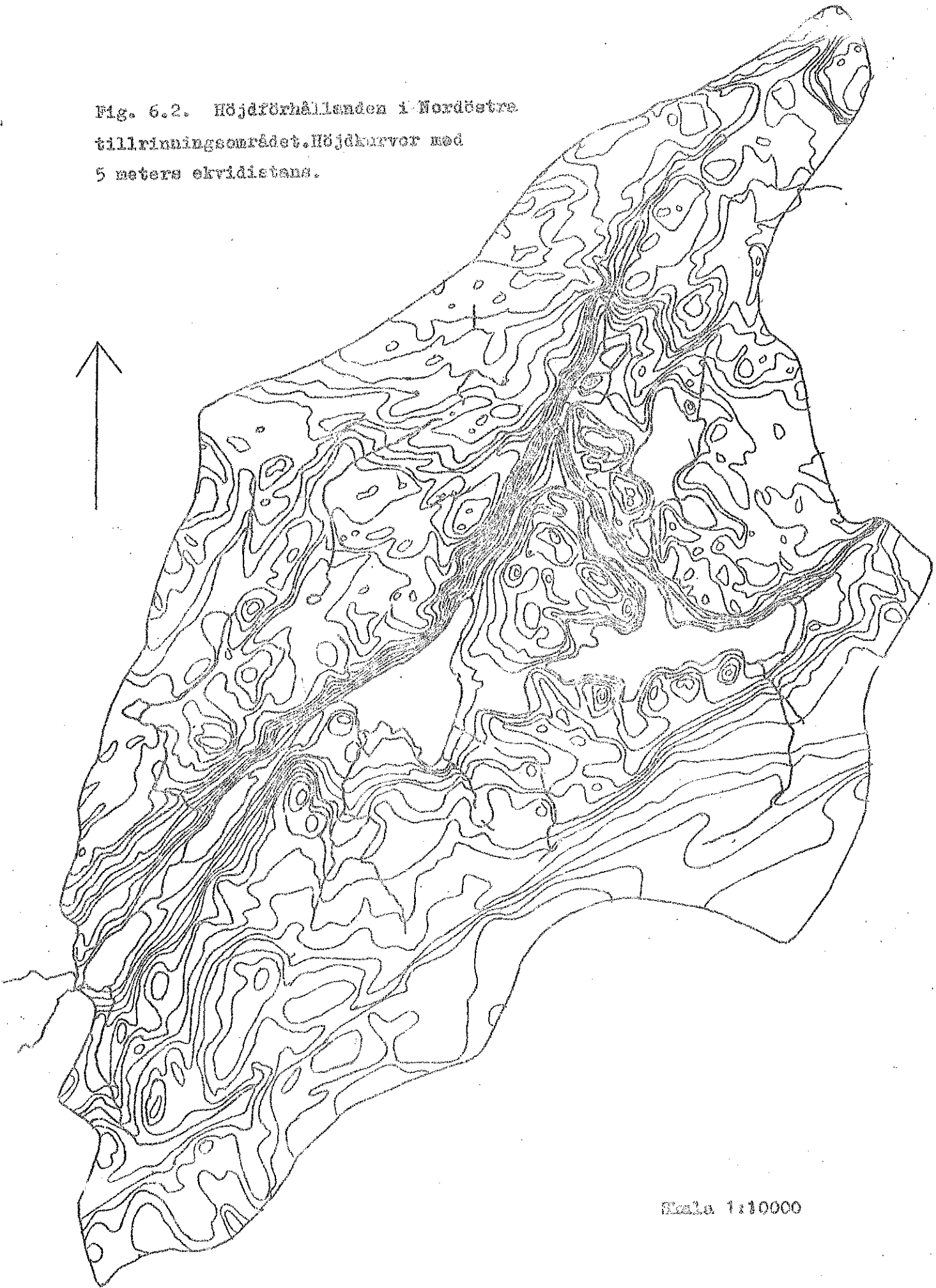
Med avdunstningen uträknad enligt formel (2.1) för detta område, erhålles en tillrinning till Östra Nedsjön på 5,23 milj. m³/år = 166 l/s, vilket motsvarar 32,5 % av den totala tillrinningen.

Denna del tillhör en av de mest kuperade delarna av tillrinningsområdet. Se fig. 6.2. Nordväst om sjöarna och huvudbäckfåran förekommer stor del berg i dagen. Jämför fig. 2.3. Berget stupar här kraftigt ner mot sjöarna och bäckfåran. Moränen som finns på vissa ställen kan därför antas förekomma i ett tunt lager. Dessa faktorer medför att markvattenavrinningen är stor och i de branta delarna snabbare än i övrigt. På sydöstra sidan däremot dominerar moränen, som här har stor mäktighet och är blockrik. Detta kan iaktas i skärningar vid nybrutna skogsvägar i området. Markvattenavrinningen är också i detta område stor, även om den inte är lika stor som i områden där kalt berg dominerar.

Den stora andelen skogbevuxen moränmark samt riklig förekomst av kalt berg gör att en mycket liten del av nederbörden bildar grundvatten. Den del av nederbörden som inte avdunstar, avrinner följaktligen som grund- eller ytvatten till sjöarna eller huvudbäckfåran för att så småningom rinna ut i Östra Nedsjön vid Morjesjöos.

Vid Morjesjöos finns pH-värden från 1968 och framåt och sedan kalkningen började har pH och alkalinitet analyserats i stort sett två gånger per månad. Se bilaga 1.

Fig. 6.2. Höjdförhållanden i Nordöstra
tillrinningsområdet. Höjdkurvor med
5 meters ekvidistans.



Skala 1:10000

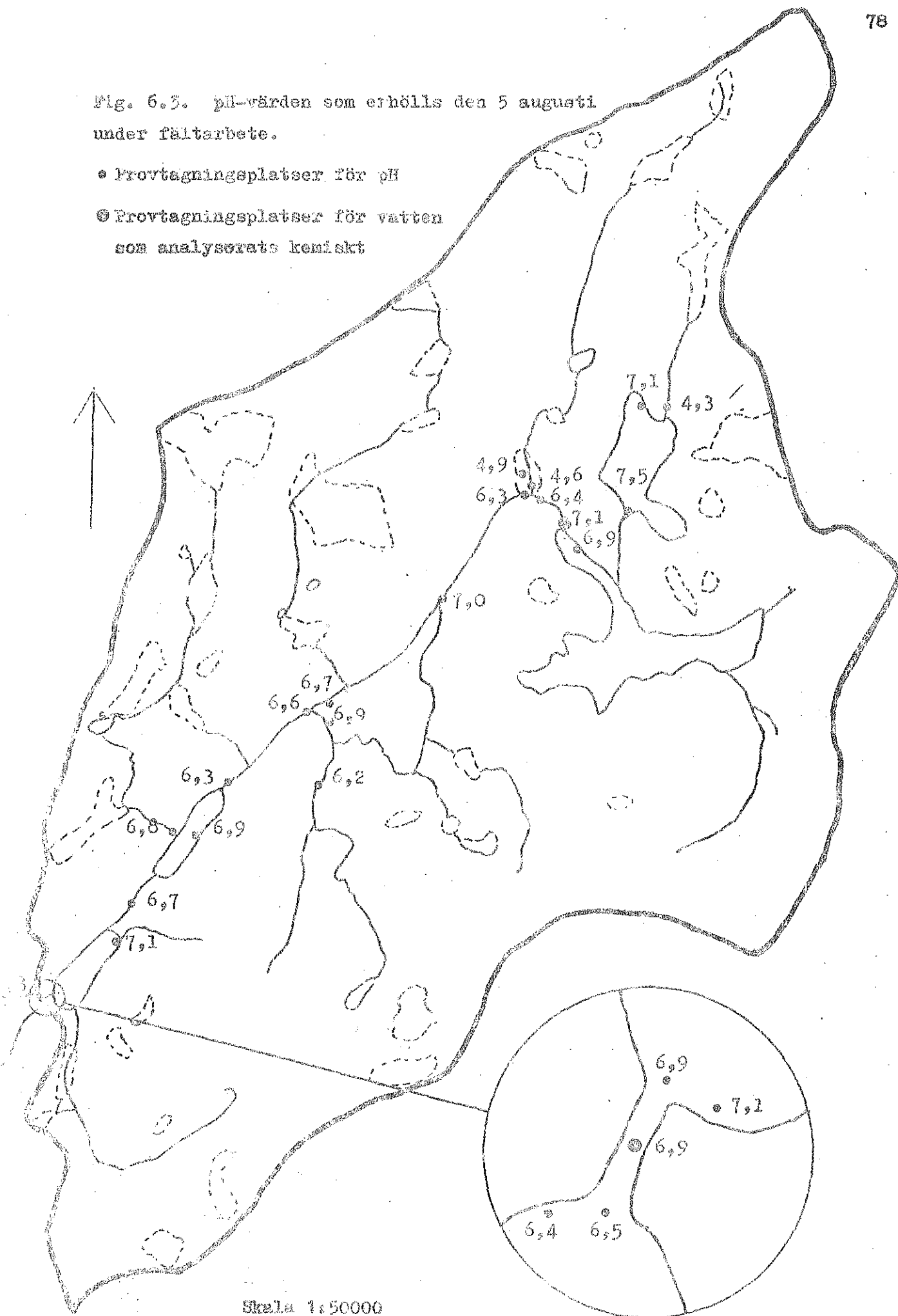
Före den 20 mars 1973 erhöjls pH-värdet 5 och därunder vid flera tillfällen. Kalkning av småsjöarna skedde under början av år 1973, med ca 370 ton T-kalk. Från april 1973 till november låg pH-värdet omkring 6,5. Under denna period varierade alkaliniteten mellan 0,06 - 0,26 mekv/l. Från november sjunker både alkalinitet och pH och ett lägsta värde noterades den 5 februari 1974, då pH var 5,1 och alkaliniteten var 0,0 mekv/l. På våren 1974 utfördes en ny kalkning i området, med ungefär 100 ton kalk. Förmodligen skedde kalkningen i början av februari, ty efter detta datum stiger båda parametrarna, och i maj har acceptabla värden uppnåtts. Under hösten och vintern 1974/75 har inga analyser utförts för Morjesjöos. På våren 1975 är pH högt, över 6, medan alkaliniteten har minskat till ungefär 0,06 mekv/l.

De låga värdena under vintern 1973/74 kan ha flera orsaker. En orsak skulle kunna vara att kalken i området antingen förbrukats eller blivit inaktiv, d v s ingen buffring har skett av det sura nederbörds-vattnet. pH-höjningen under våren 1974 skulle då vara en effekt av den andra kalkningsomgången. Detta är dock mindre troligt, eftersom analyser från våren 1975 visar godtagbara värden, 10 månader efter att kalkningen slutförts. Den troligaste orsaken till de låga pH-värdena är, att relativt stor nederbörd föll under vintermånaderna. Dessutom tillkommer den generella sänkning, som förekommer under vintern. Jämför kapitel 1.1.2.

I figur 6.3 redovisas pH-värden som erhöjls den 5 augusti 1974 under fältarbete. De bäckar där pH-värde saknas var vid undersökningstillfallet torra. pH-värdena i huvudbäckfåran och sjöarna är höga och jämna, utom på ett par ställen, i Hallesjöns tillflöde och i bäcken från Mörkatjärn, där värden under 5 erhöjls. Detta beror antagligen på påverkan från surt mossvatten. Vid utloppet till Östra Nedsjön vid Morjesjöos sänks pH-värdet en halv enhet till 6,5 då det tillrinnande vattnet blandas med vattnet i Östra Nedsjön.

Fig. 6.3. pH-värden som erhöles den 5 augusti
under fältarbete.

- Provtagningsplatser för pH
- Provtagningsplatser för vatten
som analyserats kemiskt



Skala 1:50000

Provtagningslokaler för vatten som analyserats kemiskt framgår av figur 6.3. Eftersom bäcken som avvattnar Hallesjön till Tvättesjön var torr, togs det uppströms vattenprovet i Tvättesjön. Proverna togs den 16 augusti 1974 med analysresultatet:

	Uppströms	Nedströms
pH	6,2	6,5
Färg mg Pt/l filt. prov	35	15
Kalcium mg Ca/l	2,5	2,6
Magnesium mg Mg/l	1,8	1,8
Hårdhet °dH	0,8	0,9
Ledningstal	112	117
Alkalinitet, total, mekv/l	0,26	0,25
Sulfat mg SO ₄ /l	15	14

Som framgår är den enda väsentliga skillnaden mellan proverna att pH är något högre vid utflödet i Östra Nedsjön än i Tvättesjön. Att analysvärdena i övrigt är så lika tyder på att bäck- och sjövattnen har en jämn status. De höga alkalinitets- och pH-värdena uppströms innebär att kalkningen redan här haft avsedd effekt. Vidare kan man av analysresultaten utläsa att det vatten, som tillförs huvudbäcken nedströms den övre provtagningspunkten, buffras av den utspridda kalken, utan att tära på alkaliniteten i det uppströms buffrade vattnet. Uppenbarligen har kalken avsedd effekt kring Tvättesjön samt nedströms denna och förbrukas i takt med syranedfallet.

6.3 Tubbaredbäckens tillrinningsområde

	Area	
Sjöyta	0 ha	0 %
Mossmark	51 ha	13 %
Åker- och ängsmark	37 ha	10 %
Skogsmark	294 ha	77 %
<u>Tillrinningsområde</u>	<u>382 ha</u>	<u>100 %</u>

Liksom vid nordöstra tillrinningsområdet är en del mossmark skogbevuxen.

Tubbaredbäckens tillrinningsområde utgör 11,3 % av Östra Nedsjöns tillrinningsområde. Den totala nederbörden över detta område är då 3,50 milj. m³/år. Med avdunstningen uträknad enligt formel (2.1) för detta område, erhålls en tillrinning till Östra Nedsjön på 2,10 milj. m³/år = 67 l/s, vilket motsvarar 13,0 % av den totala tillrinningen. Tubbaredbäcken och nordöstra tillflödet, vilka är de två största tillflödena till Östra

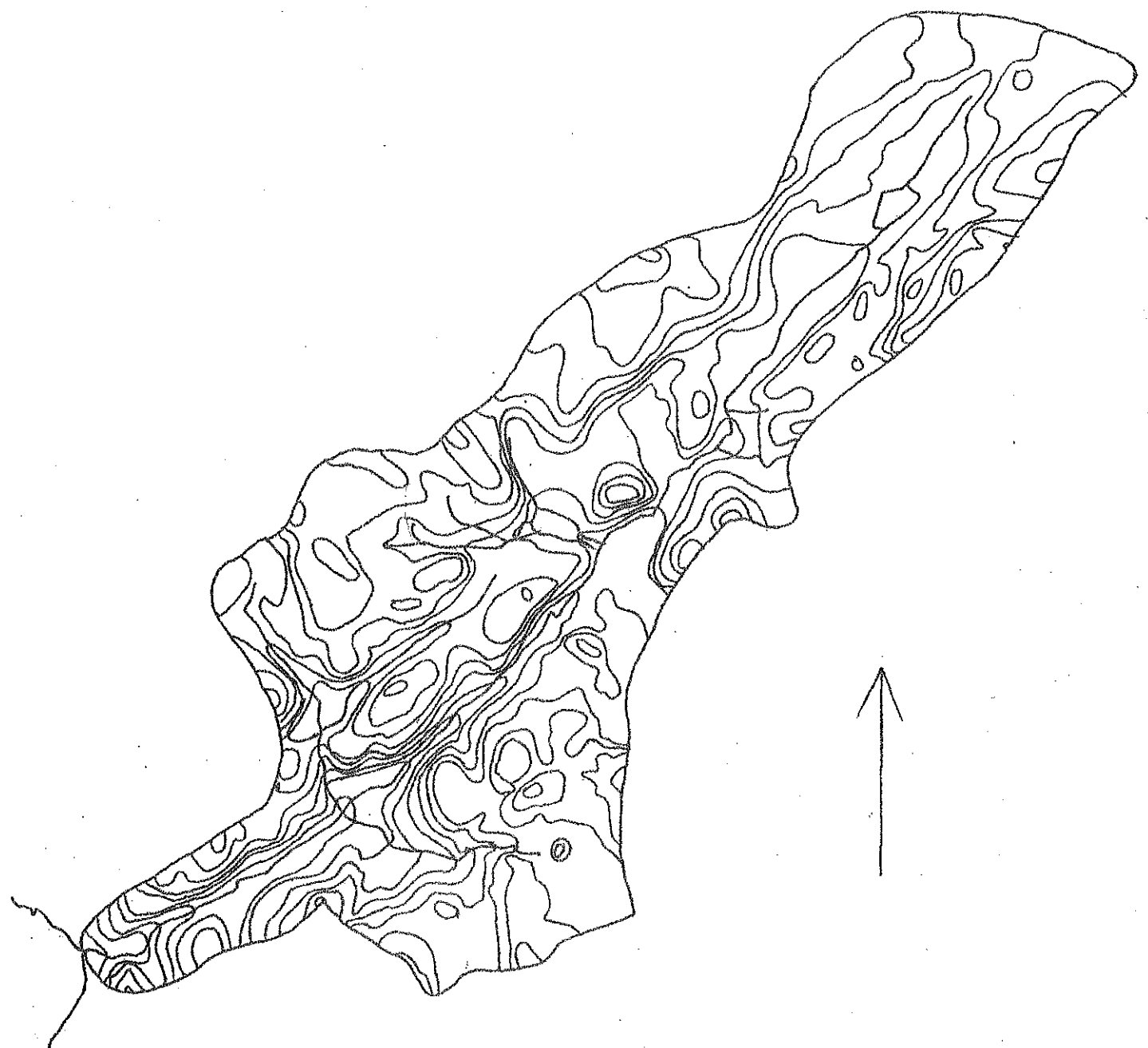
Nedsjön, svarar alltså tillsammans för 45,5 % av den totala tillrinningen.

Detta tillrinningsområde är långt och smalt och domineras av Tubbaredsbäcken, som endast har ett fåtal mindre tillrinnande väckar. Södra delen är relativt kuperad, medan norra delen har ett flackare landskap. Se figur 6.4. Det är också i norra delen man återfinner den åkermark som finns i området. Området domineras av moränmark, även om en del inslag av berg i dagen förekommer. Jämför figur 2.3. I södra delen är sluttningarna ner mot bäcken brantare än i norr, varför man kan anta att yt- och markvattenavrinningen i södra delen utgör en större del av den totala avrinningen än i norr. En reservation får dock göras, då åkermarken i norra delen genom dränering gör att yt- och markvattenavrinningen blir större än under naturliga förhållanden. Den dränerade åkermarken gör dessutom att det infiltrerade regnvatten, som ej bildar grundvatten avrinner snabbt genom öppna eller täckta diken. Det rör sig här om dagar eller möjligen några veckor för regnvattnet att nå Tubbaredsbäcken, i jämförelse med grundvattnet, som tar flera år på sig att nå bäcken.

Liksom för nordöstra tillrinningsområdet finns för Tubbaredsbäcken (85) äldre värden på pH. Det tidigaste är från december 1970 då pH 4,6 noterades. Sedan det stora kalkningsprojektet igångsattes har både pH och alkalinitet analyserats regelbundet för Tubbaredsbäcken vid bäckens utflöde i Östra Nedsjön. Värdena redovisas i bilaga 1.

Vid den första kalkningen som skedde under 1971, doserades den mesta kalken som kalkvatten i Tubbaredsbäcken strax intill Östra Nedsjön. Detta skedde dels i april med 98 ton kalk och dels i december med 124 ton. Avsikten var att kalkvattnet skulle spolats direkt ut i sjön, men man fick även en effekt i bäcken, eftersom pH både i juli och oktober var så högt som 6,1. I april 1972 hade dock pH sjunkit igen och var fortfarande lågt när kalkningen av tillrinningsområdet startade i slutet av november 1972. På grund av att kalkstationen var belägen strax intill Tubbaredsbäcken, kom denna att bli utsatt för ett flertal doseringar vid rengöring av traktortank och annan utrustning. Detta har gjort att pH och alkalinitet har varierat kraftigt, men värdena har hela tiden följts åt. När första kalkningsomgången var slutförd i juni 1973 låg pH och alkalinitet på 9,0 resp. 0,86 mekv/l. Dessa extrema värden sjönk snabbt och låg sedan omkring 6,6 resp. 0,3 fram till oktober, då pH och alkalinitet rasade ned till 6,1 resp. 0,03. Värdena

Fig. 6.4. Höjdförhållanden i Tubbaredbäckens tillrinningsområde.
Höjdkurvor med 5 meters ekvidistans.



Skala 1:10000

låg sedan häromkring fram till februari 1974, då man får anta att en ny kalkning av bäcken skedde, eftersom värdena höjdes kraftigt då. Därefter har båda parametrarna sjunkit långsamt och var i slutet av april 1975 6,6 resp. 0,07 mekv/l. Den 21 maj hade både pH och alkalinitet ökat till 7,2 resp. 0,22 mekv/l. Alltså blev det även här en nedgång av pH och alkalinitet under våren, medan en återgång sker fram mot sommaren.

Den kraftiga sänkningen av pH och alkalinitet som skedde i början av oktober är svår att finna någon förklaring till. Möjligen skulle det kunna bero på att den nederbörd som föll under september (80 mm) till största delen föll i slutet av månaden (70 mm), några dagar innan de låga värdena noterades. Då Tubbaredsbäckens avrinningsområde är smalt och helt saknar sjöar, sker avrinningen efter en nederbördsperiod troligen inom några dagar. En jämförelse med Hagabäcken (86), som var helt torr innan nederbördsperioden, visar samma tendens. I nordöstra tillrinningsområdet däremot, gav denna nederbördsperiod ingen effekt. Detta beror troligen på att där krävs betydligt större nederbörd för att man ska kunna se ett direkt samband mellan avrinning och nederbörd, då de många sjöarna har en utjämnande effekt på såväl vattnets flöde som sammansättning.

Liksom för nordöstra tillrinningsområdet har för detta område en undersökning avseende pH-värdets variation utmed bäckarna gjorts. I figur 6.5 redovisas de pH-värden som erhöles under fältarbete den 25-26 juli 1974 på ytvatten i området. I huvudbäckfåran varierade pH-värdet mellan 7,6 och 5,5 med ett medelvärde på 6,5. Intressant är det sura mossvattnets påverkan på bäckvattnet. Bäckan rinner genom två mossar. Vid bäckens inlopp till den uppströms liggande mossen var bäckvattnets pH 6,8 och hade vid utloppet från mossen sjunkit 0,6 pH-enheter. Vatten i mossens yta hade ett pH på 4,8. Vid utloppet från nästa mosse, som ligger strax nedströms, hade pH sjunkit till 5,5. pH på ytvattnet i denna mosse var 3,9. pH-värdet ökade sedan successivt och var vid utloppet i Östra Nedsjön 7,6. Sjövattnets pH strax utanför utloppet var 6,4. pH-värdet i de tillrinnande bäckarna var något lägre än i huvudbäckfåran. I en av de tillrinnande bäckarna togs pH-värdet både på kvällen den 25 juli och på morgonen den 26, detta på grund av att det hade regnat under natten. pH hade sjunkit från 6,4 till 5,8, uppenbarligen på grund av regnet. Bäckan var okalkad och rinner genom ett kalhygge. Vad gäller det låga pH-värdet på 3,7 som erhöles i en av de tillrinnande bäckarna,

bör påpekas att vattnet pressades fram ur den mossiga bäckbotten, eftersom något rinnande bäckvatten ej fanns.

Provtagningslokaler för ytvatten som analyserats kemiskt framgår av figur 6.5. Proverna togs den 16 augusti 1974 med analysresultat:

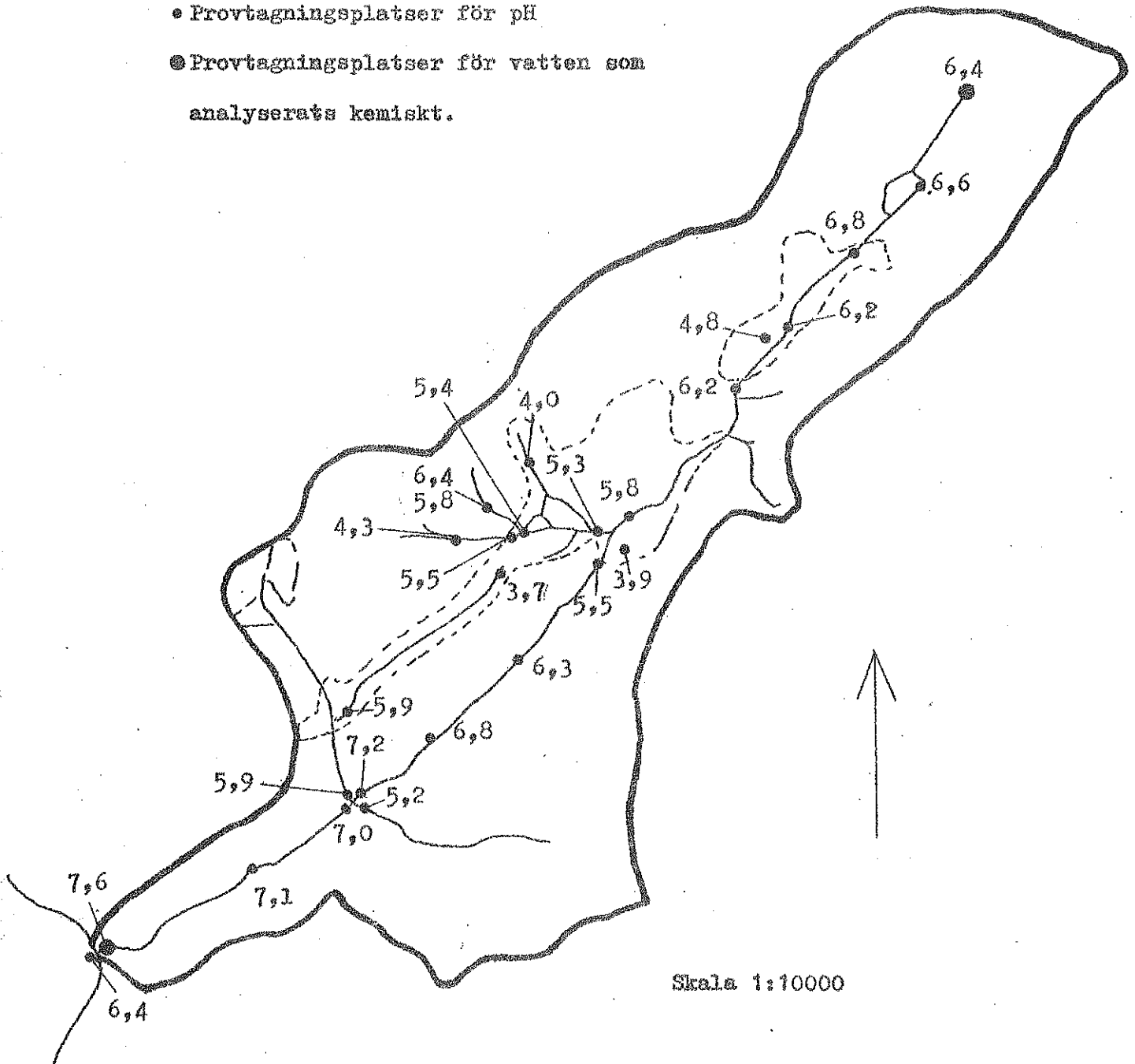
	Uppströms	Nedströms
pH	6,5	6,8
Färg mg Pt/l filt. prov	175	125
Kalcium mg Ca/l	2,0	3,4
Magnesium mg Mg/l	4,9	2,5
Hårdhet °dH	3,9	1,1
Ledningstal	180	111
Alkalinitet, total, mekv/l	0,55	0,35
Sulfat mg SO ₄ /l	29	10

Alla parametrar är större uppströms än vid utloppet, utom pH. Att kalciumhalten och alkaliniteten är högre uppströms än nedströms kan verka egendomligt, eftersom bäcken är kalkad hela vägen ner till sjön. En tänkbar förklaring kan man finna i den kalkade åkermarken, som dominerar norra delen av Tubbaredbäckens tillrinningsområde. Som nämnts i kapitel 4 neutraliseras surt nederbördsvattnet antingen genom att lösa CaCO₃ (formel 4.7) eller genom buffring med det lösta bikarbonatsystemet (formel 4.8). Vilken av dessa reaktioner som sker i första hand beror givetvis på om nederbördsvattnet först kommer i kontakt med kalk eller tidigare alkaliserat vatten. När kalk ligger på markytan neutraliseras surt nederbördsvattnet främst genom utlösning av kalk och därvid bildas Ca²⁺-joner och HCO₃⁻-joner enligt formel 4.7. Runt den uppströms belägna provtagningspunkten är åkermarken kalkad. Eftersom åkermarken dräneras mycket snabbare än övrig mark, kommer det avrinnande vattnet, med sitt innehåll av Ca²⁺- och HCO₃⁻-joner, att relativt opåverkat nå bäcken. Därav kommer de höga värdena i uppströmtpunkten.

När kalk ligger i bäckar är troligen förhållandet mellan de två syra-neutraliserande reaktionerna mer utjämnat. En stor del av det sura nederbördsvattnet buffras alltså genom reaktion med HCO₃⁻-joner. Trots att bäcken är kalkad ända ned till sjön och det alltså sker en tillsats av Ca²⁺- och HCO₃⁻-joner till bäckvattnet, fås en minskning av alkalinitet och kalciumhalt genom utspädning och vad gäller alkalinitet även genom att en del HCO₃⁻-joner förbrukas vid syraneutralisationen. Den höga halten sulfat uppströms kan bero på att åkermarken är gödslad med sulfathaltiga gödselmedel.

Fig. 6.5. pH-värden som erhöles den 25-26 juli 1974 under fältarbete, på ytvatten i området.

- Provtagningsplatser för pH
- Provtagningsplatser för vatten som analyserats kemiskt.



I detta område har även grundvatten analyserats på några platser. pH-värden och provtagningsplatser framgår av figur 6.6. I norr utgörs provtagningsplatserna av brunnar, medan i södra delen provgropar ned till grundvattnet har grävts. Frånsett det höga pH-värdet på 7,0, som utgörs av berggrundvatten, är grundvattnets pH-värde i området relativt jämnt, med ett högsta resp. lägsta värde på 6,1 resp. 5,0. Dessa värden får anses som normala för grundvatten i kalciumfattig berggrund, som det här är frågan om. Två provgropar grävdes på stranden, 20-30 m från sjön. Vid den ena, bara några meter från Tubbaredbäcken, fanns ett några centimeter tjockt kalklager, som grävdes igenom för att komma ned till grundvattnet. Denna kalkkaka får anses vara orsaken till att pH-värdet var högre här än 100 m längre norrut på stranden.

Förutom berggrundvattnet har ytterligare två brunnsvatten analyserats noggrannare. Den norra brunnen ligger i ett skogsbryn, där marken uppströms är okalkad. Grundvattenytan låg 3,2 m under markytan. Den andra brunnen ligger 100 m nedströms, ute på kalkad åkermark. Grundvattenytan låg här endast 0,5 m under markytan. Följande värden erhöles den 16 augusti 1974.

	Norra brunnen i skogsbrynet	Södra brunnen på kalkad åker
pH	6,0	6,5
Alkalinitet, total, mekv/l	0,17	0,50
Kalcium, mg Ca/l	2,9	18

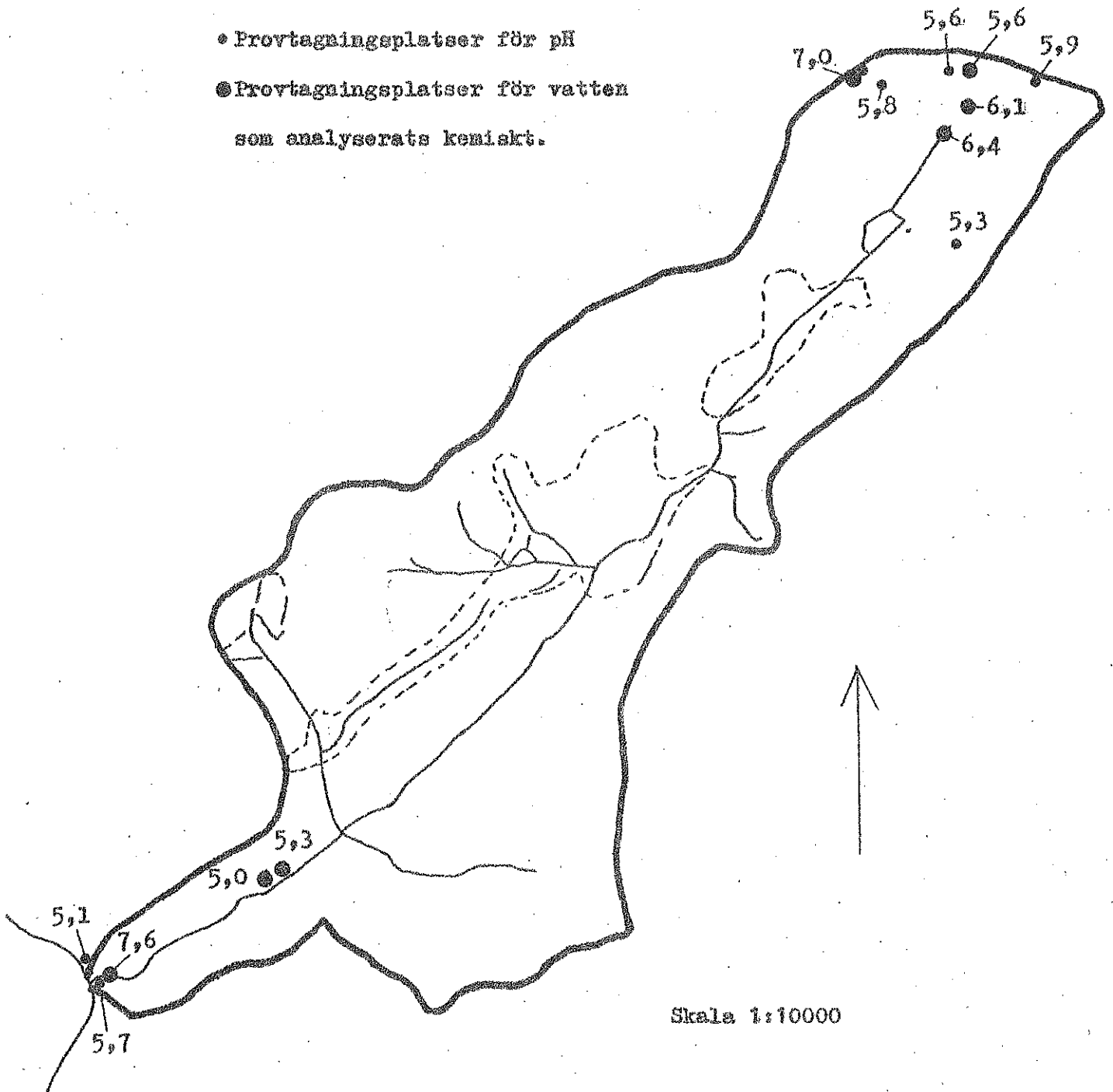
Det är helt uppenbart att den kalk som spridits på åkermark här, påverkat grundvattnet. Trots det korta avståndet mellan brunnarna, bara ca 100 m, har både pH, alkalinitet och kalciumhalt höjts kraftigt. Det är också intressant att notera överensstämmelsen mellan den på åkermark liggande brunns värden och det uppströms tagna ytvattenprovet i bäcken. Detta styrker den, tidigare i detta kapitel, givna förklaringen till de höga alkalinitets- och kalciumvärdena uppströms i Tubbaredbäcken.

Från en nyborrad brunn, 86 m djup, vid Kaggården i Morjhultsområdet uppsamlades berggrundvatten, som analyserades den 16 augusti med följande resultat:

Fig. 6.6. pH-värden som erhöills den 25-26 juli 1974 under fältarbete, på grundvatten i området.

• Provtagningsplatser för pH

● Provtagningsplatser för vatten som analyserats kemiskt.



pH	7,2
Färg, mg Pt/l filt. prov	< 5
Kalcium, mg Ca/l	40
Magnesium, mg Mg/l	5,2
Hårdhet °dH	6,8
Ledningstal	390
Alkalinitet, total, mekv/l	2,20
Sulfat, mg SO ₄ /l	46

Vid borrningen påträffades inget vatten förrän på detta djup, vilket bekräftar SGU:s antagande att berggrunden i området är sprickfattig. Analysresultaten visar att berggrundsvatten från detta stora djup har helt annan sammansättning än grundvatten i mark. De höga värdena på pH, alkalinitet och kalcium visar att det på stort djup troligtvis finns Ca-rika och basiska mineral. Den täta berggrunden gör att berggrundvattnet på detta stora djup får ses som ett eget system, som till liten eller ingen del påverkar övrigt grundvatten eller ytvatten i området. Det bör också påpekas att det djup där man fann vatten (86 m) ligger på en nivå ca 10 m under Östra Nedsjöns yta.

Strax intill Tubåredsbäcken, i södra delen, ligger två av de provytor som nämnts i kapitel 5.1. De två provytorna är vardera en hektar och ligger alldeles intill varandra i en stenig sluttning mot bäcken. Den östra provytan är kalkad med 4270 kg T-kalk och den västra har lämnats okalkad som referensyta. På ytorna växer ungskog av gran med obetydlig lövinblandning. Kalkningen skedde i december 1972. För att undersöka om kalken fram till augusti 1974 påverkat grundvattnet, grävdes en provgrop strax nedströms vardera provytan, varur grundvatten upphämtades och analyserades. Provgroparna grävdes ca 15 m från bäcken och grundvattenytan låg 0,8 resp. 1,2 m under markytan. Analysresultaten blev den 16 augusti 1974:

	okalkad yta	kalkad yta
pH	5,5	5,7
Färg, mg Pt/l filt. prov	< 5	< 5
Kalcium, mg Ca/l	1,3	1,3
Magnesium, mg Mg/l	1,3	1,7
Hårdhet, °dH	0,5	0,6
Ledningstal	74	83
Alkalinitet, total, mekv/l	0,04	0,06
Sulfat, mg SO ₄ /l	10	12

Skillnaden mellan de två grundvattnen är liten, men vattnet från den kalkade ytan uppvisar både högre alkalinitet och pH. Man får anta att detta beror på kalkningen, men för att med säkerhet kunna säga att kalken påverkat grundvattnet borde skillnaden ha varit större.

6.4 Store Mossens tillrinningsområde

	Area	
Sjöyta	0 ha	0 %
Mossmark	26 ha	35 %
Åker- och ängsmark	0 ha	0 %
Skogsmark	48 ha	65 %
Tillrinningsområde	74 ha	100 %

Store Mossen är ej skogbevuxen i samma utsträckning som mossarna i de övriga områdena, varför något påslag på skogsmarksprocenten ej bör göras för detta område.

Store Mossens tillrinningsområde utgör endast 2,2 % av Östra Nedsjöns tillrinningsområde. Den totala nederbörden över detta område är då 0,68 milj. m³/år. Med avdunstningen uträknad enligt formel (2.1) erhålls en tillrinning till Östra Nedsjön på 0,41 milj. m³/år = 13 l/s, vilket motsvarar 2,5 % av den totala tillrinningen. Den stora andelen mossmarksyta gör att avdunstningen i verkligheten troligen är större än den beräknade. Den verkliga tillrinningen blir då något mindre än den beräknade.

Den skogsmark som finns i området finns huvudsakligen i den södra delen, alltså uppströms mossen. I norra delen täcker mossen tillrinningsområdets hela bredd, vilket gör att allt vatten som avrinner måste rinna genom mossen.

Porositeten i en mosse är mycket hög, ofta över 95 % [20]. I mossens ytlager med levande växtmassa är porerna vertikala. Längre ner sker en övergång från levande till död vegetation. Trycket från överliggande lager tvingar växtresterna att inta ett horisontellt läge och porerna blir då också horisontella. Genomsläppligheten för en mosse är, om man bortser från ytlagren, mycket liten. Detta gör att de undre lagren i mossen är praktiskt taget utestängda från vattenutbyte med omgivningen. Det är därför sannolikt endast vattnet i mossens översta lager, 3-10 cm, som deltar i det hydrologiska kretsloppet.

I detta område har man ej kalkat tillrinnande bäckar, utan kalken har istället lagts på mossen vid utflödena. Mossen kalkades i december 1972 med totalt 110 ton kalk, största delen T-kalk. Se figur 5.1. I det område som här studerats har rikligt med kalk spridits i ett kärriknande område strax innan utflödet i sjön. Vattnet rinner i kärrområdet ej i en markerad bäckfåra utan rinner mer på "bred front" över den utlagda kalken, som ligger kvar, fullt synlig, mer än två år efter utläggandet. Kontaktytan mellan det avrinnande vattnet och kalken är följaktligen stor.

Liksom för de övriga områdena har en undersökning av vattnets pH-status gjorts den 26 juli 1974. Resultaten redovisas i figur 6.7. pH-värdena i de okalkade bäckarna uppströms Store Mossen är förvånansvärt höga, särskilt som de rinner upp i småmossar. När vattnet rinner in i Store Mossen sker direkt en sänkning av pH-värdet till strax över 4. På nedströmssidan av mossen där man åter kan iakttä rinnande ytvatten har ett så lågt pH som 3,9 noterats strax uppströms det kalkade området. Nedströms det kalkade området, där vattnet rinner i en bäckfåra igen, var pH-värdet så högt som 6,9. Två vattenprov har tagits, ett vid utflödet nedströms kalken och ett i en tillrinnande bäck uppströms mossen. Proven analyserades den 16 augusti med följande resultat:

	Uppströms	Nedströms
pH	5,6	6,7
Färg, mg Pt/l filt. prov	85	125
Kalcium, mg Ca/l	1,8	11,5
Magnesium, mg Mg/l	1,2	2,3
Hårdhet, °dH	0,6	2,1
Ledningstal	70	122
Alkalinitet, total, mekv/l	<0,01	0,60
Sulfat, mg SO ₄ /l	11	6

Även om pH var relativt högt uppströms så var alkaliniteten mycket låg. Den låga kalciumhalten uppströms får anses naturlig eftersom ingen kalk har spridits där. Nedströmprovet är taget nedströms det rikligt kalkade kärrområdet. Den kraftiga ökningen av pH, kalcium och alkalinitet måste helt hänföras till kalkens effekt. Att färgen har ökat beror givetvis på inblandning av mossvatten som har högt färgvärde.

Två provgropar har grävts i mossen till 1 m:s djup, där pH i det tillrinnande mossvattnet var 3,9 resp. 4,0. Se figur 6.7. Vattnet från den

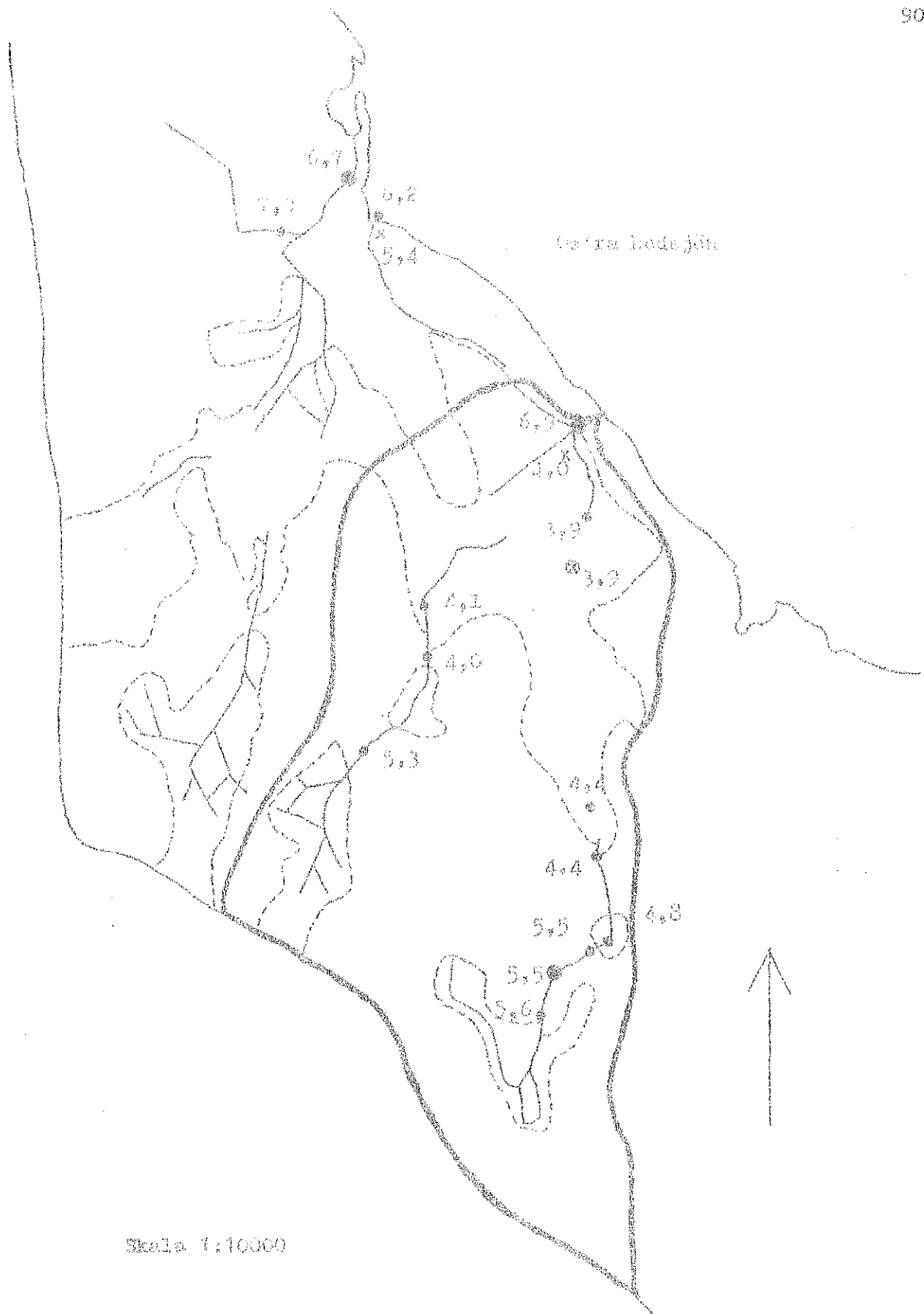


Fig. 6.7. pH-värden som erhöles den 26 juli 1974 under fältarbete, på yt- och grundvattnen i området.

- * Provtagningsplatser för pH på ytvatten respektive grundvattnen
- Provtagningsplatser för vatten som analyserats kemiskt

ena provgruppen analyserades den 16 augusti 1974 med följande resultat:

pH	4,4
Färg, mg Pt/l filt. prov	350
Kalcium, mg Ca/l	1,4
Magnesium, mg Mg/l	1,7
Hårdhet, °dH	0,6
Ledningstal	94
Alkalinitet, total, mekv/l	<0,01
Sulfat, mg SO ₄ /l	4

Då man för en mosse inte kan skilja mellan yt- och grundvatten skulle detta vattenprov vara representativt för allt vatten i Store Mossen. Det kan alltså jämföras med de två ovan redovisade ytvattenanalyserna. Något som tyder på att det före kalkningen var mycket surt mossvatten som strömmade ut i Östra Nedsjön, är att betongtrummorna, under riksväg 40 strax intill sjön, helt frätits upp i botten där vattnet runnit.

Den 21 maj 1975 var pH och alkalinitet vid nedströmspunkten 6,9 resp. 0,57 mekv/l. Detta visar att kalken fortfarande, två och ett halvt år efter kalkningen, har en mycket god verkan trots att det tillrinnande mossvattnet är mycket surt och helt saknar alkalinitet.

Äldre värden på pH och alkalinitet för den del av Store Mossen som specialstudorats saknas. Däremot finns äldre värden för den bäck (87 i fig. 5.2) som avvattnar den västra delen av Store Mossen. Denna del av mossen är kalkad i samma utsträckning som den östra delen, men bäcken avvattnar också ett område med kalkad åkermark. Värdena redovisas i bilaga 1. Innan kalkningen var pH i bäcken lägre än 5. I samband med kalkningen höjdes pH-värdet kraftigt till över 10, men sjönk under första halvåret ner till omkring 7 och har därefter fram till våren 1975 hela tiden legat mellan 6,2 - 7,4. Alkaliniteten har avtagit mer kontinuerligt, men var ändå i maj 1975 så pass hög som 0,26 mekv/l.

Ett vattenprov har analyserats kemiskt även för denna bäck, den 16 augusti 1974, med resultatet:

pH	6,3
Färg, mg Pt/l	90
Kalcium, mg Ca/l	3,6
Magnesium, mg Mg/l	3,3
Hårdhet, °dH	1,4
Ledningstal	140
Alkalinitet, total, mekv/l	0,45
Sulfat, mg SO ₄ /l	18

Vid jämförelse med analysen från maj 1975 (bilaga 1) finner man att pH är i stort sett oförändrat, medan alkaliniteten har sjunkit från 0,45 till 0,26 mekv/l. Motsvarande jämförelse med nedströmspunkten i den bäck som avvattnar östra delen av Store Mossen visar att både alkalinitet och pH är oförändrade i maj 1975. Vattnet i den västra bäcken buffras följaktligen ej i lika hög grad som i den östra. Detta torde ej bero på tillskottet av vatten från kalkad åkermark eftersom detta vatten har pH 7,0, se figur 6.7. Förklaringen är troligen att kalken, vid den västra bäckens utflöde från mossen, ej har samma stora kontaktyta med det sura mossvattnet som vid den östra bäcken.

6.5 Övriga tillrinningsområdet

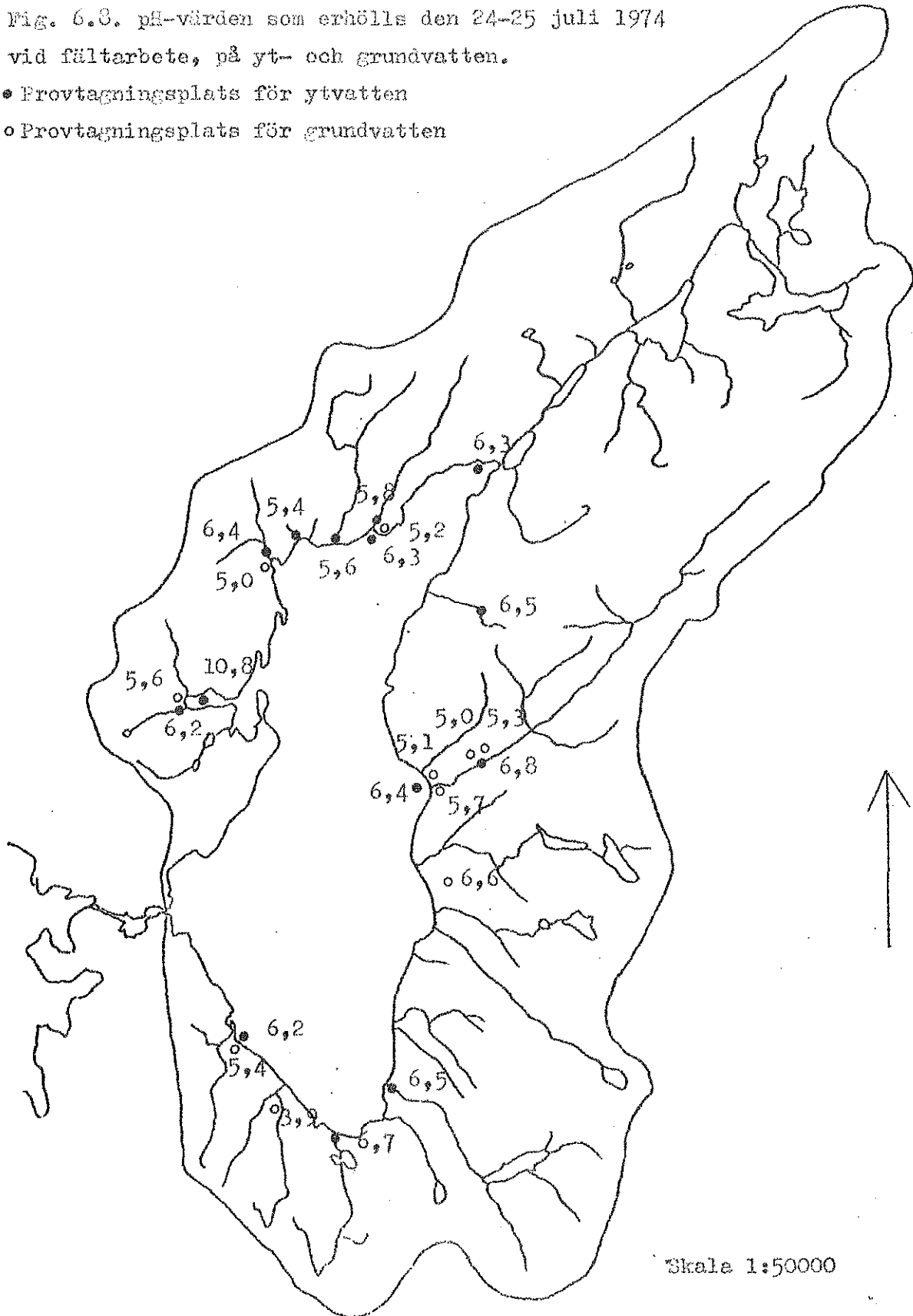
Som tidigare nämnts var sommaren 1974 nederbördsfattig och många bäckar var uttorkade. I samtliga bäckar som hade något flöde analyserades pH-värdet i fält. På några ställen har även grundvattnets pH undersökts, dels i brunnar och dels i grävda provgropar. Där grundvattnet undersökts nära sjön har pH tagits även på sjövattnet. De olika pH-värdena redovisas i figur 6.8. Protokoll från provgropar redovisas i bilaga 4.

pH-värdena är tagna 24-25 juli 1974, och i bäckarna låg värdena mellan 6,2 - 6,7, förutom tre bäckar på nordvästra sidan om sjön vid Fattabo, där pH låg mellan 5,4 - 5,8. Anledningen till de låga värdena kan vara att mycket mossar med surt vatten förekommer i detta område. Bäckarna var dessutom svårtillgängliga vid kalkningen, vilket gjorde att det mesta av kalken fick spridas på mossar som var åtkomliga. I bäcken vid Fattabo (90 i figur 5.2) kunde ingen kalk spridas direkt i bäcken. Den spreds istället över mossar och "surhål". Analysvärdena i bilaga 1 visar att, under hela den andra kalkningsperioden 1973-74, då denna bäck kalkades, var pH lägre än 5 och alkaliniteten 0. Den 21 maj 1975 var pH-värdet 5,1 och alkaliniteten fortfarande 0. Uppenbarligen har kalken ej givit någon märkbar effekt för denna bäck. Jämför med Store Mossen, där kalken ej lades på mossen utan via utloppet från denna.

För Hagabäcken (86 i figur 5.2) finns ett lägsta pH-värde från strax innan kalkningen på 4,7 i december 1972. Hagasjön och bäcken kalkades 19-26 januari 1975 enligt uppgift med 61 ton kalkstensmjöl, varav större delen lades i och omkring sjön. Det höga pH-värdet på 11,6 som erhöles den 25 januari, alltså under kalkningen, skvallrar dock om att en del P-kalk har använts, eftersom man ej enbart med kalkstensmjöl

Fig. 6.3. pH-värden som erhöjls den 24-25 juli 1974
vid fältarbete, på yt- och grundvatten.

- Provtagningsplats för ytvatten
- Provtagningsplats för grundvatten



kan få så högt pH-värde [21]. Efter kalkningen har pH-värdet sjunkit kontinuerligt. Alkaliniteten har ej någon gång varit högre än 0,2 mekv/l. Den 18 september 1975 var Hagabäcken torr. Efter detta har alkaliniteten ej överstigit 0,04 mekv/l. Den 21 maj 1975 var pH och alkalinitet 5,0 resp. 0. Förutsatt att pH i nederbörden är 4,4 åtgår det varje år 4-7 ton CaCO_3 för buffring av syranedfallet över Hagabäckens avrinningsområde. Erfarenheter från andra kalkningar har visat att kalk på en sjöbotten kan bli inaktiv. Detta kan mycket väl ha hänt i Hagasjön och eftersom större delen av de 61 ton kalk som spridits i området lagts i sjön, är det mycket möjligt att den kalk som lagts i bäcken förbrukats, två och ett halvt år efter kalkningen.

Vid den södra bäcken som rinner ut i Andviken (88 i figur 5.2) var, liksom i övriga bäckar före kalkningen, pH lägre än 5 och alkaliniteten 0. Efter kalkningen noterades i mars 1974 ett högsta alkalinitetsvärde på 0,22 mekv/l och pH var 5,7. Alkaliniteten sjönk dock snabbt och var i maj 1975 noll. pH-värdet låg dock kvar på ett värde 5,4 som var högre än före kalkningen. Kalkningen av bäcken har alltså ej givit fullgod verkan. Bäckvattnet buffras förmodligen ändå, då det blandas med sjövattnet, eftersom det längst in i Andviken finns en kalkkaka som ger ett mycket högt pH i sjövattnet. Kalkkakan, som delvis ligger under vatten, 100-200 m² och 5-10 cm tjock. En provgrop grävdes (nr II i bilaga IV) genom kalkkakan ca 15 m från strandlinjen. Grundvattenytan låg 40 cm under kalkkakan och grundvattnet hade ett pH-värde på 5,6. Kalken påverkar alltså inte det underliggande grundvattnet. Detta beror dels på att kalkkakan i sig själv är relativt ogenomsläpplig och dels på att de översta 30 cm av marken utgörs av humusjord som också är relativt ogenomsläpplig. Sjövattnets pH var samtidigt, den 24 juli 1974, 10,8 strax utanför kalkkakan.

I övriga provgropar har grundvattnets pH legat mellan 5,0 - 5,7, från sett provgroparna på Store Mossen. I en naturlig källa på västra sidan av Östra Nedsjön, strax intill strandlinjen var pH 5,0. I Hededal strax söder om Tubbaröd noterades det högsta pH-värdet 6,6 som erhållits på grundvatten nära sjön. Grundvattenytan låg här på stort djup, ca 9 m, jämfört med övriga platser runt Östra Nedsjön där grundvattnets pH har undersökts. Möjligen kan det på större djup finnas Ca-rika mineral som ger upphov till ett högre pH-värde på grundvattnet. Berggrundvattenanalysen från Kaggården i kapitel 6.3 antydde också detta.

7. LYSIMETERFÖRSÖK

7.1 Allmänt

Med en lysimeter avses en hydrologisk anläggning för studium av infiltration, avrinning och avdunstning. I litteraturen finns ett mycket stort antal olika lysimetertyper beskrivna. Gemensamt för dem alla är att den från markytan genom jorden nedsjunkande vattenmängden på ett eller annat sätt uppsamlas och mätes. Det uppsamlade vattnet analyseras för att få kännedom om sjunkvattnets kemiska sammansättning.

Studier över sjunkvattnets rörelser, dess omfattning i relation till nederbörden och dess kemiska sammansättning har sedan långa tider tillbaka bedrivits såväl i åkerjord som i skogsmark. Eftersom sjunkvattnets egenskaper är mycket komplicerade är det svårt att allmängiltigt utnyttja försöksresultaten. Oftast kan resultaten inte reproduceras på andra områden än just där de utförts. Trots detta visar en del tidigare lysimeterförsök på intressanta resultat med tanke på vattenomsättningen i Östra Nedsjöns tillrinningsområde.

I Castricum i Holland finns en lysimeteranläggning, som färdigställdes 1941, med fyra lysimetrar vilka har en area på vardera 625 m^2 . Von Brömsen redogör för undersökningsresultat från 1965 från dessa lysimetrar. [24]. En av lysimetrarna har planterats med barrskog som 1965 var 25 år gammal. Jordarten utgöres av grovmoig mellansand, vilken kan antas vara mera genomsläpplig än moränen vid Östra Nedsjön. Årsmedelnederbörden 1951-1965 var 954 mm vilket är direkt jämförbart med nederbördsförhållandena vid Östra Nedsjön. Under denna period 1951-1965 erhöles, för denna lysimeter, ett medelvärde på infiltrationskoefficienten av 0,225. Detta visar att det tidigare antagna värdet på infiltrationskoefficienten för Östra Nedsjöns tillrinningsområde på 0,1 - 0,2 torde vara ett riktigt värde. Med tanke på skillnaden i jordart kan man anta att det verkliga värdet vid Östra Nedsjön ligger närmare 0,1 än 0,2.

I Sverige har T. Troedsson studerat vattnets nedsjunkning i skogsmark genom lysimetermetoden. [18] Troedsson visar att, fritt, på bred front rinnande sjunkvatten knappast existerar utan att dräneringen nästan uteslutande sker i rotkanaler, längs hållar eller större stenar i marken. Troedsson har också gjort gödslingsförsök med bland annat kalcium. Det har vid dessa försök visat sig att urlakningen av kalcium sker mycket

snabbt, men att den ej når längre ner än till ca 0,5 m:s djup.

7.2 Lysimeterförsök vid Östra Nedsjön

För att få en uppfattning om hur kalk som spridits på mark påverkar sjunkvattnet vid Östra Nedsjön har inom examensarbetet ett slags lysimeterförsök gjorts. Försöket har gjorts på sandig moig morän strax intill Tubbaredbäckens utlopp i Östra Nedsjön. Här fanns en skärning i moränen som efter smärre bearbetning kunde utnyttjas för installation av lysimetern. Skogsmarken ovan skärningen lämnades först helt orörd. I den jordvägg som konstruerats slogs två rostfria, vinkelböjda plåtar in i marken. Plåtarna gavs en svag lutning så att de fungerade som rännor. Rännorna gjordes 1,30 m långa och ca 0,30 m breda och spetsiga i ena änden. Båda plåtarna kunde slås in så att endast 10 cm stack ut där sjunkvattnet sedan kunde uppsamlas i flaskor. Den ena plåten slogs på 15-25 cm:s djup under markytan och den andra på 35-45 cm:s djup. Med detta arrangemang måste ofelbart allt vatten som når plåtarna hamna i uppsamlingsflaskorna. Någon inklädnad av jordväggen, för att förhindra avdunstning, såsom Troedsson föreslår gjordes ej, eftersom avsikten inte var att mäta mängderna utan enbart sjunkvattnets kemiska sammansättning var av intresse. Emellertid mättes nederbörden under hela försöket med en vanlig trädgårdsregnmätare placerad strax intill lysimeteranläggningen. Under vintermånaderna kunde dock ingen nederbördsräkning ske. Vattenanalyserna har skett på Institutionen för VA-teknik på Chalmers som ställt sitt laboratorium till förfogande. Anläggningen hölls hela tiden övertäckt med en ribbkonstruktion och plastduk.

Som nämnts lämnades markytan ovan lysimeterrännorna först helt orörd. Avsikten var att först få ett referensprov på sjunkvatten från naturlig mark. Detta referensprov kunde uppsamlas den 6 oktober 1974. Det hade då fallit 105 mm nederbörd sedan lysimetern installerades den 16 september. Provet på nederbördsvattnet förstördes tyvärr och kunde inte analyseras. Det uppsamlade sjunkvattnet fick följande analysresultat:

pH	6,4
Ledningstal	145
HCO_3^- , mekv/l	0,13
Hårdhet, °dH	1,52

Den 7 oktober kalkades markytan ovan lysimeterrännorna. 15 kg kalkstensmjöl spreds ut jämt över en yta på 1 m² rakt ovan lysimeterrännorna. Något sjunkvatten kunde inte uppsamlas förrän den 14 november. Det hade då kommit 157 mm nederbörd sedan kalken lagts ut. Sjunkvatten erhöles dock endast från den ytligast liggande lysimeterrännan. Denna gång med resultatet:

	Sjunkvatten på 20 cm nivå	Nederbörds- vatten
pH	5,4	6,0
Ledningstal	140	32
HCO ₃ ⁻ , mekv/l	0,02	0,05
Hårdhet, °dH	1,26	0,45

Tre dagar senare kunde ytterligare sjunkvatten uppsamlas och analyseras. Denna gång erhöles även sjunkvatten på 40 cm:s nivå. Resultat från den 17 november 1974:

	Sjunkvatten på 20 cm nivå	Sjunkvatten på 40 cm nivå	Nederbörds- vatten
pH	4,6	4,7	5,8
Ledningstal	85	110	28
HCO ₃ ⁻ , mekv/l	0	0	0,08
Hårdhet, °dH	0,84	0,84	0,35

Som synes av analysresultaten har den utspridda kalken ej givit någon buffrande effekt på sjunkvattnet. Sjunkvattenproven har istället lägre värden på såväl pH som alkalinitet. Anledningen till detta torde vara det kolsyrerika översta skiktet av marken som ger en försurning av sjunkvattnet. Då pH-värdet på nederbörden inte heller var särskilt lågt vid något av provtillfällena har vattnet troligen i stort sett passerat kalken utan att kunna lösa den. Kalciumkarbonat är ju som nämnts svårlöst. Det antogs då att kalken måste tränga ned en bit i marken för att på så sätt lättare kunna lösas ut med hjälp av markens koldioxid. Marken har ju en hög koldioxidhalt i jämförelse med luften. Luften innehåller i genomsnitt 0,03 % CO₂ medan marken kan ha ända upp till 10 % CO₂. För att se om dessa antaganden var riktiga inväntades ett nytt sjunkvattenprov. Något ytterligare sjunkvatten kunde dock inte uppsamlas innan marken blev tjälad. Under våren 1975 var inte heller nederbörden vid något tillfälle tillräckligt riklig för att något sjunkvatten skulle kunna uppsamlas. För att få ett ytterligare sjunkvattenprov togs därför bäckvatten från Hagabäcken, vilket vattnades över kalken. 120 liter motsva-

rande 120 mm nederbörd vattnades över kalkytan innan något sjunkvatten kunde uppsamlas från lysimeterrännorna. På 40 cm:s nivån rann sjunkvattnet till betydligt snabbare än på 20 cm:s nivån, vilket är intressant att notera särskilt med tanke på de tidigare nämnda resultaten från Troedssons lysimeterförsök. Den snabbare tillrinningen på den lägre nivån beror säkerligen på rotkanaler eller dylikt. Analysresultaten från denna konstgjorda infiltrering, som gjordes den 11 juni 1975 blev:

	Sjunkvatten på 20 cm nivå	Sjunkvatten på 40 cm nivå	Bäckvatten
pH	5,05	4,95	5,6
HCO ₃ ⁻ , mekv/l	0	0	0,04
Hårdhet, °dH	0,77	0,70	0,70

Resultatet är i stort det samma som från de tidigare analyserna. Sjunkvattnet har lägre värden på både pH och alkalinitet. Vid den naturliga infiltrationen var hårdheten, som här analyserats som mg calcium per liter och sedan omräknats, högre på sjunkvattnet än på regnvattnet. Detta skulle kunna bero på att en del kalk har lösts ut. Tillräckligt mycket kalk har dock inte löst ut för att buffra sjunkvattnet mot de översta marklagrens surgörande inverkan.

Vid den konstgjorda infiltrationen var hårdheten oförändrad på sjunkvattnet. Detta skulle likaledes kunna bero på att kalken blivit svår-lösligare och att här, i stort sett, ingen kalk har lösts ut. Detta är dock enbart spekulationer. Förhållandena kring sjunkvattnets kemiska sammansättning är som nämnts mycket komplicerade och anledningarna till de skiftande värdena kan vara många. Klart står dock att, trots att marken ovanför lysimeterrännorna har kalkats, så är vattnet surare och har lägre alkalinitet en bit ner i marken än innan det infiltrerar.

Det kan nu tyckas att kalkning av skogsmark vore bortkastat, men som nämnts inledningsvis kan resultat från lysimeteranläggningar inte reproduceras på större områden. Betydligt mer omfattande försök krävs för att man skall kunna dra så långtgående slutsatser. Detta försök visar dock att det, vid kalkning på mark, inte alls är säkert att man får en påverkan på sjunkvattnet och via grundvattnet en påverkan på ytvatten i sjöar och vattendrag.



Lysimeteran-
läggning varifrån
sjunkvatten upp-
samlades



Förbindelsen
mellan Östra och
Västra Nedsjön



Kalkkaka vid
Andviken, pH
över 10 i vatt-
net strax utan-
för

8. RESULTAT OCH SLUTSATSER

8.1 Kalkning på mark

8.1.1 Kalkning på fastmark

De ställen där kalk spridits på fastmark i Östra Nedsjöns avrinningsområde är på åkermark och längs bäckar, där kalkning varit möjlig. Kalkningen av åkermarken i området verkar ha givit god effekt, då det vatten som avvattnar åkrarna har godtagbara pH- och alkalinitetsvärden. Se Tubbaredebäckens tillrinningsområde, kapitel 6.3, där den största delen av den odlade marken finns. Vid kalkningen av åkermark har T-kalk använts. Vid kalkning av åker- och ängsmark är det ingen större skillnad mellan de olika kalksorterna, då de genom inverkan av luftens koldioxid ombildas till karbonatkalk, som utlöses i takt med syranedfallet. Kalkning av åkermark är alltså gynnsam, eftersom åkrarna dräneras snabbt. Åkrarna är också mycket lättötkomliga för kalkning. Kalkning på åkermark gör dessutom dubbel nytta eftersom kalcium, som är ett viktigt näringsämne, tillförs den odlade marken, varigenom avkastningen ökar. Dessutom behövs kalk för att motverka den försurande effekt som många gödselmedel har. Se kapitel 1.2.3.

Vad gäller kalkning av övrig fastmark, är det främst längs bäckar och sjöstränder som kalkning kan komma ifråga. Att kalka hela landområden måste anses praktiskt och ekonomiskt ogenomförbart. I Östra Nedsjöns avrinningsområde har kalk spridits på 10-15 m:s bredd längs i stort sett alla bäckar och vid en del sjöstränder. Det bör dock påpekas att det här inte är fråga om enbart kalkning av marken längs bäckar, utan att detta givetvis sker i samband med kalkning direkt i bäckarna. Avsikten med att sprida kalk i den fuktiga miljön runt bäckar och sjöar var att kalken efterhand, sakta skulle utlösas i takt med syranedfallet och därmed ge en långtidsverkan. Vilken verkan den, på detta sätt, utspridda kalken har givit är omöjligt att klargöra, eftersom kalk samtidigt spridits direkt i bäckarna.

Två faktorer kan urskiljas, som har betydelse för kalkens effekt vid spridning på fastmark, nämligen topografin och jordlagrens sammansättning. Dessa faktorer bestämmer förhållandet grund-, mark- och ytvattenavrinning samt avrinningshastigheten. Se kapitel 2.4.6. Det är tveksamt om man vid kalkning på infiltrationsytter får någon effekt genom grund-

vattenavrinning. Om man kalkar något 10-tal meter på ömse sidor om bäckarna är det endast en mindre del av det vatten som infiltrerar i hela avrinningsområdet, som buffras av den utspridda kalken. Till exempel för Tubbaredbäckens tillrinningsområde, där ca 12 ha längs bäckarna har kalkats, betyder det att man endast kommer åt 3-4 % av det vatten som infiltrerar. I stort sett hela den infiltrerade vattenmängden exfiltrerar så småningom i bäcken. Den lilla mängd buffrat vatten som då kommer från de kalkade ytorna är kraftigt utspädd när det når bäcken. Vid snötäckt mark och ytavrinning kan dock spridning längs bäckar få ökad betydelse. Det är osäkert vad som händer med det buffrade vattnet under transporten i marken. Är marken dessutom svärgenomsläpplig, som moränen i Östra Nedsjöns avrinningsområde med grundvattenhastigheter, omkring några meter per år, ökar vattnets uppehållstid i marken och därmed risken att den önskade effekten genom jonbytesprocesser eller på annat sätt går förlorad.

Största utbytet av kalken vid spridning längs bäckar och sjöstränder fås troligen där yt- eller markvattenavrinningen är stor, alltså i branta partier eller på exfiltrationsytor. Utbytet mellan det avrinnande vattnet och kalken blir dock begränsat, eftersom kontakttiden mellan kalk och vatten är kort. Yt- och markavrinningen sker ej på bred front, utan vattnet avrinner, även i mikroskalan, i bestämda rännilar. På vissa ställen kommer då kalken att lösas ut snabbt, medan den på andra ställen, vid sidan om avrinningssträckan, kommer att ligga kvar betydligt längre.

Slutsatsen av det ovan sagda blir att viss tveksamhet råder angående effekten av kalkning på fastmark längs bäckar och sjöstränder. För att med säkerhet kunna bestämma effekten av en dylik kalkning bör en undersökning göras, där man endast kalkar marken på ömse sidor om en bäck. Effekten av kalkning på mark kan då utläsas ur kontinuerliga analyser av bäckvattnet nedströms det kalkade området. Innan en sådan undersökning har utförts, är det tveksamt att kalka marken längs bäckar, då det kan ifrågasättas om inte samma effekt kan erhållas genom att enbart kalka direkt i bäckfåran. Möjligtvis kan kalkning, i brantare partier längs bäckar eller där ytavrinningen i övrigt är stor, vara motiverad. Vid sprutkalkning är det dock oundvikligt att en del kalk hamnar vid sidan om bäckfåran. Kalkning direkt i bäckar behandlas i kapitel 8.2.1.

Som nämnts i kapitel 6.4 är genomsläppligheten i en mosse mycket liten. Genomsläpplighetskoefficienter (permeabilitet) 10^{-6} - 10^{-8} m/sek. är vanliga i mossar [20]. Eftersom en mosse är mycket flack är grundvattenhastigheten i de djupare lagren endast några centimeter per år. Alltså deltar detta mossgrundvatten inte i det hydrologiska kretsloppet, utan endast vattnet i mossens ytlager deltar. Grundvattenståndet i en mosse varierar under året. De lägsta grundvattenstånden uppträder på högsommaren, då avdunstningen är som intensivast, mot normalt september för fastmark. Ett höstmaximum uppträder i november vilket är normalt även för grundvattenmagasin i övrigt. Ett vårmåximum uppträder vid snösmältningen. Vid en undersökning av Komosse [20] fann man att grundvattenståndet oscillerade kring ett läge ca 20 cm under mark, men det fanns också många blötare partier, där jämviktsläget ligger i nivå med markytan. Då grundvattenytan står lågt i mossen avrinner inget ytvatten, utan allt nederbördsvattnet infiltrerar och höjer grundvattenytan. De perioder då grundvattnet står i markytan avrinner däremot allt nederbördsvattnet som ytvatten. Denna avrinning sker också snabbt.

Slutsatsen av det ovan sagda blir att effekten av en kalkning ute på en mosse blir liten. De enda tillfällen då man överhuvudtaget kan tänkas få en buffring av det avrinnande mossvattnet är när mossen "står full" och alltså all nederbörd avrinner. Då grundvattenytan ligger under marknivån, infiltrerar all nederbörd och för med sig den utlösta kalken ner i djupare liggande lager i mossen, där man inte får någon nytta av det buffrade vattnet. Dessutom finns risk för att kalken med regnvattnet spolras ned i mossen, som har hög porvolym. Där kommer kalken alltså att ligga kvar i mossen i många år, utan att den ger någon större buffring av det avrinnande vattnet.

Om man önskar att buffra det sura mossvattnet, bör kalkningen i stället ske i de partier av mossen där vattenutbytet är stort under hela året. I en mosses gräns mot fastmark förekommer ofta ett blött kärrparti, laggen. Att kalka dessa partier på mossens nedströmssida, framför allt nära utloppet, ger större möjlighet att erhålla den önskade buffringseffekten, än vid kalkning ute på högmossen. Dessa teorier styrks av kalkning av mossområden i Östra Nedsjöns avrinningsområde. Kalkningen av det kärrliknande utloppet vid Store Mossen har givit mycket gott

resultat, medan kalkning ute på mossområdena norr om Fattabo inte har givit någon som helst effekt. Se kapitel 6.4 och 6.5.

8.2 Kalkning i vattensystem

8.2.1 Kalkning i bäckar

Den största anledningen till att kalka i och vid sidan om bäckar, är att man vill erhålla en långtidsverkan på sjövattnet av kalken. Till detta kommer att man även vill förbättra vattenmiljön i vissa bäckar, där fisken går upp och leker. Avsikten är att kalken skall ligga som en depå i och intill bäckarna för att utlösas i takt med syranedfallet, eftersom det mesta nederbördsvattnet tillförs sjön genom bäckarna. Som framgår av kapitel 8.1.1 är effekten av kalkning på mark intill bäckar intimt sammankopplad med effekten av kalkning i själva bäckfåran. Som också nämnts är det svårt att säga i vilken grad den på marken lagda kalken påverkar bäckvattnet. Däremot är det helt klart att kalken i bäckfåran ger en buffringseffekt på det framrinnande vattnet. Frågan är dock hur stor kalkmängd som skall doseras och hur snabbt denna utlöses. I kapitel 4 har en allmän beskrivning av kalkens effekter givits.

Vid kalkning i vatten är det mer väsentligt vilken typ av kalk som används än vid kalkning på mark. Användes karbonatkalk sker utlösningen i stort sett enbart genom tillskott av syra. Släckt kalk löses däremot lätt av enbart vatten, men övergår genom reaktion med koldioxid till karbonatkalk. Detta gäller även för T-kalk. Det är alltså karbonatkalk som bildar de kalkdepåer, som kan ge långtidsverkan. Kalkas bäckar med släckt kalk eller T-kalk är det alltså koldioxiden i vattnet och luften, som gör att den lösliga kalciumhydroxiden utfälls som karbonatkalk. Om koldioxid saknas, avrinner den lösta kalken till sjön och effekten i bäcken är en hög, men kortvarig höjning av pH-värdet. I naturliga vatten finns dock alltid koldioxid tillgängligt varför en viss utfällning av karbonatkalk alltid sker i bäcken. Den mängd kalciumhydroxid som ej utfälls i bäcken avrinner löst i bäckvattnet till sjön. Vid användning av T-kalk, som har en mycket fin fraktion, finns dessutom risk att kalken kan föras med bäckvattnet som suspension. Av detta framgår att, om kalciumhydroxid används för kalkning av bäckar, är risken större att långtidsverkan i bäcken uteblir än om karbonatkalk används direkt.

Vid kalkning med kalciumhydroxid på mark torde ej risk finnas att kalciumhydroxiden bortföres lika snabbt löst i vatten. Eftersom vattenomsättningen är betydligt mindre än i en bäck och dessutom koldioxidhalten i de översta marklagren är hög, övergår det mesta av kalciumhydroxiden till kalciumkarbonat.

I kapitel 6 har effekten av kalkning i bäcker vid Östra Nedsjön diskuterats. Med det ovan sagda som bakgrund tas några av bäckarna upp till ytterligare diskussion.

För Hagabäcken har antytts att det är möjligt att kalken i bäcken har förbrukats. Arean av Hagabäckens avrinningsområde (180 ha) ger, med ett antaget pH-värde i nederbörd på 4,4, att syranedfallet blir 66 kg H^+ /år. För buffring av detta krävs 3,4 ton $CaCO_3$ /år. Denna buffring sker dock i två steg (se formel 4.7 och 4.8). Eftersom en del av den bildade alkaliniteten avrinner, blir kalkförbrukningen i bäcken större än 3,4 ton/år och maximalt det dubbla. Den syranutraliserande effekt som HCO_3^- har går ej förlorad, även om den inte kommer till nytta i bäcken. Den höjer istället buffringkapaciteten i sjövolymen. Det är på detta stadium omöjligt att avgöra hur stor del som kommer till nytta i bäcken och hur stor del som kommer till nytta i sjön. Eftersom det är ca två och ett halvt år sedan kalken spreds i Hagabäcken har åtgången varit mellan 9-18 ton. Enligt planerna skulle 5 ton kalk per hektar spridas längs bäckarna. För Hagabäckens del innebär detta att omkring 15 ton har spridits i och längs bäcken. Den resterande delen av de 61 ton som totalt spridits i området, har lagts i och omkring Hagasjön. Analysvärden från maj 1975 (pH 5,0, alkalinitet 0) tyder på att kalken i bäcken har förbrukats och att kalken i sjön har blivit inaktiv. I detta resonemang har förutsatts att kalciumkarbonat använts, men eftersom tydligen (se kapitel 6.5) även en del T-kalk har använts är risken större att kalken har förbrukats i bäcken. Trots att den utspridda kalkmängden (61 ton) motsvarar ca 10 års syranedfall, så har verkan i bäcken försvunnit efter drygt två år.

För nordöstra tillflödet till Östra Nedsjön, som behandlats i kapitel 6.2, blir den kalkmängd, räknad som $CaCO_3$, som åtgår för att buffra ett års syranedfall 18,5 ton vid det antagna pH-värdet i nederbörden. På samma sätt som för Hagabäcken kan kalkåtgången komma att bli större, eftersom en del av den bildade HCO_3^- -mängden avrinner. Teoretiskt blir den maximala åtgången 37 ton $CaCO_3$ /år. Det verkliga värdet torde ligga någonstans mitt emellan dessa värden. I detta delområde har totalt

457 ton T-kalk och 20 ton kalkstensmjöl spridits. Avgörande för hur länge denna mängd kommer att vara verksam i bäcken och småsjöarna, är hur stor del av T-kalken som kommer att övergå till karbonatkalk. Eftersom sjöarna i området har en utjämnande effekt och därmed avrinningen sker långsamt, har troligen större delen av T-kalken övergått till karbonatkalk, vilken fungerar som kalkdepåer. Detta verifieras av att pH och alkalinitet fortfarande i maj 1975 har godtagbara värden, även om de sjunkit något under vinterhalvåret 74/75. Den mängd kalk som spridits i området är alltså stor i förhållande till det årliga behovet och borde teoretiskt ge en buffringseffekt i minst tio år. Eftersom kalken ej får en jämn utlösning och det också finns risk för att den inaktiveras är det osäkert om man kan erhålla en sådan långtidsverkan.

I Tubbaredsbäcken har 140 ton T-kalk spridits och på åkrarna i området har drygt 100 ton T-kalk spridits. För att buffra ett års syranedfall åtgår 7-14 ton CaCO_3 . Jämfört med nordöstra tillrinningsområdet sker vid Tubbaredsbäcken en snabb avrinning, vilket ökar risken att en stor del av T-kalken, som spridits i bäcken direkt löses eller suspenderad avrinner till sjön. Däremot kan antas att i stort sett all T-kalk, som spridits på åkrarna, ligger kvar som karbonatkalk. I kapitel 6.3 har visats att denna kalk ger en god effekt på bäckvattnet. Även om hälften av den i bäcken lagda kalken avrunnit, så återstår tillsammans med de 100 ton som lagts på åkrarna 170 ton T-kalk, som troligen övergått till ca 130 ton CaCO_3 . Detta gör att man även här, teoretiskt får en buffringsverkan i bäcken på omkring 10 år.

För bäcken vid Andviken (88 i figur 5.2), där pH var 5,4 och alkaliniteten noll i maj 1975, visar en liknande beräkning att den utlagda kalken ej rimligen kan ha förbrukats. Det får då antas att kalken har inaktiverats på något sätt.

Inom den del av Store Mossen som specialstuderats i kapitel 6.4 har ca 50 ton T-kalk spridits under vintern 72/73. Kalken har spridits på en större yta, vid utloppet från mossen, där vattnet sakta rinner över kalken och kontaktytan med kalken är stor. Vid den organiska substansens nedbrytning och vid rötternas livsprocesser bildas förutom koldioxid en mängd olika organiska syror och sura grupper. Den höga koldioxidhalten i mossvattnet medför följaktligen att största delen av T-kalken omvandlats till kalciumkarbonat. Om mossvattnets pH i genomsnitt är 4,0,

åtgår varje år 3,5 - 6,9 ton CaCO_3 för att buffra det avrinnande mossvattnet. Detta visar att man med en sådan kalkning kan klara det mycket sura mossvattnet under en lång tidsperiod, kanske ända upp till 10 år.

Sammanfattningsvis kan om kalkning i bäckar sägas att det är en mängd faktorer som har betydelse för vilken neutralisationseffekt kalken får. Varje bäck har sina specifika förhållanden som bestämmer effekten av kalkningen i just den bäcken. De faktorer som har störst betydelse är, vattenföring, avrinningshastighet, kalkmängd, kalksort, kalkfraktion, bäckvattnens beskaffenhet samt bäckvattnets surhetsgrad, koldioxidhalt, alkalinitet och järnhalt.

Med bäckar har här avsetts vattendrag med hög vattenhastighet och i huvudsak turbulent strömning. I vattendrag med låg vattenhastighet, stort vattendjup och i huvudsak laminär strömning är förhållandena helt annorlunda. Dessa utgör i detta sammanhang ett mellanting mellan bäckar och sjöar med kort uppehållstid. Denna typ av vattendrag behandlas ej särskilt här.

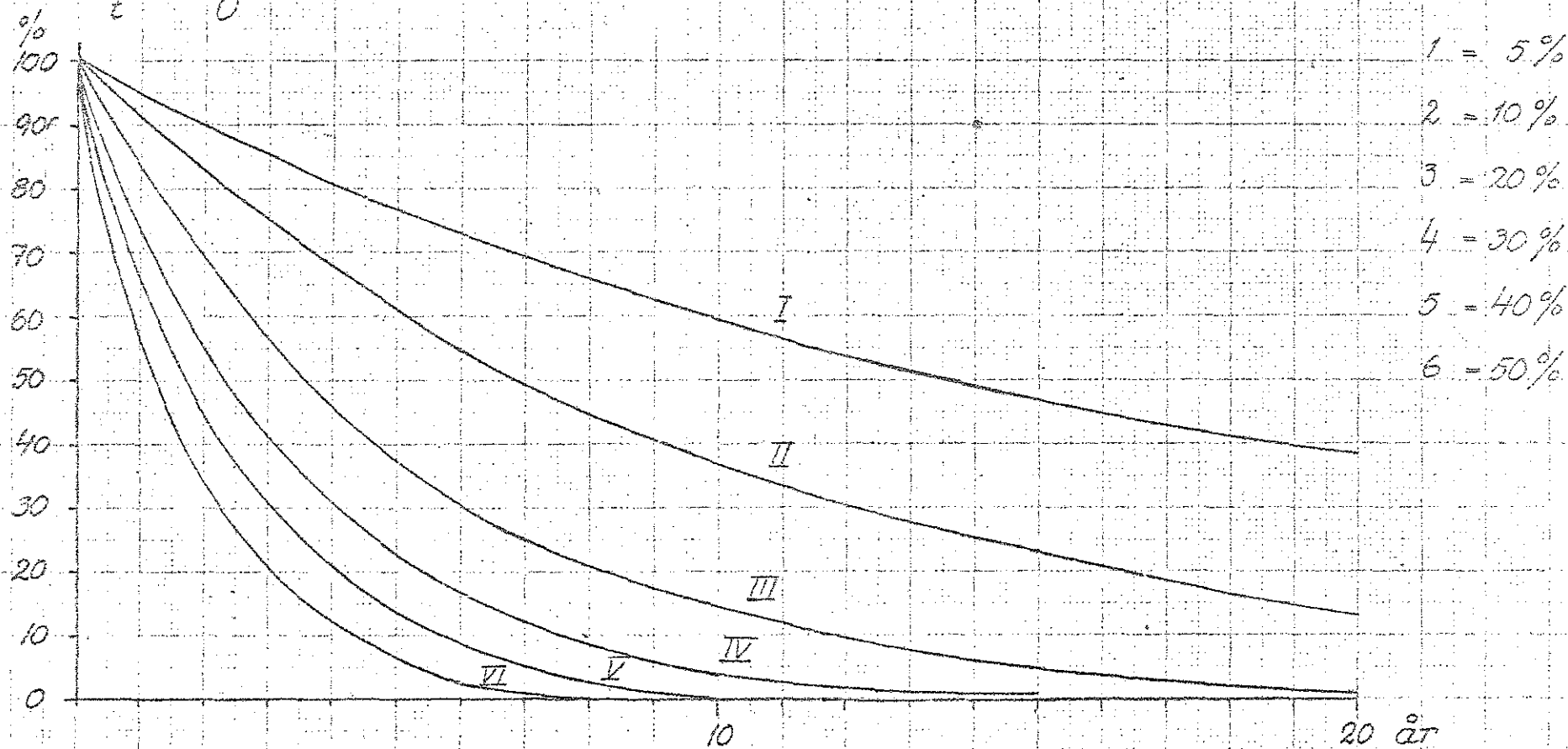
8.2.2 Kalkning i sjöar

Den primära anledningen till kalkning är att motverka försurning av sjöar och därigenom upprätthålla en god livsmiljö för det biologiska livet i sjöarna. Det kan då tyckas att kalkningen borde koncentreras till sjön. Kalkning i sjöar kan ha flera nackdelar. Där sjöbotten är rik på slam och humusämnen finns stor risk att kalken blir inaktiv, då de av organiskt material bildade humussyrorna kan reagera med kalken och bilda ett svårslösligt ytskikt. Kalken kan också bäddas in av botten slam och sedimenterat material, vilket minskar vattenutbytet med kalken. Dessutom gör en kort uppehållstid i sjön att den av kalken uppnådda effekten snabbt går förlorad. Figur 8.1 visar kalkens avklingningstid, förutsatt att den utspridda kalkmängden är helt löst och jämnt fördelad i vattenvolymen, avrinningen är konstant och att ingen kalk förbrukas av syrenedfallet.

Om ingen kalkning av Östra Nedsjöns avrinningsområde hade skett, skulle sjöns pH-värde i början av 1980-talet ha varit mellan 4,2 - 4,5, vid ett genomsnittligt pH i nederbörd på 4,4. Det bör dock påpekas att detta är ett teoretiskt värde, som förutsätter att ingen alkalinitet finns i sjön. Våren 1975, fyra och ett halvt år efter att pH 5,05 uppmättes, var pH i Östra Nedsjön ungefär 6,0, drygt en enhet högre än vad det hade

Fig 8.1. Vattenomsättningsdiagram utvisande kvarstående kalkmängd i % av den ursprungliga vid en avrinning av 5, 10, 20, 30, 40 och 50% av sjöns volym. per år, uträknad efter ekvationer:

$$a_t = a_0 \cdot e^{-kt}$$



varit utan kalkning. Dessutom har förmodligen alkaliniteten i sjön ökat. Under förutsättning att hela syranedfallet skall neutraliseras av bikarbonatsystemet i vatten, vilket är det buffertsystem som påverkas genom kalkning, skall en kalkmängd motsvarande den teoretiska HCO_3^- -koncentration (alkaliniteten) tillföras. För Östra Nedsjön blir denna koncentration 0,006 mekv/l.år om hela syranedfallet i avrinningsområdet sprids ut på sjöns totala volym. Om man förutsätter att allt tillrinnande vatten redan är buffrat, eftersom kalk har spridits i Östra Nedsjöns tillrinningsområde, kommer alkaliniteten att räcka till för neutralisation av syranedfallet direkt över sjöytan. Alkaliniteten i sjön behöver då vara endast 0,001 mekv/l. år. Värdena blir så låga beroende på att Östra Nedsjön har extremt stor sjövolym i förhållande till avrinningsområdet. Den över avrinningsområdet nedfallna syramängden späds alltså ut kraftigt i sjön och den för syraneutralisation erforderliga alkaliniteten blir låg. Den mängd kalk som spridits i Östra Nedsjöns tillrinningsområde motsvarar en HCO_3^- -mängd på 1400 ton. Om endast en hundradel av denna mängd tillföres Östra Nedsjön fås i denna ett alkalinitetstillskott på 0,001 mekv/l. Som nämnts avrinner säkerligen en större mängd HCO_3^- från tillrinningsområdet till sjön och det är inget problem med buffring av den syra som faller direkt på sjöytan. Det bör påpekas att dessa resonemang är rent teoretiska. En så effektiv blandning kan ej erhållas i en så stor sjö som Östra Nedsjön att all alkalinitet kan utnyttjas för syraneutralisation. Det bör också påpekas att alkaliniteten även har betydelse för den biologiska produktiviteten.

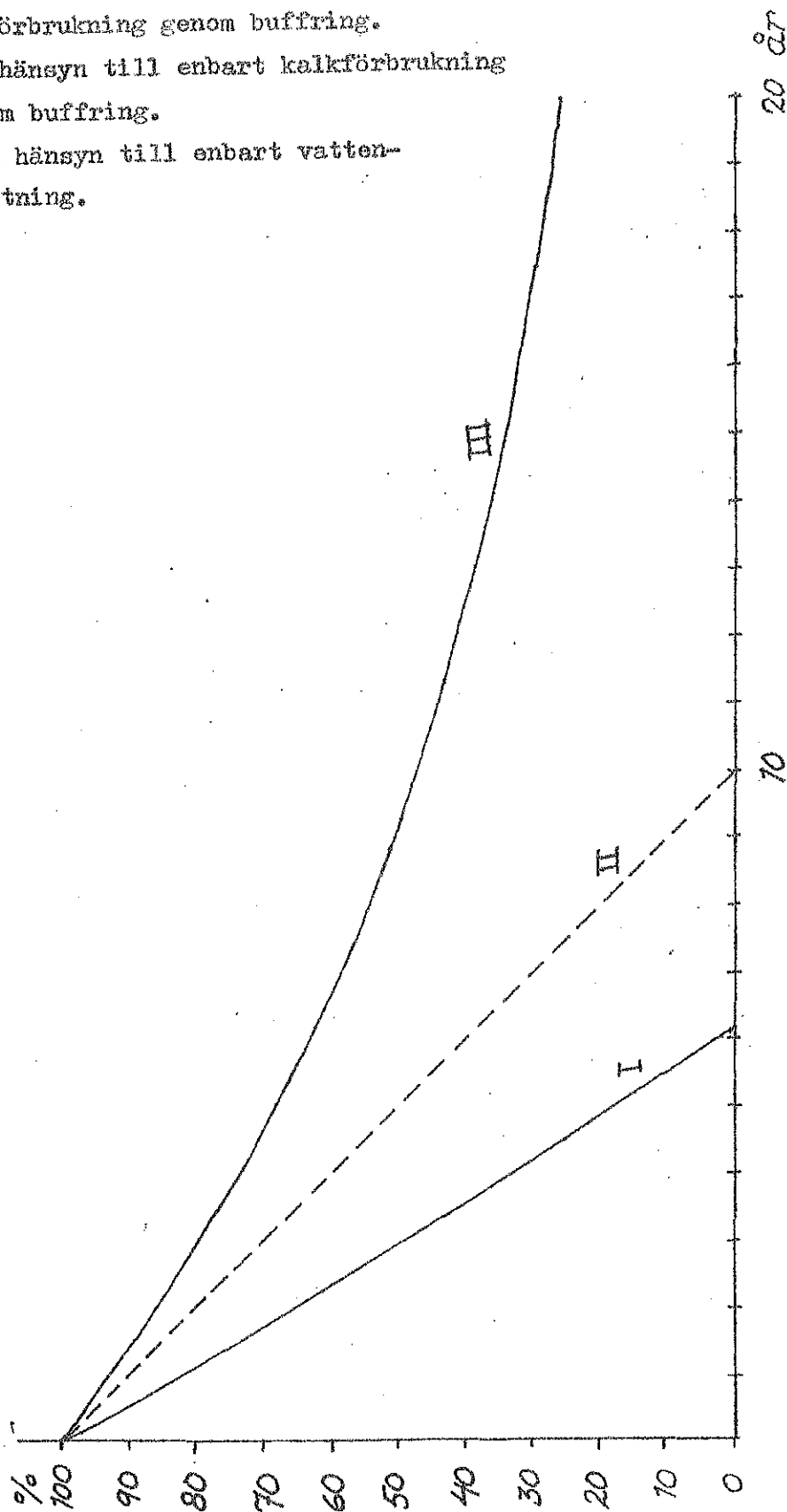
För Östra Nedsjön är avrinningen varje år i genomsnitt 18,5 milj. m^3 , medan vattenvolymen är 242 milj. m^3 . Avrinningen är alltså varje år 7,6 % av sjöns volym. Om diagrammet i figur 8.1 omsätts för Östra Nedsjön, samtidigt som hänsyn tas till kalkförbrukningen genom buffring fås figur 8.2. Där ser man alltså kvarstående kalkmängd i % av den ursprungliga, under förutsättning att man enbart kalkar i sjön och kalken blir jämnt fördelad i vattenvolymen. Om man sprider ut kalk för 10 års buffring i sjön finns risk att kalken är slut i sjön redan efter 6-7 år. Blir kalken på sjöbotten inaktiv blir givetvis verken ännu kortare. Vad gäller Östra Nedsjöns vattenomsättning i övrigt hänvisas till det examensarbete, som utförts parallellt med detta.

Fig. 8.2. Diagram utvisande kvarstående kalkmängd i procent av den ursprungliga vid Östra Nedsjön.

Kurva I: Med hänsyn tagen till både vattenomsättning och kalkförbrukning genom buffring.

Kurva II: Med hänsyn till enbart kalkförbrukning genom buffring.

Kurva III: Med hänsyn till enbart vattenomsättning.



9. REKOMMENDATIONER

Vid kalkning för att motverka försurningen av våra sjöar och vattendrag är det givetvis av största intresse att den utspridda kalkmängden får så god effekt under så lång tid som möjligt. Kalkning direkt i sjöar ger oftast en snabb, men kortvarig effekt och får följaktligen upprepas med något eller några års intervall. Kalkning av sjöar bör därför endast ske under vissa omständigheter. Sjöns vattenomsättning bör vara liten och sjöbotten bör vara fast, så att kalken inte inbäddas och blir inaktiv. Vid kalkning i sjöar bör kalken tillföras i sjöns uppströmsända, varigenom kalken får en god inblandning. En viss försiktighet bör dock iakttas då det i många sjöar finns genomgående strömmar, som gör att vissa vattenvolymer omsätts snabbare än andra. Kalkning i dessa områden kan göra att effekten av kalken går förlorad på mycket kort tid. Kalkning direkt i sjöar kan genomföras på olika sätt, t.ex. genom att sprida kalk från båt eller att, under vintertid, lägga kalken på isen. Ett enkelt sätt är att, med tryckluftsaggregat, spruta kalken ut över sjön. Den största kalkmängden kommer då att ligga nära stränderna och det tillrinnande ytvattnet neutraliseras därigenom snabbt. Det enklaste sättet torde vara att dosera kalken, t.ex. som kalkvatten i tillflöden nära utloppet i sjön.

För att få en långtidsverkan av kalkningen är kalkning i bäckar i avrinningsområdet många gånger att föredra framför kalkning direkt i sjön. En kalkning av sjön bör dock ske parallellt, eftersom det kan ta tid innan kalkningen i tillrinningsområdet börjar ge effekt i sjön. Att lägga kalken i bäckar har dessutom andra fördelar. Vattenutbytet blir större och man vet med större säkerhet att det sura nederbördsvattnet kommer i kontakt med kalken och blir buffrat. Dessutom kan man upprätthålla en god miljö för fisk även i bäckvattnet och fisken får därigenom tillgång till lekplatser. Kalkning i bäckar kan ske på olika sätt och med olika sorters kalk. Primärt kan man, vad gäller kalksort, skilja mellan karbonatkalk och hydratkalk. Om avrinningen sker snabbt finns stor risk att, om hydratkalk användes, denna till stor del löses direkt och avrinner till sjön. Karbonatkalk är under dessa förhållanden att föredra. Om däremot avrinningen sker långsamt och flödena utjämnas av småsjöar och dylikt kan hydratkalk användas, där denna därvid får större chans att omvandlas till karbonatkalk.

En viktig detalj vid kalkning i bäckar är vilken fraktion som är lämplig. Ju finkornigare kalken är desto snabbare löses den upp och desto snabbare blir dess verkan, medan grövre fraktioner kan ligga kvar på botten och ge en verkan under lång tid. Genom att lägga krossad kalksten på bäckbotten kan man skapa lekplatser för fisk. Erfarenheterna från Östra Nedsjön visar att den finkorniga kalken har tendens att bilda aggregat eller klumpa ihop sig och få en kakliktande karaktär. För att minska risken att kalken bildar aggregat eller klumpar ihop sig bör följaktligen en kalksort där de finaste fraktionerna saknas användas. Risk finns även att lekbottenar kan förstöras om en för finkornig kalk läggs ut på dessa och bildar en kaka. Om vattnet är järnhaltigt eller humussyrerikt finns risk att kalken överdrages med ett brunt skikt, som består av svåröslig järnhydroxid, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ eller humater. Kalken kan på detta sätt bli inaktiv. Risken för detta är störst om man använder mycket grova fraktioner eller om kalken har klumpat ihop sig.

Det kan diskuteras huruvida det är nödvändigt att kalka en bäcks hela sträckning, eller om man kan nöja sig med att kalka lättåtkomliga delar. Kalkens syraneutraliserande effekt är visserligen beroende av den yta och därmed den tid, som vattnet står i kontakt med kalken, men detta får givetvis ställas i relation till den mängd kalk som krävs i förhållande till bäckens längd. Dessutom krävs stor arbetsinsats för att kalka en hel bäcksträckning. Erfarenheter från Tubbaredsbäcken vid Östra Nedsjön visar att det knappast är lönsamt att kalka uppströms en mosse, eftersom mycket av effekten går förlorad vid vattnets passage av mossen. Någon uppskattning av hur stor del av en bäck, som behöver kalkas har ej kunnat göras i detta arbete. Kalkningen av Store Mossen visar att ett mycket gott resultat kan erhållas genom att enbart kalka en mindre sträcka nära utloppet. Även på detta sätt kommer man åt allt surt vatten som avrinner. Det bör dock påpekas att vid Store Mossen har kalken stor kontaktyta med vattnet. Om förhållandena är sådana att körväg finns till nedströmsdelen av en bäck, kan kalkningen där utföras mycket enkelt. Till exempel kan en lastbil eller traktor med kompressoraggregat sprida kalk på en sträcka av minst 100 meter. Det är ej tänkbart att på detta sätt kalka för en tioårsperiod, men eftersom det är lätt och också billigt att kalka på detta sätt, kan den upprepas med något eller några års intervall.

Vid sjöar som har ett eller ett par tillflöden, som svarar för huvuddelen av tillrinningen, torde det vara tillräckligt att kalka enbart

dessa. Det har nämligen visat sig vid Östra Nedsjön att vattnet som avrinner från de kalkade bäckarna har hög alkalinitet. Om man kalkar i huvudtillflöderna kommer den där bildade HCO_3^- -mängden att, sedan den tillförts sjön, klara buffringen av övrigt vatten. Säkerligen bör dock vattendrag svarande för minst 75 % av tillrinningen kalkas.

Tekniskt skulle man kunna gå ett steg längre, än att kalka enbart en kortare bäcksträcka nära utloppet, genom att buffra vattnet endast i en punkt. Detta kan ske på flera sätt, allt ifrån enkla brunnar till avancerade kalkdoseringsstationer, som kontinuerligt avkänner vattnets pH och vattenföring och doserar kalk därefter. I Norge gör Norsk Institutt för Vannforskning (NIVA) försök med olika enklare doseringsanordningar såsom snäckskalsbrunnar och liknande. Några rapporter från hur dessa anordningar har fungerat föreligger inte.

Kalkning av hela mossar är inte att rekommendera. Däremot är det ytterst viktigt att det mycket sura mossvattnet buffras innan det når sjön. Detta göres lämpligast som vid Store Mossen, d v s i mossens lagg vid utflödet ur mossen. Ligger mossen långt uppströms i bäckens tillrinningsområde kan, som tidigare nämnts, det sura vattnet buffras längre nedströms.

Kalkning av åkermark är mycket gynnsam, då kalken där har dubbel effekt, förutom att den motverkar försurningen har den en produktionshöjande effekt på åkermarken. Vid Östra Nedsjön har det visat sig att kalkningen av åkermarken där haft båda dessa effekter. Kalkning av åkrarna har härigenom den fördelen att den kan ske i samråd med jordbrukarna och kostnaden kan därigenom fördelas.

Vid Östra Nedsjön pågår försök för att utröna huruvida kalkning av skogsmark ger någon produktionsökande effekt på skogen. Det är ännu för tidigt att uttala sig om resultatet av dessa försök. Bortsett från detta kan kalkning av skogsmark komma ifråga på större hyggen, för att buffra det sura vatten, som avrinner från dessa.

Vid kalkning av utloppet från en mosse torde hydratkalk ge samma effekt som karbonatkalk, eftersom den höga koldioxidhalten i mossvattnet gör att hydratkalken omvandlas till karbonatkalk. För åker- och skogsmark är risken mindre att hydratkalken löses och avrinner, eftersom förutom hög koldioxidhalt även vattenutbytet här är mindre.

Den erforderliga kalkmängden och kalksorten beror på vilken långtidsverkan man vill uppnå med kalkningen. Mängden kan bestämmas genom att utgå från det aktuella syranedfallet i området, men ett bättre sätt är att några bäck- och sjövattnenprov tages, på vilka en syra-bas-titrering göres. En titrerkurva ger upplysning om hur stora mängder syror, som finns i det vatten som skall neutraliseras, medan pH-värdet endast ger en ungefärlig anvisning härom. Ur en titrerkurva kan man dessutom utläsa, vilken buffertverkan de i vattnet lösta ämnena ger upphov till och hur långt över neutralpunkten man kommer vid överskott på kalk.

Vid användning av bränd eller släckt kalk bör försiktighet iakttas, eftersom de kan ge upphov till mycket kraftiga pH-höjningar, som kan vara skadliga för fisken. Om istället karbonatkalk används undviks denna risk.

Analysvärden från Östra Nedsjön visar låga pH-värden under våren, speciellt vid snösmältningen. Risken är då särskilt stor för skador på fisken. Kalkning bör därför ske innan vårfloden, men i princip kan en kalkning utföras när som helst under året. Hänsyn får givetvis tas till markens bärighet för transportfordon och dylikt.

I ovanstående behandling har endast verkan på den aktuella sjön och tillrinnande vattendrag behandlats. Ser man på ett helt vattensystem kommer "utläckande" bikarbonathaltigt vatten till nytta i nedströms liggande sjöar och behöver då inte uppfattas som någon förlust. Kalk som inlagras i mossmark eller sjösediment och inaktiveras (genom svårslösliga utfällningar på ytan av kornen eller kalkstyckena) är dock att i detta sammanhang att anse som en förlust.

Ovan angivna rekommendationer är av allmän karaktär och kan ej tillämpas utan urskiljning. Varje sjö har sina speciella förhållanden, som påverkar utformningen av kalkningens genomförande. Kalkning av en sjö eller dess tillrinningsområde innebär ett stort ingrepp i ekosystemet i och omkring sjön, vilket kan innebära oåterkalleliga skador. Kalkningen bör därför planeras noga och ske under kontrollerade former med noggranna för- och efterundersökningar av såväl fysikalisk-kemisk som biologisk natur.

LITTERATURLISTA

1. Sweden's case study for the United Nations conference on the human environment: Air pollution across national boundaries. The impact on the environment of sulphur in air and precipitation, Norstedts, Stockholm 1971.
2. Odén, S.: Nederbördens försurning - ett generellt hot mot ekosystemen, Forurensning og biologisk miljøvern, sid. 63-98, Universitetsforlaget, Oslo 1971.
3. SOU 1971:75, Hushållning med mark och vatten, upprättad inom Civildepartementet.
4. Persson, B.: Stadstrafikens inverkan på människa och miljö, Luftföroreningar, Meddelande 70 - 1975, Forskargruppen SCATT, Inst. för Stadsbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola.
5. Rahm, L. - Leire, R.: Miljökunskap V4 III, Intern skrift nr 12 1972, Inst för Vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola.
6. Grufman, A.: Ompröva nedtrappningsprogrammet, Teknisk Tidskrift 1974:17, sid. 30-41.
7. Odén, S.: The extent and effects of atmospheric pollution on soils, Publ. i FAO Soils, Bull. 16, 1972.
8. Söderlund, R.: Meteorologiska institutionen, Stockholms Universitet (MISU), muntlig uppgift.
9. Eriksson, J. - Persson, J.: Aktuellt om kalkning, Meddelande från Lantbrukshögskolan, Uppsala 1971.
10. Charpentier, Å.: Stort kalkbehov på många jordar, Lantbruksnämnden i Vänersborg. (Stencil)
11. Troedsson, T.: Skoglig Marklära del IV, Skogshögskolan 1961.

12. Andersson, G. - Bengtsson, R. - Ripl, W.: Försurning av sjöar och vattendrag i Kronobergs län, utredning på uppdrag av Länsstyrelsen i Kronobergs län, Lund 1973.
13. SNV 1973:7, Försurningens inverkan på västkustsjöar, Statens Naturvårdsverk.
14. Något om kalkningsprojektet vid Östra Nedsjön nov. 1972 - feb. 1974, sammanställt av Lantbruksnämnden i Älvsborgs län, Borås-kontoret.
15. Björkman, A.: Hydrologisk studie av Lagans avrinningsområde, publ. serie B nr 68:2, Inst. för VA-teknik, Chalmers Tekniska Högskola.
16. Handboken BYGG del 1 A, kap. 142 Hydrologi, AB Byggmästarens förlag, Stockholm.
17. Reinius, E.: Vattenbyggnad del 2, Hydrologi och vattenreglering, efter föreläsningar vid Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm 1973.
18. Troedsson, T.: Vattnet i skogsmarken, Kungl. Skogshögskolans skrifter nr 20, Stockholm 1955.
19. Kungl. fiskeristyrelsen, Statens Naturvårdsverk och Länsstyrelserna i O, N, F, G och P län: pH-förhållanden i västsvenska sjöar 1970-72.
20. Johansson, I.: Hydrologiska undersökningar inom myrkomplexet Komosse, Rapport 3:17, Inst. för Kulturteknik, Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm 1974.
21. Bernhoff, R.: Kalk hindrar försurning av vår miljö, Inform. från Cementa, 1974.
22. Ahl, T. - Wilander, A.: The effects of lime treatment to a small lake in Bergslagen, Sweden, Vatten 5. 1972, sid. 431-444.

23. Grahn, O. - Hultberg, H.: The neutralizing capacity of 12 different lime products used for pH-adjustment of acid water, *Vatten* 2, 1975, sid. 120-132.
24. von Brömssen, U.: Grundvattenbildning i geologiskt olika terräng-avsnitt, särtryck ur *Metod-Teknik-Analys* 1968.
- Andersson, L.: Svavelemission och vattenvård, Svenska kalkföreningen, Stockholm 1974. (Stencil)
- Bersins, P.: Kalkning av sjöar, S. Sveriges fiskeriförenings Årsskrift 1959-60, sid. 28-35. (Prel. medd.)
- EIFAC:s arbetsgrupp 1969. Kriterium på vattenkvalitet för europeiska insjöfiskar. Om extrema pH-värden och sötvattenfisket. Inform. från Sötvattenlaboratoriet, Drottningholm, nr. 2, 1969.
- Eriksson, M. - Gustavsson, Y. - Nilsson, K.: Grundvatten, Norstedts, Stockholm 1970.
- Grahn, O. - Hultberg, H. - Landner, L.: Oligotrophication - a self-accelerating process in lakes subjected to excessive supply of acid substances, *Ambio* 3, nr 2, 1974, sid. 93-94.
- Grahn, O. - Hultberg, H.: Försurningens effekter på oligotrofa sjöars ekosystem - integrerade förändringar i artsammansättning och dynamik, medd. nr 2 från gruppen för försurningsforskning IVL, Göteborg 1974.
- Granat, L.: On the relation between pH and the chemical composition in atmospheric precipitation, *Meteorologiska inst. Stockholms Universitet*, Rapp. AC - 18, Stockholm 1972.
- Karlén, A.: Svaveldioxidens inverkan på mark och skog, sjöar, vattendrag och fisk. Allmänna förlaget, Stockholm 1972.

- Karlén, A.: Släpp ut svavlet när utspädningsförhållandena är goda, Teknisk Tidskrift nr 12, 1974, sid. 28-32.
- Karlén, A.: Svavelnedtrappningen - ett genmäle, Teknisk Tidskrift nr 15, 1974, sid. 7.
- Malmer, N.: Om effekterna på vatten, mark och vegetation av ökad svavel-tillförsel från atmosfären. SNV, PM 402, Solna 1973.
- Malmer, N.: Luftens förorening allvarligare än vattnets, Teknisk Tid-skrift nr 14, 1974, sid. 37-38.
- Munn, R.E. - Rodhe, H.: On the meteorological interpretation of the chemical composition of monthly precipitation samples, Tellus XXIII, 1971, sid. 1-13.
- Nyberg, A.: Vädrets växlingar viktiga för nederbördens surhet, Forsk-ning och Framsteg nr 1, 1970, sid. 18-21.
- Nömmik, H.: Kvävegödselmedlens inverkan på markens pH, Växtnäringsnytt nr 22, 1966.
- Ramberg, L.: Skogsgödsling och urläkning, Forskning och Framsteg nr 3, 1974, sid. 12-16.
- Troedsson, T. - Nyqvist, N.: Marklära och Markvård, Almqvist & Wiksell, Uppsala 1973.
- Waters, T.: The effects of lime application to acid bog lakes in northern Michigan, Trans. Am. Fish. Soc. nr 86, 1956.
- Wejman-Hane, G. m.fl.: Kompendium i VA-teknik del IV, Inst. för VA-tek-nik, Chalmers Tekn. Högskola, Göteborg 1973.
- Wiklander, L.: Utläkning av näringsämnen, Grundförbättring nr 23, 1970, sid. 117-141.
- Willén, T.: Om sjöar och vattendrag, Diagnos, SNV 1974:1, sid. 236-265. Lund 1974.

	År	1968	1969	1970	1971	1972					1973							
	Datum	20/3	17/1	17/12	20/7	29/7	20/10	23/11	19/4	24/11	15/12	20/12	25/1	5/2	28/2	6/3	20/3	4/4
Ö.Nedsjön 80Y (1m)	pH Alk.			5,05	5,7		5,7	5,8	5,6	5,7						6,3 0,05	6,2 0,02	5,0 0,01
Ö.Nedsjön 80B (60m)	pH Alk.				5,2		4,6	5,4	5,6	5,7						6,2 0,02		6,3 0,04
Ö.Nedsjön 81Y (1m)	pH Alk.				6,1					5,9						6,0 0,10	6,0 0,01	6,0 0,02
Ö.Nedsjön 81B (25m)	pH Alk.			5,1	5,5					6,0						5,9 0,02		5,7
Ö.Nedsjön utflödet 83	pH Alk.	6,1	5,9	5,1	5,7		5,7	6,0		5,7		5,5	5,8			5,9 0,01	5,3 0,01	5,7 0,02
Morjesjöes bäcken 84	pH Alk.	5,2	5,5	4,8		5,7				4,9			5,3		4,8		5,0	6,5 0,11
Tubbareds- bäcken 85	pH Alk.			4,6		6,1	6,1		4,9	5,1			8,1		6,1		9,2 0,49	8,4 0,19
Hagabäcken 86	pH Alk.									5,3	4,7		11,6	8,5	6,0		7,6 0,10	6,9 0,06
Store Mosse bäck vid kio- sken 87	pH Alk.									4,2	4,8				5,8		10,5 1,72	9,9 1,46
Bäck vid Jordås 89	pH Alk.									6,0								
Bäck NV Pattabo 90	pH Alk.																	
Andviken söd- ra bäcken 88	pH Alk.																	
Utflödet Fällesjön 91	pH Alk.																	

Ar	1973	1974														
Datum	17/12	14/1	5/2	20/2	8/3	20/3	2/4	17/4	7/5	16/5	5/6	26/6	6/8	9/9	17/10	1/12
O. Nedrejön SÖV (1m)		6,1 0,02	5,9 0,02			5,8 0,06	5,8 0,05	5,8 0,02	5,9 0,04	6,1 0,02	6,0 0,02	6,0 0,02	6,0 0,02	6,2 0,02	6,6	
O. Nedrejön SÖS (50cm)		6,0 0,02	5,9 0,02			5,7 0,06	5,8 0,02	5,8 0,03	5,9 0,04	6,0 0,02	5,9 0,01	5,8 0,01	5,7		6,0	
O. Nedrejön SIV (1m)		6,0 0,02	5,8 0,02			5,7 0,08	5,8 0,05	5,8 0,03	5,8 0,03	6,0 0,01	6,0 0,01	6,0 0,02	6,2 0,02			
O. Nedrejön SIV (25m)		6,1 0,02	5,8 0,01			5,6 0,03	5,8 0,06	5,8 0,03	5,9 0,04	6,0 0,01	6,0 0,02	5,9 0,02	5,8 0,02	5,5 0,02		
O. Nedrejön utvidgat 83	5,7	6,0 0,01	5,9 0,06	5,8 0,01	5,8 0,08	5,8 0,06	5,8 0,04	5,8 0,04	5,9 0,03	6,0 0,02	6,0 0,02	6,0 0,02	6,0 0,02	6,1 0,02	6,1	6,1 0,02
Norresjön bäck 84	5,7 0,01	5,8 0,03	5,1 0	5,3 0	5,4 0,10	5,6 0,10	5,8 0,10	5,8 0,09	5,8 0,09	6,0 0,09	6,0 0,09	6,7 0,18				
Tullarede- bäck 85	5,9 0,08	6,1 0,05	6,1 0,04	6,5 0,22	8,6 0,45	7,5 1,68	7,6 0,42	7,6 0,42	7,9 0,54	7,9 0,54	7,2 0,38					
Välveddalen 85	5,5 0,01	5,5 0,01	4,9 0	5,1 0	5,2 0,04	5,5 0,03	5,6 0,04	5,6 0,04	5,9 0,04	5,9 0,04	0=	0=	0=	0=		
Stora Mosse bäck vid Mio- eren 87	6,5 0,43	6,7 0,54	6,9 0,23	6,9 0,12	6,7 0,78	7,1 4,46	6,8 0,35	6,8 0,35	7,4 0,82	7,4 0,82	0=	0=	0=	0=		
Bäck vid Jordås 89	5,0 0,03	5,3 0	5,6 0,01	5,6 0,01	5,6 0,16	5,8 0,14	5,7 0,09	5,7 0,09	5,9 0,09	5,9 0,09	0=	0=	0=	0=		
Bäck 89	4,6 0	4,5 0	4,5 0	4,5 0	4,8 0	4,9 0	4,9 0	4,9 0	4,9 0	4,9 0	0=	0=	0=	0=		
Pottabo 90	4,8 0	4,4 0	4,7 0	4,8 0	5,0 0,12	5,7 0,22	5,6 0,04	5,6 0,04	5,8 0,05	5,8 0,05	0=	0=	0=	0=		
Andviken söd- re bäcken 88	6,2 0,12	5,4 0,01	4,7 0	5,0 0	5,4 0,06	5,8 0,13	6,1 0,39	6,1 0,39	6,3 0,40	6,3 0,40	0=	0=	0=	0=		

	År Datum	1975				
		5/2	24/3	25/4	29/4	21/5
Ö.Nedsjön 80Y (1m)	pH	5,8	5,8		6,0	
	Alk.	0,03	0,01		0,01	
Ö.Nedsjön 80B (50m)	pH	5,7	5,8		5,9	
	Alk.	0,02	0,01		0,01	
Ö.Nedsjön 81Y (1m)	pH	5,7	5,8		6,0	
	Alk.	0,01	0,01		0,01	
Ö.Nedsjön 81B (25m)	pH	5,8	5,8		6,0	
	Alk.	0,01	0,01		0,01	
Ö.Nedsjön utflödet 83	pH	5,8	5,7	5,9	5,9	
	Alk.	0,02	0,01	0,01	0,01	
Morjesjöos bäcken 84	pH			6,2		6,5
	Alk.			0,05		0,06
Tubbareds- bäcken 85	pH			6,6		7,2
	Alk.			0,07		0,22
Hagabäcken 86	pH					5,4
	Alk.					0
Store Mosse bäck vid kio- sken 87	pH					6,6
	Alk.					0,26
Bäck vid Jordås 89	pH					6,2
	Alk.					0,09
Bäck NV Fattabo 90	pH					5,1
	Alk.					0
Andviken söd- ra bäcken 88	pH					5,4
	Alk.					0
Utflödet Hallesjön 91	pH					
	Alk.					

	År Datum	1967	1968	1969		1970	1971	1972	1973						
		25/4	24/1	20/3	28/2	26/3	17/12	20/10	24/11	15/12	25/1	2/2	28/2	12/11	28/11
St.Hallesjön utlopp	pH Alk.	5,0		4,5	4,8	5,0		4,9		5,2		4,7	6,5	6,6	6,2
									tillfl.4,4	tillfl.4,4	tillfl.4,5	0,44	0,14	0,12	
L:a Hallesjön 1	pH	5,0		4,5	4,7	4,5		4,9		5,2					
Mörkatjärn 2	pH		4,0	3,7						4,5		4,9			
Tvättesjön 3	pH	6,0		5,7	5,8	5,8		5,4			10,3	6,1			
Veresjön 4	pH	5,6		5,1		5,3		5,4			6,4	5,6			
Längesjön 5	pH	5,4		4,7		5,3									
Morjesjön 84	pH	5,6		5,2		5,5		4,9							
Käringtjärn 6	pH		4,0	4,0											
Rännebäcken 7	pH											6,2			
Rörsjöbäcken 8	pH							5,0	5,7			5,8			
Ö. o V.Rörsjön 9	pH		4,3	4,4											
St.Furutjärns- bäcken 10	pH							4,4	4,1						
Långetjärns- bäcken 11	pH							4,4	4,1						
Bäck vid Tub- batorp 12	pH							4,4				4,4			
Bäck vid Ljungstorp 13	pH								4,1	4,6		4,2			

År	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973
Datum	25/4	24/1	28/2	17/12	20/10	24/11	25/1
pH						4,4	4,7
Abborrtjärms- bäcken 14							
Haganjön 15							tillf. 5,8 utfl. 8,2
Abborrtjärn 16		4,7	4,2				
Hörnetjärn 17		5,4	4,7				
Hörnetjärms- bäcken 17				4,9	4,6	5,5	4,6
Ö. Nedsjön 18							5,7
södra stranden							5,8
Store Mossen							
östra bäcken 19						4,0	
Skarbotjärn 20		5,5	5,5				
St. Jordbergs- tjärn 21		5,4	5,5				
År	1974						1975
Datum	7/1	6/2	20/2	6/3	20/3	17/4	16/5
pH	5,4	4,7	5,0	5,4	5,8	6,1	6,3
Alk.	0,01	0	0	0,06	0,13	0,39	0,40
St. Hallesjön							6,6
							0,19

Undersökning av kalkslam från acetylenfabrik

torrsubstans	39,8 %	spec.vikt slam	1,28 g
vatten	60,2 %	spec.vikt torrsubst. ..	1,98 g
		pH	12,0

Analys av torrsubstansen

kiseldioxid SiO_2	2,26 %
järnoxid Fe_2O_3	0,15 %
aluminiumoxid Al_2O_3	1,18 %
kalciumpoxid CaO	72,2 %
magnesiumoxid MgO	0,16 %
arsenik As	mycket låg konc.
krom Cr	0,001 %
mangan Mn	0,003 %
koppar Cu	0,001 %
natrium som Na_2O	0,12 %
kalium som K_2O	0,035 %
koldioxid CO_2	1,84 %
svaveltrioxid SO_3	0,64 %
fosfor som P_2O_5	0,008 %
vatten H_2O	21,8 %
H_2S i otorkat kalkslam	0,05 %

I den fasta fasen har såsom huvudkomponenter påvisats Fe, Mg, C, Ca, Al, Si, Si. Den i utspädd syra olösliga delen av den fasta fasen (ca 5 %) bestod huvudsakligen av Ca, Mg-silikater, Al_2O_3 , kiselkarbid, ferrokisen $(\text{Fe})_m (\text{Si})_n$. Vidare visade sig att omkring 60 % av det olösta materialet var magnetiskt påverkbart. I det vatten som akta avskiljer sig från kalkslammet har som huvudsak påvisats Ca, OH, SH, SO_4^{2-} , NH_3 och med ett pH uppmätt till 11,9.

Sedimentationsanalys har givit

tunga partiklar	/0,3 mm och nedåt/	0,5 %
partiklar	/0,6 - 0,3 mm/	1 %
"	/0,3 - 0,1 mm/	3 %
"	/0,1 - 0,04 mm/	50 %
"	/0,04 - 0,02 mm/	26 %
"	/0,03 - 0,01 mm/	14 %
"	/0,01 - 0,003 mm/	5 %
partiklar	/0,002 - 0,001 mm/	1 %

Ur analysdata kan man anse att torrsubstansen har följande huvudsakliga sammansättning:

Ca(OH) ₂ , kalciumhydroxid	91,9 %
CaCO ₃ , kalciumkarbonat	4,18 %
SiO ₂ , kiseldioxid	2,26 %
Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , järn + aluminiumoxid	1,33 %
MgO, magnesiumoxid	0,16 %
SO ₃ , svaveltrioxid (som sulfat)	0,64 %

Kem.lab., CWFL, AGA AB, Lidingö

18 oktober 1971.

A. Nagel

I.C. Marstad

Rätt avskrivet intygar

Kerstin Eliasson

Kansliskrivare

har på anmodan av Västsvenska Lantmän, Marknadsavd., Lidköping
undersökt prov av T-kalk
inkommet den 10.3-71
märkt Från AB Ferrolegeringar

Provet är icke taget genom stationens försorg
Undersökningen har givit följande resultat:

Kalcium, total, Ca %	45.8
" " beräknat som CaO, %	64.0
Magnesium, total mg %	5.6
" " beräknat som MgO, %	9.3
Syraneutraliserande ämnen mval/g	22.4
100 kg av provet motsvarar i syraneutraliserande verkan 62.7 kg ren kalk, CaO, eller 112 kg rent kalkstensmjöl, CaCO ₃	
Fri kalk, CaO %	35.2

Skara den 8/4 1971

Kemiska Stationen

Skara

Arne Johansson

angående tungmetaller i T-kalk.

Enligt tillgängliga analyser av T-kalk innehåller denna försvinnande små mängder av zink och cadmium. Krom förefinnes i form av ferrochrom, som är en helt olöslig legering, och ej torde medföra några biverkningar. Jag vill i detta sammanhang erinra om vitallium, en legering mellan krom och cobolt, som på grund av sin vävnadsvänlighet fått stor användning inom kirurgisk och odontologisk teknik. Halten av koppar uppgår till 30 mg per kg kalk, under det att blyhalten är 140 mg. Om T-kalken direkt vore medium för existensen av växter och djur, kunde dessa siffror väcka vissa farhågor, men man bör taga i beräkningen, att T-kalken sprides i huvudsak på land i anslutning till sjöarnas och vattendragens stränder och ej får sedimentera på sjöbotten. Även om ett betydande sedimentskikt av T-kalk funnes på botten, torde detta ej innebära någon fara. De inom jordbruket använda givorna av koppar och andra spårämnen uppgå till flera tiotal kg per hektar, vilket ger koncentrationer, som äro flera hundra, kanske tusen gånger högre än kopparhalten i T-kalk.

Om man antager, att all den T-kalk, som skall deponeras inom Östra Nedsjöns nederbördsområde uppginge till 1 000 ton, och att all denna kalk direkt tillfördes enbart sjöns vattenmassa, skulle detta innebära, att sjön tillfördes totalt 30 kg Cu ($30 \times 1.000.000 \text{ mg} = 30 \text{ kg}$). Om sjöns totala vattenmassa sättes till $300\,000\,000 \text{ m}^3$, blir koncentrationen

$$\frac{30\,000\,000}{300\,000\,000 \times 1\,000} = \frac{1}{10\,000} \text{ mg/liter}$$

En misstanke om skadeverkningar av denna ytterst låga koncentration har knappast någon som helst verklighetsförankring. I detta sammanhang bör erinras om att blodfärgämnet hos crustacéer och mollusker, hämocyamin, är kopparhaltigt.

Även om blyhalten är fem gånger högre än kopparkoncentrationen, blir den totala utspädningen av samma storleksordning, varför man ej heller i detta fall har att räkna med några skadeverkningar. De blymängder, som tillföras naturen från bilarnas avgaser torde vara ett betydligt allvarligare problem, trots att man ännu ej kunnat påvisa några skadeverkningar.

Göteborg den 8 februari 1973.

Harald Alander

Jordundersökning

Ägare eller brukare: Domänverket (AMS)
Egendom: Torggatan 19 Adr. 502 30 Borås
Lantbruksnämnd: /Proven tagna Östra Nedsjön/

23/3-73

	Nr	pH	pH-vattenprov	
T-kalkat	1	4,0	(5,5)	vid Hörnetjärnsbäcken
ej kalkat	2	4,6	(4,4)	" Abborrtjärnsbäcken
kalkstensmjöl	3	5,0	(5,3)	" Hagatjärnsbäcken
ej kalkat	4	4,9	(4,35)	" Långetjärnsbäcken
kalkstensmjöl	5	4,7	(4,35)	" Furutjärnsbäcken
ej kalkat	6	4,9	(5,0)	" Rösjöbäcken
T-kalkat	7	4,4		" Skogskiftet övre
kalkat	8	4,4		" " nedre
ej kalkat	9	4,0	(4,0)	" St. Mossen Östra 10-20 cm
" "	10	4,0	(4,0)	" " " " 40-50 cm
" "	11	4,6	(4,2)	" " " Västra 10-20 cm
" "	12	4,5	(5,4)	" Tvättesjön (Östra vid stugan)
<u>9/5-73</u>				
ej kalkat	13	4,9		" S-SSO Skogsmossen vid tillflöde till Tubbaredbäcken
" "	14	4,9		" " " "

Prov nr 9 o. 10 (sammanslagna)

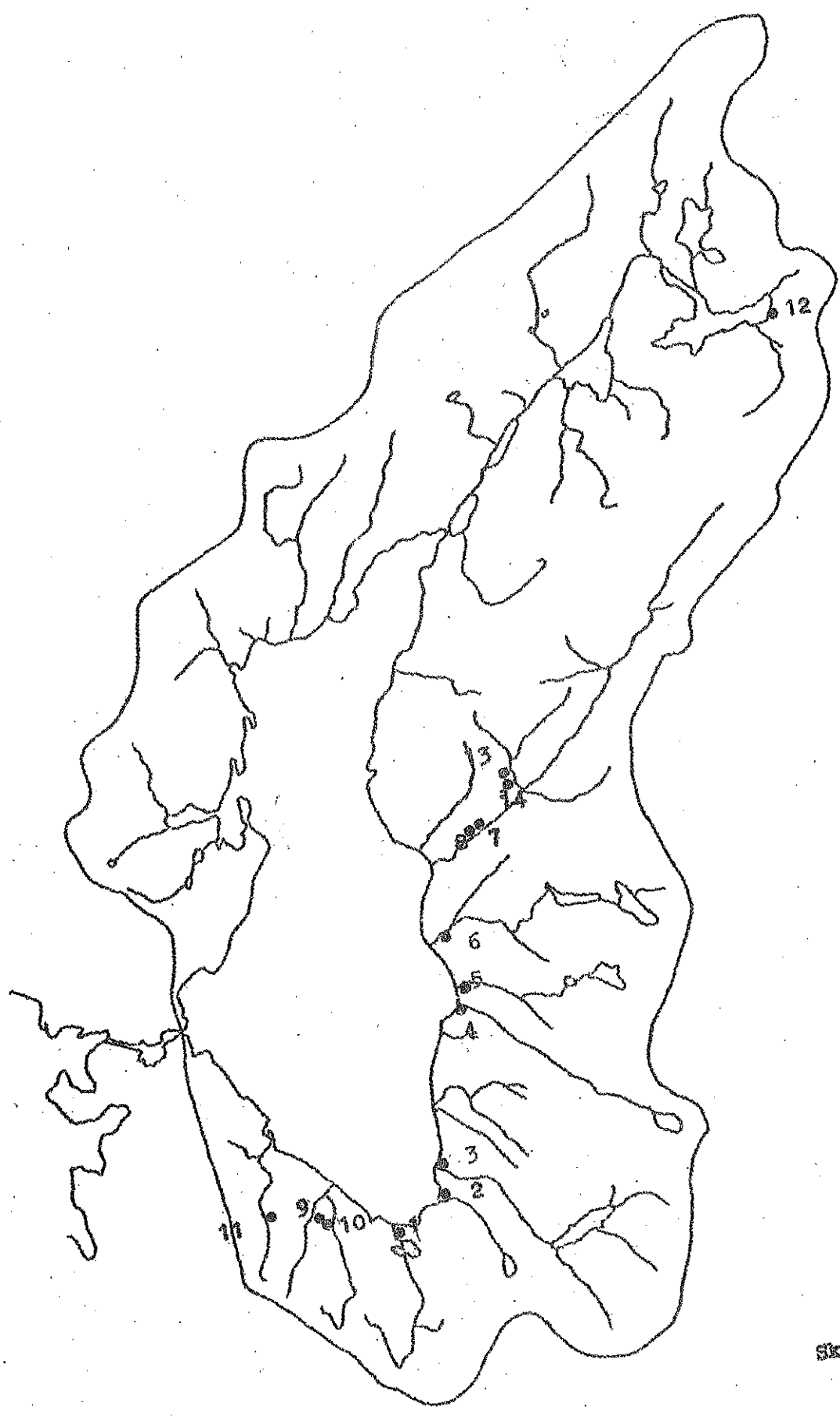
Provtagningsdjup	20 cm	Totalkalk, CaO	2,7 ton/ha
Glödgningsförlust i torrsubstans	96 %	Svavelsyra, SO ₃	1,5 --
Volymvikt	0,12 kg/l	Restkalk, CaO	1,6 --
pH	4,0		

Kr. 68:-

Skara den 15.1 o. 19.6.1973

Kemiska Stationen
Skara
Arne Johansson

Obs. Jordprovslokalerna nr 1-14 finns utsatta å speciell karta.



Skala 1:50000

Jordprovslokaler nr 1-14

PROVGRÖPSPROTOKOLL

BILAGA # sida 1

ÄRENDE: Östra Nedsjön NR.

DAT: 1974-07-24

SIGN

NR. I

SEKTION:

MÄTT (m)

GRUNDVATTEN +14,1°

L.....

ANM.

B.....

Lufttemperatur +16,5°

D...0,5.....

Sjövattentemperatur +17,0°

V.....(m³)

Grundvattnets pH 5,20

Sjövattnets pH 6,25

BLOCK

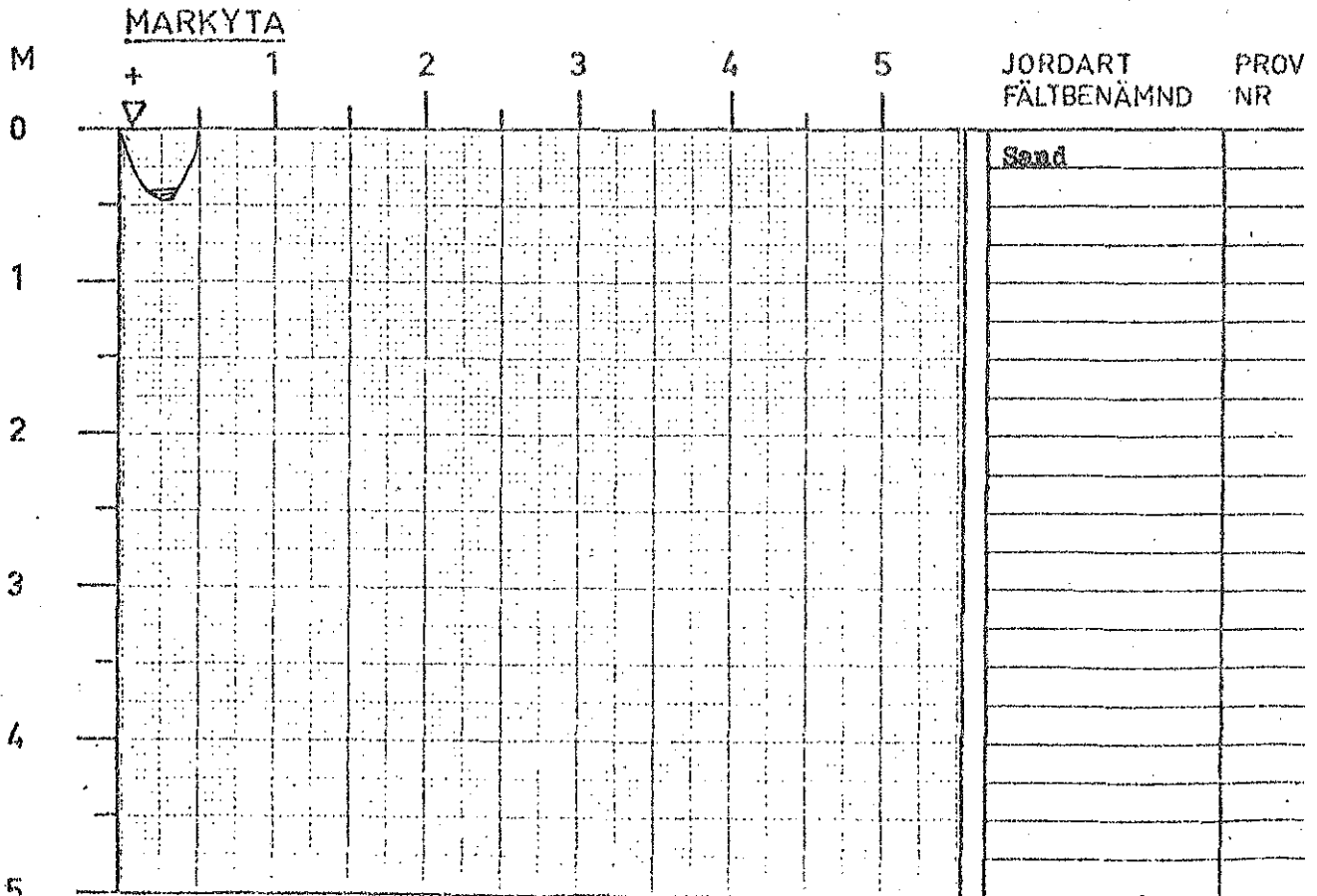
45m från strandlinjen

Ingen kalk avlig på stranden

.....ST 0.2 - 0.6

.....ST 0.6 - 1.2

.....ST > 1.2



PROVGRÖPSPROTOKOLL

4:4

ÄRENDE: Östra Nedsjöa NR.

DAT: 1974-07-24

SIGN:

NR. IV

SEKTION:

MÄTT (m)

GRUNDVATTEN + 9,0

L.....

ANM.

B.....

Lufttemperatur 17,0°

D..1,4.....

Grundvattnets pH 4,05

V.....(m³)

Strax intill jordprovslokal nr 9

Vattnet starkt humusfärgat

15/8 gropen fylld till ca 80cm med vatten pH 3,95

BLOCK

.....ST 0.2 - 0.6

.....ST 0.6 - 1.2

.....ST > 1.2

MARKYTA

M	MARKYTA					JORDART FÄLTBENÄMND	PROV NR
	+	1	2	3	4		
0	▽					Mossjord	
1							
2							
3							
4							
5							

PROVGRÖPSPROTOKOLL

4:6

ÄRENDE: Östra Nedsjön NR.

DAT: 1974-07-24

SIGN

NR.VI

SEKTION:

MÅTT (m)

L.....

B.....

D_{0,4}.....

V.....(m³)

GRUNDVATTEN + 15,0°

ANM

Lufttemperatur +17,0°

Sjövattentemperatur 17,0°

Grundvattnets pH 5,1

Sjövattnets pH 6,3

30m från strandlinjen

Grundvattnet svagt brunfärgat

BLOCK

.....ST 0.2 - 0.6

.....ST 0.6 - 1.2

.....ST > 1.2

MARKYTA

