

# NORDISK HYDROLOGI I UTVECKLING





# NORDISK HYDROLOGI I UTVECKLING



Tillägnad Ragnar Melin  
på hans 90-årsdag den 2 december 1980

Teckningen utförd av  
konstnären Birger Lundquist  
och publicerad i Dagens Nyheter  
den 30 oktober 1946

SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT  
Hydrologiska byrån

HB-RAPPORT NR 42 Norrköping 1980

Redigerad och utskriven av Eivor Ghelem

Tryckt vid SMHs tryckeri Norrköping 1980

*sent som 1979 publicerades "Minnen från en hydrologs vardagsliv" som beskriver Ragnar Melins upplevelser under fältarbeten i de norrländska älvarna.*

*Det har varit en stor glädje för mig att i egenskap av sentida efterträdare som chef för SMHIs Hydrologiska byrå få svara för framställningen av denna skrift.*

*SMHI och författarna, representerande hydrologin i sina respektive länder, vill på detta sätt hedra den framstående hydrologen Ragnar Melin på hans 90-årsdag.*

*Ulf Ehlin*

## Förord

*Under Nordisk Hydrologisk Konferens i Vemdalen i augusti 1980 satt vi en kväll några stycken och samtalande om gångna tiders mer framträdande hydrologer. Naturligtvis var Ragnar Melin - initiativtagaren till de nordiska hydrologkonferenserna - en av dem som först nämndes, hans verksamhet under tiden på SMHI och arbeten efter pensioneringen. Någon observerade att Ragnar Melin närmade sig 90 år - därmed föddes tanken på denna skrift.*

*Ragnar Melin påbörjade sitt arbete vid Hydrografiska byrån först som biträde vid fältarbeten 1917 och anställdes som biträdande ingenjör 1918. Han fick tjänst som statshydrograf när Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt bildades 1919 och utsågs till chef för Hydrografiska avdelningen 1935. När anstalten 1945 ombildades till Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut utsågs Ragnar Melin till Hydrologiska byråns chef vilket han var till sin pensionering 1956.*

*Under sin tid vid SMHI gjorde Ragnar Melin en betydande insats för svensk hydrologi, främst för den grundläggande kartläggningen av de hydrologiska förhållandena. I det mycket omfattande och för Sveriges vattenkraftutbyggnad grundläggande arbetet med "Förteckning över Sveriges vattenfall" spelade Ragnar Melin en ledande roll och nämns bör även publikationen "Vattenföringen i Sveriges floder" som varit av stort värde för vattenplaneringen i Sverige under de senaste decennierna.*

*Även efter sin pensionering har Ragnar Melin utfört ett betydande hydrologiskt arbete, vilket resulterat i ett antal publikationer av vilka kan nämnas "Vattenföringens 10-åriga och 30-åriga fluktuationer under 1900-talet" och läroboken "Hydrologi i Norden". Så*

# Innehållsförteckning

	Sid
HYDROLOGIN FÖRR OCH NU Av Arne Forsman Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut Hydrologiska byrån	7
NORDENS ELDSTE HYDROLOGIBØKER Av Jakob Otnes Norges Vassdrags- og Elektrisitetsvesen Hydrologisk Avdeling	21
HYDROLOGEN OCH VATTNETS KEMISKA PROFIL Av Malin Falkenmark NFRs Hydrologikommitté	39
NÅGRA KARAKTERISTISKA EGENSKAPER HOS FINLANDS SJÖAR Av Esko Kuusisto och Risto Lemmelä Vattenstyrelsen Hydrologiska byrån	61
PROBLEMERNE VED BESKRIVELSEN AF AFSTRØMNINGENS REGIONALE VARIATIONER I DANMARK Av Jørgen Lundager Jensen Det Danske Hedeselskab Hydrometriske Undersøgelser	73





## HYDROLOGIN FÖRR OCH NU

Av Arne Forsman

Hydrologin förr och nu; ja mycket har hänt sedan Ragnar Melin kom till dåvarande Hydrografiska byrån. När denna bildades år 1908 var dåtidens hydrologer - eller hydrografer, som de då kallades - mest engagerade i att mäta vattenföringen i Sveriges vattendrag, och att organisera och bygga ut ett vattenstånds- och vattenföringsnät över landet. I anslutning till utbyggnaden vidtog det omfattande arbetet med vattenföringsmätningar som erfordrades för att upprätta avbördningskurvor för de nybildade stationerna. Under 1920- och 1930-talet pågick ännu mätarbetet men även utvecklingsarbeten, till exempel för hydrologisk dimensionering. Under denna tid tillkom - till övervägande del på särskilda medel - de viktiga hydrologiska standardverken, De svenska vattendragens arealförhållanden och Förteckning över Sveriges vattenfall. Under vattenkraftutbyggnadsepoken från slutet av 1940-talet fram in i 1960-talet ställdes stora krav på de hydrologiska stationsnäten, särskilt i norra Sverige. Under 1960- och 1970-talen framtvingade bland annat miljövårdsintressena en stark koncentration på näten i södra Sverige.

När Ragnar Melin tillträdde sin första tjänst som ung hydrograf vid midsommartiden 1918, började han följdriktigt med en vattenföringsmätning i nedre Dalälven och fortsatte sedan i Kalixälven. Han skriver i sin bok "Minnen från en hydrologs vardagsliv", som kom ut 1979, följande målände skildring:

"Båtarna i Torne- och Kalix älvar är av en uråldrig typ, lämpade för att ros utför och stakas uppför, varvid vid stakningen en man på stranden ibland behöver hjälpa till med draglina. Båtarna är långa och smala, har låga bord i aktern för att underlätta stakningen och höga i fören för

att vid rodd utför kunna ta emot forsarnas stora vågor. För att få styrfart måste båten ha större hastighet än vattnet. I branta forsar rör man därför med två par åror, det ena placerat på den vanliga roddplatsen nära båtens för, det andra nära aktern. Årona är instoppade i öglor av vide, fastsatta i hållare i relingen på sådant sätt, att årona lätt kan dras in och ut samt höjas och sänkas för att undgå stenar i forsarna. Båten styrs med en bred kort styråra, fäst i aktern vid relingen med en vidjeögla. Styrmannen står upprätt i båtens akter och får därigenom en god överblick, så att han i tid kan välja den bäst framkomliga vägen och undvika stenar under vattenytan, som ger sig tillkänna genom vattnets rörelser och som kan kantra båten vid en påstötning i den starka farten.

Jag skall beskriva vattenföringsmätningen vid Morjärv något närmare", fortsätter Ragnar Melin sin skildring, "eftersom mätförhållandena är rätt typiska för de stora älvarna i Norrland. Först rekognoscerades älven för att hitta ett lämpligt mätställe. Vattenhastigheten vid sjöutloppet övergick gradvis från lugnvatten till stark ström och fors. En lämplig mätsektion borde uppfylla följande villkor: Bredden borde inte gärna överstiga 200 m, då det var svårt att vid större bredd med tillgänglig utrustning spänna över den graderade ställina, som behövdes för mätningen. Hastigheten borde vara jämn och knappt överstiga 2 m/s. Man borde ej komma för nära forshuvudet för att ej riskera att driva ned i forsens utan kunna ro i land om något skulle gå gale. Kamlungeforsen är nämligen en svår fors, som visserligen är farbar med forsbåt bemannad med vant folk men knappast lämpad för en ofrivillig forsfärd. Vi hittade ett passabelt mätställe, fick över linan, som väl fastspändes mellan träd, och mätningen kunde genomföras. Jag fick senare veta, att mätstället vid Morjärv vid högvatten var ett av de svåra i landet".

Ja, vem kan bättre fånga äventyrs- och vildmarksstämningen?

Jag har själv senare - på 1950-talet - gjort högvattenmätningar i Kalixälven vid Rödupp och använt samma sorts fina forsbåtar och känner därför väl till förhållandena. En av mina båtförare

innehade den gamla gästgivaregården i Rödupp, och han berättade, att gården gått i arv i släkten sedan 1500-talet. Ägarna hette omväxlande Nils Hindriksson och Hindrik Nilsson. Det var säkert det fina laxfisket, som gjorde, att denna plats koloniserats så tidigt, redan under Gustav Vasas tid.

Ragnar Melin undrar, när han går med den topografiska kartan i handen, hur de gamla topograferna under 1800-talet tog sig fram i ödemarken. Man kan också undra hur de kunde bestämma namn på alla småsjöar och andra små vattendrag som de karterade. Kanske det gick till som i Gällivares omgivning, när topografen frågade sin finskspråkiga stångförare, om han visste vad sjön hette, som de mätt in på kartan. "Ei" svarade denne, vilket betyder nej på finska. Mycket riktigt skrev topografen Eijärvi på kartan, d v s Nejsjön!

På språksvårigheter kunde jag dock inte skylla den gången, då observatören vid Kallio, Julle Hjalmar Lehto, sade "ei" till att hjälpa till vid en vattenföringsmätning i Muonio älv. Det var hög vårflod och svår timmergång - vattnet forsade fram dånande och skummande och strömmade in bland björkarna vid stränderna både på den svenska och den finska sidan.

Ett exempel på flerspråkigheten i Norrbotten fick jag en gång efter en vattenföringsmätning i Torneälven vid Jukkasjärvi. Efter väl förrättat värv bjöd hantlangaren på kaffe i sin stuga. Han själv, som var finskspråkig, var gift med en lapska. Efter kaffet skulle parets lilla flicka diska. Hon fick stå på en låda för att nå upp. "När ska du börja i skolan?" frågade jag, som trodde jätan var högst 6 år. "Jag går i tredje klass", svarade hon på bättre svenska än både mannan och pappan. Hon var 9 år. På min fråga talade hon om, att hon talade finska med pappan och lapska med mannan. Dessutom läste hon engelska i skolan!

Ragnar Melin har också många lustiga episoder att berätta om arbeten med finskspråkiga hantlangare i Tornedalen.

Jag drar mig osökt till minnes hydrologen Jan Olof Skiftes svar

en gång, när jag frågade honom om det var besvärligt med språket, när han gjorde vattenföringsmätningar i Ogaden i Etiopien för några år sedan. Han svarade, att har man klarat jobbet i Torne-dalen, så har man inga bekymmer för språket varken i Uganda eller Ogaden.

För övrigt tror jag nog, att svenska hydrologer fått en god skolning för U-landsjobb under sina tjänsteresor i svenska fjällen.

Vid midsommartiden någon gång på 1950-talet färdades jag med motorbåt uppför Stora Lulejaure från Luleluspen nära Porjus förbi Sautaluokta till Jaurekaska. Vi var flera i båten, och jag hade mina mätinstrument i vår vanliga trälåda. Men det fanns också en annan trälåda med. Det förvånade mig en aning, hur varsamt man transporterade denna låda över morkan mellan Stora Lulejaure och Langas, medan man slängde vårslöst med min låda. Efter färd i en annan motorbåt utmed Langas och vandring över nästa morka kom vi till Kårtjejaure, där vi fortsatte i en tredje båt till Suorva. Där visade det sig, att den andra lådan, som man var så rädd om, innehöll sprit från systemet i Porjus! Jag vidtalade en äldre same att vara hantlangare nästa dag vid vattenföringsmätningen. Natten tillbringade jag hos damnvakten Harnesk. Men nästa morgon var alla same försatta ur stridbart skick, så klart, utom den kallblodiga samegrabben Per Unga, som ställde upp. När vi skulle ta över ställinan över Luleälven, strejkade aktersnurrar och båten gled först sakta mot Stora Sjöfallet, sedan fortare och fortare. Just innan vi skulle dras in i det riktiga suget mot fallet, fick den lugne Per igång motorn och vi var räddade.

Dammvakten Harnesk, som bodde mycket isolerat i vildmarken i Suorva 10-tals mil från någon landsväg eller människoboning, hade seglat som sjöman på världshaven. När jag frågade honom hur han trivdes på en sån isolerad plats, svarade han: "På vintern går det väl an, men på sommaren är det så många jävla turister här!"

Men hydrologerna gjorde inte bara fältmätningar. En av Hydrografiska byråns större uppgifter var att kartlägga flodområdena och

en gång, när jag frågade honom om det var besvärligt med språket, när han gjorde vattenföringsmätningar i Ogaden i Etiopien för några år sedan. Han svarade, att har man klarat jobbet i Torne-dalen, så har man inga bekymmer för språket varken i Uganda eller Ogaden.

För övrigt tror jag nog, att svenska hydrologer fått en god skolning för U-landsjobb under sina tjänsteresor i svenska fjällen.

Vid midsommartiden någon gång på 1950-talet färdades jag med motorbåt uppför Stora Lulejaure från Luleluspen nära Porjus förbi Sautaluokta till Jaurekaska. Vi var flera i båten, och jag hade mina mätinstrument i vår vanliga trälåda. Men det fanns också en annan trälåda med. Det förvånade mig en aning, hur varsamt man transporterade denna låda över morkan mellan Stora Lulejaure och Langas, medan man slängde vårslöst med min låda. Efter färd i en annan motorbåt utmed Langas och vandring över nästa morka kom vi till Kårtjejaure, där vi fortsatte i en tredje båt till Suorva. Där visade det sig, att den andra lådan, som man var så rädd om, innehöll sprit från systemet i Porjus! Jag vidtalade en äldre same att vara hantlangare nästa dag vid vattenföringsmätningen. Natten tillbringade jag hos damnvakten Harnesk. Men nästa morgon var alla samer försatta ur stridbart skick, så klart, utom den kallblodiga samegrabben Per Unga, som ställde upp. När vi skulle ta över ställinan över Luleälven, strejkade aktersnurrar och båten gled först sakta mot Stora Sjöfallet, sedan fortare och fortare. Just innan vi skulle dras in i det riktiga suget mot fallet, fick den lugne Per igång motorn och vi var räddade.

Dammvakten Harnesk, som bodde mycket isolerat i vildmarken i Suorva 10-tals mil från någon landsväg eller människoboning, hade seglat som sjöman på världshaven. När jag frågade honom hur han trivdes på en sån isolerad plats, svarade han: "På vintern går det väl an, men på sommaren är det så många jävla turister här!"

Men hydrologerna gjorde inte bara fältmätningar. En av Hydrografiska byråns större uppgifter var att kartlägga flodområdena och

uppmätta deras arealer, s k arealstatistik. En redovisning av de svenska vattenfallen var en annan krävande uppgift.

Först 1925 utkom dock en sammanställning över uppmätta värden på vattenföringen i G Slettenmarks "De svenska flodernas vattenmängder". Detta arbete upptog vattenföringsuppgifter för alla vattenföringsstationer med "någorlunda tillförlitliga" uppgifter för en period av minst 3 år.

Ragnar Melin ansåg i början av 1950-talet, att det var en svår brist, att en ny upplaga ej blivit publicerad under så lång tid, som förflutit sedan Slettenmarks arbete utkommit - 25 år! Och han satte också igång med utarbetandet av en ny sammanställning, som dock ej avslutades förrän 1954, då standardverket "Vattenföringen i Sveriges floder" av Ragnar Melin utkom.

Detta arbete innehåller uppgifter för 198 vattenföringsstationer i 51 huvudflodområden, och det anger utom de vanliga karakteristiska vattenföringsvärdena också uppgifter om avrinningens medelvaraktighet för helår, sommar- och vinterhalvår samt månadsmedelvattenföring för samtliga månader under observationstiden.

Ragnar Melin uttryckte den förhoppningen, att hans arbete skulle bli av värde inte bara för vattenkraftindustrin och andra grenar av näringslivet utan också för - som det hette - "mera vetenskapliga hydrologiska och klimatiska undersökningar". Han framhöll också värdet av de långa serierna. Vattenföringsserierna går fram t o m 1950. Den längsta serien är Väneren - Götaälv vid utloppet ur Väneren enligt pegel Sjötorp, som börjar 1807. Det är den längsta vattenföringsserien publicerad i Unescos stora publikation "Discharges of Selected Rivers of the World" som kom ut 1971.

Inte förrän 1979 kunde "Melins Bok" ersättas av ett modernare arbete - det vill säga 25 år senare! Då utkom den länge efterlängtdade publikationen "Vattenföring i Sverige".

Den innehåller vattenföringsuppgifter fram till och med 1975

för sammanlagt 253 i gång varande stationer.

Från att tidigare huvudsakligen ha varit inriktad på mätningar, datainsamling och enklare bearbetningar har den hydrologiska verksamheten på SMHI numera mera inriktats mot vattenföringsprognoser med HBV-modellen, hydrologiska undersökningar i s k Representativa områden och FFO-områden, avdunstningsstudier och hydrologisk kartering. Arbete pågår också med att utarbeta metodik för bevattningsrådgivning, och ett nytt system för hydrologisk lägesangivning har nyligen utarbetats. Även det internationella hydrologiska samarbetet har intensifierats bl a inom ramen för WMOs program för operationell hydrologi OHP, som drivs främst av WMOs tekniska kommission för hydrologi, Chy. Speciellt intresse har HOMS, vilket är ett program, inom ramen för OHP, som skall underlätta ett utbyte av beprövade instrument och metoder mellan framför allt I- och U-länder.

Inom ramen för HOMS sker ett nära nordiskt samarbete. Sverige har t ex åtagit sig att vara ett samordnande regionalt HOMS-centrum för Norden. Även inom Unescos IHD-och IHP-program har SMHI tagit verksam del.

En av de ovannämnda nyare verksamhetsgrenarna har tilldragit sig stor uppmärksamhet, nämligen utfärdandet av vattenföringsprognoser med HBV-modellen, och en hydrologisk prognostjänst har upprättats vid SMHI.

Utvecklingen har gått från relativt enkla prognoser över den totala vårflödesvolymen till mer detaljerade prognoser över både volymer och översvämningrisker. Detta har varit möjligt genom att nya metoder, baserade på modern simuleringsteknik med avrinningsmodeller, har utvecklats.

Den avrinningsmodell, som utvecklats vid SMHI, den s k HBV-modellen, är en metod att kontinuerligt omräkna observationer av nederbörd och lufttemperatur i ett avrinningsområde till vattenföring i områdets vattendrag. Det innebär, att hänsyn tas till snöackumulering och snösmältning, markvattenhalt, avdunst-

Tabell 1 Antal prognoser med HBV-modellen under de senaste fyra åren

Område	Vattendrag	Antal prognoser			
		1977	1978	1979	1980
Porjus	Stora Luleälv	12	4	4	4
Kultsjön	Ångermanälven	4	4	4	4
Malgomaj	Ångermanälven	4	4	4	4
Ströms Vattudal	Ångermanälven	4	4	4	4
Torrön	Indalsälven	-	-	3	4
Havern-Holmsjön	Ljungan	-	-	3	4
Svegssjön	Ljusnan	14	12	10	9
Norränge	Ljusnan	-	-	-	9
Tolvfors	Gavleån	-	-	-	1
Trängslet	Österdalälven	10	4	4	4
Gråda	Österdalälven	-	-	-	4
Stadarforsen	Västerdalälven	15	14	10	8
Hammarby	Dyltaån	-	-	2	1
Hjälmaren		-	-	7	6
Karlslund	Närkes Svartå	4	4	1	1
Moholm	Tidan	-	3	5	1
Blankaström	Emån	11	2	11	5
Torsebro	Helgeå	-	-	-	5
Motala ström		klar för prognoser 1981			

HBV-modellen kan man även använda för att erhålla säkrare flödesstatistik för ett vattendrag. Då kalibrerar man modellen mot en befintlig vattenföringsserie och räknar sedan fram en förlängd serie med hjälp av uppgifter om nederbörd och temperatur över en längre period.



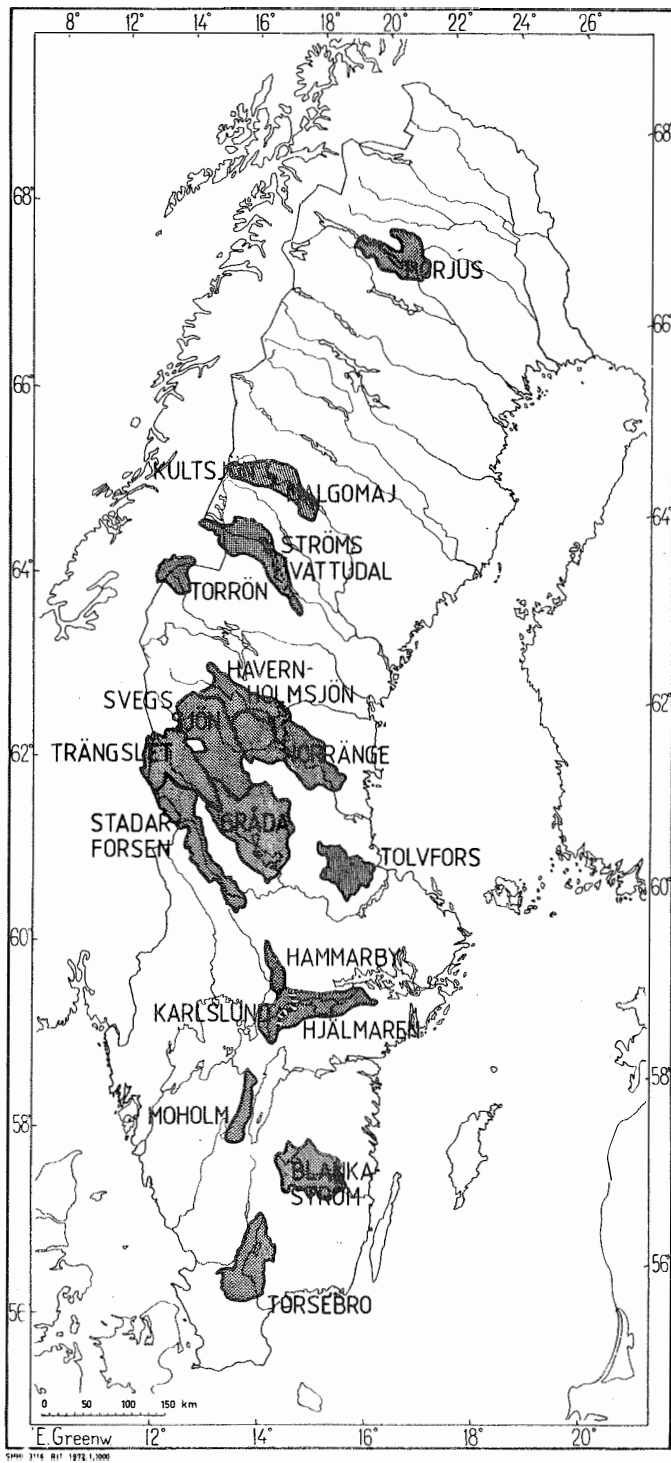
ning, påfyllning av grundvatten m fl hydrologiska processer. Modellen anpassas till ett givet vattendrag genom ett kalibreringsförfarande, varefter den är färdig att användas för prognoser.

Inför prognosen matas de senaste meteorologiska observationerna in, och modellen räknar fram den aktuella hydrologiska situationen (aktuell markvattenhalt, snötäcke m m). Själva prognosen kan där- efter vara av olika typer:

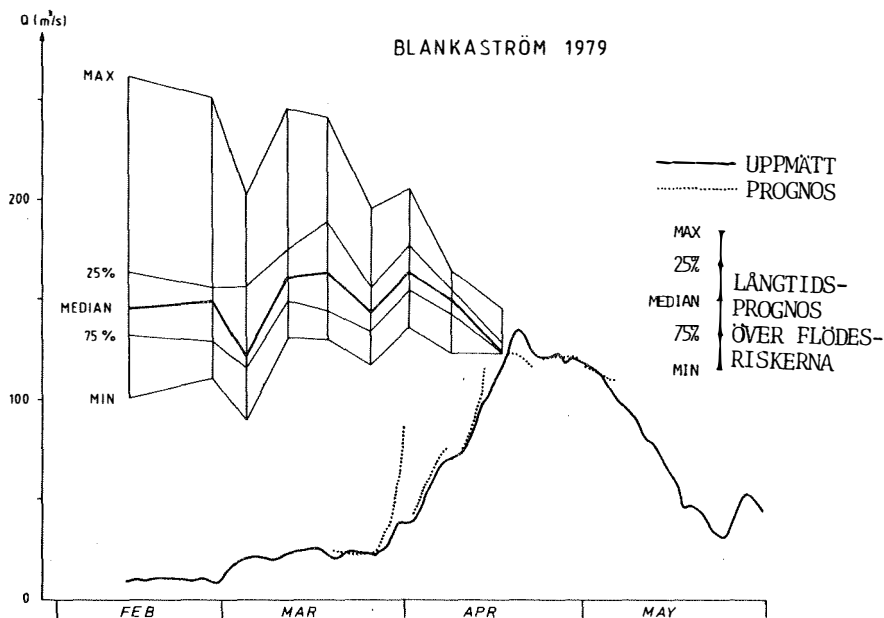
- En korttidsprognos (1-10 dagar) kan erhållas genom att modellen kopplas till den meteorologiska prognosen för 5 dagar framåt.
- En långtidsprognos (10 dagar - 5 månader) erhålles, om modellen utgående från dagens hydrologiska situation beräknar utvecklingen med hjälp av klimatserier från ett antal tidigare år. Därmed kan man få en uppfattning om risken för höga flöden samt en sannolikhetsuppskattning av tillrinningen till ett regleringsmagasin.

Sedan 1977 har HBV-modellen använts för hydrologiska prognoser i en omfattning, som framgår av tabell 1. I figur 1 visas var de olika avrinningsområdena ligger i Sverige och i figur 2 visas resultatet från Emån 1979.

Det året hade det fallit osedvanligt mycket snö i Småland, och man var mycket orolig för eventuella översvämningar. Den första prognosen utfärdades redan i mitten av februari, och den gav en god uppfattning av riskerna för höga flöden. Även de följande långtidsprognoserna och korttidsprognoserna var i allmänhet mycket bra.



Figur 1 Avrinningsområden, där HBV-modellen används för prognoser 1980



Figur 2 Resultat av uppskattningar av flödesrisken samt korttidsprognoser i Emån 1979

De resultat, som erhålles från prognosverksamheten, utnyttjas tillsammans med kartor över snödjup och nederbörd för bedömning riskerna för höga flöden i landet under våren. En sammanställning i form av en vårflödesbulletin skickas ut till länsstyrelser, massmedia och övriga berörda ungefär en gång i veckan under kritiska perioder.

Den hydrologiska prognostjänsten vid SMHI är till största delen uppdragsfinansierad. De största kunderna är vattenkraftindustrin, men under senare år har länsstyrelser och kommuner visat ett ökande intresse. Utbyggnaden har hittills koncentrerats till vattendrag med företagsekonomiska intressen för prognoser, d v s i första hand vattenkraftproducerande älvar. En viss utbyggnad väntas dock ske även i södra Sverige.

Som tidigare nämnts har HBV-modellen uppmärksamats internationellt.

Den används bl a operationellt i Norge. Den kalibreras för närvarande till ett vattendrag på Island, och har redan kalibrerats till flera vattendrag i Indien i bl a Betwas och Narmadas vattensystem. I den stora floden Narmada planerar man ett bevattningsprojekt i jätteformat omfattande 5 milj ha, och HBV-modellen kan användas där för att effektivisera bevattningen och för att förutsäga när monsunregnen ger upphov till flöden i floderna. På några dagar kan då vattensituationen svänga om från torra med svår vattenbrist till en överskottssituation.

Även i Saudiarabien är det aktuellt med att använda HBV-modellen i samband med bevattning med grundvatten i öknen. Modellen används då till att beräkna markvattenhalten i växternas rotzon. Det är denna variabel som bestämmer bevattningsbehovet.

Ett annat intressant ämnesområde, där en intensiv verksamhet och utveckling har ägt rum är vattenbalansstudier och studiet av hydrologiska processer.

Det är märkligt hur litet man visste under Hydrologiska byråns första tid. Man hade mycket dunkla begrepp om avrinningsprocessen, kände knappast till den viktiga roll markvattnet har som reglator, och man förstod inte mekanismen bakom avdunstningen. Däremot ägnade man sig en hel del åt vattenbalansstudier.

Bl a för att kunna bestämma avdunstningen i fjällområdena togs på initiativ av Axel Wallén upp en undersökning av vattenbalansen i Malmagens fjällområde i övre Ljusnan. Området ansågs mycket lämpligt för sådana undersökningar. Det var lagom stort, 109 km<sup>2</sup>, utan alltför brant topografi hade en medelhöjd av 929 m ö h, en högsta höjd av 1 210 m ö h och väl markerade vattendelare. Området låg till hälften inom björkskogsbältet den andra hälften utgjordes av kalfjäll. År 1926 var undersökningen organiserad och fortlöpande observationer pågick till 1940.

Nederbörden uppmättes vid två vanliga nederbördsstationer vid bebodda platser i Malmagsdalen. På sommaren samt höst och vår bestämdes nederbörden med 5 schweiziska totalisatorer uppställda på

lämpliga platser inom området. På vintern mättes snötäckets vattenvärde i 3 mätlinjer vid 258 snöpegel. Resultat av undersökningen publicerades av Melin 1943. För de 14 åren 1927/28-1939/40 erhöles i medeltal per år en nederbörd av 896 mm, en avrinning av 752 mm och sålunda en avdunstning av 144 mm. Värdet på avdunstningen var naturligtvis osäkert, då det framkommit som skillnad mellan stora tal, av vilka nederbörden höst och vår var mindre väl beräknad. Inga korrektioner gjordes. Sedan Malmagsundersökningens resultat förelåg förelåg har man räknat med en årlig avdunstning av 150 mm från fjällområdena i Sverige. Genom att snömätning bl a utfördes sent på hösten och tidigt på våren, mellan vilka tidpunkter avrinning från snötäcket ej förekom, och då mätplatserna höjdbestämts erhöles ett värde på vinternederbördens ökning med höjden.

Malmagen-undersökningen kan betecknas som epokgörande för sin tid. Melin korrigerade dock inte nederbördsmätningarna för vindinflytandet. Om man gör detta (d v s ökar de uppmätta nederbördsvärdena med 15 %) erhöles man en avdunstning på 185 mm per år - i stället för det ovan angivna värdet på 144 mm. Melin har också själv i sitt arbete "Hydrologi i Norden" som utkom 1970, på andra grunder kommit fram till att den årliga avdunstningen i fjällen kan sättas till 200 mm.

Inom ramen för det av Unesco initierade internationella hydrologiska samarbetet först inom IHD och sedan inom IHP inrättades ett antal s k representativa områden i Sverige, där mycket omfattande hydrologiska undersökningar bedrevs under en följd av år.

Inget land i Europa, utom Sovjetunionen, har fler hydrologiska regimtyper än Sverige. Det var därför bara naturligt att man i Sverige hade målsättningen att starta ett stort antal sådana representativa områden.

Tillgången på medel begränsade emellertid antalet områden, och SMHI inrättade och drev tre huvudsakligen barrskogsbevuxna områden med moränmark på urberggrund, nämligen Velen-området i Tiveden, Kassjöå-området i Medelpad - Jämtland och Lappträsk-området i Norrbotten. Data från dessa områden framgår av nedanstående tabell.

Mean Annual Water Balance for 1931-60, in mm

Research Basin	Precipitation (corrected)	Runoff	Evaporation	Mean Annual Temperature °C	Number of Months with Temperature above Freezing
Velen	747	248	499	+ 6.2	8
Kassjöån	673	(303)	370	+ 1.8	7
Lappträsket	677	378	299	± 0	5

Physiography

Research Basin	Catchment Area km <sup>2</sup>	Mean Elevation in Meters above sea Level	Lake Percentage	Swamps in %	Forest %	Soil	Bed-rock
Velen	45	135	9.7	11.9	63.9	Moraine	Hard rock
Kassjöån	165	368	4.5	12.0	81.0	Moraine	Hard rock
Lappträsket	1 004	250	2.6	31	65	Moraine	Hard rock

Trots att fullständiga observationer endast pågått i något mindre än 10 år har vattenbalansdata kunnat beräknats för referensperioden 1931-60! Anmärkningsvärt är här de höga värdena på årsavdunstningen - i Velen t ex 500 mm och i det nordliga Lappträsket hela 300 mm. Mätningarna i de representativa områdena visar i detalj hur nederbörd och avrinning fördelar sig över året och hur avdunstningen varierar. De viktiga vattenmagasineringsformerna: markvatten och grundvatten beskrivs också noga, liksom snömagasinerings- och snösmältningen. Påfallande är här hur mycket magasinerna varierar år från år. Vissa år är snörika - andra extremt snöfattiga; vissa torrår går markvattenhalten ned mot vissningsgränsen - andra år ligger markvattenhalten nära fältkapaciteten mest hela året och riklig grundvattenbildning kan äga rum.

De vattenföringsvariationer som hydrologerna förut endast mätte och beskrev, kan man nu förklara och beräkna med hjälp av numeriska modeller.

Även i framtiden kan man räkna med att användningen av datoriserade numeriska modeller kommer att öka inom hydrologin.

## NORDENS ELDSTE HYDROLOGIBØKER

Av Jakob Otnes

### INNLEDNING

I midten av det 18. århundre ble det publisert tre hydrologi-bøker i Norden. De kom ut i løpet av en 30-årsperiode (1748 - 1778), og de er således nå vel 200 år gamle. Disse bøkene er forbausende lite kjent blant hydrologer i dag. Det er av den grunn på sin plass å trekke dem frem i lyset igjen, selv om vi nok må innrømme at de vesentlig kun er av historisk verdi.

Felles for alle tre bøkene er at de i første rekke behandler vannets kvalitet, men det finnes også enkelte interessante vurderinger og spekulasjoner over vannmengder og også over frosset vann i form av snø og is.

Det faller naturlig i en slik forbindelse i noen grad å trekke frem enkelte forklaringer og utsagn som i dag synes merkelige. Dette er gjort for å vise hvilken utvikling vi har hatt i faget i de siste 200 år, og ikke for å skrive nedsettende om våre første hydrologer. Deres pionerimsats er all ære verdt. De levde i en tid da kunnskapene om visse naturfenomener ikke var særlig gode, men samtidig i en tid da trangen etter slik viten var sterkt voksende.

### HYDROLOGIA ELLER WATTURIKET

Dette må sies å være Nordens første hydrologibok. Den er skrevet av professor Johan Gotschalk Wallerius (1709 - 1785) og ble utgitt i Stockholm i 1748. Wallerius var svensk geolog og mineralog, og han er særlig kjent for sin håndbok i mineralogi (1747), som var langt bedre enn det som eksisterte



av tilsvarende bøker på den tiden. Han skrev også "Tankar om Verldenes Isynnerhet Jordenes Danande och Ändring" (1776), der han gir en lang rekke eiendommelige betraktninger om forholdene før Syndfloden.

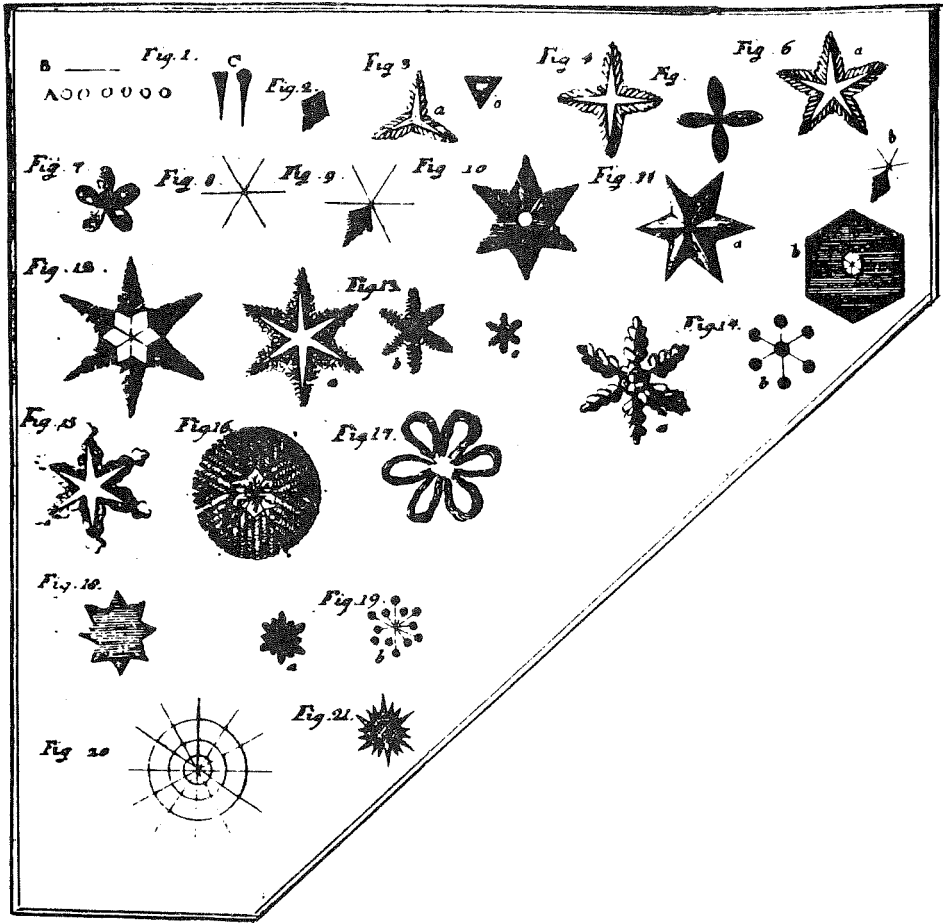
I sin hydrologibok sier han innledningsvis at såvidt han vet er det ikke utarbeidet noen lignende bok som "Hydrologia eller Watturiket" før. Han nevner at landshøvding Urban Hiærne har gitt ut en beskrivelse av mineralvann, som han kaller "Lilla vattuprofvare", men at denne boken ikke har forsøkt seg på noen klassifikasjon av vannet. Wallerius sier at han retter seg etter manges uttrykte ønske om å utgi boken på sitt morsmål, men han sier at han senere vil utgi såvel Watturiket som Mineralriket på latin. Vi legger merke til at han bruker W og V om hverandre i ordet Vattu-, og at navnet Gottscalk (Gottchalk) er skrevet på en annen måte enn det vi kan finne i oppslagsverk hvor professoren omtales.

Wallerius deler naturelementene i fire riker. Foruten mineralriket, dyreriket og planteriket, har han også et vannrike (Watturike), og om dette sier han:

WATTURIKET, REGNUM AQEUM, upräknar och beskriver de kroppar, som äro Simpels blandade, non organiska och ständigt förminskas. Kallas elljest WATTUKÄNNING, HYDROLOGIA, och WATTUKÄNNARE, Hydrologus, den, som förmår uppräknar och beskrifva detta rikets kroppar.

Han begynner sin bok med å si at vann er et sammenblandet legeme som stadig forminskes. Han er en stor forsvarer av "vattuminskningsteorien" som var meget diskutert på den tiden. Han deler inn fenomenet i to:

- 1 En relativ forminskning, som daglig skjer gjennom fordunstning. Dette kan man få bevis for ved å se hvorledes vannet i et glass forsvinner etter noen dager i et varmt rom.



Figur 2 Illustrasjon av snøkrystaller etter Wallerius. Han sier at snø har sin opprinnelse i frossen damp, og han forklarer hvordan 21 ulike snøkrystaller ser ut og tildels også hvorledes de er dannet. Han refererer til utenlandsk litteratur, og det er tydelig at han har hentet mye av denne informasjonen fra andre.

2 Den absolutte forminskning ved at vann forvandles til jord.

Han forklarer dette slik:

- a) vannet kan råtne, slik som vi ser daglig, og dette frembringer ren jord.
- b) når vann destilleres i en glasskolbe, så samles det en jordskorpe på bunnen, og denne skorpen er uten tvil laget av vannet.
- c) når vi brenner teglstein, så forårsaker vannet en attraksjon mellom de fine partiklene. Hvis det var fordampet fra steinen ved brenningen, så kunne ikke steinen henge sammen.
- d) kvarts og særlig krystaller genereres av vann.

Wallerius fortsetter med å nevne opp eksempler som han mener beviser at vann blir til jord.

Kildevann har sin opprinnelse enten fra luftvann som har falt ned og trengt seg ned i jorden, eller fra snø- eller havvann som har sine ganger og kanaler under jorden. Disse fører sitt vann til et underjordisk rom, som det senere renner ut av. Et slikt kildevann er influert av flo og fjære. Kildevann kan også oppstå av underjordisk damp som kondenseres. Men svært ofte vil kildevannets opprinnelse være en kombinasjon av de faktorer som er nevnt.

Alt vann som er i luften har kommet dit fra jorden, og det faller ned igjen som regn. Det stiger også opp dunster og utsondringer fra mennesker, dyr og planter, slik at luftvannet, selv om det er godt destillert, ikke kommer rent tilbake igjen til jorden.

Når is er lettere enn vann, så må også isvann eller smeltet is være lettere enn alt annet vann, hevder Wallerius.

Boken er på 134 sider, og den gir en beskrivelse av de ulike typer vann. Gruppeinndelingen baserer seg på vannkvalitet, og vannriket deles i det alminnelige vann og i mineralvann. Men han har også et

Dr. JOH. CHR. LANGE  
 L æ r e  
 om de  
**Nafulige Bände.**  
 Samt  
 Grundig Undersøgning  
 af de Bände,  
 som findes udi Kiøbenhavn og dens Egne,  
 og til allehaande Nytte af dens Indbyggere  
 meest blive anvendte.  
 Næst Opløsning paa det Spørsmaal:  
**Hvilket Band der er det bedste?**



Kiøbenhavn, trykt hos L. S. Lillie, Bønde i Nøaa  
 Fiol-Stræde i den færgelste Dør. 1756.

Figur 3 Tittelside på den første danske hydrologibok.  
 Den er på 134 sider.

langt kapittel om "fremmed vann". Dette er safter som har sin opprinnelse i de tre andre natur-riker. Det alminnelige vann deler han videre i flytende og frosset luftvann, i rennende og stående jordvann, i innsjøvann og i is. Tilsvarende oppdelinger har han også laget for kapitlene om mineralvann og safter. Oppdelingen synes å være logisk, men mange av begrepsforklaringene, og spesielt flere av de tallrike anmerkninger som Wallerius gir gjennom hele boken, synes ofte å være meget fantasifulle, eller gjengitt fra andre uten særlig kritisk vurdering. Vi må likevel si at i og med denne boken, så er en ny epoke begynt i nordisk vannforskning. I siste halvdel av 1700-tallet finner vi at boken til Wallerius er blitt lest, brukt og til dels gjengitt av mange. Vi kan nevne dansken Lange, islendingen Olafsen og nordmannen Hammer, men det er mange flere. Selv om vi i dag kan kritisere meget i Wallerius' Hydrologi, så må den kunne sies å være et redelig forsøk på å sette tingene i system. En slik lærebok hadde vi ikke før på noen av de nordiske språk. Denne boken må nok kunne sies å ha hatt relativt større betydning for sin samtid enn hva de mer avanserte hydrologibøker av i dag har for oss.

#### LAERE OM DE NATURLIGE VANDE

I 1756 utga dansken Johan Chr. Lange sin Lære om de Naturlige Vandene. Dette var bare noen få år etter at den svenske hydrologi-boken hadde sett dagens lys, og Lange har også enkelte henvisninger til Wallerius. Ellers er det i stor utstrekning ikke-nordiske kildeskrifter, ofte legeskrifter, som Lange støtter seg til.

Boken er på 134 sider og begynner med et eget kapittel "Om Forskiellen imellem Vandene". Her forsøker han blant annet i sidelange utredninger å svare på spørsmålet om det er skadelig å drikke isvann. Taper vannet noen av sine fineste deler ved frysning? - og vil vannet få tilbake sitt samme vesen når isen igjen smelter? Han gjengir hva andre mener om dette spørsmålet, og han bruker oldtidens Hippokrates, Plinius og Seneca som autoriteter ved siden av fagfolk på sin egen tid.

Lange har en forkjærlighet for den greske legen Hippokrates (460 - 377) og hans svære litterære produksjon, og han er brukt som kilde flere steder i boken.

Lange sier at:

Sneen er en stor Skat for Norden og en høistgavnlig himmelsk Dug, hvoraf de Nordiske Indbyggere benytte sig i deres Drik uden allermindeste Skade.

Selv bruker Lange en isbit i vinen, og har ikke tatt noen skade av det. Smeltet isvann er det vann som i natur kommer nærmest opp til det rene vann. Dette vannet har den minste mengde fremmed materie i seg, sier han. Når vannet fryser "blive dets Deele bevægede og udbredte", og den materie som er i vannet får større tyngde og synker til bunns. Vannet under isen er derfor tykkere.

Et saltaktig vesen har fra skapelsens begynnelse vært tilstede i strandvannet, og Lange er enig med dem som er av den mening at det finnes salt og saltaktige vesener dypt nede i jordens skjød. Det finnes vannsumper og vannårer nede i jorden, men Lange vil ikke si noe om hvorledes disse er kommet ned i jorden og hvorledes vannsirkulasjonen foregår. Det finnes mange meninger om dette spørsmålet, som han mener ligger utenfor bokens ramme. Han henviser till Nollets Natur=Lære, hvor man kan finne mer om dette emnet.

De Vande blive kaldte Naturlige, hvilke have deres Egenskab blot af Naturens Virkning, og som uden nogen Slags enten opfunden, eller tillagt Kunst findes paa vor Jord, og i den saa kaldede Dunst=Kreds.

Alt vann i dunstkretsen inneholder noen fremmede vesener som er ganske adskilt fra vannets egentlige vesen. Dette fremmede vesen er enten i vannet fra begynnelsen, eller vannet trekker det til seg fra luften eller jorden. Det kommer derfor an på hvilket vesen som finnes i den jorden som omgir vannet, eller hvorledes luftens

egenskap er i egnen.

Boken har et eget kapittel "Om Vandenes Undersøgning", og her forklarer Lange hvorledes dette skal gjøres etter kjemiske metoder. Men det er interessant å notere at han også gir opplysninger om andre fremgangsmåter.

Den anden Maade at undersøge paa, naar man antreffer et gandske fremmed og ubekjendt Vand, er, at man lader en Hund drikke deraf, og da giver Agt paa, om han brækker sig derefter, eller og gandske dør deraf; eller bekommer nogle andre skadelige Tilfælde derved.

Boken har videre kapitler om kildevann og brønnvann og en detaljert beskrivelse "Om vor Stads (Københavns) Vande". Resultatet av undersøkelser i en lang rekke vannforekomster er gitt i egen tabell. "Hvilket Vand er det bedste?" Dette spørsmålet forsøker Lange å besvare, og han deler opp problemet slik:

- 1 Om der findes noget Vand, som i og for sig selv kand kaldes det bedste til allehaande Brug?
- 2 Hvilket Vand der er for enhver det bedste til at drikke?
- 3 Hvilket Vand der er for visse Personer det bedste til at drikke?
- 4 Hvilket Vand der er for al Slags Haandtering det bedste?

og endelig

- 5 Hvilket Vand der er for visse Slags Haandteringer det bedste?

Han kommer frem til den konklusjon at ikke noe vann kan sies å være det beste til all slags bruk. Han støtter seg igjen til Hippokrates når han sier at det letteste vann er det beste.

Han avslutter sin bok med å gruppere en lang rekke av under-

HYDROLOGIA NORVEGICA  
 eller  
 Norge  
 Vand-Rige.

---

Med  
 Christopher Hammer,  
 Cancellie-Raad og General-Conducteur over  
 Aggershuus Stift  
 Medlem ubi det Kongl. Norske Videnskabers, og  
 corresponderende Medlem i det Kongl. Danske  
 Land-Husholdings Selskab.




---

Kiøbenhavn, 1778.

Figur 4 Tittelside på Norges første hydrologibok.



søkte vannkilder, og han anbefaler at sangvinske personer samt barn og syke bør drikke vann fra navngitte vannforekomster. Han skiller også mellom flegmatiske og melankolske personer, og gir råd hvor disse bør hente sitt drikkevann. Dessuten gir han også gode råd med hensyn til hvilket vann som bør brukes til baking, brygging og farging, samt til koking og vask.

#### HYDROLOGIA NORVEGICA ELLER NORSK VAND=RIGE

Denne boken ble trykket på Det Topographiske Selskabs bekostning hos Gyldendal i København i 1778. Den er på 284 sider og skrevet av Christopher Blix Hammer, Cancellie-raad og General-Conducteur over Aggershuus Stift. Hammer var født i Gran på Hadeland i 1720 og var sterkt interessert i naturvitenskap og landøkonomi. Han er kanskje blitt mest kjent som utgiver av Norsk huusholdningskalender som kom i to bind i 1772-73. Hammer var en av de første forkjempere for et norsk universitet. Etter hans død i 1804 gikk hans formue og samlinger til Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab i Trondheim.

Hammer bodde på Melbostad i Gran, men han eide flere gårder i omegnen. Han skrev meget, og i 1797 publiserte han en sognebeskrivelse over Hadeland i Topographisk Journal. Det er hevdet at hans topografiske og personalhistoriske forfatterskap har liten verdi. Denne karakteristikken kan man nok si også passer på hans Hydrologia Norvegica, som var II. del av en serie som han kalte Forsøg til en Norsk Natur=Historie. Men det må i rettferdighetens navn sies at han har samlet en mengde stoff i sin hydrologibok. I sin helhet gir dette et godt historisk bilde av hva man visste om vann, og da først og fremst om vannets kvalitet på den tiden.

Etter O.A. Wangensteens død ble Hammer ved en kongelig resolusjon av 18.mai 1765 anmodet om å fullføre hans kartarbeider for resten av Norge. Han rykket straks inn en innbydelse i landets aviser, hvor han ba publikum om å svare på noen gitte spørsmål. Hans embete ga ham mulighet til å erverve mange opplysninger, og ved en utstrakt brevveksling fikk han også

samlet meget. Man hørte imidlertid ikke noe om hans arbeider før 8 år etter, da han den 16. februar 1774 sendte ut en subskripsjonsplan til et Norsk Atlas, som skulle bestå av 8 deler. Dette ga ikke stor nok respons til at man kunne trykke atlasen, og forfatteren har derfor, da han gjorde Det Kongelige Videnskabers Selskab til sin universelle arving, pålagt dette å utgi hans kartarbeider og øvrige håndskrifter.

Hammer sier selv at han har hatt Wallerius' bok Hydrologia eller Watturiket som mønster. Han har tatt med meget stoff fra denne og refererer ofte til boken. Ellers oppgir han at de innenlandske kildeforfattere er Aphelen, Debes, Egede, Giællebøl, Olafsen, Pontoppidan, Strøm, Horrebow og Lange, og ved siden av Wallerius flere andre utenlandske forfattere. Boken inneholder svært meget om de særpregede vannforekomstene i Island og tildels også opplysninger om Grønland. Dette var norske områder før unionsoppløsningen med Danmark, og her er Olafsen en hyppig referert kilde (1).

Hammer hevder å ha forsøkt å presentere stoffet etter den Linnéiske måte, men i en norsk og systematisk drakt. Stoffet er samlet dels fra norske skrifter og, sier han selv, fra hans egne erfaringer og nedtegnelser. Ved å lese gjennom boken finner man at det aller meste er hentet fra andre, og særlig er Wallerius og Olafsen meget referert. Under kapitlet om vannprøver henviser Hammer til Langes bok, som er omtalt foran, og sier videre at:

Det første en Vandprøver bør iagttage, er altsaa at faae vide, om Vandet er reent eller ikke; thi findes Vandet nogenlunde reent, saa behøves ingen Prøver videre at anstille.

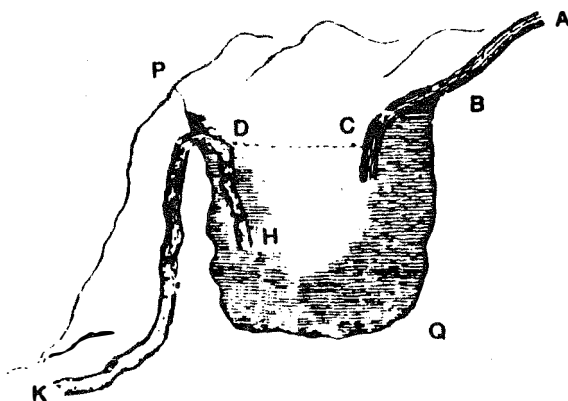
Vandets Renhed prøves nogenlunde:

- I Ved de udvortes Sandser, og især:
  - 1 Ved synet; thi om Vandet er klart som en reen Kristal, og har ingen Ting udi sig,

som dets Renhed og Giennemskinnethed kan fordunkle paa noget Set, da kan man sige, at det Vand er reent, men fast ikke med nogen Vished.

- 2 Ved Smagen, da man finder reent Vand heel usmageligt; thi jo renere Vandet er, jo mindre smageligt er det, efterdi al Smag hænger af Salterne.
- 3 Ved Lugten, hvorved mærkes, at reent Vand har ingen Lugt; men det som har Lugt, har og heterogeniske eller andre Slags indblandede Dele.

## II Ved chymiske Ryn eller Prøver og Forsøg.



Figur 5 Illustrasjon på "Skiftevis vældende Kildevand", *Aqua Periodica* etter Wallerius og Hammer.

P.Q betegner en Bierg Hule, i hvilken Vandet samles igiennem sin Gang A.B.C. rindende, og samme Hule har ei mere end et Udløb H.D.K., hvilken som en Siphon reflexus, en kroget Sugere eller Hævert, kan og bør ansees, hvis kortere Deel D.H. er inden i Bierg=Hulen, men den længere D.K. uden for; saa er af Hydrauliken

klart, at intet Vand kan rinde ud, førend Bierghulen er saa fuld, at Vandet staaer til D eller Linien D.C., da Vandet begynder at rinde, og strømmer, til det alt er udrunden, hvorpaa atter Rindingen standser, til Hulen igien bliver fuld.

Hammer oppgir, helt riktig, å ha denne forklaringen på et periodisk kildevann etter Wallerius.

Hammer rår alle til å ta prøver av drikkevannet, for "det er umistelig til alles Brug. Brødets og Øllets Kraft kommer an på Vandets Beskaffenhet".

Ved å tilegne seg bedre kunnskaper om vannet blir man befridd fra overtroen om vannånder, draugen og nøkken, om vasstroll og kvern-troll som holder kvernen. Man blir underrettet om at i stedet for vannhekseri eller hydromanti kan man bruke matematiske eller fysiske metoder.

Det Norske Vandrige indeholder saa mange rare Naturens Merkverdigheder, som neppe noget andet Rige kan fremvise.

Men selv i en bok om vann kan ikke Hammer unnlate å si sin mening om andre ting:

Vil Normænd træde i Forfædrenes Fodspor, og ikke vanslegte fra de gamle Normænds Heltemod, Sundhed og høie Alder, da bør de nøies med den Norske nærsome og føderige Kost, Norsk Kildevand og Norsk Øl.

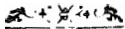
Viin og Brændeviin bør bruges rart og sielden, aleene til Lægedom, og som en Forfriskelse undertiden.

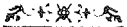
Vil Nordmænd ret have Ære for sig selv og Landet, saa bør de agte alle Norske Vahrer høit, men tvertimod kaste foragtelige Øine til fremmede og udenlandske Vahrer.

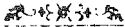
Han sier at de fleste nordmenn som drikker vann og spiser norsk kost er sunne og sterke, og de fleste oppnår en alder på 70-100 år, men

han fortsetter med å fremheve fordelene ved å drikke vel gjæret og godt kokt øl, - som er brygget på norsk malt og rent vann, og som videre er laget i godt vær og i ren luft. Et slikt øl er sunt!

Hammers hydrologibok fikk neppe stor utbredelse. Man finner ingen senere forfattere som oppgir boken som kilde, og den synes i stor grad å være ukjent for skribenter som har hatt som oppdrag å skrive avsnitt om vassdragshistorie i jubileumsskrifter o. l. - dessverre, kan man kanskje si. Den inneholder litt for enhver smak, se faksimile av innholdsfortegnelsen.

Systematiff Register		282		
over				Side
Classer, Ordner, Slag eller Slegter.				
I. Klasse eller Flok.				
Gemeent eller fodbt Vand, Aqva Communis	1			39
I. Orden.				
Luftband, Aqva Aërea	2	6. Regnbue, Iris		39
*) Flydende Luftband, Aqva Aërea fluens	3	**) Frosent Luftband, Aqva Aërea Conglaciata		41
Slagene eller Slegterne.				
1. Dug, Ros	5	7. Rim, Pruina		42
2. Laage, Nebula	9	8. Hagel, Grando		43
3. Sky, Nubes	31	9. Sne, Nix		47
4. Regn, Pluvia	35			
5. Skybrud, Tractura nubium	38	II. Orden.		
6. Regn	38	Jordband, Aqva Terrestris		57
		*) Rindende Jordband, Aqva Terrestris fluens		60
		10. Kilband, Aqva fontana		62
		11. Brønband, Aqva putealis		82
		12. Aacband, Aqva fluvialis		85
		**) Staaende Jordband, Aqva Terrestris stagnans		96
		13. Putband, Aqva stagni		100
		14. Myrband, Aqva paludosa		102
		***) Rindstaaende Jordband, Aqva Terrestris fluens & stagnans		104
		15. Fiord		

	283
	Eide
15. Fiordvand, Aqua Lacustris . . . . .	105
***) Frosent Jordvand, Aqua Terristris Conglaciata . . . . .	121
16. Is, Glacies . . . . .	121
<b>II. Klasse.</b>	
Mineral-Vand, Aqua mineralis . . . . .	151
<b>I. Orden.</b>	
Koldt Mineral-Vand, Aqua mineralis frigida . . . . .	151
17. Vandfuldt eller spirituøst Mineral-Vand, Aqua mineralis Spirituosa . . . . .	152
18. Grovt Mineral-Vand, Aqua mineralis Cruda . . . . .	158
19. Surbrønds-Vand, aandedult og grovt Mineral-Vand, Aqua acidularis, Aqua mineralis spirituosa & cruda . . . . .	194
II. Or.	

	184
<b>II. Orden.</b>	
Varmt Mineral-Vand, Aqua mineralis Calida . . . . .	210
20. Fine Væder, Thermae simplices . . . . .	211
21. Grove Væder, Thermae minerales Cruda . . . . .	215
<b>Indledning.</b>	
iii	
<b>Vandprøvningen.</b>	
<hr/>	
<b>I. Cap.</b>	
Om at anfille Prober paa Vandets Renhed . . . . .	239
<b>II. Cap.</b>	
Om at anfille Prober paa Vandets Hæft, Indhold . . . . .	250
<b>III. Cap.</b>	
Om saaledes at anfille Prober, at Procenten af det, som indeholdes, kan bestemmes eller determineres . . . . .	269
<hr/>	

Figur 6 Faksimile av innholdsfortegnelsen i Hydrologia Nervegica. Hammer opererer med en rekke vannbegrep, som han gir de latinske navnene på. Han har systematisert stoffet i klasser og ordener, og i selve boken har han delt dette videre. Han anvender til dels betegnelser som virker noe underlige på fagfolk i dag.

## AVSLUTTENDE ■EMERKNINGER

Wallerius' hydrologi ble oversatt til tysk og trykket i Berlin i 1751. I forordet foreslår den tyske professor Joh. Dan. Denso at man også burde ta med to naturriker til i tillegg til de 4 som Wallerius beskriver. Han antyder et "ildrike" og et "luftrike", og kommer med et kort utkast til en forklaring av ildriket eller pyrologien.

Hammer går enda et skritt videre i sin bok og sier at det er gode grunner for å ta med også et syvende rike, "himmel-riket". Dermed er natur-historien bekvemt inndelt etter syv-tallet som har vært et fullkommenhetstall for pytagoreerne og andre.

Ingen av forfatterne kommer inn på spørsmålet om vannbalanse. Wallerius hevder riktignok at verdens vannforråd gradvis avtar, men forholdet mellom nedbør, avløp og fordunstning blir ikke berørt i noen av bøkene.

Alle forfatterne har lest meget av utenlandsk litteratur og er flinke til å henvise til kildene, men ingen har referanser til det nå så berømte verk fra 1674 av franskmannen Pierre Perrault (2). Han hevdes å være den første som ved direkte målinger fikk tallmateriale til å bevise at det var nok vann i nedbøren til å forsyne elvene med vann. Han fant at avløpet i en del av Seinens nedbørfelt var ca 1/6 av nedbøren.

Vi legger merke til at Wallerius, og senere Hammer, anvender ordet hydrologi for læren om vann, og at fagmannen blir betegnet som hydrolog. Vårt fag og dets utøvere kan derfor sies å ha røtter langt tilbake i tiden også her i Norden.

## Litteraturhenvisninger

- 1 Olafsen, Eggert  
Reise igiennem Island, 2 bind  
Foranstaltet av Videnskabernes Sælskab  
Sorø 1772
  
- 2 Perrault, Pierre  
De l'origine des fontaines  
Pierre le Petit  
Paris 1674



# HYDROLOGEN OCH VATTNETS KEMISKA PROFIL\*

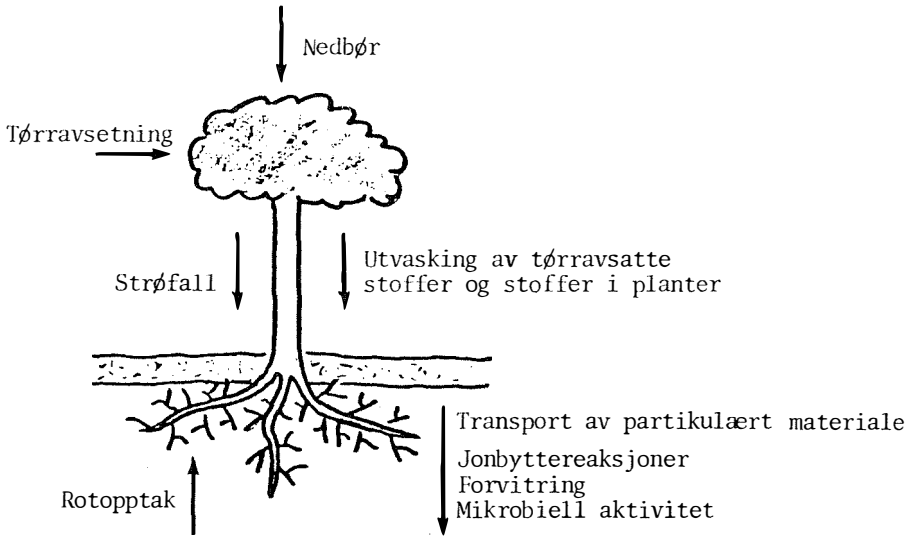
Av Malin Falkenmark

## INLEDNING

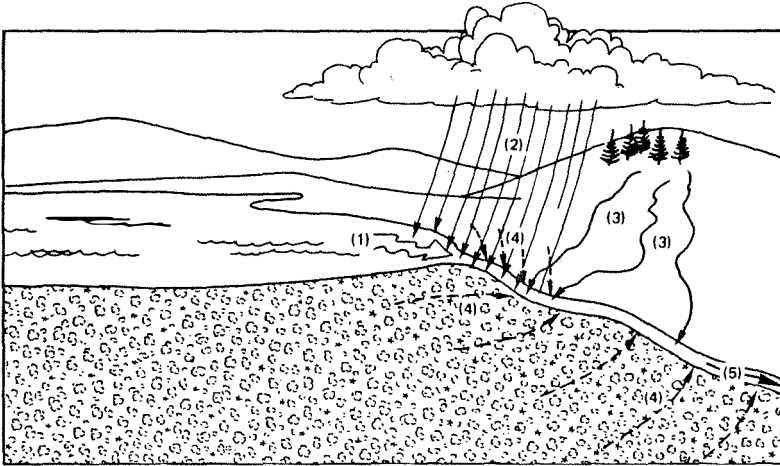
Hydrologen arbetar till stor del med den terrestra hydrologin, d v s olika fenomen och processer som hänger ihop med nederbördens omvandling till vegetationsförsörjande markvatten, grundvattenbildning och avrinningsbildning. SMHI-hydrologernas intresse har under en följd av årtionden kommit att koncentreras till de fysikaliska skeendena, speciellt vattenföringen. I början av seklet ägnades däremot betydande intresse åt studium av avrinnande vattens kemiska beskaffenhet och dess beroende av upp-landets geologiska karaktär (J W Eriksson 1929). Den kunskap som vi idag har om de naturliga utlakningsförhållandena härstammar i själva verket just från dessa studier. På senare år har utlakningsproblematiken aktualiserats ånyo i och med miljöeffekterna av försurning och närsaltutlakning. Yrkeshydrologerna har dock hittills hållit sig avvaktande och tills vidare lämnat t ex försurningsverksamheten till miljövärdsexperten och kalkningsexperten. Förarbetet till Mark och Vatten 2 utgör dock ett försök till genombrott (Falkenmark 1980). SMHI-utredningen (1980) förutsätter också att hydrokemisk information utgör en del av den hydrologiska verksamheten (p 97). Utredningens hydrologiexpert framhåller (p 6:8) att frågor om miljöeffekter i framtiden i ökande grad bedöms falla tillbaka på hydrologiska frågeställningar. Härför talar dels att hydrologiskt tänkande är ett ofrånkonligt underlag för vattenkvalitetsmodeller, dels att vattnets kemi bär med sig information om dess kemiska historia.

---

\* Denna artikel bygger till stor del på ett av NFRs hydrologi-kommitté och SNV anordnat hydrokemisymposium kring samspelet mellan markanvändning, vattenkvalitet och hydrologiska processer i Wenner Gren Center 24-25 september 1980.



Figur 1 Processer som bidrar till utlakning och substanstransport vid vattnets passage genom mark och grund.  
Från Lundquist (1977)



Figur 2 Vattnet i en viss sektion i vattendraget är en blandning av fraktioner med olika kemiska historia. Relativa proportionerna mellan sjövattnet (1), regnvattnet (2), ytnära avrinning vid regn resp snösmältning (3) samt grundvattenavrinning (4) ändras under året.  
Från Falkenmark et al (1973)

## GRUNDPROBLEMATIKEN

Under markpassagen är vattnet utsatt för en rad kemiska förändringar i det biogeokemiska samspelet med jord och grund, figur 1. Lundquist (1977) skiljer därvid på tre huvudtyper av processer: mikrobiell aktivitet, vittring och jonbyte. Vissa reaktioner äger rum i ytliga marklager, andra djupare ned i markprofilen, och återigen andra i den vattenmättade zonen i jord och berg. Totaleffekten blir att avrinnande vatten har en helt annan sammansättning och kemisk profil än den ursprungligen tillförda nederbörden.

Det vatten som matar vattendragen är en blandning av vattenfraktioner som gått olika väg genom mark och grund och haft olika lång kontakttid mot omgivande medier, figur 2. Dess hydrologiska sammansättning är olika under olika årstider. Därför växlar också dess kemiska sammansättning på ett sätt som gör vattenkvalitetsundersökningar frustrerande och brydsamma. Vissa årstider domineras vattendraget av uttömt grundvatten, andra årstider av ytligare avrinning, d v s vatten som tillbringat endast kort tid i kontakt med jordlagren och endast passerat ytliga skikt.

Mänsklig aktivitet griper på olika sätt in i de naturliga hydrokemiska förloppen. Markanvändningen leder därför till förändringar av vattenkvaliteten både hos yt- och grundvattenförekomster. Man bör skilja mellan två huvudtyper av förändringar. Å ena sidan är viss markanvändning förenad med åtgärder som påverkar de hydrologiska nyckelprocesserna i markzonen, och därmed uppdelningen på växternas vattenupptagning och grundvattenbildning. Å den andra påverkas de hydrokemiska processerna genom att nya ämnen eller ämnen i nya kvantiteter tillförs markzonen antingen via nederbörden eller via utlakning av substanser som hanteras vid markytan eller som tillförs jorden - avsiktligt eller oavsiktligt.

Eftersom vattendragen också innehåller grundvatten som passerat lång väg genom djupare jordlager resp bergsprickor tar det lång

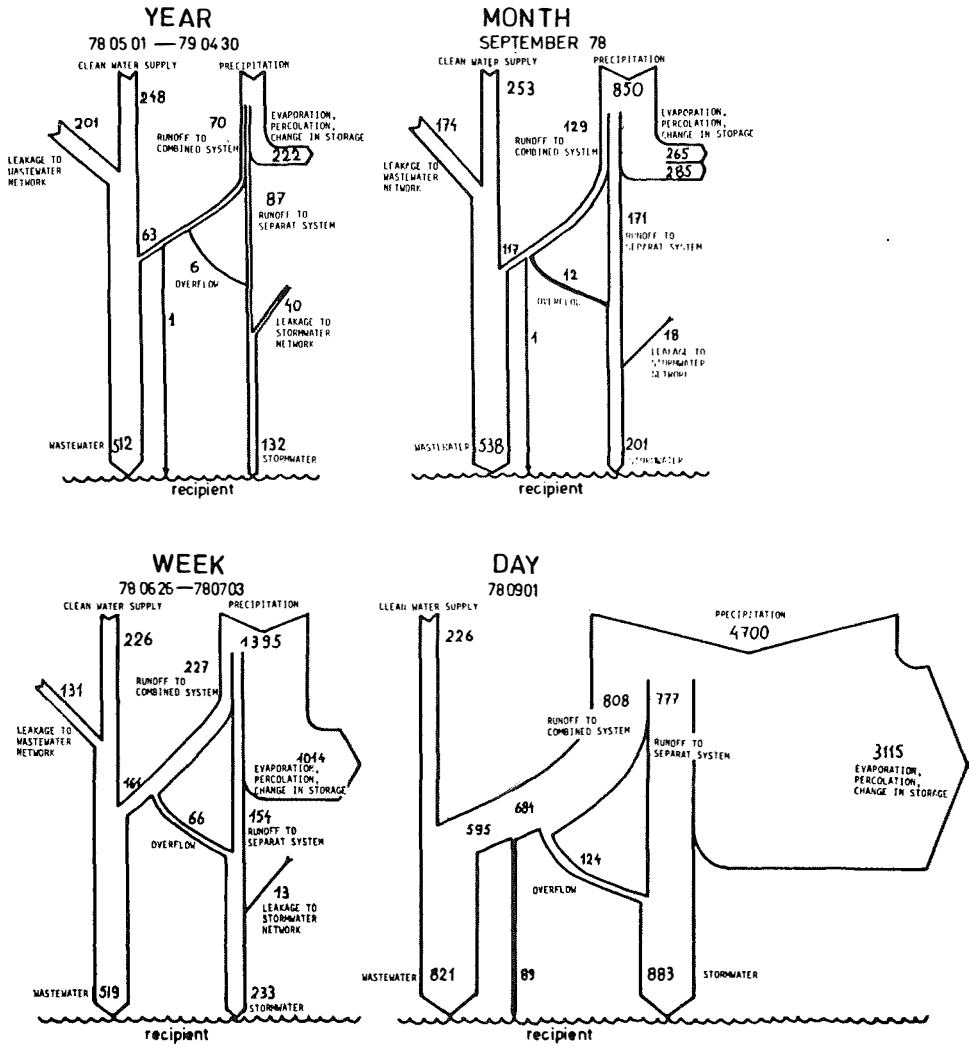
tid innan slutgiltig respons på en viss markanvändningsåtgärd hunnit utvecklas. Grundvattnet reagerar visserligen snabbt rent hydrologiskt på en nederbördspuls genom att grundvattenytan stiger men detta är en "knuffningseffekt" och ingen transporteffekt. Grundvattenhöjningen åstadkoms av att nytt vatten uppifrån trycker lager med äldre vatten nedåt genom markprofilen, varigenom ett djupare lager slutligen framkallar vattenmättnad i ett tidigare omättat skikt. Man måste således skilja mellan vattenmolekylernas långsamma och vattenfrontens betydligt snabbare rörelse.

Detta leder till att nedtransporten av substanser som nitrat, tungmetaller och andra föroreningar går mycket långsamt. Vi måste därför införa ett responstidsbegrepp för att alls kunna hantera de kemiska effekterna av mänsklig markbaserad verksamhet. Att ingen effekt av en viss verksamhet ännu kommit till synes i en viss grundvattenförekomst kan bero på att responstiden är så lång att effekten ännu icke nått de lager där grundvattnet befinner sig.

### Vattnets hydrokemiska struktur

Ytvattnets hydrokemiska grundstruktur (struktur 1) kan ses som det sammantagna resultatet av samspelet mellan nederbörden och avrinningsområdets geologiska och biologiska mönster. Den är därför utsatt för de fluktuationer som klimatvariationerna för med sig. För vi nu in olika kategorier av mänskligt inflytande i denna bild kan vi tänka oss avrinningens kemiska beskaffenhet uppbyggd i olika steg, som successivt förändrar strukturen tills en viss slutstruktur uppnåtts, som utgör det sammantagna resultatet av alla de olika modifierande inflytandena.

Luftföroreningarna förändrar nederbördens hydrokemiska grundmönster och tillför markytan ett torrt nedfall, som tillsammans leder till luftföroreningsmodifierad ytvattenstruktur (struktur 2). Denna inkluderar också de sekundära effekter som den ändrade nederbördskemin framkallat under vattenpassagen genom mark och grund. Nederbördsförsurningens effekter på en betydande del av



Figur 3 Vattenbudget för Lund sett i olika tidsskala.  
Från Falk m fl (1980)

tid innan slutgiltig respons på en viss markanvändningsåtgärd hunnit utvecklas. Grundvattnet reagerar visserligen snabbt rent hydrologiskt på en nederbördspuls genom att grundvattenytan stiger men detta är en "knuffningseffekt" och ingen transporteffekt. Grundvattenhöjningen åstadkoms av att nytt vatten uppifrån trycker lager med äldre vatten nedåt genom markprofilen, varigenom ett djupare lager slutligen framkallar vattenmättnad i ett tidigare omättat skikt. Man måste således skilja mellan vattenmolekylernas långsamma och vattenfrontens betydligt snabbare rörelse.

Detta leder till att nedtransporten av substanser som nitrat, tungmetaller och andra föroreningar går mycket långsamt. Vi måste därför införa ett responstidsbegrepp för att alls kunna hantera de kemiska effekterna av mänsklig markbaserad verksamhet. Att ingen effekt av en viss verksamhet ännu kommit till synes i en viss grundvattenförekomst kan bero på att responstiden är så lång att effekten ännu icke nått de lager där grundvattnet befinner sig.

#### Vattnets hydrokemiska struktur

Ytvattnets hydrokemiska grundstruktur (struktur 1) kan ses som det sammantagna resultatet av samspelet mellan nederbörden och avrinningsområdets geologiska och biologiska mönster. Den är därför utsatt för de fluktuationer som klimatvariationerna förmedlar. För vi nu in olika kategorier av mänskligt inflytande i denna bild kan vi tänka oss avrinningens kemiska beskaffenhet uppbyggd i olika steg, som successivt förändrar strukturen tills en viss slutstruktur uppnåtts, som utgör det sammantagna resultatet av alla de olika modifierande inflytandena.

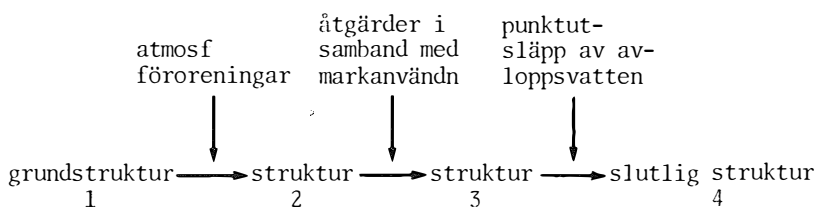
Luftföroreningarna förändrar nederbördens hydrokemiska grundmönster och tillför markytan ett torrt nedfall, som tillsammans leder till luftföroreningsmodifierad ytvattenstruktur (struktur 2). Denna inkluderar också de sekundära effekter som den ändrade nederbördskemin framkallat under vattenpassagen genom mark och grund. Nederbördsförsurningens effekter på en betydande del av

landets småsjöar är ett exempel som vi skall återkomma till.

De kemiska förloppen under passagen genom mark och grund modifieras vidare genom de olika manipulationer med mark och vegetation som samhällsverksamhet av olika slag innebär (asfaltering, dränering, uppodling, gödsling, skogsbruksåtgärder, hantering av fast och flytande avfall etc). Effekten blir att avrinnande vattens hydrokemiska struktur förändras ytterligare till vad vi kan kalla en markanvändningspåverkad struktur (struktur 3).

Denna struktur överlagras i sista steget genom avloppsvattenpåverkan från direktutsläpp i vattendraget från samhällen och industrier.

Den slutliga strukturen (struktur 4) utgör det sammantagna resultatet av de skilda slagen av påverkan och måste analyseras utifrån den utgångspunkten. Synsättet kan schematiseras enligt följande:



Markanvändningspåverkan är den mest komplexa av dessa successiva modifieringar och är sammansatt av å ena sidan förändringar i vattenflödena, d v s renodlade hydrologiska förändringar, å den andra tillskott av antropogent tillsatta substanser.

I första fallet ändras utlakningen som följd av att de hydrologiska delflödena modifieras därhän att vattnet går fram efter ändrade banor genom mark och grund så att också blandningen av hydrologiska fraktioner i vattendraget förändras som följd av landbaserade manipulationer med mark, vatten och vegetation. Sådana hydrologiskt betingade utlakningsförändringar kan förväntas i samband med kalhugning, intensifierad växtproduktion, byte av gröda, övergång från bete till produk-

tion av brödsäd, markbearbetning, dränering etc.

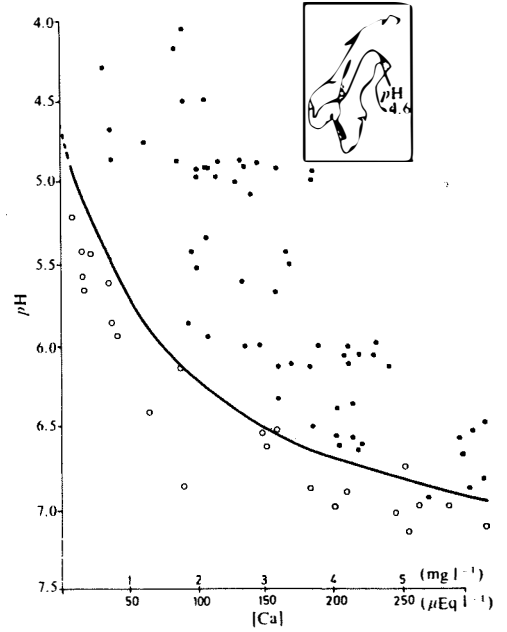
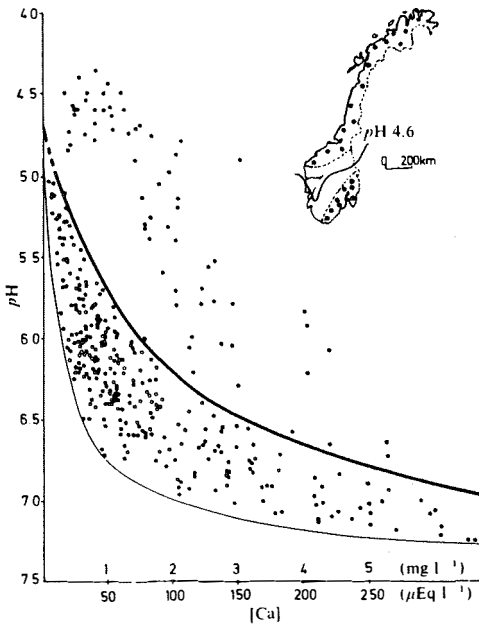
Ändrad utlakning kan också härröra från direkt tillförsel till marken av antropogena substanser antingen lokalt i tätorter och industriområden, eller areellt i samband med skogs- och jordbruksproduktion. Till de lokala tillskotten räknas ibland dagvatten från dränerade tätortsområden. I en stad som Lund kan recipienten periodvis tillföras lika mycket förorenat vatten genom diffusa tillskott som via det inre renvatten-avlopssystemet (Falk m fl 1980). Dagvattensystemet matas ofta med betydande mängder inläckande vatten från omgivande mark, figur 3. Hit hör också avloppsvatten från infiltrationsanläggningar samt lakvatten från avfallsupplag. Sådana substanser tar emellertid betydligt längre tid på sig innan de påverkar avrinningens kemiska sammansättning. Tills vidare inskränker sig våra erfarenheter härvidlag veterligen till lokala effekter på grundvattnet.

När det gäller de areella utlakningstillskotten inriktas dagens intresse till stor del på växtnäringsläckage från skogs- och jordbruksområden, där det idag som vi straxt skall se anses klarlagt att jord- och skogsbruk verksamt bidrar till fortsatt närsaltuppgång i vattendragen.

En förnuftig miljövård och en samordning av markanvändningsplanering och vattenplanering förutsätter givetvis att vi har förmåga att förutsäga effekter av existerande och tilltänkta markanvändningsåtgärder. Vi måste alltså arbeta fram terrestra vattenkvalitetsmodeller, som ger oss möjlighet att förutsäga dels vilka hydrokemiska förändringar vi har att emotse, dels när vi kan vänta oss att de uppträder. Utarbetandet av sådana modeller måste uppenbarligen bygga på en direkt samverkan mellan hydrologer, markforskare, hydrokemister och ekologer med olika inriktning.

Problematiken skall i det följande illustreras genom att se litet närmare på frågeställningarna från tre olika fält:





Figur 4 Samband mellan nederbördens pH och Ca-koncentrationen i norska och svenska sjöar. Empiriska linjen anger gräns mellan försurade och icke försurade sjöar. Den infällda kartan visar förutom sjöarnas läge gränslinjen för nederbörd med pH lägre än 4.6.  
Från Henriksen (1979)

- försurningen
- areella ingrepp
- lokala markföroreningar

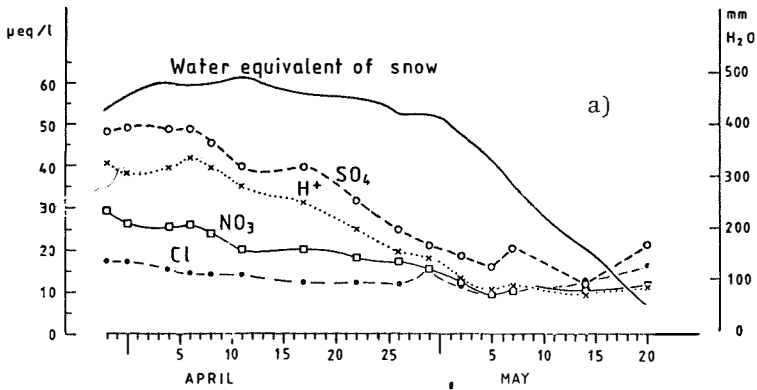
#### FÖRSURNING - VÅR TIDS STÖRSTA MILJÖPROBLEM

Den sänkning av ytvattnets pH-värde som iakttagits över stora områden i Skandinavien och Nordamerika betraktas på båda kontinenterna som vår tids största miljöproblem. Detta har mera att göra med den ökade rörlighet av metaller som är att befara som sekundäreffekt än med försurningen som sådan.

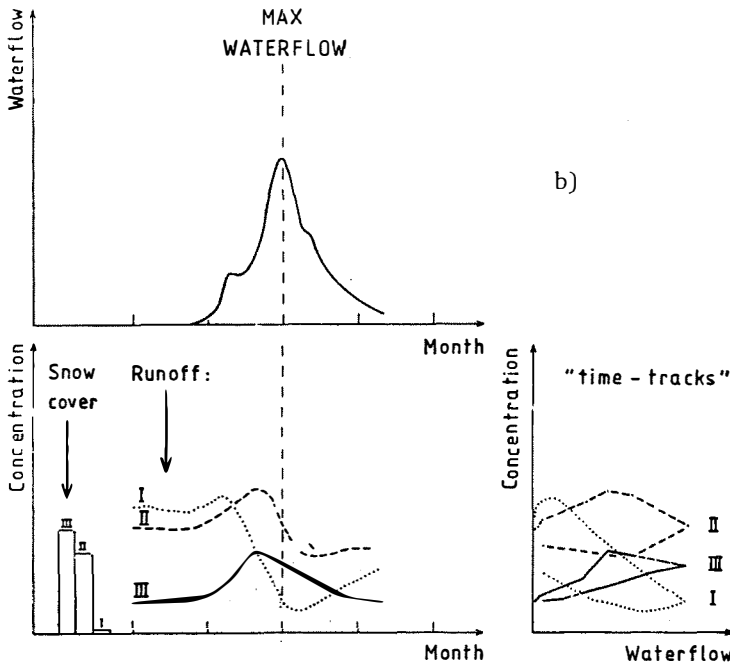
Den genom industrialiseringen tilltagande sulfathalten i nederbörden har visat sig vara en i sammanhanget kritisk faktor, eftersom sulfatet åtföljs av höga vätejonhalter, men även andra anjoner till starka syror kan väntas ha liknande effekter. Försurningsproblemet har hittills studerats framförallt i sjöar genom att det är där effekterna först blir uppenbara. Vad som kommer till synes i en sjö är emellertid i princip resultatet av en titrering av tillrinningsområdet. Henriksen (1979) har sålunda på basis av data från ett betydande antal sjöar gjort iakttagelsen att en sjös surhetsgrad kan förutsägas, om man känner å ena sidan nederbördens pH, å den andra sjövattnets innehåll av Ca- och Mg-joner, figur 4.

Sjövatten avspeglar givetvis de modifikationer som nederbördsvattnet i kemiskt hänseende undergått vid passagen genom avrinningsområdets jordlager och bergsprickor och det geokemiska och biokemiska samspelet mellan vatten, jord, rötter och organismer. Man har också konstaterat att uppströmssjöar försuras betydligt snabbare än nedströmssjöar, tydligen beroende på att det tillgängliga förrådet av buffrande ämnen i de tunna jordlagren nära vattendelaren är snabbare uttömt.

I marken fångas  $H^+$ -jonerna upp genom jonbyte, varvid istället andra katjoner frigörs. Samtidigt producerar vittringsprocesserna nya  $H^+$ -joner, som med vattnet transporteras vidare mot det avvattnande vattendraget. Överföringen av aciditet från marksystem-



a) Jonkoncentrationen i snötäcket i Storgama, Norge våren 1978



b) Generaliserad bild av koncentrationsförloppet i vattendraget jämfört med vattenflödets förlopp. Baserat på data från ett stort antal norska fältforskningsområden som följts under 1-6 år.

kurva I = vittringsprodukter, d v s ämnen som tillförs i mark och grund (Ca, Mg,  $\text{HCO}_3$ ).

kurva II = ämnen som tillförs med nederbörden: konservativa ( $\text{SO}_4$ , Cl, Na).

kurva III = d:o icke konservativa ( $\text{H}^+$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ).

Figur 5 Jonkoncentrationen i snötäcke och vattendrag under vårflödet. Snötäckets joninnehåll frigörs under första fasen av snösmältningsförloppet. Därefter följer en utspädningsfas. Från Johannessen & Wright (1980)

jämviktsläge mellan varandra motverkande processer (jonupptagning ./, frigörelse av joner, uppbyggnad ./, nedbrytning av organiskt material etc). Vattnets vägar genom olika jordlager torde ha haft en avgörande inverkan på denna jämvikt, som sannolikt lätt destabiliseras vid förändringar antingen i tillflödet till systemet (exempelvis nederbördsförsurning) eller i systemet som sådant (exempelvis markanvändningsförändringar). I Skandinavien koncentreras intresset till huvudsakligen nederbördsförsurningen, medan man i Skottland är mera orolig för effekterna av markanvändningsförändringar.

#### VÄXTNÄRINGSLÄCKAGE I SKOGS- och JORDBRUK

Som tidigare antytts anses numera fullt klart att jord- och skogsbruk verksamt bidragit till den fortsatta uppgången av vattendragens närsaltinnehåll. En budgetberäkning för efterkrigstiden av jordbrukets tillförsel och bortförsel av fosfor resp kväve visar ett ökande närsaltöverskott, som icke kunnat lokaliseras till kända mekanismer. Samtidigt har studier av ett antal Bergslagsåar visat att marken troligen läckt mer kväve under 70-talet än dessförinnan. Dock har det inte varit möjligt att särskilt noggrant kvantifiera hur stort utflöde av kväve som vållats av de ökade gödselgivorna som sådana. Man saknar nämligen bra metoder att särskilja olika inflytanden, t ex skillnader i hydrologiska förhållanden från skillnader vållade av ökad närsalttillförsel till systemet. Masskurveanalys av de interannuella trenderna är som bekant ett trubbigt instrument som ger låg noggrannhet. Matematiker måste därför medverka med att ta fram bättre metoder att analysera enskilda mekanismers bidrag till variationer i komplexa tidsserier, så att man verkligen kan komma fram till de partiella bidragen från enskilda käll- resp flödesförändringar.

Systematiska utlakningsstudier inom jordbruksforskningen visar att det råder klara regionala och tidsmässiga variationer i kväveutflödet från olika odlingsystem. Bland annat hydrologiska fenomen har stort inflytande på växternas kväveupptagning och på utlakningen. Man har exempelvis kunnat konstatera att kväve-

et till vattendragen anses bland annat hänga samman med det Al som frigörs vid markprocesserna. Den sura sjöns toxicitet har också visats till stor del härröra från den dramatiska ökningen av Al som åtföljer sjunkande pH, eftersom vissa Al-föreningar är starkt toxiska.

Transporten av vatten och däri lösta substanser genom avrinningsområdet försiggår pulsvis som en följd av säsongstyrda upplagrings- och frigörelseprocesser. Ett sådant system är snötäcket, vars joninnehåll på mycket kort tid frigörs med det första smältvattnet på våren med förödande chockeffekter för olika akvatiska ekosystem, figur 5. Ett annat system är det organiska materialet, där svavel och andra biogena ämnen involveras i liknande tillfälliga magasineringsprocesser.

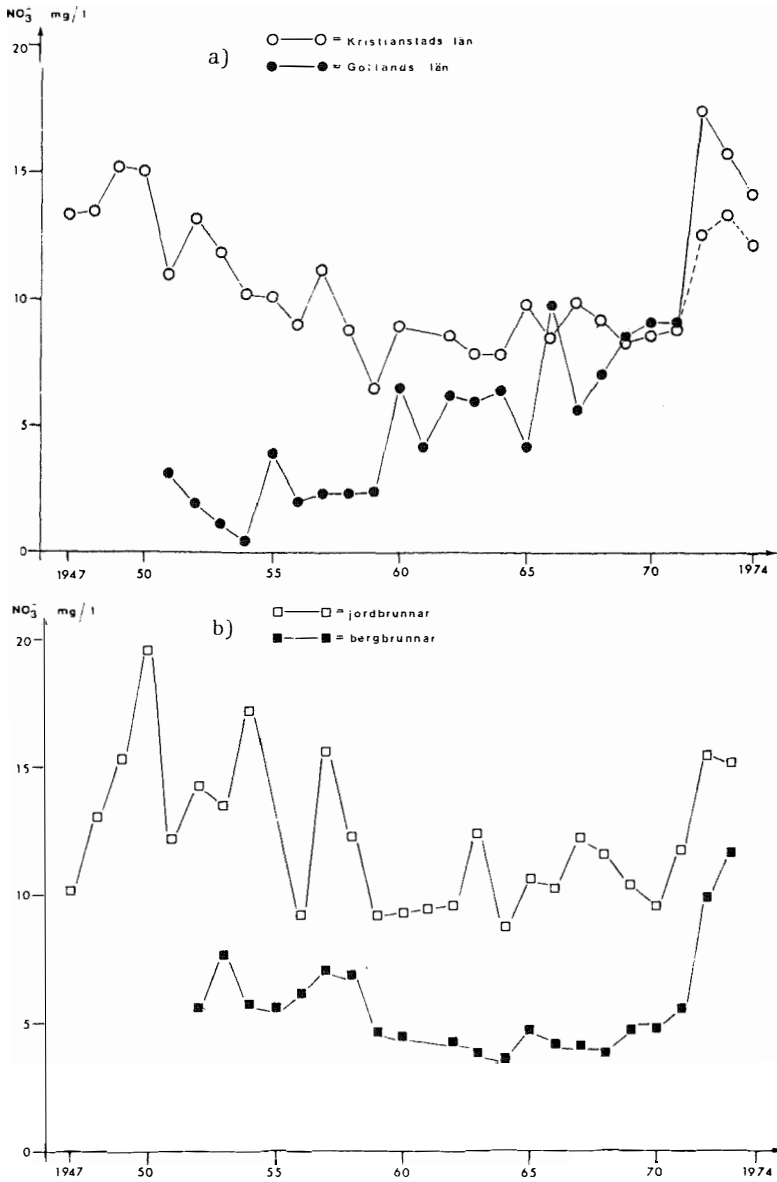
Ser man utvecklingen på längre sikt frågar man sig vilka förändringar som egentligen äger rum i marklagren, när dessa årtionde efter årtionde bombarderas med sur nederbörd. I samband med riksskogstaxeringen har kunnat konstateras en signifikant tömning på utbytbara joner i de översta markskikten i Mellansverige under en 10-årsperiod. På andra håll har konstaterats att försurningsfronten nått ned till grundvattnet. Detta leder direkt till frågan huruvida vi, liksom en tidsinställd bomb, har att emotse en mera allmän grundvattenförsurning, som vid sin brisering leder till en ny försurningsvåg i redan drabbade vattendrag. Detta skulle drabba inte bara kommuner utan också enskilda med grundvattenförsörjning som tvingas till kostsamma motåtgärder med anledning av att korrosion i vattenledningssystemet då hotar dricksvattnet. Naturvårdsverket har initierat en inventering av de områden där grundvattnet är hotat, och när vi har anledning förvänta en sådan påverkan.

Svenska studier har visat att Al-innehållet i vatten från olika markhorisonter varierar starkt, vilket belyser den återverkan på det avrinnande vattnets beskaffenhet som framkallas vid en ändring av vattnets vägar i samband med förändrad markanvändning. De hydrokemiska förhållanden, som rådde innan försurningsvågen slog till, avspeglar troligen ett genom århundraden förvärvat

utlakningens ökning med kvävegivan är mycket mera markerad under våttår än under torrår. Dels påverkar vattensituationen i jorden rötternas kväveupptagning. Dels inverkar grundvattenståndets variationer, eftersom en grundvattensänkning innebär att oxidation blir möjlig i det avvattnade skiktet vilket resulterar i kväveutlakning. Utlakningen varierar också starkt mellan olika jordar liksom mellan olika grödor. De biokemiska processerna i marken, som påverkar kväveupptagning och kväveutlakning, är emellertid synnerligen komplexa och delvis ouppklarade (exempelvis denitrifikationen). Kväveutlakningen sker vidare pulsvis. Detta innebär att marksystemet töms på kväve intermitterant i form av tillfälliga kraftiga kväveläckage. Dock vet man ännu icke vad det är som framkallar de plötsliga utlakningspulserna. Allmänt verkar det som om läckaget utlöses av någon händelse, som skapar ett slags "oro" i marksystemet och destabiliserar detta.

I vissa områden i Sverige har kunnat konstateras en ökning av nitrathalten i grundvatten, vilket lett till att vissa vattentäkter slagits ut med hänsyn till hälsovådligheten. Detta gäller vidsträckta områden bland annat på Gotland, i Skåne och Halland, d v s områden med lätt genomträngliga jordar, figur 6. Frågan om grundvattnets responstid är synnerligen intressant också i detta fall. Det förhåller sig nämligen så att nitrat i grundvatten ännu icke utgör något problem i Danmark, något som föranledde en diskussion vid det tidigare nämnda hydrokemiska symposiet rörande anledningen till skillnaden mellan svenska och danska jordar. En möjlighet är helt enkelt att närsaltfronten ännu icke nått ned till grundvattnet i Danmark, medan responstiden varit betydligt kortare i de svenska jordarna.

De motåtgärder mot närsaltutlakning som nu från forskarhåll övervägs inkluderar bland annat gödselgiverådgivning. Kväveförrådet i marken efter skörd ökar nämligen hastigt med gödselgivans storlek ovanför ett visst gränsvärde på denna. Rådgivningen skulle därför syfta till att öka vegetationens utnyttjande av kvävet i marken. Därmed undviks att eventuella överskott uppkommer, som kan föranleda senare utlakningspulser. Den bästa utgångspunkten anses vara kväveförrådet i marken på våren. Efter-



a) Medelhalten för renvattenanalyser i vattenverk i Gotlands resp Kristianstads län.

b) Medelhalt i jordbrunnar resp bergbrunnar i Kristianstads län.

Figur 6 Nitrathalten i grundvatten 1947-74 (årsmedelvärden).  
Från Nilsson & Rannek (1975)

som den kan vara mödosam att bestämma är man också inne på möjligheten att bygga på en korrelation mellan gödselbehov och vinternederbörd.

En omfattande forskning rörande växtnäringsläckage är för närvarande igång, bland annat vid SNV, där uppmärksamheten fokuseras till samspelet mellan grundvattnets rörelse, nitratmobiliseringen och nitrattransporten till avvattningsystemet. Rent allmänt anses att normalsituationen, som motsvarar en gödselgiva på ca 100 kg/ha, är relativt väl utredd, medan mekanismerna i samband med höga gödselgivor icke ägnats tillräckligt intresse trots att dessa troligen medför särskild risk för grundvattenkontamination.

Som ovan framgår har det hydrologiska faktorerna stor betydelse både för vegetationens kväveupptagning och för utlakningen av markens kväveöverskott. Detta gör att också hydrologiska prognoser baserade på modellberäkning av markvattentillgången kan vara intressanta.

#### UTLAKNING AV LOKALA MARKFÖRORENINGAR

Både grundvatten och avrinnande vatten påverkas kemiskt också genom utlakning av substanser som tillförts jorden lokalt. Tillförseln kan ske i löst form, som fallet är vid infiltration av avloppsvatten eller läckage från otäta avloppsledningar. Den kan också ske genom utlakning från kända eller okända avfallsupplag på eller i marken.

#### Tillförsel i löst form

Avsiktlig infiltration av avloppsvatten kan ske på två sätt: genom markbäddar eller infiltrationsbäddar. De förra kan ses närmast som ett slags artificiella reningsverk. I de senare är däremot de naturliga processerna i aktion. Infiltrationsanläggningarna bygger på principen att alla betydelsefulla föroreningar bryts ned under perkolationsförloppet, främst i den sk biohuden. Två huvudfrågor bör beaktas: först gäller det att bringa vattnet att infiltrera och kontrollera skeendena under infiltrationsför-



loppet, därefter att bli av med vattnet genom undantransport med grundvattenrörelsen i området. I samband med infiltrationen kan ibland tillfällig vattenmättnad uppkomma i övre lager till följd av olikheter i genomsläpplighet, vilket som en ren kontinuitetsyttring kan ge upphov till en oavsedd sidgående transport i den normalt omättade zonen. Grundvattensystemets kapacitet är därefter avgörande för möjligheten att transportera undan det artificiellt bildade grundvattnet.

För att få en uppfattning både om infiltrationsförmågan och grundvattensystemets transportkapacitet erfordras egentligen långvariga infiltrationsförsök som ett led i erforderliga förundersökningar. Erfarenheten visar nämligen att den senare kan utgöra en flaskhals och leda till oönskade effekter. Med hänsyn till möjligheten av kvarstående föroreningar i det infiltrerade avloppsvattnet erfordras visst säkerhetsavstånd till brunnar. Det kan vara värt att framhållas att informationen bakom nuvarande praxis icke gäller svenska hydrologiska förhållanden.

Vid sidan om den avsiktliga infiltrationen förekommer troligen en omfattande oavsiktlig infiltration från läckande avloppsledningar. Grundvattenprover i Käppalatunneln under byggnadstiden visade exempelvis ett klart inflytande från ovanförliggande tätorter.

#### Tillförsel genom utlakning av fasta substanser

Avfallsupplag kan vara av många slag: hushållsavfall, industriavfall, kolaskeupplag, gruvslagupplag etc. Olika material har synnerligen skiftande permeabilitetsförhållanden och ett enskilt upplag är ofta mycket heterogent med avseende på både ålder, sammansättning, temperatur och fuktighet. Inkommande nederbörd uppdelas på olika hydrologiska komponenter dels vid upplagets yta, dels vid markunderlagets yta varvid en lateral och en vertikal delström uppkommer. Den infiltrerade nederbörden kanaliseras ofta till vissa zoner vilket leder till heterogena fuktningsförhållanden.

När det gäller lokaliseringen ur hydrologisk synpunkt tillämpas

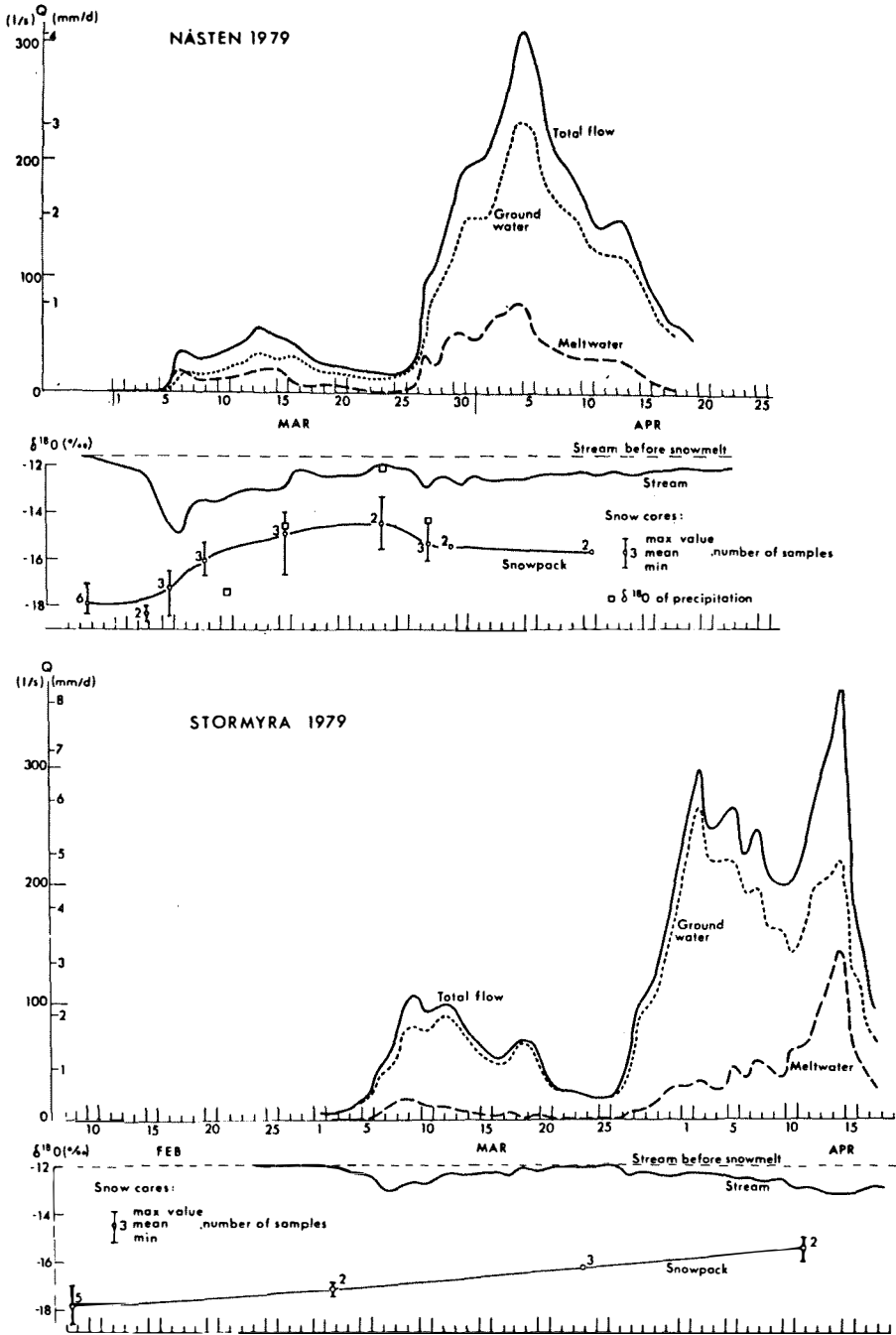
två olika filosofier. Förläggning till inströmningsområden kan i vissa fall ge kontrollerade strömningsförhållanden (exempelvis nära en kustremsa). Ofta strävar man att kontrollera lakvattenflödet genom att förlägga avfallsupplaget på tätt underlag men det är svårt att finna naturliga jordarter som är tillräckligt täta. Under upplag på inströmningsområden breder eljest en lakvattenplym ut sig som infångas av den lokala grundvattenrörelsen och transporteras mot utströmningsområdena. Placering i utströmningsområden ger å ena sidan betydande lakvattenmängder, eftersom lakvattnet blandas med utnynnande grundvatten, medan man å den andra undviker problem med okontrollerad infiltration.

Ett specialproblem utgör slaggupplagen från gruvavfall. Sulfidmalm ger exempelvis ett starkt surt lakvatten, som härrör från syrets inflytande på vittringen av malet avfall något som teoretiskt skulle kunna undvikas vid lokalisering av nya upplag i vattenmättad miljö. Gamla upplag är emellertid svåra att kontrollera och metallflödet med lakvatten till nedströmsbelägna sjöar utgör synnerligen besvärande problem, exempelvis vid Falu gruva och i Bergsboområdet i Östergötland. I några fall har höga kadmium- och zinkhalter observerats i sjöar, som används eller föreslagits som råvattentäkter.

Till denna kategori hör också utlakningen från dolda avfallsupplag, nedgrävda i hydrologisk oskuld som uttryck för en slags strutsmentalitet. Utlakningseffekterna kan bli dramatiska som med önskvärd tydlighet illustrerades av Braåns vatten vid BTKemikatastrofen för några år sedan. Liknande olyckor på andra håll är säkert att förvänta. Pressen rapporterar då och då om gifttunnor och deras effekter på grundvattentäkter och småvattendrag.

#### SLUTSATSER

Av vad som här sagts framgår att vattnets vägar under markpassagen och dess kontakttid med olika jord- och bergskikt utgör en avgörande problematik när det gäller samspel mellan markanvändning och vattenkvalitet men också försumningsfrågan. Vattnets



Figur 7 Vattenföringen under vårflödet i två mellansvenska bäckar och dess sammansättning av grundvatten och smältvatten enligt studier med stabila syreisotoper ( $^{18}O$ ). Från Rodhe (1980)

transittids- och åldersproblematik behöver utredas så att kontakttidsfrågorna kan förstås bättre. Omsättningstiden torde exempelvis i vissa fall kunna bestämmas på hydrologisk väg t ex för en geometriskt väl avgränsad akvifer. På lång sikt betydelsefullt är att söka förutsäga responstiden på ett visst substansstillskott vid markytan: hur lång tid tar det innan grundvattnet kan väntas bli påverkat, hur lång tid innan substansen eller sekundäreffekter därav når ut i vattendraget?

Hela avrinningsbildningsprocessen från infiltrationen till grundvattenutflödet måste klargöras. Hur går infiltrations- och perkolationsprocessen till i detalj, hur fortplantas vattnet ned utefter markprofilen, hur förklarar man att vårflödet i mellansvenska bäckar visat sig bestå av huvudsakligen vatten med grundvattenkaraktär, jfr figur 7 (Rodhe 1980). Processen har stor betydelse eftersom upptagning och fastläggning av substanser sker på systematiskt sätt i skilda jordlager och olika jordlager representerar olika biogeokemiska karakteristika. Det tidigare starkt förbisedda utbytet ytvatten/grundvatten måste också ägnas betydande uppmärksamhet i framtiden.

Viktigt är, som tidigare framhållits, att olika grupper av experter samarbetar med att utveckla terrestra vattenkvalitetsmodeller som på ett så enkelt sätt som verkligheten tillåter återger nyckelskeenden och simulerar substanstransporter och deras tidsmässiga variationer. Sådana modeller bör kunna komma till nytta också för prognoser över förväntad utveckling. För vissa substanser är systemen ytterligt komplexa (kväve), för andra ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) mera hanterliga. I vissa fall torde de hydrologiska processerna kunna förenklas mycket kraftigt, i andra fall inte (jfr Falkenmark 1980).

Även fältmetodik och datainsamlingen behöver utvecklas på ett sådant sätt att man lär sig hur ett vattenprov bäst skall kunna ges en hydrologisk karakteristik ("åldersbestämning"). I nuläget finns som bekant betydligt fler hydrokemiska data än hydrologiska, men de förra är ofta ospecificerade med avseende på vad för slags vatten som provet hydrologiskt sett representerar. Ett

## REFERENSER

- Eriksson, J.W. (1929): Den kemiska denudationen i Sverige  
Statens Meteorologisk-Hydrografiska  
Anstalt  
Meddelanden Band 5, nr 3
- Falk, J, Hogland W & Niemczynowicz, J (1980): Quantitative water budget for the city  
of Lund  
Nordiska Hydrologiska Konferensen i Vem-  
dalen 10-16 augusti 1980  
UNGI Rapport nr 53  
Naturgeografiska Institutionen, Uppsala
- Falkenmark, M, : En bok om vatten. Miljökunskap  
Ganning, B, Gleerup, Lund  
Henriksson, H,  
Jansson, B O &  
Lettevall, U  
(1973)
- Falkenmark, M (1979): Vatten: resurser - användning - problem  
Ett försök till hydrologisk helhetssyn  
Ds Jo 1979:8 Jordbruksdepartementet
- Falkenmark, M (1980): Vattnets markpassage - ny mötesplats  
för hydrologer och limnologer  
Vatten, vol 36, nr 2
- Henriksen, A (1979): A simple approach for identifying and  
measuring acidification of freshwater  
Nature vol 278, 5 april 1979
- Johannessen, M & Wright, R (1980): The effect of snowmelt water on stream-  
water chemistry  
Nordiska hydrologiska Konferensen i Vem-  
dalen 10-16 augusti 1980  
UNGI Rapport nr 53  
Naturgeografiska Institutionen, Uppsala

- Lundquist, D (1977): Modellering av hydrokemi i nedbørfelta  
Prosjektet: "Sur nedbørs virkning på skog og fisk"  
SNSF-prosjektet, Oslo Ås, I.R. 31/77
- Nilsson, L Y & Rannek, J (1975): Nitrat i dricksvatten. Undersökning i Gotlands och Kristianstads län.  
Tekniska högskolan i Stockholm  
Sektionen för lantmåteri  
Institutionen för kulturteknik  
Rapport 3:19
- Rodhe, A (1980): Vårfloden - smältvatten eller grundvatten?  
Nordiska Hydrologiska Konferensen i Vemdalen 10-16 augusti 1980.  
UNGI Rapport nr 53  
Naturgeografiska Institutionen, Uppsala
- SMHI-utredningen (1980): SMHIs verksamhet och organisation  
Ds K 1980:11 Kommunikationsdepartementet

## NÅGRA KARAKTERISTISKA EGENSKAPER HOS FINLANDS SJÖAR

Av Esko Kuusisto och Risto Lemmelä

### INLEDNING

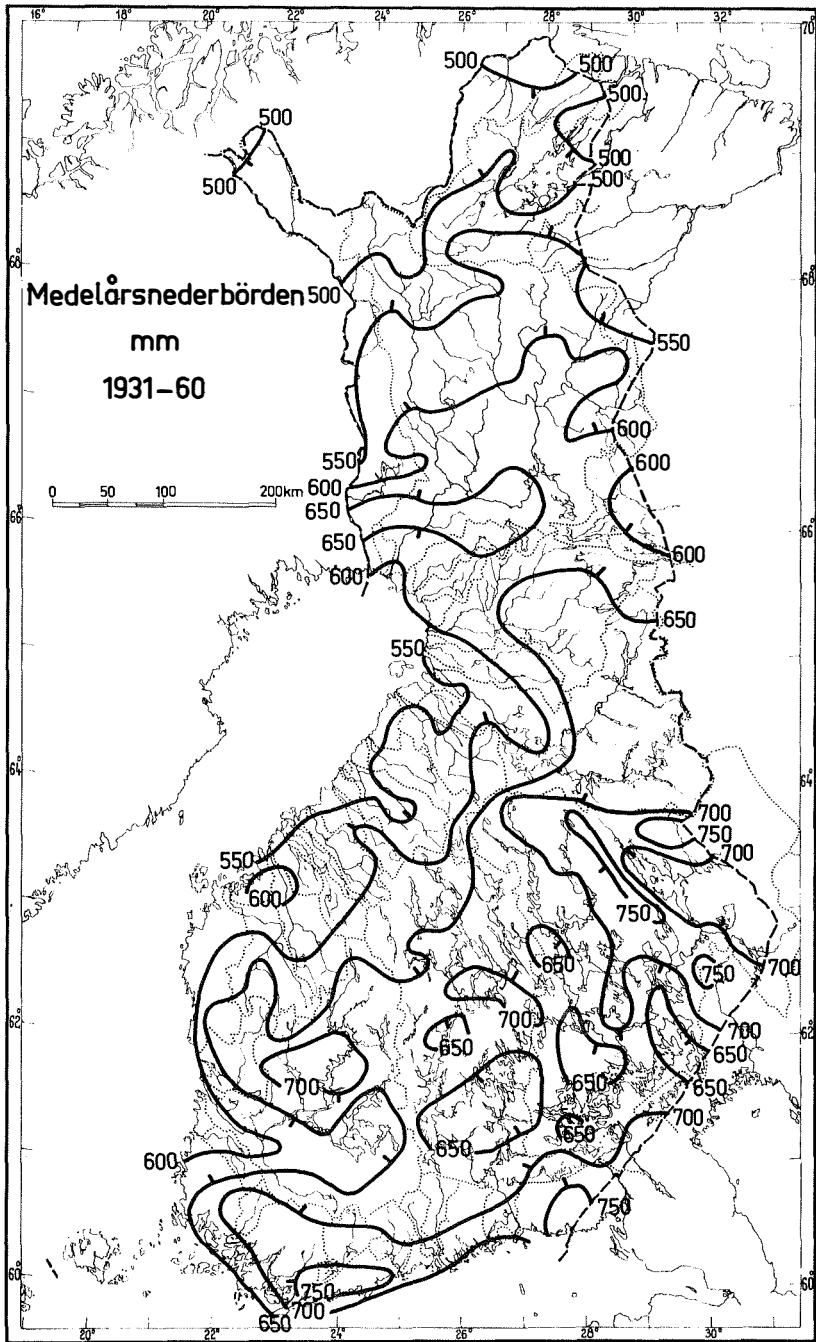
Hurudan är en typisk finsk sjö? I teorin vore det naturligtvis möjligt att för Finlands population om 55 000 sjöar beräkna medelvärdet, medianen och modalvärdet för varje egenskap. Men i praktiken måste man hålla tillgodo med det faktum, att vattenståndet t ex regelbundet observeras endast vid drygt 200 sjöar, att man känner till medeldjupet för ungefär 500 sjöar och att regelbundna temperaturobservationer endast görs i 30 sjöar.

Å andra sidan är situationen inte så dystert som dessa tal låter påskina; vattenståndsobservationerna täcker över 70 % av den totala insjöarealen och medeldjupet är känt för ungefär 60 % av denna areal.

I det följande behandlas några av de hydrologiska egenskaperna hos sjöarna i Finland. Huvudvikten ligger på sjöarna i insjöområdet, för de utgör 65 % av den totala insjöytan i Finland.

### VATTENBALANSEN I FINLAND

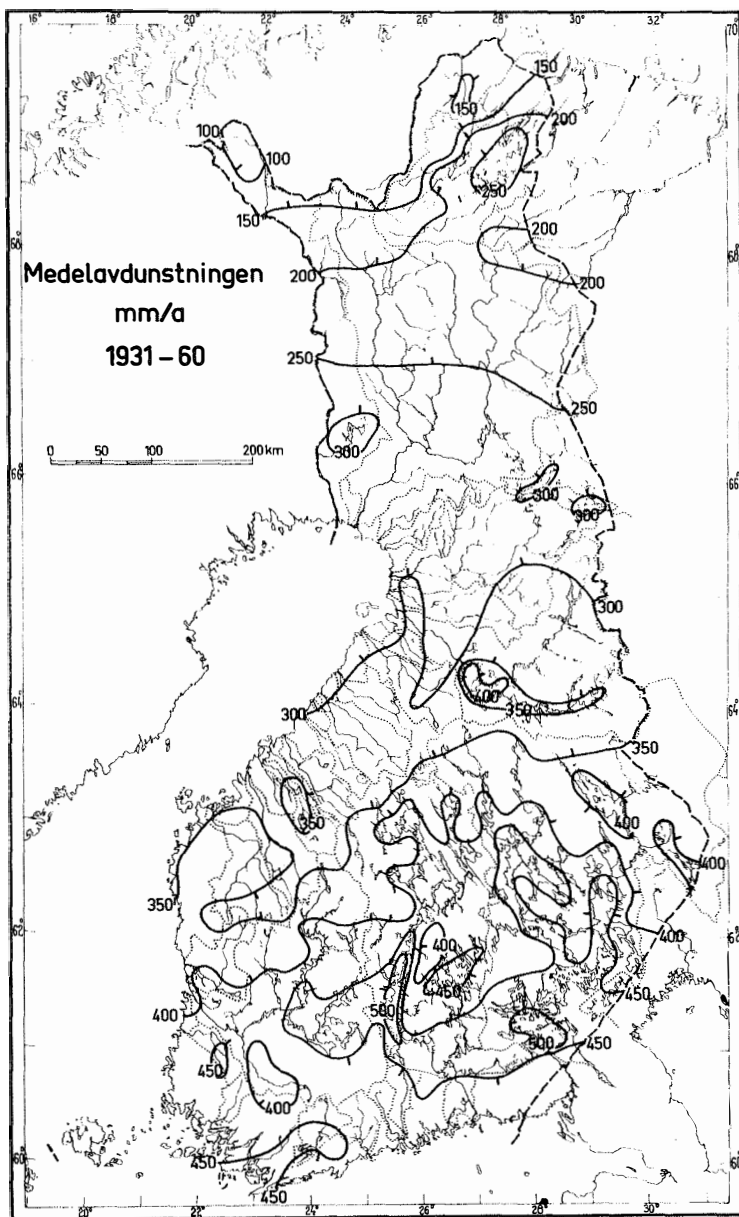
Nederbörden uppgår i Finland i medeltal till 630 mm/a, figur 1. I södra och mellersta Finland överstiger årsnederbörden lokalt 750 mm, i Lappland ligger den i intervallen 450 till 600 mm. Beaktar man den noggrannhet med vilken mätfelen vid nederbörds-  
mätningen kan korrigeras kan man uppskatta att gränsen för 90 %  
konfidens i årsnederbördsvärdena går vid  $\bar{P} \pm 5\%$ .



Figur 1 Årsnederbörden i Finland, medeltal 1931 - 60

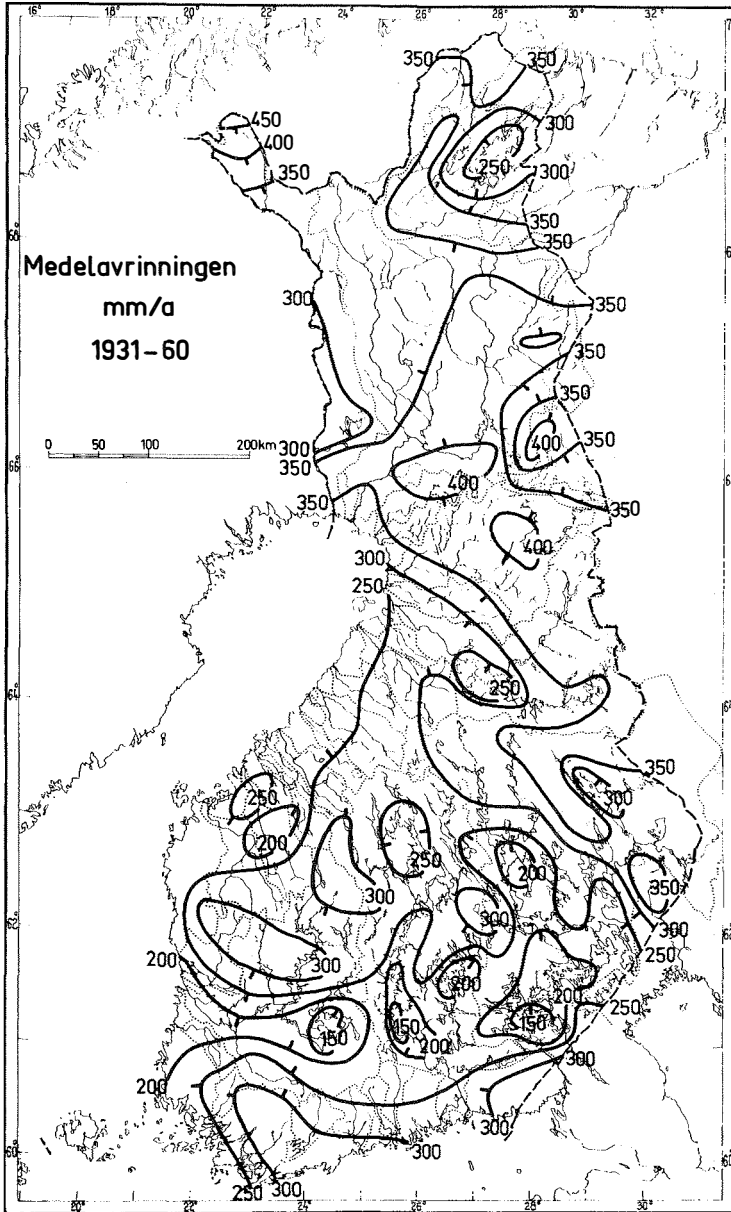


Medelavdunstningen är i Finland ungefär 330 mm/a, figur 2. Den är areellt mera oregelbundet fördelad än nederbörden: i Lappland uppgår den till endast 25 till 50 % av värdena för södra Finland. Avdunstningen från vattenytor är ungefär 50 mm/a större än från landytor i närheten.



Figur 2 Årsavdunstningen i Finland, medeltal 1931 - 60

Den årliga medelavrinningen från finska fastlandet är således ungefär 300 mm/a vilket motsvarar en total medelvattenföring om 3 100 m<sup>3</sup>/s, figur 3. Medelhögvattenföringen uppgår till 14 000 m<sup>3</sup>/s och medellågvattenföringen till 1 200 m<sup>3</sup>/s.

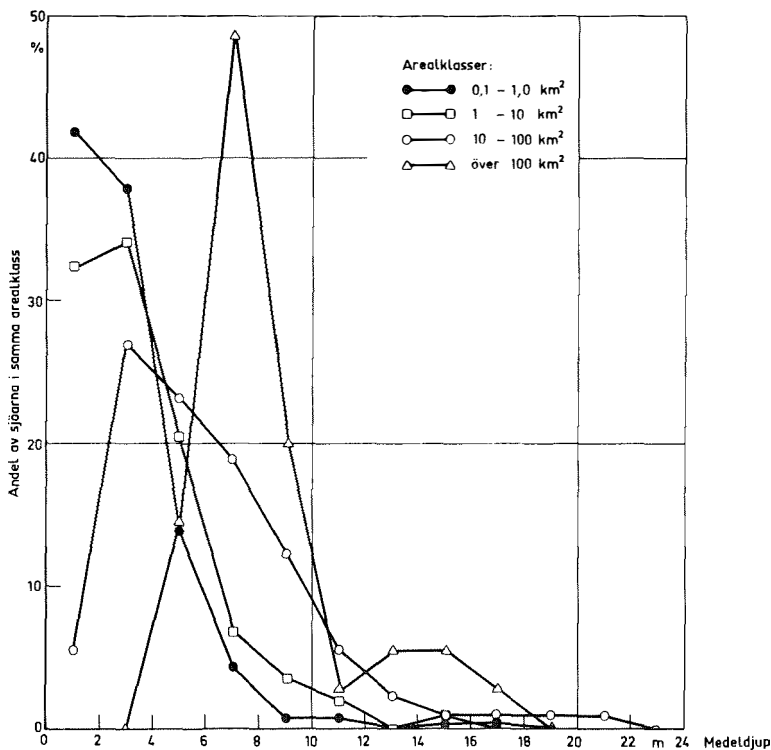


Figur 3 Årsavrinningen i Finland, medeltal 1931 - 60

## INSJÖARNAS FYSIOGRAFI

Sjöarna i Finland har en sammanlagd yta om ungefär 32 000 km<sup>2</sup> vilket är 9,5 % av republikens areal. Sjöstränderna har en sammanlagd längd om 130 000 km och sjöarnas medeldjup är 7,2 m. Sjöarna i Finland är sålunda ganska grunda i jämförelse med t ex sjöarna i Sverige. Största djupet, 95 m, finns i Päijänne i Ristiselkä fjärd.

Figur 4 visar frekvensfördelningen för medeldjupet för 600 sjöar ordnade i grupper om olika areal. Djupklassintervallen är 2 m. Av sjöarna som är mindre än 1 km<sup>2</sup> har endast 6 % ett medeldjup som överstiger 6 m. I gruppen med en yta mellan 1 och 10 km<sup>2</sup> är ett medeldjup på mer än 6 m nästan lika sällsynt och först när sjöarnas yta överstiger 10 km<sup>2</sup> börjar medeldjupsfrekvensen stiga märkbart. I gruppen sjöar om 10 till 100 km<sup>2</sup> är medeldjupet 7,1 m och i gruppen över 100 km<sup>2</sup> 11,1 m.



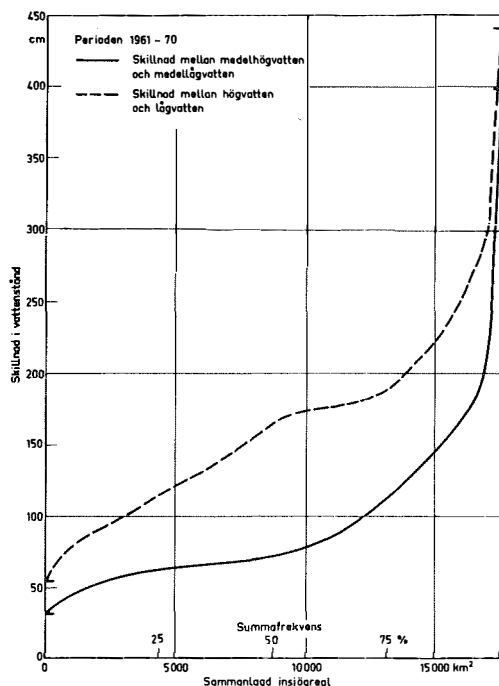
Figur 4 Frekvensfördelningen för medeldjupet hos sjöar i olika arealgrupper i Finland

I de olika delarna av Finland är distributionsfunktionen för sjöarnas djup ungefär densamma, med undantag för Österbotten. Här har sjöarna ett medeldjup på endast 3,7 m, vilket är endast hälften av värdet för hela landet. Det finns här t o m sjöar på mer än 5 km<sup>2</sup> vilkas medeldjup är mindre än 1,0 m. Sjöar med ett största djup på mer än 10 m är sällsynta i Österbotten.

#### VATTENSTÄNDSVARIATIONERNA I SJÖARNA

I tidsserierna för vattenståndet förekommer många olika slags variationer. De kortvariga åstadkommes närmast av vågrörelse eller seicher. De små reglerade sjöarna uppvisar dygns- och veckorytmer. Först därefter följer sådana variationer i vattenståndet som beror på växlingar i tillgången på vatten.

I figur 5 visas ett sammandrag av vattenståndsväxlingarna i sjöarna under perioden 1961 - 70. Här har alla sådana sjöar tagits med, för vilka det föreligger en observationsserie för hela dekadern. De sjöar, som har tagits med har en sammanlagd yta om 17 400 km<sup>2</sup> eller 53 % av hela Finlands insjöareal.



Figur 5

Fördelningen av vattenståndsväxlingarna i sjöarna i Finland

Medianen av skillnaden mellan medelhögvattnet och medellågvattnet är 72 cm, för den mellan högsta och lägsta vattenstånd 164 cm. Motsvarande värden för 10 % fraktilen är 54 resp 92 cm och för 90 % fraktilen 153 resp 231 cm.

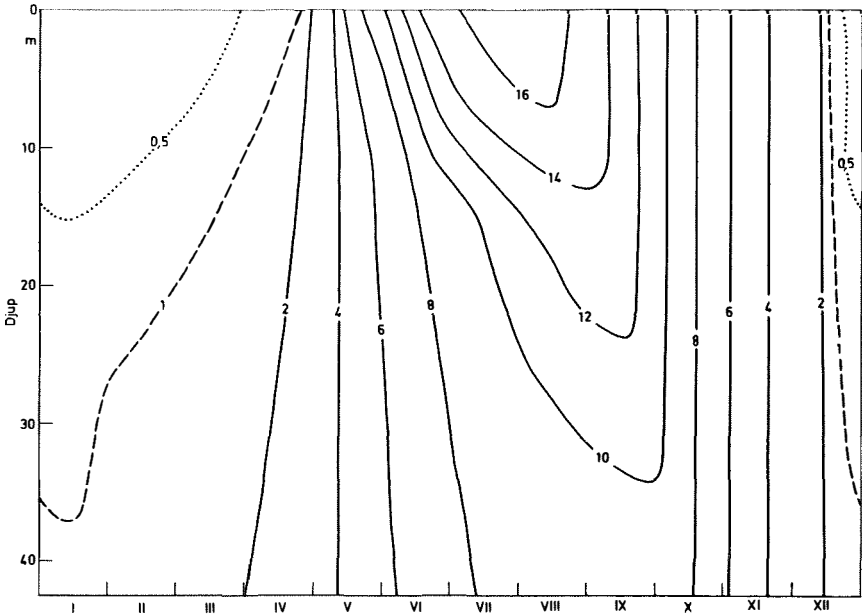
Reglering har ändrat vattenståndsvariationerna i många sjöar. I figur 5 representeras övre delen av distributionerna nästan enbart reglerade sjöar; icke reglerade sjöar uppvisar sällan en större variationsamplitud än 200 cm.

#### TEMPERATURFÖRHÅLLANDENA I SJÖARNA

Det termiska året för Finlands sjöar uppvisar följande speciella data:

- 1 Islossningen. Den inversa skiktningen upphör och ytvattnet börjar snabbt bli varmare.
- 2 Sommarmaximum för temperaturen. Vattenpelaren innehåller en maximal mängd energi.
- 3 Inträdet för det homogena höstillståndet. Hela vattenmassan får samma temperatur när vattenytan avkyls.
- 4 Det höstliga täthetsmaximum. Hela vattenmassan har en temperatur om  $4,0^{\circ}\text{C}$ .
- 5 Isläggningen. Vinterskedet vidtar.
- 6 Minimum för medeltemperaturen. Vattenpelaren innehåller sin minsta energimängd.

Hydrologiska byrån har låtit göra temperaturmätningar längs vertikaler i 8 sjöar sedan år 1961. I figur 6 visas årsrytmen i temperaturdistributionen i medel för perioden 1961 - 75, för vattnet vid Päijätsalo i Päijänne. Denna observationsstation kan anses vara typisk för insjöfinland. Islossningen ägde i medeltal rum den 8 maj. Därefter började för det mesta omedelbart sommarskiktningen bildas; endast ett fåtal vårar medförde en så kraftig omblandning att hela vattenmassan samtidigt hade temperaturen  $4,0^{\circ}\text{C}$ .



Figur 6 Årsrytmen i temperaturdistributionen i medeltal på olika djup i Päijänne vid Päijätsalo observationsstation för åren 1961 - 75

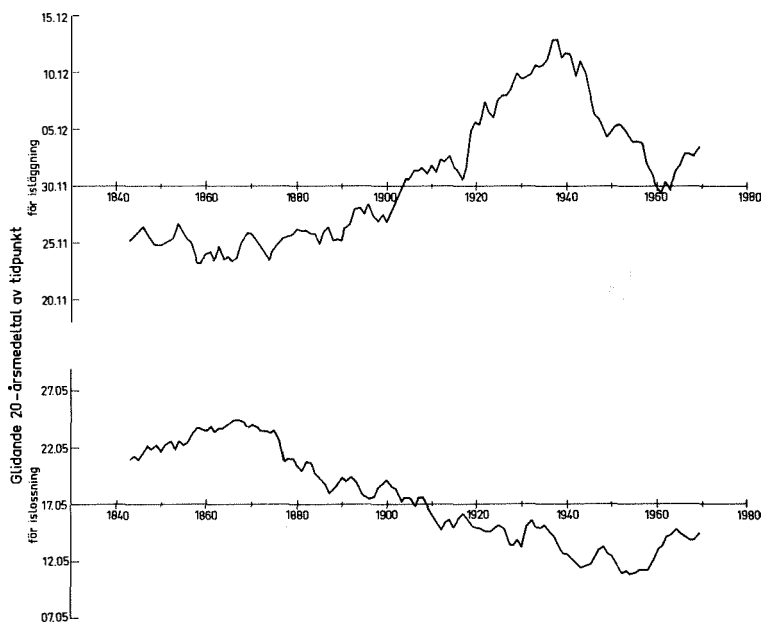
Vid Päijätsalo observationsplats var maximitemperaturen för ytvattnet i medeltal  $19,4^{\circ}\text{C}$  och tidpunkten för maximum i medeltal den 19 juli. Hela vattenmassan hade en maximal medeltemperatur om  $12,3^{\circ}\text{C}$  och maximum inföll i medeltal den 20 augusti. Det homogena hösttillståndet räckte i medeltal 35 dygn och tidsintervallen mellan homogent tillstånd och isläggning 33 dygn. Vid isläggningen hade vattenmassan en medeltemperatur om  $0,7^{\circ}\text{C}$ . Hela vattenmassans minimitemperatur var i medeltal  $0,5^{\circ}\text{C}$ , vilket inträffade den 10 januari. I februari ökade värmeinnehållet med  $3,2 \text{ kJcm}^{-2}$  och i mars med  $6,2 \text{ kJcm}^{-2}$ . I april ökade absorptionen av strålningsenergi i vattenmassan i och med att snötäcket på isen smalt; värmeinnehållet ökade så mycket som  $14,9 \text{ kJcm}^{-2}$ .

I insjöområdet har ytvattnet en årsmedeltemperatur om  $6,5$  till  $7,5^{\circ}\text{C}$ . Den är alltså  $3$  à  $4^{\circ}\text{C}$  högre än luftens. På större djup är vattnet inte så mycket kallare, om man utgår från årsmedeltem-

peraturen: vid Päijätsalo var medeltemperaturen på 10 m  $6,0^{\circ}\text{C}$  och på 40 m  $4,8^{\circ}\text{C}$ .

### ISFÖRHÅLLANDENA

De längsta observationsserierna som berör hydrologiska förhållanden i Finland gäller just isförhållandena på insjöarna; isläggningen och islossningen för Kallavesi finns antecknade sedan 1834. I figur 7 visas datum för isläggningen och islossningen på Kallavesi som glidande medeltal för 20 år för perioden 1834-1980. Från medlet av senaste århundrade till 1940-talet har datum för isläggningen flyttat sig ett par veckor framåt. Därefter har isläggningen igen blivit tidigare. Också datum för islossningen visar sekulära variationer; glidande medeltalet för 20 år låg på 1950-talet ungefär vid den 10 maj, men låg på 1860-talet vid den 24 maj. Motsvarande förändringar förekommer också i statistiken över lufttemperaturer, men den sträcker sig inte lika långt tillbaka i östra Finland.



Figur 7 Glidande medeltal för 20 år för datum för isläggning och islossning på Kallavesi, åren 1834 - 1980

Det definitiva istäcket lägger sig på de små sjöarna i Lappland i slutet av oktober. Till sist fryser de stora sjöarna i insjöområdet och i södra Finland. Detta sker i medeltal i medlet av december. Skillnaden på en isläggningstidpunkt som är så tidig eller sen att den inträffar en gång på 50 år är 70 till 80 d; här är skillnaden mellan södra och norra Finland betydelselös. I små sjöar är motsvarande skillnad 40 à 50 d.

Tidpunkten för islossningen varierar mindre än den för isläggningen såväl i olika delar av landet som för varje sjö för sig. För sjöar av samma typ i södra och norra Finland är variationen i islossning 30 till 40 d om isläggningen varierar med 40 till 50 d. Skillnaden mellan en islossningstidpunkt som är så tidig eller så sen att den inträffar endast en gång på 50 år är i södra Finland ungefär 35 d och i norra Finland 40 till 50 d.

Istäckets maximala tjocklek ökar inte mycket när man beger sig norrut genom södra och mellersta Finland, fastän köldsumman ökar. Detta beror på att det tjockare snötäcket i norr isolerar bättre mot avkylning. Typisk maximal tjocklek på isen är på sjöarna i södra och mellersta Finland 50 à 60 cm. Först i södra Lappland förekommer det märkbart större maximala istjocklekar. Den tjockaste isen torde förekomma på fjällsjöarna i Finlands Lapplandsarm: Kilpisjärvi som ligger 463 m över havet kan uppvisa en maximal istjocklek på i medeltal 90 cm medan en maximal istjocklek om 118 cm förekommer en gång på 50 år.

#### VATTENKVALITET AV VATTENDRAG

Största delen av Finlands vattendrag är ännu i naturtillstånd med rent vatten av god kvalitet.

Det stora antalet sjöar är av en stor betydelse för vattenkvaliteten. Av våra sjöar är 90 % oligotrofa och ungefär 60 % är belastade med naturliga biologiska humusämnen från torvmark. Vattnet är också ursprungligen alkaliskt och därför med ringa buffringsförmåga och snabba förändringar i vattenkvalitet kan förekomma.

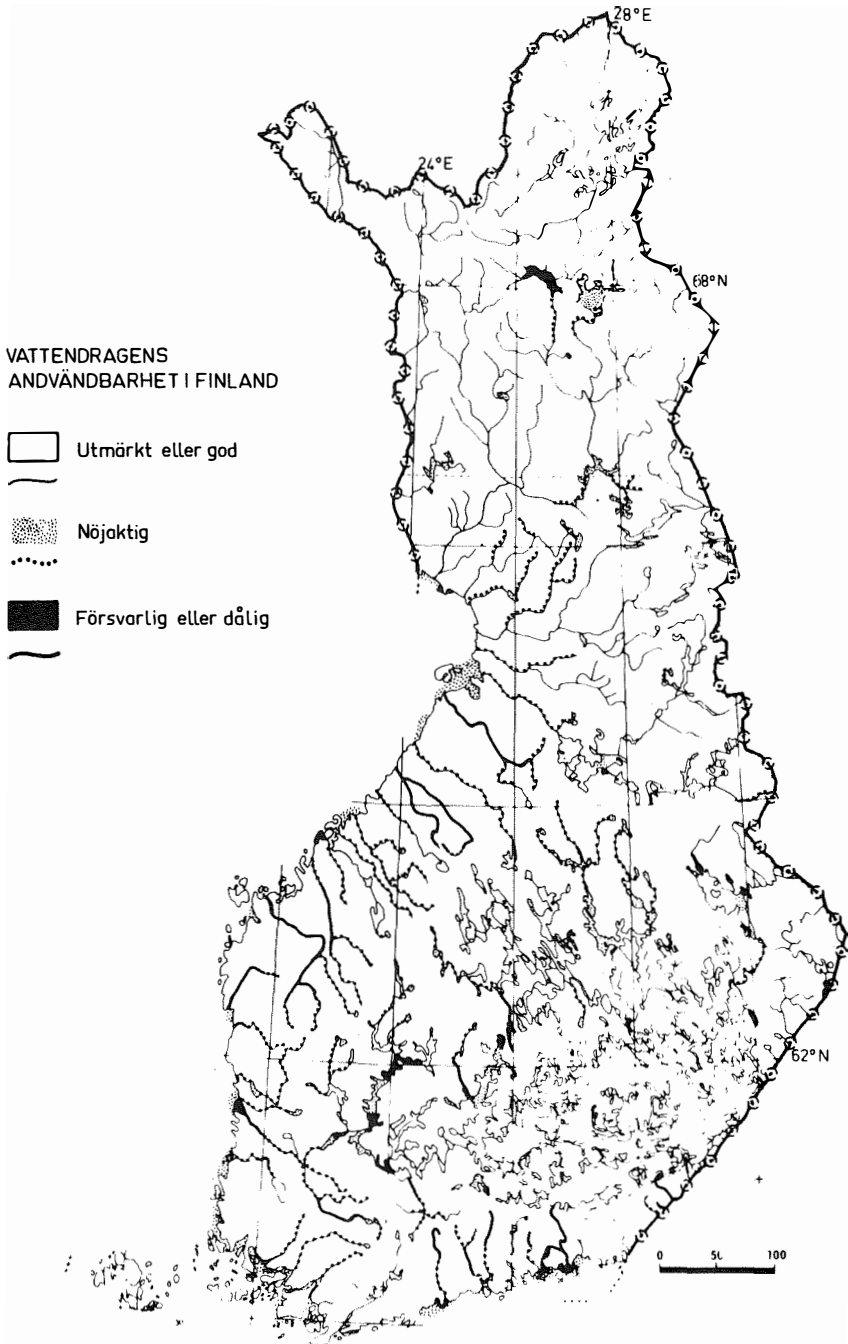


Vattendragens användbarhet kan klassificeras efter följande användningsformer: vattenförsörjning, avlopp, fritidsbruk och fiske.

De tre klasserna är följande:

- 1 Utmärkt eller god. Vattnet lämpar sig som sådant för alla användningsformer eller bara kemikalisk behandling mot hög humushalt behövs för vattenförsörjning.
- 2 Nöjaktig. För vattenförsörjning behövs effektiv behandling.
- 3 Försvarlig eller dålig. Vattnet är brukbart bara för avkylning eller det är helt oanvändbart för konventionella bruk.

Efter denna klassificering är för närvarande ca 2 %, d v s 700 km<sup>2</sup> av sjöarna förorenade och 20 % lindrigt nedsmutsade men nästan 80 % är ännu nära naturligt tillstånd, figur 8. Användbarheten av våra vatten är dock begränsad ty de mer eller mindre nedsmutsade vattendragen är belägna där man mest behöver vatten av god kvalitet. Man har räknat ut att hälften av Finlands folk bor inom influensområdet för orent vatten. Delvis tack vare de vattenskyddsåtgärder som vidtagits på 1970-talet har förörensningen av vattendragen till stor del avstannat.



Figur 8 Vattendragens användbarhet i Finland

## PROBLEMERNE VED BESKRIVELSEN AF AFSTRØMNINGENS REGIONALE VARIATIONER I DANMARK

Av Jørgen Lundager Jensen

I "Hydrologi i Norden" anfører Ragnar Melin (1) følgende:

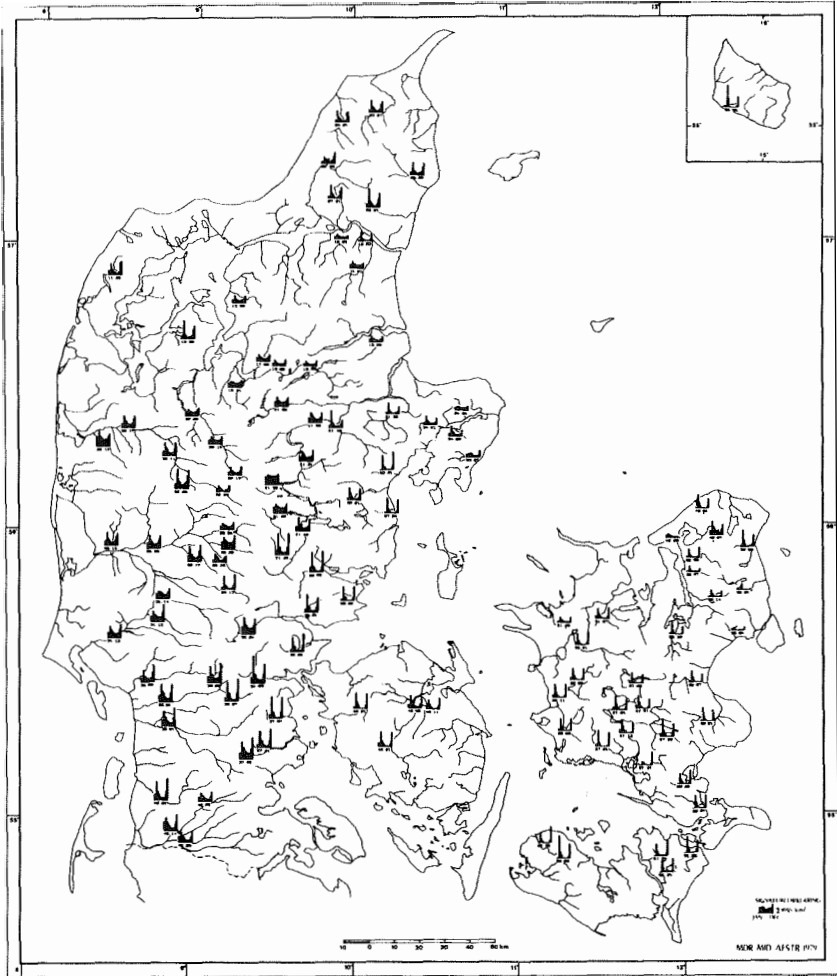
"I Danmark kan avrinningen även i närbelägna områden med samma nederbörd vara olika, vilket troligen sammanhänger med att vattendelarna under markytan ej sammanfaller med ytvattendelarna. Grundvattenströmmarna förrycker därför avrinningsresultaten som beräknats på basis av nederbördsområdenas storlek inom ytvattendelarnas gränser. På grund av de varierande avrinningsvärdena har någon karta över avrinningen i Danmark så vitt jag vet ej blivit framställd."

Det gælder fortsat at et egentligt afstrømningskort over Danmark ikke er blevet fremstillet, og begrundelsen er netop som citeret uregelmæssigheder i forbindelse med forskellig beliggenhed af grundvandsskel og topografisk vandskel.

Spørgsmålet om et overblik over afstrømningsforholdene i Danmark - i kartografisk form eller på anden måde - har for få år siden også været fremme i anden sammenhæng.

Som led i det nordiske hydrologiske samarbejde blev der i 1976 nedsat en faggruppe - FAG 5 - til behandling af emnet hydrologisk regionalisering i Norden.

Resultatet af faggruppernes arbejde fremgår af artiklen "Hydrologic Regions in the Nordic Countries. Nordic Hydrology, 10, 1979, p. 273-286" (2).



Figur 1 Afstrømningsregime, udvalgte stationer i Danmark 1979

Det nævnes sidst i rapporten at hele Danmark falder inden for regionen H3L3, som foruden Danmark omfatter Norges kystegne og det sydvestlige Sverige. I denne region falder de afstrømningsrigeste måneder normalt på vinteren med regn som hovedårsag (i modsætning til afsmeltning) - symboliseret ved H3 - medens afstrømningen er lavest om sommeren - symboliseret ved L3.

Det bemærkes dernæst ganske kort, at der inden for denne ramme dog er betydelige variationer i afstrømningen, men at en detaljering af regionen falder uden for arbejdsgruppens opgaver.

Det fremgår imidlertid ikke af artiklen at en detaljering inden for Danmark ville være overordentlig vanskelig. I det følgende skal dette begrundes nærmere.

Til en første orientering om afstrømningens karakter forskellige steder i Danmark henvises til kortet, figur 1, som viser afstrømningens månedsmidler i 1979.

Af pladshensyn har en del af stationerne måttet udelades.

Hvad der formentlig tegner sig tydeligst er den store forskel på sommerens afstrømning. På Øerne er afstrømningen overalt meget lille om sommeren. Det gælder også visse steder i Østjylland. Sommerafstrømningen er derimod stor ved mange stationer i Midtjylland.

Man vil også kunne se forskelle i vinterafstrømningens størrelse med en vis tendens inden for Jylland til at vinterafstrømningen er stor, hvor sommerafstrømningen er lille og vice versa.

Hvad der er vanskeligere at anskue på de temmelig små figurer er de betydelige forskelle der er på årets middelastrømning. Visse ekstreme eksempler fremtræder dog tydeligt, f. eks. den station i Funder å midt i Jylland, hvor årsvariationen er yderst ringe. Man kan formentlig fornemme at her er også årsmiddel stor sammenlignet med dels ret nærliggende stationer i Midtjylland, dels stationer på Øerne.

Betragter man nærmere årsafstrømningens størrelse ved de danske målestationer, og lægger middel af lange måleserier til grund, vil man se følgende træk:

For en væsentlig del af stationerne gælder inden for en tolerance på 25-30 mm følgende relation mellem årsmiddelafstrømningen for en længere årrække ( $\bar{A}$ ) og den tilsvarende årsnedbør ( $\bar{N}$ ) (indført som arealmiddel af observerede værdier, d v s. uden korrektion for vindtab m.v.)

$$\bar{A} \sim \bar{N} - 350 \text{ (mm/år) i Jylland}$$

$$\bar{A} \sim \bar{N} - 380 \text{ (mm/år) på Sjælland.}$$

Tidligere vurderinger findes bl. a. i Lyshede (3) og J. Lundager Jensen (4).

I det nordøstlige Sjælland fraviges denne regel ved nogle stationer, hvor afstrømningen er reduceret som følge af grundvandsoppumpning til forbrug uden for oplandet.

I Jylland forekommer enkelte steder en tilsvarende påvirkning, men mere påfaldende i Jylland er den omstændighed, at relationen gælder bedst hvor oplandet er stort, men passer ringere for små områder, især hvor jorden er grovkornet (sand).

Som anført i J. Lundager Jensen (4) er det rimeligt at antage, dels at de store områder vil udvise en differens  $\bar{D} = \bar{N} - \bar{A}$ , som er omtrent lig med middelårsfordampningen  $\bar{E}$ , dels at  $\bar{E}$  ikke udviser store geografiske variationer.

Den sidste påstand kan forekomme dårligt underbygget, da både variationer i jordbund og i nedbør skulle indicere geografiske forskelle i fordampningen.

Imidlertid modvirker nedbørvariationerne delvis variationerne med jordbunden (gennemgående størst nedbør, hvor jordens vandkapacitet er mindst). Men selvom der antages at være nogen forskel på  $\bar{E}$  mellem de forskellige egne må disse forskelle være langt mindre

end de meget store afvigelser som  $\bar{D} = (\bar{N} - \bar{A})$  kan antage.

Det viser sig nemlig ved en nærmere betragtning af denne størrelse (tabelleret i "Afstrømningsmålinger i Danmark 1917-70" (9) ), at der ved visse målestationer i Jylland optræder værdier som afviger  $\pm 200-300$  mm/år fra standardværdien 350 mm/år.

Et tidligt iagttaget tilfælde er den allerede nævnte Funder å i Midtjylland, hvor der er fundet  $\bar{D} = 83$  mm/år. Dette vandløb har en del af sit vandskel fælles med Storå, i hvis øvre løb der (Højris bro) er fundet  $\bar{D} = 560$  mm/år.

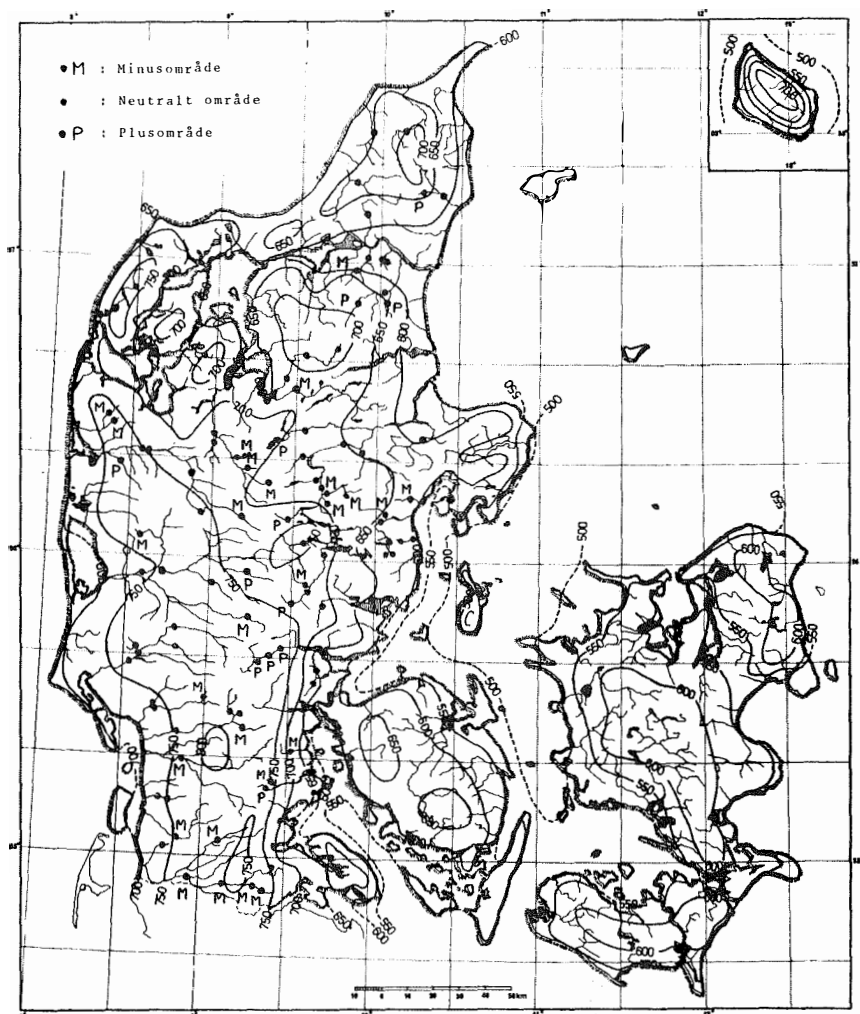
Sådanne meget store afvigelser kan ikke skyldes forskelle i fordamning eller fejl i bestemmelsen af nedbør og afstrømning, men hænger sammen med grundvandsstrømninger, se f.eks. Lyshede (3), hvilket da også bekræftes, hvor der ud fra kendskab til grundvands potentialforhold kan tegnes grundvandsskel, idet man finder en ofte betydelig forskel i beliggenheden af grundvandsskel og topografisk vandskel.

For at give et overblik over hvor deficitværdierne er normale, mindre end normalt eller større end normalt er der på kortet, figur 2, med tre signaturer vist ved hvilke stationer der er fundet

1. deficit der afviger højst ca. 75 mm fra standardværdien, d v s.  $275 < \bar{D} < 425$  som tillægges betegnelsen neutralområder
2. deficit  $\bar{D} < 275$  som betegnes plus-områder
3. deficit  $\bar{D} > 425$  som betegnes minus-områder.

Et lille deficit betyder jo at afstrømningen er større end man skulle forvente ud fra et standarddeficit, derfor betegnelsen plus-område - og tilsvarende for minus-områderne.

Kortet omfatter kun Jylland, da de grundvandsbetingede variationer kun forekommer i ringe grad på Øerne.



Figur 2 Målestationer i Jylland med mindst 5 års observationer

Isohyetkortet efter Det danske meteorologiske Institut, her gengivet efter (9)



Siden disse fænomener blev behandlet i (3) og (4) er der ved etablering af nye målestationer blevet tilvejebragt et betydeligt større observationsmateriale. I "Afstrømningsmålinger i Danmark 1917-70" er der således data fra mange flere stationer end Lyshede rådede over, og siden er stationsnettet fortsat blevet udvidet.

For at muliggøre at også nyere målestationer kan indgå i afbildningerne er der for en del af disse stationer foretaget en ad hoc beregning af  $\bar{D}$  på den nedenfor omtalte stærkt forenkede måde, da de nødvendige beregninger af arealnedbøren for årene 1975-79 endnu ikke er foretaget.

Ved ad hoc beregningen forudsættes at der for enhver målestation gælder  $D_s = \bar{D}_s$ , hvor s er index for målestationen og hvor  $D_s$  er stationens deficitmiddel i årene 1975-79, medens  $\bar{D}_s$  er samme stations deficitmiddel i en lang årrække.

Denne forudsætning kan synes dristig, men er heller ikke strengt nødvendig, som bemærket nedenfor.

Til hver målestation til hvilken der skal beregnes en  $\bar{D}$ -værdi vælges en referencestation som har været i drift i mange år incl. 1975-79. For referencestationen R gælder med den nævnte forudsætning ligeledes  $D_R = \bar{D}_R$ . Det kan her indskydes at en tilstrækkelig forudsætning om deficitværdierne til brug ved de følgende betragtninger er at  $D_s - \bar{D}_s = D_R - \bar{D}_R$ , hvilket formentlig er opfyldt med bedre tilnærmelse end forudsætningen  $D_s = \bar{D}_s$ . Det forudsættes desuden at nedbøren  $N_S$  i 5-året  $N_S = \bar{N}_S + n$ , hvor n har samme værdi for nærliggende områder, derfor for den (nærliggende) referencestation også  $N_R = \bar{N}_R + n$ .

Herefter kan opskrives:

$$\bar{N}_S + n = N_S = D_S + A_S = \bar{D}_S + A_S \quad \text{og}$$

$$\bar{N}_R + n = N_R = D_R + A_R = \bar{D}_R + A_R, \quad \text{hvoraf fås}$$

$$\bar{N}_S - N_R = \bar{D}_S - \bar{D}_R + A_S - A_R \quad \text{som fører til}$$

$$\bar{D}_S = \bar{D}_R + A_R - A_S + \bar{N}_S - \bar{N}_R.$$

Deficitmidlen kan således beregnes på enkel vis ud fra referencestationens kendte deficitmiddel  $\bar{D}_R$ , de målte 5 års-værdier  $A_R$  og  $A_S$  samt  $\bar{N}_S$  og  $\bar{N}_R$  som bestemmes ud fra kort over normalisohyeter.

Der kan fremføres adskillige indvindinger mod denne summariske fremgangsmåde, men benytter man resultaterne med skønsomhed og kun som en orientering om hvor der forekommer særlig store eller små deficitværdier, vil den være forsvarlig.

På denne måde er der tillagt adskillige nyere målestationer et foreløbigt deficit, således at disse stationer har kunnet indgå sammen med stationer med længere observationsserier og sædvanligt bestemt deficitmiddel.

Man ser af kortet bl.a. følgende hovedtræk:

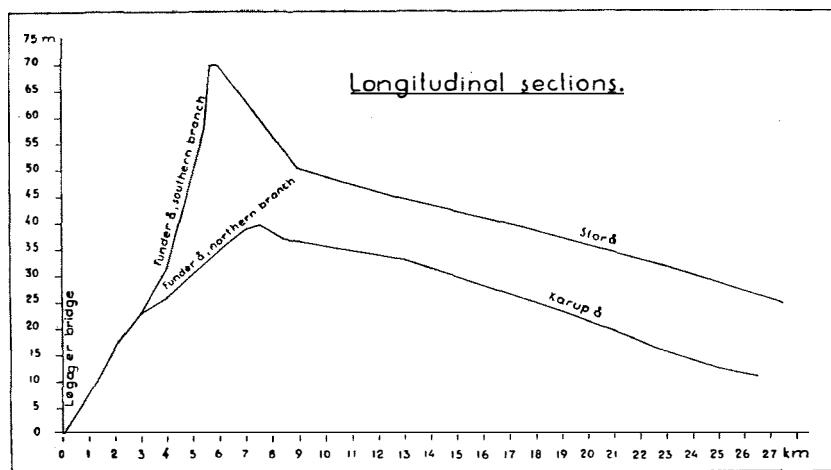
1. De fleste store målestationer med stort opland ( $> 200 \text{ km}^2$ ) og adskillige med mindre opland er neutrale.
2. Plus- og minusområderne findes især i Midtjylland.
3. Minusområder er desuden overvejende i Sønderjylland.
4. Enkelte minusområder findes i nærheden af Århus.

ad 4: Skyldes virkningerne af grundvandsoppumpning.

ad 2: Der er her tale om overvejende sandede jorde (gælder både + og -). Plusområderne er især oplande til østvendte vandløb, som fører gennem dale, der er skåret dybt ned i terrænet, både set i forhold til vandløbets eget opland og i forhold til de vest for liggende områder, hvor de (vestgående) vandløb ligger kun få meter under terræn. Situationen ses anskueliggjort på figur 3 efter J. M. Lyshede (3).

Nogle minusområder ses i Vestjylland, hvor det nogle steder er et "internt" fænomen, således at forstå, at det bortløbende grundvand ikke krydser et hovedvandskel, men opsamles længere nedstrøms i samme vandløb eller i et større vandløb inden for samme vandløbssystem.

ad 3: Flere store oplande i Sønderjylland er minusområder, hvilket må tilskrives det nord-sydgående hovedvandskels stærkt østlige placering. For enkelte mindre minusområders vedkommende kan der ikke umiddelbart ses nogen anden forklaring end at det er et lignende "internt" fænomen, som nævnt ovenfor under 2.



Figur 3 Længdeprofiler af Funder å og dens nabovandløb Karup å og Storå. Højden er regnet i forhold til Løgager bro

Der er siden 1975 etableret mange nye målestationer, som til sin tid kan give yderligere interessant materiale til belysning af deficitværdiernes størrelse.

Der er imidlertid i de senere år også foretaget en lang række undersøgelser af helt anden art som også i nogen grad kan give oplysninger om plus- og minusområder. Det er de såkaldte synkronmålinger.

Betegnelsen synkronmålinger for disse undersøgelser er valgt fordi målingerne foretages mange steder på samme tid (d v s. samme dag) og derved danner en synkron observationsserie i mod-

sætning til den diakrone serie ved en målestation.

Formålet med synkronmålingerne er at få et stærkt detaljeret kendskab til afstrømningens lokale variationer i en situation, hvor vandføringens eneste komponent er udstrømningen fra grundvandsmagasinerne (bortset fra uundgåelige spildevandstilløb). Målingerne bør derfor udføres efter en nedbørfattig periode og man tilstræber sædvanligvis at udføre målingerne når vandføringen ved de nærmeste målestationer er i nærheden af medianminimum (d v s. 50% fraktilen i årsminimumsværdiernes fordeling).

De umiddelbare resultater af synkronmålingerne er normalt udgangspunkt for en estimering af medianminimum, idet denne karakteristiske afstrømning anvendes en del i den danske vandløbsadministration, især i forbindelse med spørgsmål om vandets kvalitet. Se herom bl.a. (5) og (6). Synkronmålinger blev behandlet i indlæg ved den nordiske hydrologiske konference 1980 af S.A. Nielsen (7).

De fleste undersøgelser af denne art har vist særdeles store lokale variationer i medianminimum. Typisk for resultaterne fra Jylland er, at delområder på 5-10 km<sup>2</sup> med medianminimum under 1 l/s km<sup>2</sup> veksler med områder med medianminimum over 20 l/s km<sup>2</sup>. Også flere sammenhængende delområder på tilsammen 30-40 km<sup>2</sup> kan udvise medianminimumsværdier på 1 l/s km<sup>2</sup>.

Selvom formålet med synkronmålingerne ikke er at få oplysning om afstrømningens årsminimum vil disse undersøgelser i almindelighed give en rettesnor for beliggenheden af plusområder og minusområder.

Det er oftest vanskeligt at afgøre om en lille størrelse af medianminimum skyldes at man har at gøre med et minusområde eller at der er dårlige betingelser for magasinering i grundvandet.

Når der derimod for et område findes en medianminimum som er større

end de nærliggende målestationers årsmiddel (eventuelt korrigeret for lokale forskelle i nedbør) er der ingen tvivl om at der foreligger et plusområde, men også i dette tilfælde kan årsmiddel ikke bestemmes alene ud fra synkronmålingerne.

Forekomsten af et udpræget plusområde kendetegnet ved meget høj medianminimum - der er fundet værdier på 50 l/s km<sup>2</sup> eller mere - gør det naturligvis sandsynligt at tilstødende områder med lille medianminimum må være minusområder, men helt sikker kan man ikke være.

Ud fra synpunktet plus- og minusområder er hovedindtrykket af synkronmålingernes resultater at det forekommer sandsynligt at der næsten alle steder i Jylland kunne findes en stadig vekslende mellem udprægede plus- og minusområder.

Man må forvente at sammenhængende plusområder gennemgående er små, sammenhængende minusområder gennemgående noget større end plusområderne.

Man må desuden forvente at større områder (vurderet efter afstrømningens middel over området) er neutrale eller kun lidet afvigende herfra, i det meste af Jylland. Men som resultaterne fra de diakrone måleserier viser: Der kan i nærheden af isens hovedopholdslinie (under sidste istid) forventes store afvigelser fra det neutrale selv når man betragter arealmiddel af større områder, figur 4. Det står derfor fast at det i Danmark er vanskeligt at udføre en detaljeret regionalisering og derigennem få et overblik over afstrømningens geografiske variationer.

Kort over afstrømningen fremstillet ved isohydater for årsmiddel vil det ligeledes være vanskeligt - måske illusorisk - at søge fremstillet. For at bøde herpå har forfatteren tidligere publiceret et kort over hvad der blev benævnt "idealafstrømningen" (8). Kortet skal ikke gengives her, da det for så vidt er nær ved en trivialitet. Det viste den årsmiddelafstrømning der måtte antages at være, hvis deficit overalt antog de tidligere nævnte standard-



Figur 4 Skraveringen viser den zone omkring isens hovedopholdslinie under sidste istid, hvor afstrømningen har meget store lokale variationer

værdier. Kortet kunne derfor fremstilles let ud fra normalisohyetkort, blot ved at erstatte de tal ved isohyeterne med tal der - for Jyllands vedkommende - var 350 mm lavere.

Et sådant kort kan læseren selv tænke sig. Det er på den ene side lidet realistisk lokalt, ja selv for efter danske forhold store områder, men det har en vis interesse ved at vise en ganske stor variation i den såkaldte idealafstrømning - inden for Jylland fra ca. 200 mm/år op til ca. 450 mm/år - for Øerne mellem ca. 50 mm/år og ca. 300 mm/år - og dette er dog om ikke andet af den betydning at vandressourcerne i videste forstand er ganske ujævnt fordelt.

Selvom det fortsat må betragtes som en nærmest umulig opgave at fremstille isohydatkort over årsmiddel kan man forestille sig at der ved en samlende behandling af resultater fra synkronmålingerne efterhånden kunne fremstilles et kort over hele landet visende afstrømningens medianminimum. Detailkort indgår i rapportererne over de enkelte måleserier, jf. (7), men dels er endnu ikke hele landet dækket af sådanne undersøgelser, dels bør der formentlig til et landsdækkende kort ske en vis sammenfatning af delområderne, som ved undersøgelserne er af størrelsesorden  $10 \text{ km}^2$ , hvilket giver for stor detailrigdom til et overblik over større områder.

## REFERENCER

- 1 Melin, Ragnar: Hydrologi i Norden,  
Stockholm 1970
  
- 2 Gottschalk, Lars et al: Hydrologic Regions in the Nordic  
Countries. Nordic Hydrology 10,  
1979, p. 273-286
  
- 3 Lyshede, J.M.: Hydrologic Studies of Danish Water-  
courses,  
København 1955  
(Meddelelser fra Det danske Hedeselskabs  
kulturtekniske afdelings hydrometriske  
undersøgelser: Folia Geographica Danica.  
TOM VI)
  
- 4 Jensen, J. Lundager: Kort orientering om Danmarks hydrologi,  
i: Beretning om 3. nordiske hydrolog-  
konference i Viborg 21. - 25. august 1961
  
- 5 Beretning om Det danske Hedeselskabs kultur-  
tekniske afdelings hydrometriske under-  
søgelser 1950-55, 8. Beretning, 1960
  
- 6 Jensen, J. Lundager: Afstrømningens medianminimum  
Vand 4, 1973, p. 2-11
  
- 7 Nielsen, Steen Asger: Mapping of median minimum discharges  
in stream systems by means of synchronous  
flow measurements, 6:e Nordiska Hydrolog-  
iska Konferensen i Vemdalen 1980,  
Del II, p. 151-160
  
- 8 Jensen, J. Lundager: Vandet i naturen, i: Danmarks Natur bd. 5,  
København 1969
  
- 9 Det danske Hedeselskab: Afstrømningsmålinger i Danmark 1917-70,  
10. Beretning. Hydrometriske Undersøgelser,  
Slagelse







SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUTET  
Folkborgsvägen 1, Box 923, 601 19 Norrköping. Telefon 011-108000.