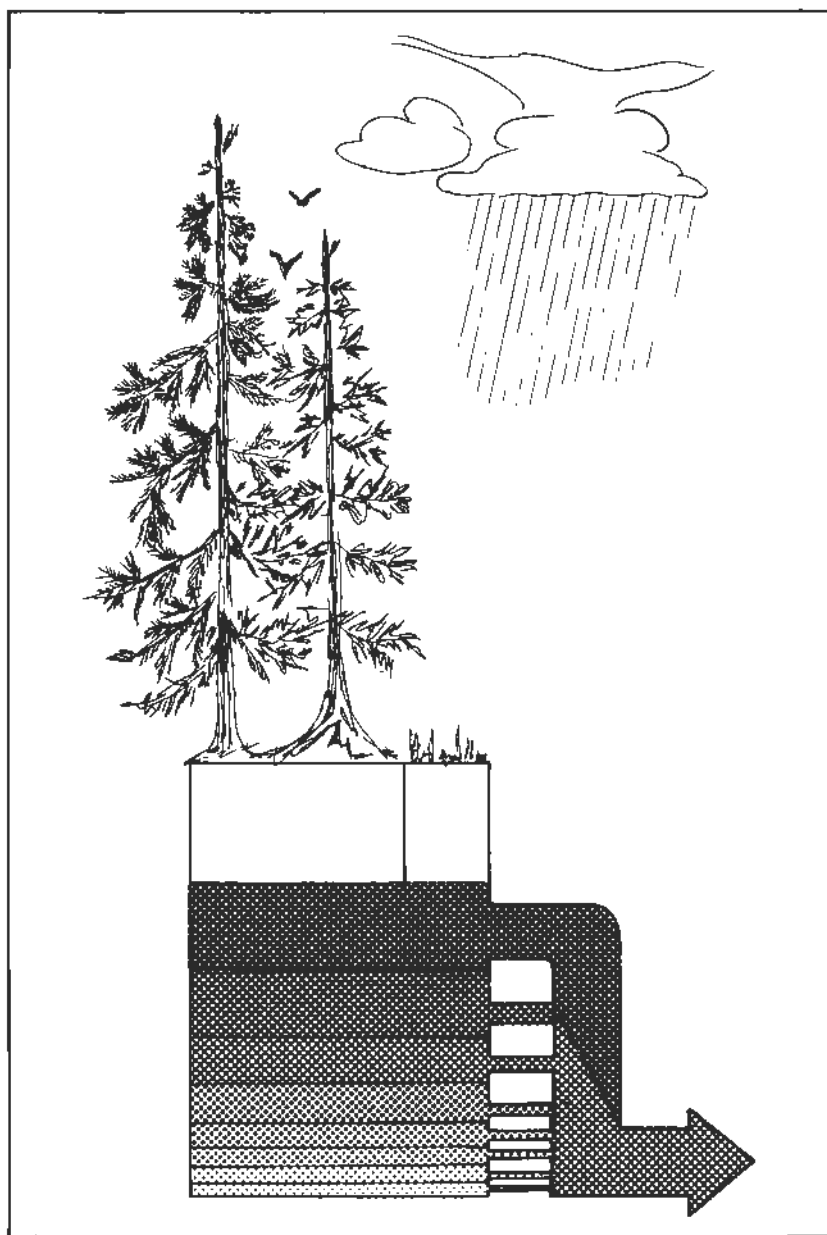




PULS—modellen Struktur och tillämpningar

Bengt Carlsson

Sten Bergström

Maja Brandt

Göran Lindström



PULS—modellen Struktur och tillämpningar

Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt
och Göran Lindström

INNEHÅLL

Sida

FÖRORD

1. INLEDNING	1
2. MODELLBESKRIVNING	3
<u>Vattenbalansdel</u>	4
<u>Indata</u>	6
<u>Snörutin</u>	6
<u>Omättade zonen</u>	7
<u>Mättade zonen</u>	9
<u>Sjörutin</u>	10
<u>Modellparametrar, vattenbalans</u>	11
<u>Hydrokemi (alkalinitet, pH</u>	12
<u>Modellparametrar, hydrokemi</u>	18
3. TILLÄMPNINGAR AV PULSMODELLEN	18
<u>Kassjöån</u>	18
<u>Velen</u>	24
<u>Tjurken</u>	27
<u>Kullarna</u>	29
<u>Kalkning i Fylleån</u>	33
<u>Bersbo</u>	35
4. LÅNGA SERIER	38
<u>IHD-FFO-data</u>	39
<u>Sedimenttransportnätet</u>	45
5. SAMMANFATTANDE SYNPUNKTER	47
6. REFERENSER	48

FÖRORD

Under de senaste årtiondena har försurningen i Sverige tagit sig alltmer drastiska uttryck, bl a i form av skador på mark och vatten. Inom den försurningsforskning, som i dag bedrivs i Sverige, utgör hydrologin en viktig och naturlig del. Sedan 1982, då en sektion för hydrologisk och oceanografisk forskning (Hof) bildades på SMHI, har en växande del av vår forskning varit riktad mot försurningsfrågor.

Vår forskning har möjliggjorts genom hjälp och forskningsbidrag från NFR, SNV, Per Eckerbergs fond i Östergötland (Stubbetorp), Halmstads kommun (Fylleån), Åtvidabergs kommun (Bersbo) samt interna SMHI-medel.

Samarbete har skett med forskare på flera institutioner och universitet. Lena Maxe, KTH, har deltagit vid utformningen av PULS-modellens hydrokemiska del. Kaj Rosén, SLU i Umeå, har ställt material till förfogande och deltagit vid analysen av simuleringarna från Kullarna. Per Sandén och Stefan Karlsson, Vattentema i Linköping, har varit samarbetspartners i Bersbo-projektet. Göran Sandberg har under sin tid vid SMHI utfört huvuddelen av programmeringsarbetet. Dessutom har forskarkollegor vid nämnda och flera andra institutioner bidragit med givande diskussioner. Gun Grahn, SMHI, har hjälpt till vid uppläggning av de dataserier, som använts. De kemiska analyserna har utförts vid SMHIs analyslaboratorium av Tomas Flemmer och Annika Palenbring. Utskriften av rapporten har gjorts av Vera Kuylenstierna.

Norrköping i februari 1987


Bengt Carlsson


Maja Brandt


Sten Bergström


Göran Lindström

PULS-MODELLEN - STRUKTUR OCH TILLÄMPNINGAR

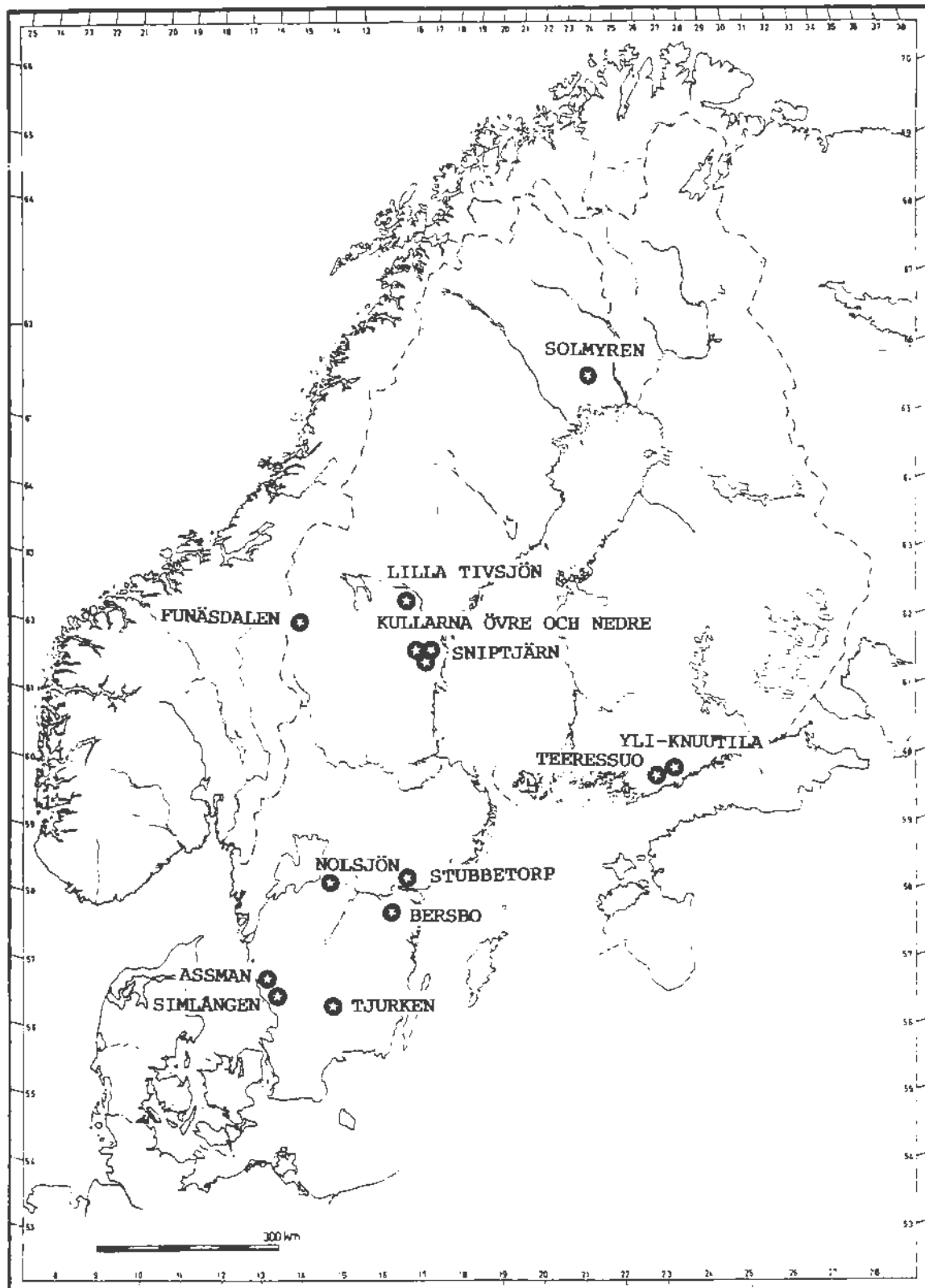
1. INLEDNING

1982 inleddes ett forskningsprojekt vid SMHI, som syftar till modellering av hydrokemiska förhållanden i ett vattendrag. Huvudvikten lades vid de naturliga flödesbetingade kortvariga variationerna i alkalinitet och pH. Utgångspunkten i arbetet var HBV-modellen (Bergström, 1976) samt dess vidareutveckling för grundvattensimulering (Bergström och Sandberg, 1983).

Under de följande åren utvecklades den modell, som fått namnet PULS. Namnet kommer av att varje puls av regn eller snösmältning kan följas individuellt vid transporten genom marken. Filosofin bakom modellen och dess funktion finns beskriven av Bergström m fl (1985). Avsikten med denna rapport är att ge en fördjupad inblick i PULS-modellen och dess tillämpningar.

Modellen har hittills tillämpats för simulering av pH och alkalinitet i 14 områden, varav 12 i Sverige och 2 i Finland (tabell 1.1 och figur 1.1).

Denna rapport omfattar dels en beskrivning av modellen, dels exempel på tillämpningar i ovan nämnda områden. Eftersom tillämpningarna sträcker sig över flera år, har för de äldsta fallen ej exakt samma modellstruktur som den här beskrivna använts. Avslutningsvis visas exempel på hur man ur simulering av långa serier preliminärt kan bedöma eventuella försurningstrender.



Figur 1.1. Områden, i vilka PULS-modellen tillämpats för simulering av alkalinitet och pH i naturliga vattendrag.

Texten består till stor del av mer eller mindre omarbetad text från de rapporter, som anges under varje rubrik. Eventuella referenser bör i första hand ange dessa som källa. Ny-skriven text finns främst i kapitlet om modellstrukturen samt den tidigare ej publicerade beskrivningen av de långa serier-na.

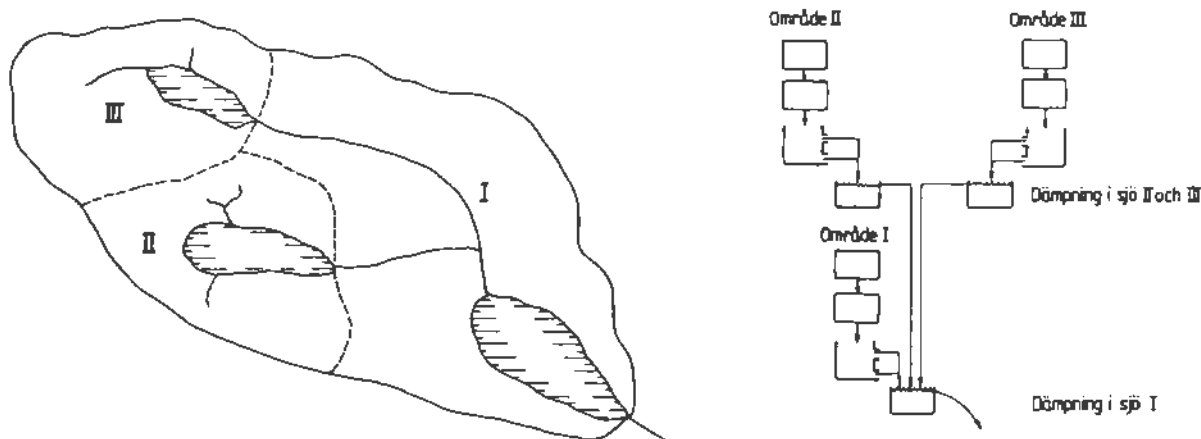
Tabell 1.1. Områden, där PULS-modellen tillämpats för simulering av alkalinitet och pH i naturliga vattendrag.

OMRÅDE	AVRINNINGSOMRÅDETS STORLEK (km ²)
Solmyren i Norrbotten	27.5
Lilla Tivsjön i Jämtland	12.7
Funäsdalen i Härjedalen	350
Sniptjärn, Kullarna övre och nedre i Hälsingland	0.4, 0.5 resp. 2.0
Nolsjön i Västergötland	18.2
Stubbetorp i Östergötland	0.9
Bersbo i Östergötland (3 områden)	0.32 0.87 resp. 0.08
Simlången och Assman i Halland (2 områden)	126 resp. 55
Tjurken i Småland	33
Teeressuo och Yli-Knuutila utanför Helsingfors i Finland	0.7 resp. 0.07

2. MODELLBESKRIVNING

Den beskrivning, som görs här, gäller den version av PULS-modellen, som används för närvarande (februari 1987).

Vid såväl avrinnings- som vid hydrokemisk simulering kan ett område delas upp i upp till sex delområden (se figur 2.1). Delområden väljes lämpligen så, att varje större sjös utlopp får bli slutpunkten för ett delområde. Därmed kan sjöarnas dämpande effekt på vattenföring och hydrokemi beskrivas bättre, och processerna i sjöarna beskrivas separat. Ett exempel med tre delområden visas i figur 2.1.

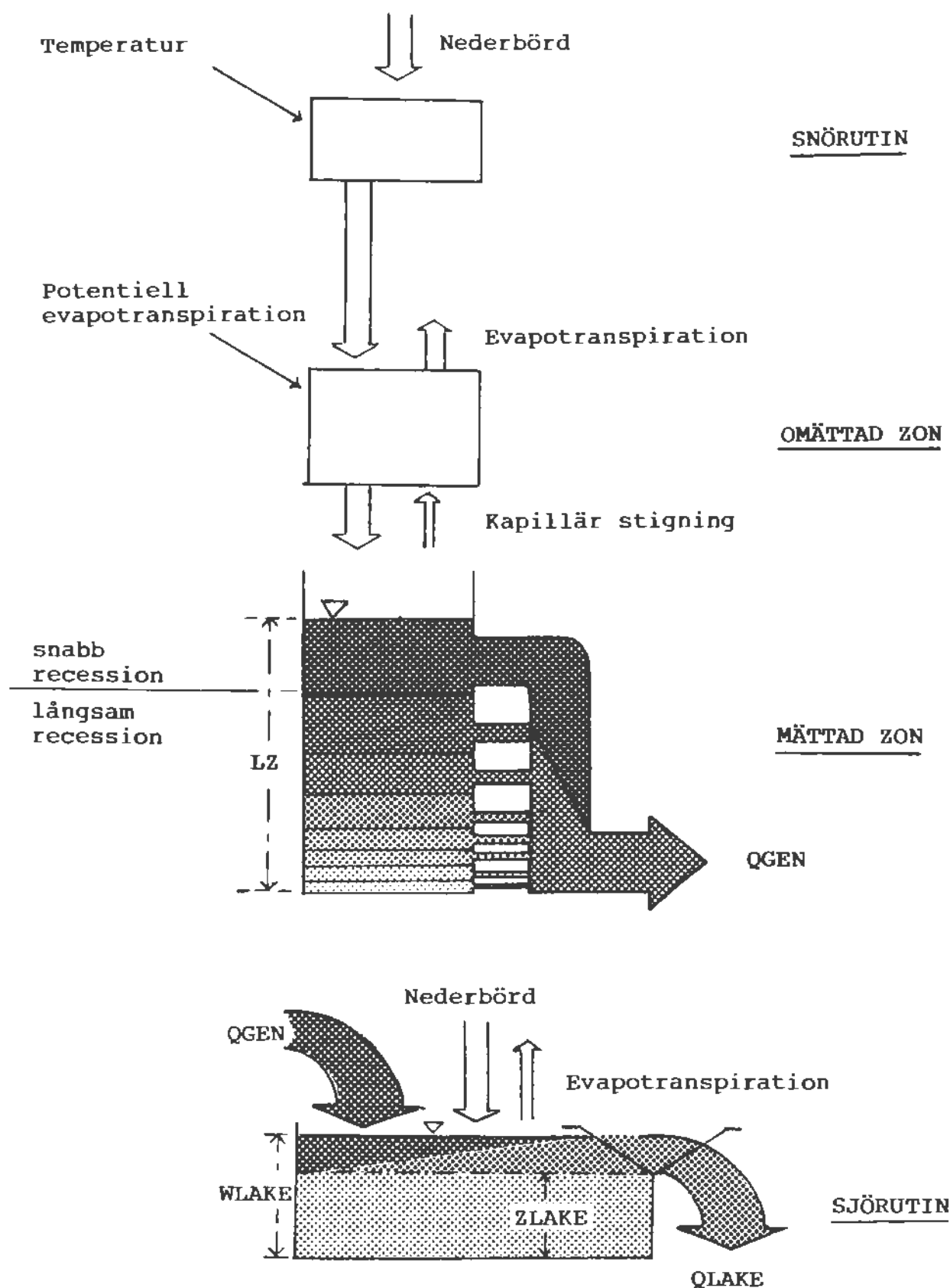


Figur 2.1. Schematisk skiss över områdesuppdelning och dämpning i sjöar.

Avrinningen från hela området sker via delområde 1. Varje delområde ges en uppsättning karaktäriserande parametrar, beroende på geologi, markanvändning, höjd över havet, sjöprocent m m. De delas i sin tur in i öppen mark, skog och sjö, beroende på olika snabb snöackumulation och snösmältning. Sammankopplingen av delområden kan göras valfritt.

Vattenbalansdel

Översiktligt fungerar modellen så som framgår av figur 2.2.



Figur 2.2. Vattenbalansen i PULS-modellen. Figuren visar ett exempel med ändring av recessionen i den mättade zonen på endast en nivå. Avrinning sker då enligt ekvation 2.6.3. Upp till tre nivåer kan ansättas enligt figur vid ekvation 2.6.

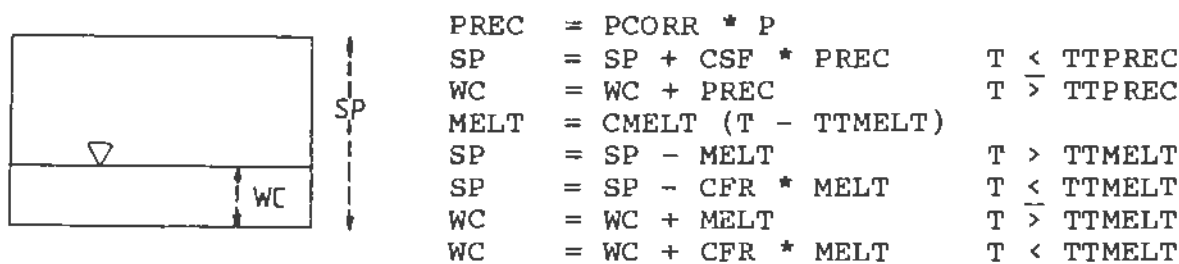
Indata

Indata till den hydrologiska delen utgörs av dygnsvärden på nederbörd, dygnsmedelvärden på lufttemperatur samt månadsvärden på den potentiella evapotranspirationen (se t ex Wallén, 1966, och Eriksson, 1981).

Temperatur- och nederbördsdata måste ofta höjdkorrigeras. Normalt sätts parametern för temperaturkorrektur, TCALT, till $-0.6^{\circ}/100$ m. Parametern för nederbördskorrektur, PCALT, varierar mellan 10 och 20 %/100 m. Upp till 10 stationer för vardera temperatur och nederbörd kan användas. Stationer och parametrar kan bytas under pågående beräkning. Korrekturen för nederbördsmätarnas aerodynamiska egenskaper, placering i terrängen o s v kan göras för snö och regn (PCORR) och för snö separat (CSF).

Snörutin

I snörutinen avgörs via en tröskeltemperatur, TTPREC ($^{\circ}\text{C}$), om nederbörden ackumuleras som snö eller anses falla som regn. Ytterligare en tröskeltemperatur, TTMELT ($^{\circ}\text{C}$), avgör när smältning skall ske. Smältningen beräknas enligt graddag-metoden. Då snöns vattenhållande förmåga, SP * CWH, uppnått, avrinner ytterligare tillkommande smältvatten och infiltrerar i marken (figur 2.3). Återfrysning av fritt vatten sker, om temperaturen understiger TTMELT. CWH ligger normalt på 0.1, d v s 10 % av snöns vattenekvivalent.



Figur 2.3. Beräkningar i snörutinen.

SP = snötjocklek (mm),
 WC = snöns innehåll av smält vatten (mm),
 P = mätt och höjdkorrigerad nederbörd (mm/dygn),
 PREC = korrigerad nederbörd (mm/dygn),
 CMELT = graddagfaktor (mm/°C * dygn),
 MELT = smältning per dygn (mm/dygn) (obs. att MELT är negativt om $T < T_{MELT}$),
 CFR = återfrysningskoefficient, normalt 0.05,
 T = dygnsmedeltemperaturen (°C),
 TTMELT = tröskeltemperatur för smältning (°C),
 TTPREC = tröskeltemperatur regn/snö (°C).

Omättade zonen

Beräkningen av markfuktigheten baseras på tre empiriska parametrar: β , LP (mm), och FC (mm). På grund av olinearitet (figur 2.4 a) utförs beräkningarna mm för mm. För varje mm nederbörd/smösmältning, ΔP , sker en ökning av markfuktigheten, ΔSM (mm), ekv. (2.1) och ett tillskott till den mättade zonen, ΔLZ (mm), ekv. (2.2).

β bestämmer krökningen på kurvan i figur 2.4 a. En ökning av β innebär en minskning av bidraget till den mättade zonen.

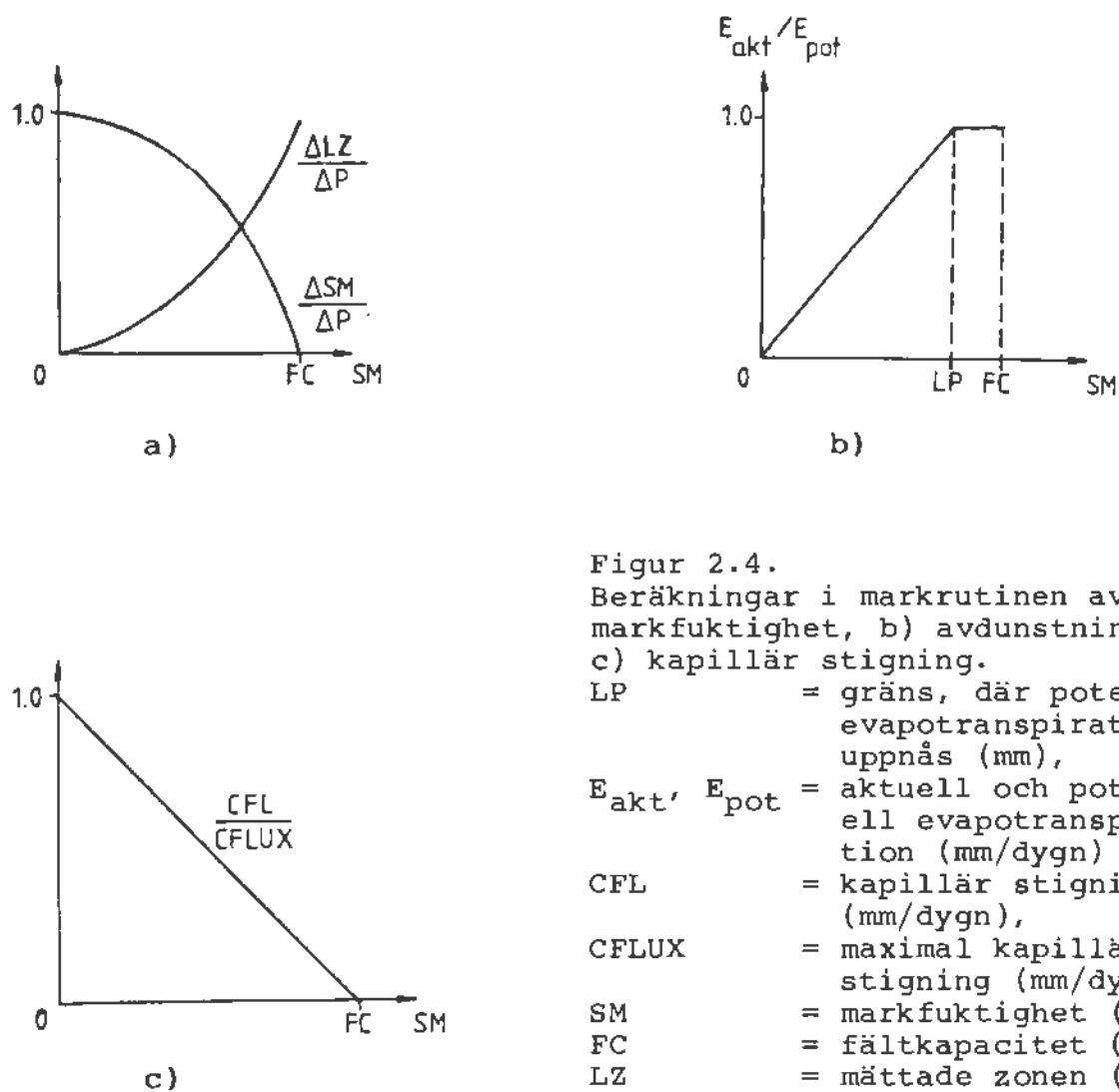
$$\frac{\Delta SM}{\Delta P} = 1 - \left(\frac{SM}{FC}\right)^\beta \quad (2.1)$$

$$\frac{\Delta LZ}{\Delta P} = \left(\frac{SM}{FC}\right)^\beta \quad (2.2)$$

Avdunstningen beräknas dygnsvis enligt figur 2.4 b. LP är det värde på markfuktigheten, över vilket avdunstningen är potentiell.

$$E_{akt} = E_{pot} * \frac{SM}{LP} \text{ om } SM < LP \quad (2.3)$$

$$E_{akt} = E_{pot} \quad \text{om } SM \geq LP \quad (2.4)$$



Figur 2.4.

Beräkningar i markrutinen av a) markfuktighet, b) avdunstning och c) kapillär stigning.

LP = gräns, där potentiell evapotranspiration uppnås (mm),

E_{akt} , E_{pot} = aktuell och potentiell evapotranspiration (mm/dygn)

CFL = kapillär stigning (mm/dygn),

CFLUX = maximal kapillär stigning (mm/dygn),

SM = markfuktighet (mm),

FC = fältkapacitet (mm),

LZ = mättade zonen (mm),

P = nederbörd/snösmältning (mm).

Om förhållandet LP/FC ökas, sker en ökning av bidraget till avrinning genom att evapotranspirationen avtar.

Genom kapillär stigning CFL kan med parametern CFLUX markfuktigheten ökas med tillskott från den mättade zonen enligt figur 2.4 c och ekvation 2.5.

$$CFL = CFLUX \left(1 - \frac{SM}{FC}\right) \quad (2.5)$$

Mättade zonen

Den mättade zons uppbyggnad framgår av figur 2.2. Magasinet får varje dag en ny nivå LZ genom tillskott (= en puls) från markrutinen samt tömning genom kapillär stigning och utflöde via QGEN. Observera att tillskott från markrutinen bara sker under dagar med snösmältning eller regn. Genom att välja värden på K_0 , K_1 , K_2 , K_3 och DZL, LZL och UZL (ekv. 2.6) kan man vid kalibreringen reglera utflödet mellan olika nivåer och även helt stänga vissa. I figur 2.2 visas ett exempel med endast två recessionskoefficienter. Vattnet kommer därmed att rinna av med recessionskoefficienterna K_2 plus K_3 från övre nivån och K_3 från undre. Man kan genom val av K och nivåer erhålla en gradvis ökande dränering vid stigande grundvattennivå, vilket är det vanliga i svenska moränområden (se exempelvis Grip och Rodhe, 1985). QGEN (mm/dygn) beräknas som funktion av nivå LZ enligt ekv. 2.6.

$$\begin{aligned} Q_0 &= (K_0 + K_1 + K_2 + K_3) * \\ &\quad (LZ - DZL - LZL - UZL) \\ Q_1 &= (K_1 + K_2 + K_3) UZL \\ Q_2 &= (K_2 + K_3) LZL \\ Q_3 &= K_3 * DZL \end{aligned} \quad \begin{aligned} & \\ & \text{om } LZ > DZL + LZL + UZL \\ & \\ & \end{aligned} \quad (2.6.1)$$

$$\begin{aligned} Q_0 &= 0 \\ Q_1 &= (K_1 + K_2 + K_3) * \\ &\quad (LZ - DZL - LZL) \\ Q_2 &= (K_2 + K_3) LZL \\ Q_3 &= K_3 * DZL \end{aligned} \quad \begin{aligned} & \\ & \text{om } DZL + LZL < LZ \leq DZL + \\ & \quad LZL + UZL \\ & \end{aligned} \quad (2.6.2)$$

$$\begin{aligned} Q_0 &= 0 \\ Q_1 &= 0 \\ Q_2 &= (K_2 + K_3) (LZ - DZL) \\ Q_3 &= K_3 * DZL \end{aligned} \quad \begin{aligned} & \\ & \text{om } DZL < LZ \leq DZL + LZL \\ & \end{aligned} \quad (2.6.3)$$

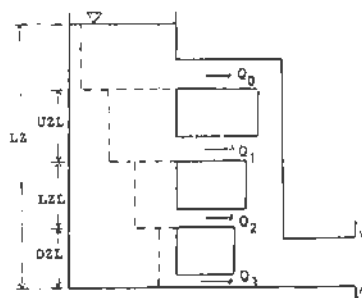
$$\begin{aligned} Q_0 &= 0 \\ Q_1 &= 0 \\ Q_2 &= 0 \\ Q_3 &= K_3 * LZ \end{aligned} \quad \begin{aligned} & \\ & \text{om } 0 \leq LZ \leq DZL \\ & \end{aligned} \quad (2.6.4)$$

$$QGEN = Q_0 + Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2.6.5)$$

K_i (dygn⁻¹)

UZL, LZL, DZL och LZ (mm)

Q_i (mm/dygn).



Med en parameter MAXBAS finns möjlighet att göra en utjämning av den beräknade QGEN enligt en fast s k transformationsfunktion. Den beräknade QGEN kommer då att viktas och spridas på MAXBAS dagar. För detaljer hänvisas till Bergström (1976). Eftersom denna dämpning även kan åstadkommas genom att sjöarnas magasinering har införts i modellen (Bergström m fl, 1985), har transformationsfunktionen fått en allt mindre betydelse.

Sjörutin

Den från den mättade zonen genererade vattenföringen QGEN bildar tillrinning till en sjö. Avdunstningen från sjöytan beräknas som:

$$E_{sjö} = 1.4 * E_{pot} \quad (2.7)$$

där E_{pot} = den potentiella evapotranspirationen.

På grund av olinearitet uppdelas sjöns till- och avrinning i ett antal tidssteg per dygn, vanligtvis 10 - 15 st. Alla beräkningar sker sedan per tidssteg.

Avrinningen beräknas utgående från sjöns avbördningskurva (se även figur 2.2):

$$QLAKE = KLAKE * \left(\frac{WLAKE - ZLAKE}{1000} \right)^{ELAKE} \quad (2.8)$$

där QLAKE = beräknad vattenföring från sjön (m^3/s),
 WLAKE = beräknat vattenstånd i sjön (mm),
 ZLAKE = sjöns tröskelnivå (mm),

$\left. \begin{array}{l} ELAKE \\ KLAKE \end{array} \right\} = \begin{array}{l} \text{avbördningskoefficienter, som finns tillgängliga} \\ \text{för vissa sjöar, i annat fall tas generella} \\ \text{parametervärden.} \end{array}$

Normalvärden vid modelltillämpning: ELAKE = 2.2, KLAKE = 2.0.

Modellparametrar, vattenbalans

Vid kalibrering av vattenbalansdelen sätts följande parametrar.

Snörutin	{	PCORR	= nederbördskorrektion,
		CSF	= snönederbördskorrektion (en för skog och en för öppen mark),
		TTPREC	= gränstemperatur för regn/snö,
		TTMELT	= gränstemperatur för snösmältning,
		CMELT	= graddagfaktor (en för skog och en för öppen mark),

Omättad zon	{	FC	= maximalt markvattenmagasin,
		LP	= gräns för potentiell evapotranspiration,
		β	= avgör kurvans form för regnets bidrag till markfuktighet resp. avrinning, empirisk,

Mättad zon	{	CFLUX	= maximal kapillär stigning,
		K_0, K_1, K_2, K_3	= recessionskoefficienter, K_0 för höga flöden, K_3 för lågvattenföring,
		UZL	= tröskelvärde mellan K_0 och K_1 ,
		LZL	= " " K_1 och K_2 ,
		DZL	= " " K_2 och K_3 ,
		MAXBAS	= antal dagar, som genererad Q dämpas över,

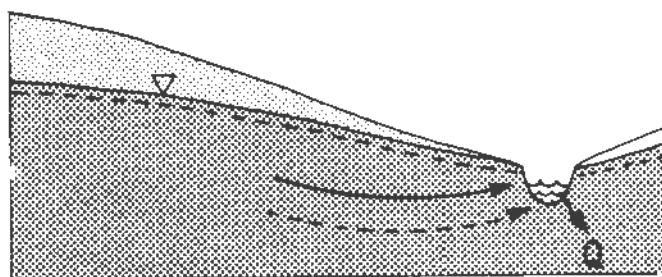
Sjörutin	{	KLAKE	= avbördningskoefficient,
		ELAKE	= " , exponent.

Modellen är olika känslig för olika parametrar. Speciellt känsliga vad beträffar volym och flödestoppar är PCORR, CSF, TTMELT, CMELT och β . Andra parametrar, t ex KLAKE, ELAKE, MAXBAS och CFLUX kan ofta ges normalvärden, som sedan justeras mycket lite. Ofta kan erfarenheter från tidigare

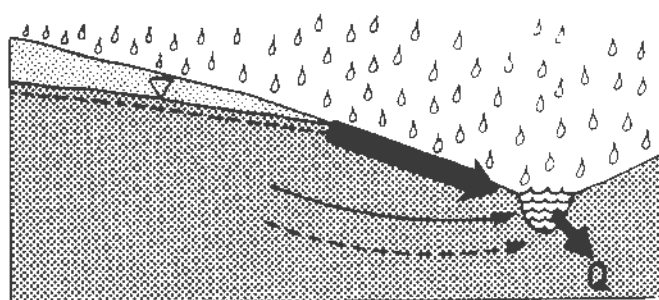
tillämpningar av såväl HBV-modellen som PULS-modellen utnyttjas vid valet av modellparametrar.

Hydrokemi (alkalinitet, pH)

I en markprofil i skog ökar i allmänhet pH-värdet med djupet. Avrinning, som till större delen härstammar från djupare grundvatten, dvs strömmar ut från djupare delar av en akvifer, bör följaktligen ha högre pH än avrinning, som bildats då marken är mera mättad på vatten, t ex vid snösmältning. Vid lågvatten har det avrinnande vattnet också en längre uppehållstid, så att de långsamma vittringsprocesserna har hunnit höja alkaliniteten, jfr fig. 2.5.



Torr period, djupt grundvatten dominerar, högt pH.



Högvatten, ytligt grundvatten dominerar, lågt pH.

Figur 2.5. Principer för avrinning och pH-beräkningar i PULS-modellen.

Då nederbördsvatten dränerar genom markskiktets ytlager, sker stora kemiska förändringar, bl a genom jonbytesprocesser. Det perkolerade vattnet får t ex ofta ett och samma pH oberoende av nederbördens pH.

Nederbördens pH över en sjöyta behandlas i modellen som en titrering av sjövattnet, vilket i praktiken innebär, att pH omräknas till alkalinitet/aciditet och blandning sker på samma sätt som för QGEN.

Filosofin bakom alkalinitets/pH-simuleringarna med PULS är att låta nivån, LZ, i den mättade zonen bestämma alkaliniteten i QGEN. I modellen ingår därför f n inga andra kemiska formler eller jämvikter än de, som ingår i karbonatsystemet.

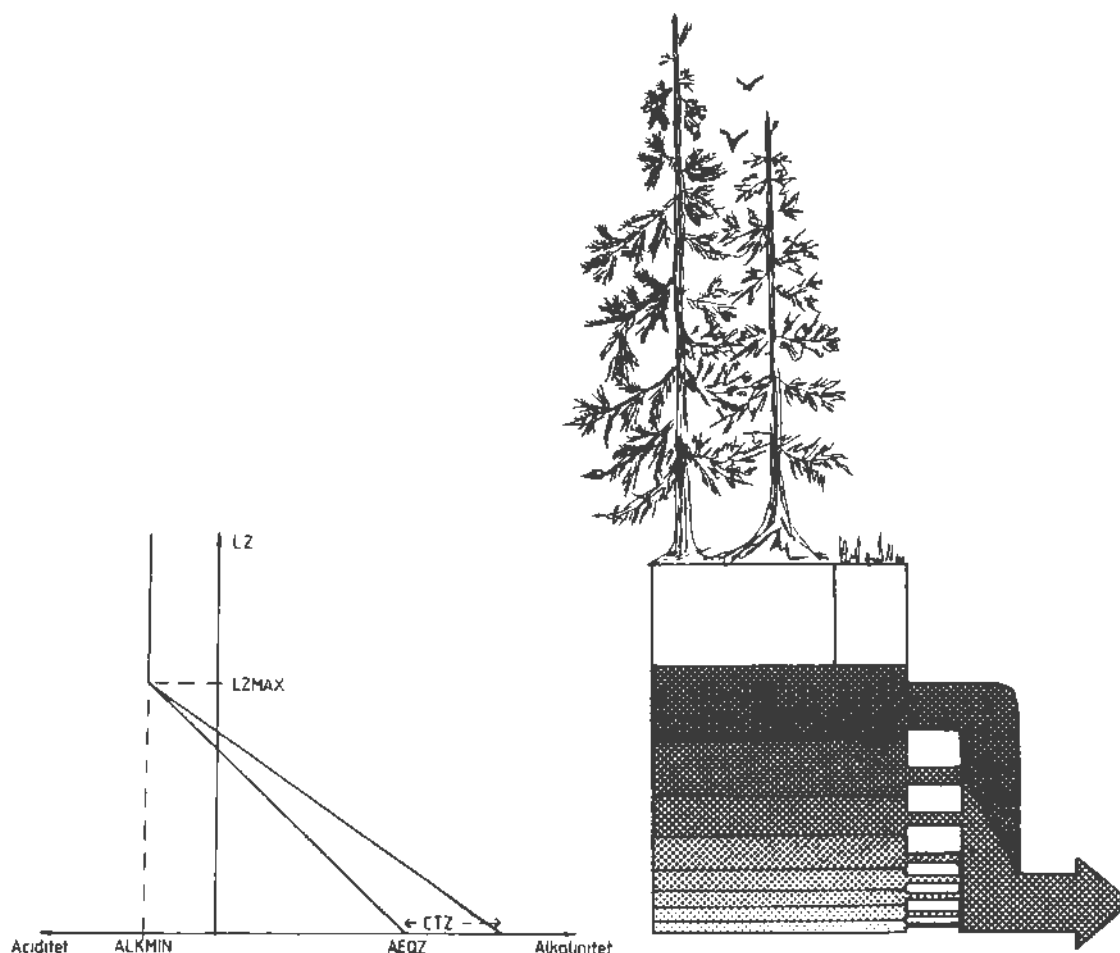
Modellsimuleringar och kalibreringar görs i första hand utgående från alkalinitet/aciditet i stället för från pH. Anledningarna är flera. Vid pH-mätningar mäts endast H^+ -joner i fri lösning. H^+ -joner i förening med andra ämnen, t ex svaga syror, kan troligtvis ej mätas med en vanlig pH-meter.

Eftersom alkaliniteten men således ej H^+ -koncentrationen kan behandlas som en konservativ parameter vid flödet genom systemet, räknas genomgående med alkalinitet. Först i slutsteget görs en omräkning till pH.

De i modellen beräknade variationerna i pH och alkalinitet styrs således nästan enbart av klimatiska orsaker. Men häri ligger också modellens styrka, nämligen att man kopplar ifrån funktionen hos hela det okända kemikomplexet och t ex i slutet av en tillräckligt lång simulering kan studera om avvikelserna mellan simulerade och mätta värden har förändrats (se kapitel 4).

Övergången från LZ till alkalinitet/aciditet sker i varje puls enligt sambandet i figur 2.6.

Vid alla LZ högre än LZMAX ges alkaliniteten ett minimivärde ALKMIN. AEQZ är alkaliniteten vid nära nollvattenföring vintertid och AEQZ + CTZ den maximala alkaliniteten vid nära nollvattenföring sommartid. Säsongsvariationen styrs av den beräknade avdunstningen. Ett motiv till införandet av en säsongsvariation är den variation av CO_2 -halten och därmed

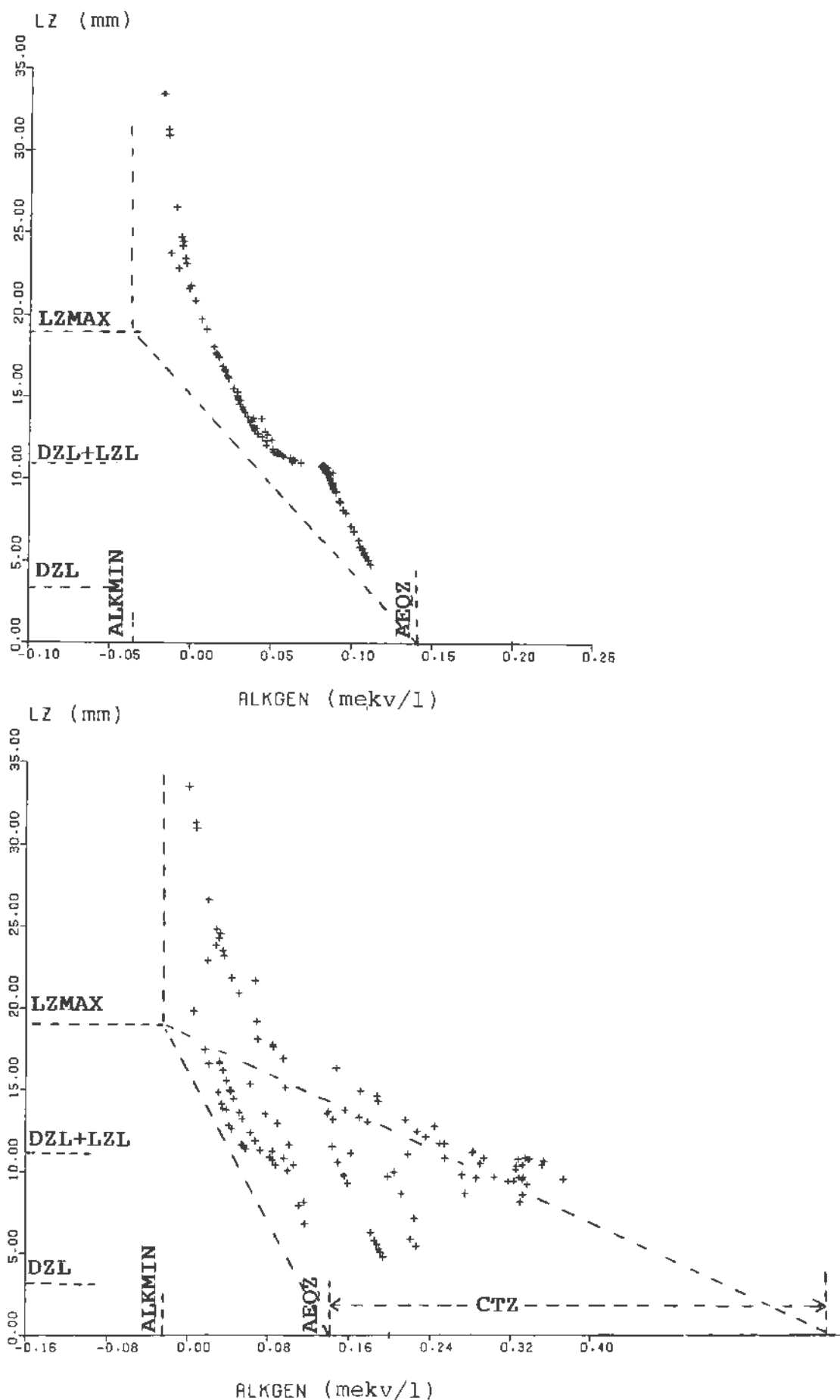


Figur 2.6. Princip för övergången från LZ till alkalinitet.

sammanhängande neutralisationsprocesser, som föreligger i den omättade zonen. Pågående forskning i Stubbetorp-området antyder dock, att säsongberoendet kan förklaras av att blandningsförhållandet mellan djupare och ytligt grundvatten skiljer sig mellan sommar och vinter.

Sambandet mellan alkalinitet och nivå i grundvattenmagasinet är rent empiriskt och måste kalibreras för varje nytt område. Parametern LZMAX är vidare i hög grad beroende av valet av recessionsparametrar.

Alkaliniteten i QGEN, AQGEN, beräknas genom en viktning av bidragen från varje puls. Funktionen hos alkalinitetsparametrarna framgår av plottningar av LZ mot alkalinitet i den genererade avrinningen (figur 2.7). Plottningarna visar för



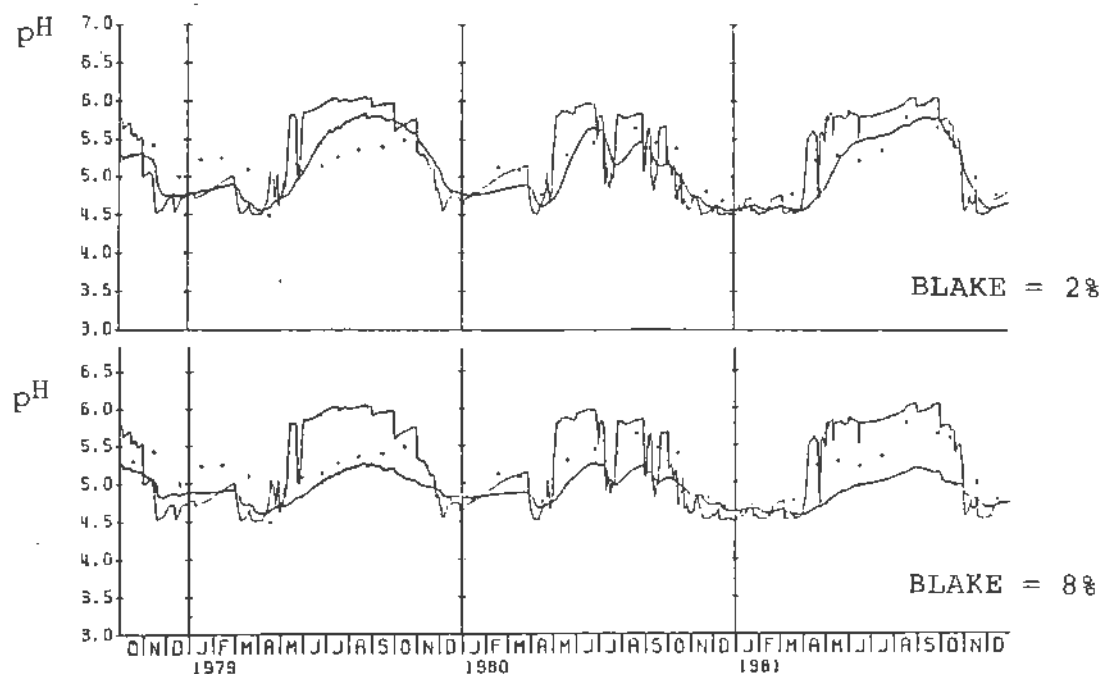
Figur 2.7. Samband mellan LZ och ALKGEN.

Överst utan säsongsb beroende, CTZ = 0, och underst med säsongsb beroende, CTZ = 0.5.

Analysen från Stubbetorp forskningsområde i Kolmården norr om Norrköping, 1983-85.

ett sjölost område vilka alkalinitetsvärden, som erhålls för olika LZ med och utan säsongsvariation på CTZ. Den kraftiga knyck, som uppstår vid $LZ = 11$, beror på den ökning av reces-sionen, som lagts vid denna nivå, vilket gör, att ytligt surt grundvatten snabbt börjar dominera och driver ner alkalini-teten.

Om avrinningen töms i en sjö, sker här en dygnsvis beräknad inblandning i äldre sjövattnen. Hur omfattande blandningen skall vara bestäms generellt av parametern BLAKE (%) som kan varieras månadsvis. BLAKE kan väljas mellan 0 % (= ingen omblandning med sjövattnet) och 100 % (= fullständig omblandning i sjön varje dygn). %-siffran anger den del av sjöns volym ovanför ZLAKE (= WLAKE - ZLAKE), som varje dag skall blandas med sjövolymen under ZLAKE (jfr figur 2.2). En omfattande blandning medför ett utjämnat resultat, såsom framgår av exempel i figur 2.8. (Jämför också avsnitt 3, Lilla Tivssjön.)



Figur 2.8. Effekten av olika omblandning i sjö.
CLAKE konstant = 100 %, BLAKE 2 % och 8 %.
Tunn linje = pH i inflöde till sjön,
tjock linje = pH i utflöde ur sjön.

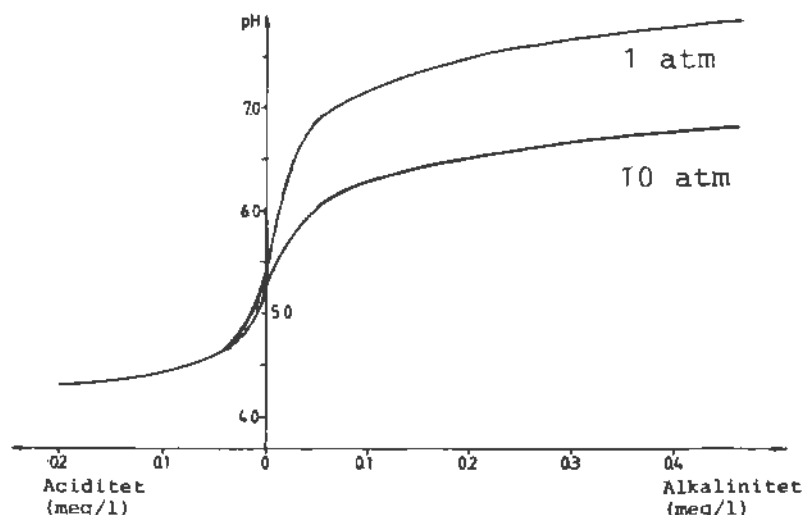
Omräkningen från alkalinitet till pH görs som ett sista steg i beräkningarna. Den syrabuffrande förmågan i de flesta naturliga vatten bestäms nästan helt av alkaliniteten. Bidraget från andra baser än från dem i karbonatsystemet är oftast mycket litet. Alkaliniteten kan definieras:

$$\text{Alk} = [\text{HCO}_3^-] + 2 [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$$

Inom det pH-intervall vi normalt rör oss i är bikarbonatjon-koncentrationen den helt dominerande basen och bestämmande för vattnets alkalinitet.

Bikarbonatjonen verkar buffrande och ger därför en neutraliserande effekt. Alkaliniteten bestäms genom titrering med syra till $\text{pH} = 5.4$, eller om alkaliniteten är negativ, aciditet, genom titrering med bas.

Koldioxidens partialtryck bestämmer koncentrationerna av de i systemet ingående jonerna på olika pH-nivåer och därför också pH - alkalinitetsförhållandet. När grundvattnet kommer i kontakt med atmosfären, sker en sänkning av CO_2 -halten. Detta medför en höjning av pH men påverkar inte alkaliniteten. Övergången från alkalinitet till pH sker i modellen med hjälp av teoretiskt beräknade samband, varav två exempel visas i figur 2.9. Om både alkalinitets- och pH -mätningar finns, väljs det partialtryck på CO_2 , som ger bästa överensstämmelsen i pH . Normalt ligger detta värde på 5 - 10 atm men kan i vissa fall hamna på 30 atm.



Figur 2.9.
Teoretiskt bestämda samband för övergång från alkalinitet till pH vid CO_2 partialtrycken 1 och 10 atm.

Modellparametrar, hydrokemi

För kalibrering av den hydrokemiska delen sätts fyra parametrar (se figur 2.6).

ALKMIN = minimivärde på alkalinitet,
 AEQZ = alkalinitet vid lågvattenföring vintertid,
 CTZ = alkalinitetens maximala säsongberoende vid lågvattenföring sommartid,
 LZMAX = magasinsnivå, över vilken alkaliniteten ej ändras.

Dessutom tillkommer val av koldioxidens partialtryck och inblandning i sjöar, som styrs av parametern BLAKE.

Det hydrokemiska parametervälet är starkt beroende av den hydrologiska parameteruppsättningen. Ändras den senare, innebär det ofta, att de hydrokemiska parametrarna måste justeras.

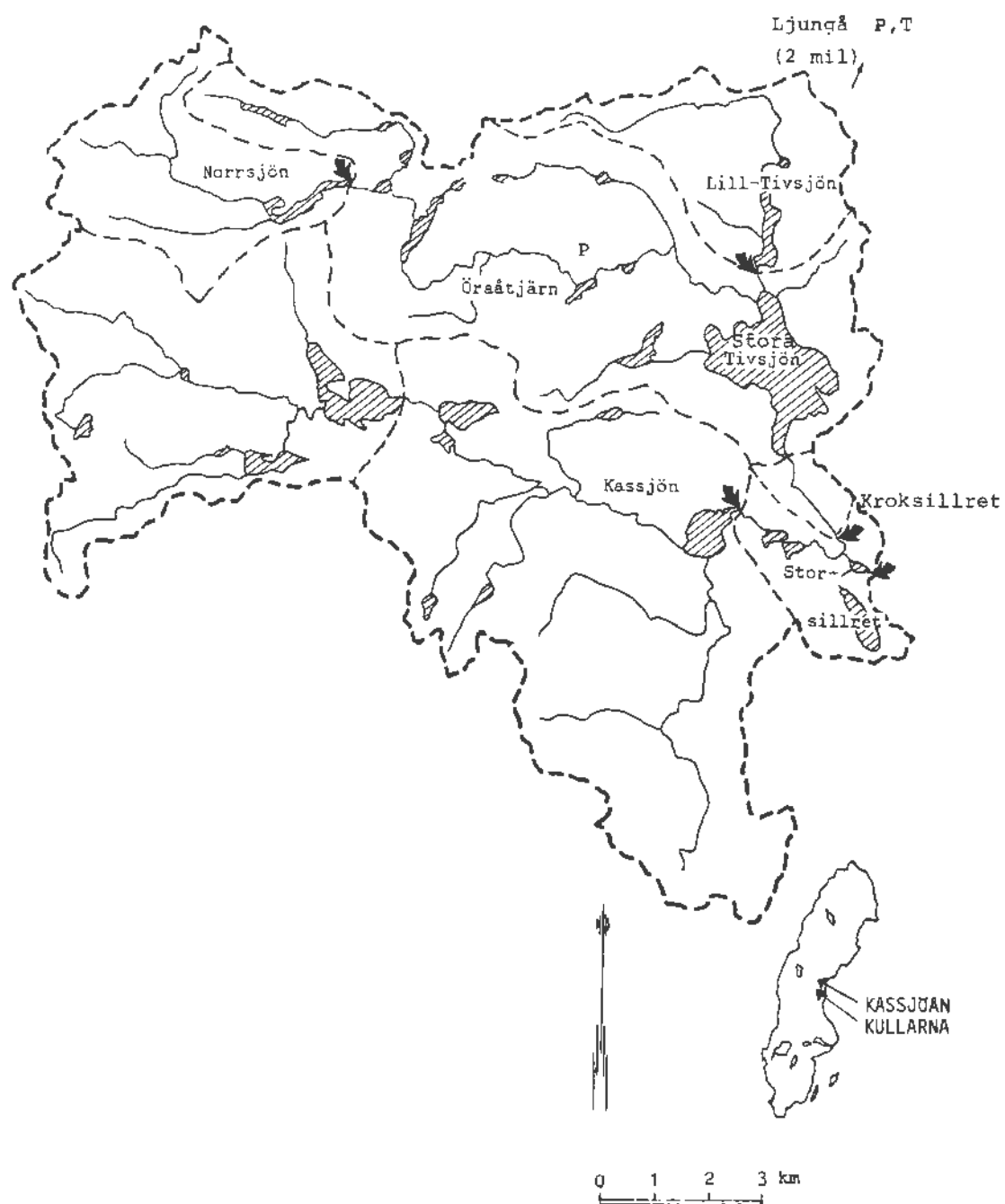
3. TILLÄMPNINGAR AV PULS-MODELLEN

Som exempel på PULS-modellens tillämpbarhet i olika områden visas nedan körningar från ett antal av de i inledningen nämnda områdena. Resultaten är tidigare publicerade i de rapporter, som refereras till under varje områdesrubrik.

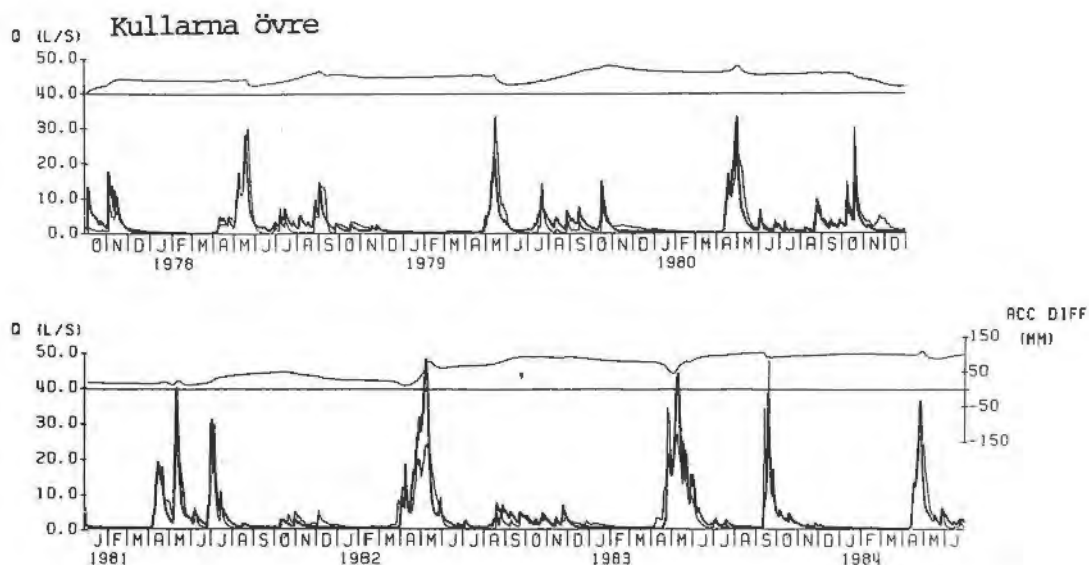
Kassjöån

Referens: Bergström, S., Brandt, M., och Carlsson, B. (1985)

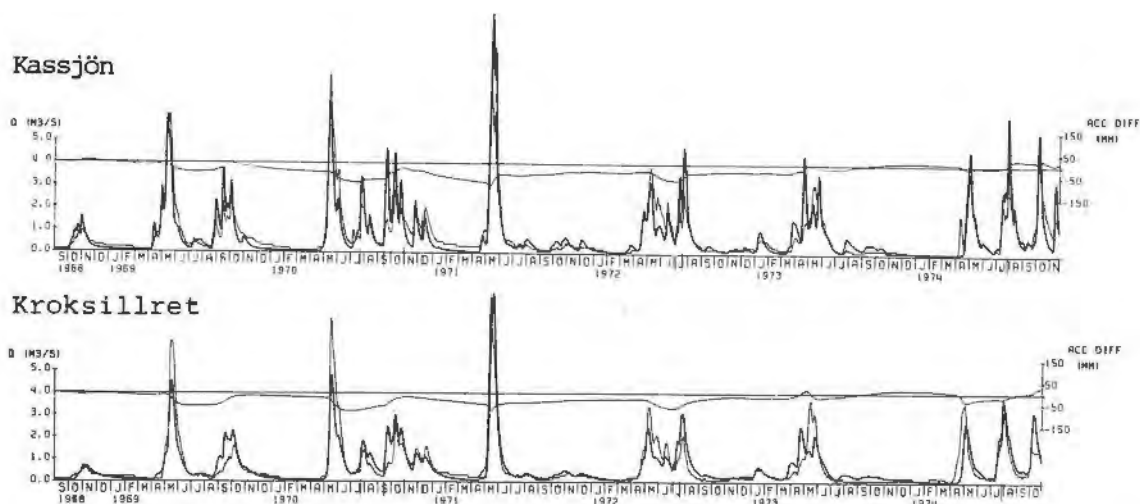
Kassjöån är belägen i Medelpad. Av figur 3.1 framgår delområdesindelning, vattenförings-, nederbörds- och temperaturstationer. Anledningen till simuleringarna i detta område var bl a att vi ville testa en utveckling av PULS-modellen med avbördningsekvationer för sjöar för att få en riktigare dynamik. Modellens parametrar för ett sjölost område hämta



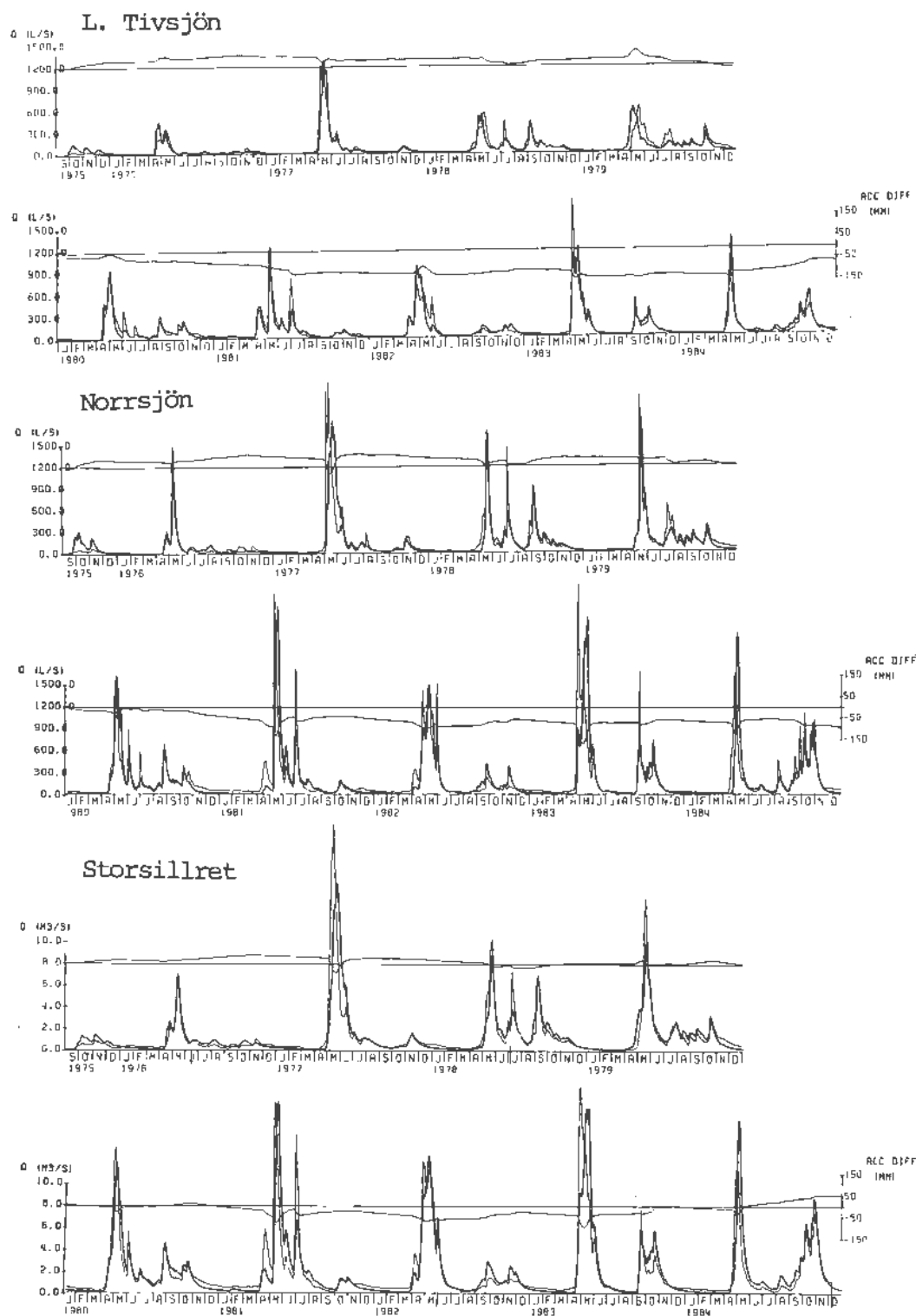
Figur 3.1. Delområdesindelning, vattenförings- (■), nederbörds- (P) och temperaturstationer (T) i Kassjöns område.



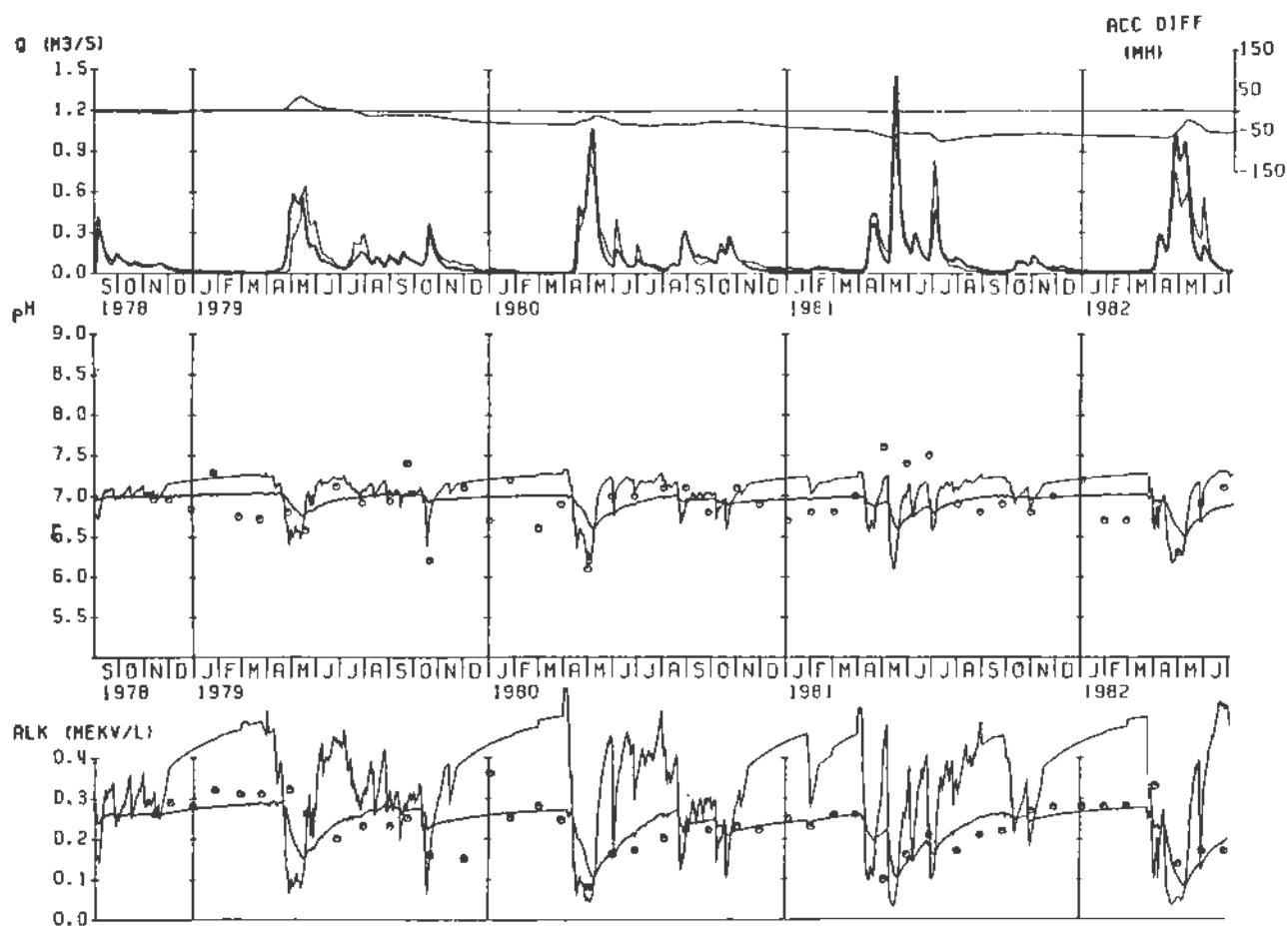
Figur 3.2. Modellsimulering (kalibreringsperiod) av vattenförling från ett sjölost skogsområde i norra Häl-singland (Kullarna övre). Q = vattenförling (tunn linje = uppmätt, tjock linje = simulerad), Acc. diff. = ackumulerad differens mellan simulerad och uppmätt vattenförling.



Figur 3.3. Modellsimulering av vattenförling från delområdena Kaskjön och Kroksillret. Q = vattenförling (tunn linje = uppmätt, tjock linje = simulerad), Acc. diff. = ackumulerad differens mellan simulerad och uppmätt vattenförling.



Figur 3.4. Modellsimulering av vattenföring från delområdena Lilla Tivsjön, Norrsjön, och hela området Storsillret. Q = vattenföring (tunn linje = uppmätt, tjock linje = simulerad), Acc. diff. = ackumulerad differens mellan simulerad och uppmätt vattenföring.



Figur 3.5. Exempel på simulering av avrinning (Q), pH och alkalinitet i Lilla Tivsjöns område.

Tjock linje, Q	= beräknad vattenföring,
tunn " Q	= uppmätt "
tjock " pH och ALK	= beräknad pH och alkalinitet i Lilla Tivsjöns utlopp,
ringar, pH och ALK	= uppmätt pH och alkalinitet i Lilla Tivsjöns utlopp,
tunn linje, pH och ALK	= beräknad pH och alkalinitet i tillrinningen till sjön.

des från det närbelägna skogsområdet Kullarna Övre. Koefficienterna KLAKE och ELAKE (se kapitel 2) togs från de uppmätta avbördningsekvationerna för respektive sjö. För Stora Tivsjön, som saknar ekvation, valdes lämpliga koefficienter ut med hjälp av en genomgång av befintliga avbördningsekvationer vid SMHI.

I figurerna 3.3 och 3.4 återfinns modellsimuleringar och uppmätt vattenföring för de olika områdena i Kassjöån. Genomgående har modellen lyckats väl med att simulera dynamiken i avrinningen. Modellsimuleringarna är alltså blinda körningar utifrån parametrar från ett närliggande sjölost område och från avbördningsekvationens koefficienter och inga regelrätta kalibreringar.

För Lilla Tivsjöns utlopp har även alkalinitets- och pH-simuleringar gjorts. I figur 3.5 visas perioden 1978-82 som exempel på detta.

Som förklarats tidigare, finns i modellen en möjlighet till olika blandningsförfarande i sjön. Detta har utnyttjats vid alk/pH-simuleringen för Lilla Tivsjön. För åskådliggörande av effekten av denna blandning har även tillrinningen till sjön plottats. Man kan t ex notera, att vid högvatten, då vårflod och eventuella höstregn gör sjöns omsättningstid kort, så ligger kurvorna nära varandra, medan vid lågvatten - vintrar och torra somrar - så har tillrinnande vatten till Lilla Tivsjön betydligt högre alkalinitet än avrinnande vatten. Detta senare beror på att avrinningen under lång tid domineras av det föregående högflödesvattnet.

Som framgår av figur 3.5 simulerar modellen alkalinitetsvariationerna ganska väl, medan problem uppstår vid övergången till pH.

Velen

Referenser: Bergström, S., Brandt, M., och Carlsson, B.
(1985)
Bergström, S., Carlsson, B., Sandberg, G., Maxe
L. (1985)

Av figur 3.6 framgår uppdelningen av Velen-området i tre delområden och utnyttjade vattenförings-, nederbörds- och temperaturstationer.

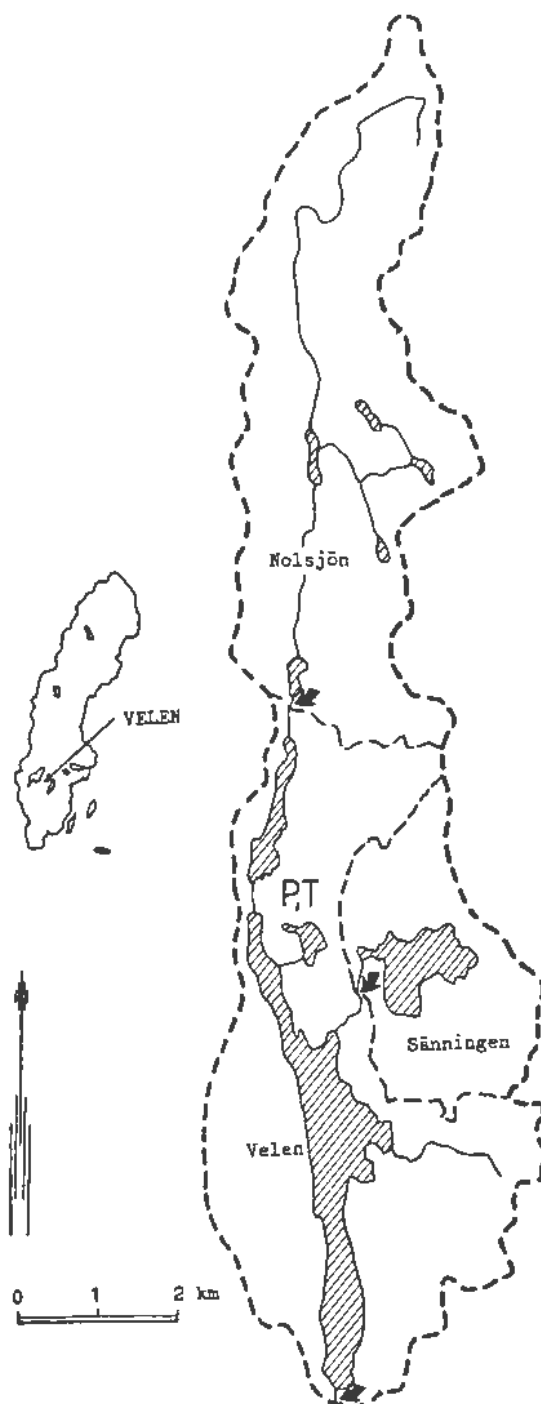
Delområdet Nolsjön med en mycket liten sjö vid utloppet har utnyttjats för kalibrering av den sjölösa delen av modellen. Modellen har sedan körts dels för delområdet Sänningen och dels för hela området med sjöarnas uppmätta avbördningskoefficienter. Samma nederbördskorrektur har använts för alla områden.

I figur 3.7 återfinns modellsimuleringen av avrinningen och uppmätta värden från Sänningen och Velen. Liksom i Kassjöområdet uppvisar simuleringarna av vattenföringen en mycket realistisk dynamik. Volymfelet är också litet, trots att nederbördskorrekturerna är densamma för alla tre områdena.

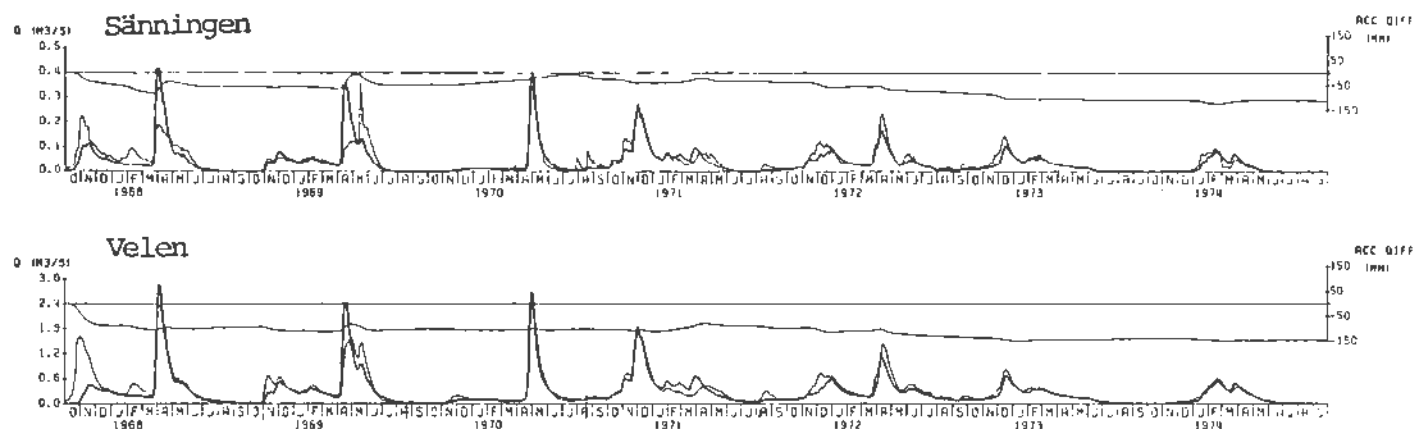
Modellsimuleringarna i Kassjöns område och Velen-området visar, att goda avrinningsuppskattningar från sjöar i skogsområden kan erhållas, där mätningar saknas. De erforderliga snösmältnings-, markfuktighets- och avrinningsparametrarna kan hämtas från redan kalibrerade skogsområden. Skillnaderna i parameteruppsättningar mellan de aktuella områdena - Velen och Kassjöån/Kullarna - är mycket små och ej av avgörande betydelse för resultatet.

Om avbördningskurvan för den efterfrågade sjöns utlopp är känd, utnyttjas dess koefficienter, men känslighetstester visar, att dessa värden har relativt liten betydelse för resultatet. De kan ersättas med standardvärden. Däremot är

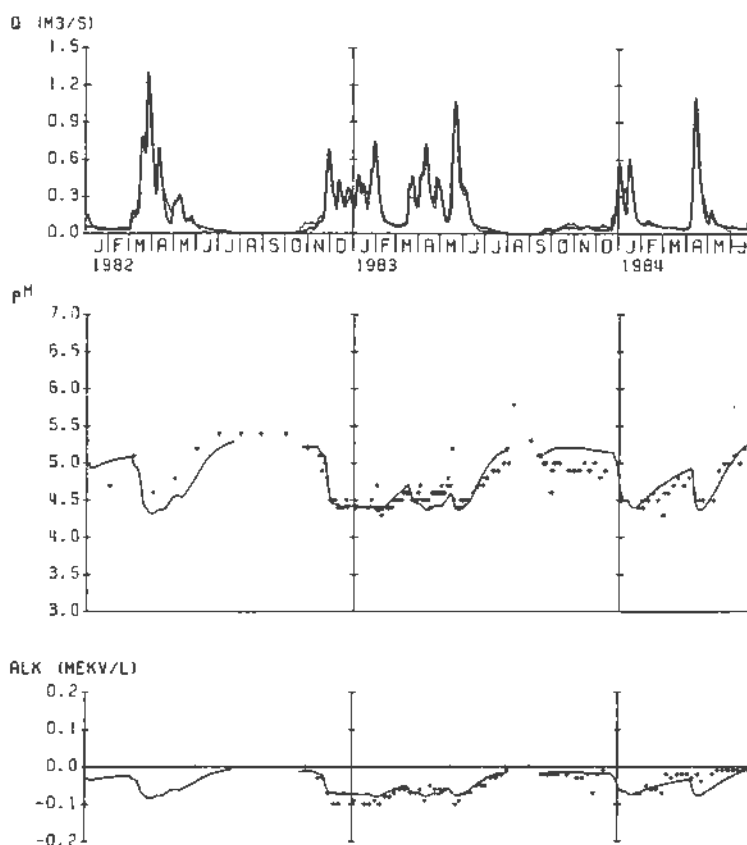
det väsentligt, att avrinningsområdets storlek samt sjöns area är riktigt uppmätta. Om området innehåller flera stora sjöar, bör en ytterligare indelning i delområden göras.



Figur 3.6. Delområdesindelning, vattenförings- (▤), nederbörds- och temperaturstationer (P, T) i Velenområdet.



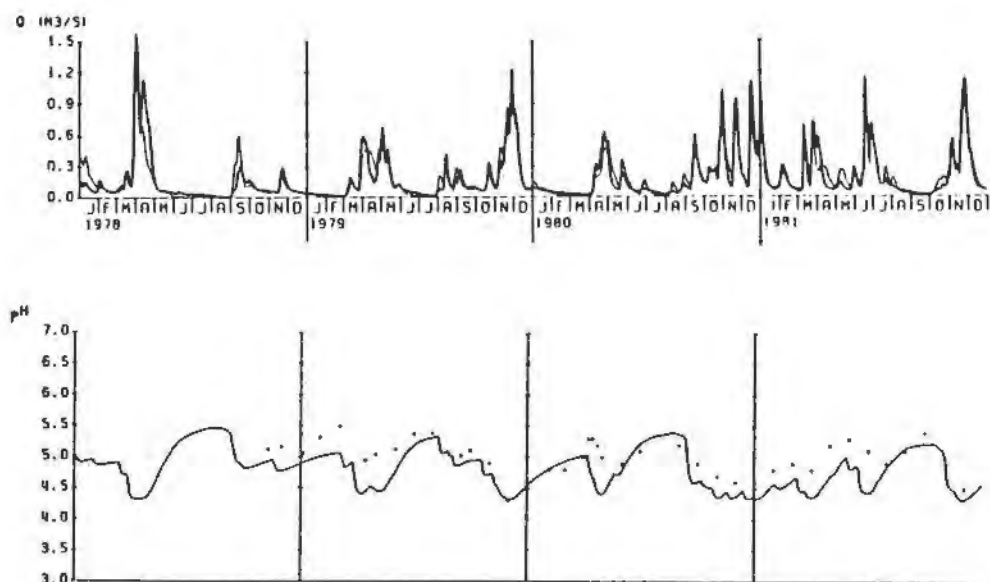
Figur 3.7. Modellsimulering av vattenföring från Sänningen och Velen. Q = vattenföring (tunn linje = uppmätt, tjock linje = simulering), Acc. diff. = ackumulerad differens mellan simulerad och uppmätt vattenföring. Felet i simulerade avrinningen oktober - december 1967 orsakas av felaktigheter i modellens starttillstånd.



Figur 3.8. Simulering av vattenföring (uppdaterad), alkalinitet och pH i Nolsjöns avrinningsområde. Kalibreringsperiod.

Vattenföring: Tunn linje = uppmätt,
tjock linje = simulerad.
pH, alkalinitet: Punkter = uppmätt,
linje = simulerad.

Nolsjön var det första område, i vilket PULS-modellen tillämpades. För att testa modellens hydrokemiska del påbörjade man hösten 1982 mycket täta provtagningar av alkalinitet och pH (minst en gång i veckan). I figur 3.8. visas en kalibreringsperiod, 1982-84, med de tätare mätningarna och i figur 3.9. en oberoende period, 1979-81. Dessa körningar är gjorda med en tidigare modellversion utan blandning i sjön. Vid enstaka tillfällen, då vattenföringssimuleringen gått helt fel, har en uppdatering genom ändring av nederbörd och/eller temperatur gjorts för vissa dagar.



Figur 3.9. Simulering av vattenföring och pH i Nolsjöns avrinningsområde. Oberoende period. (Tunn linje = uppmätt, tjock linje = simulerad vattenföring, punkter = uppmätt pH).

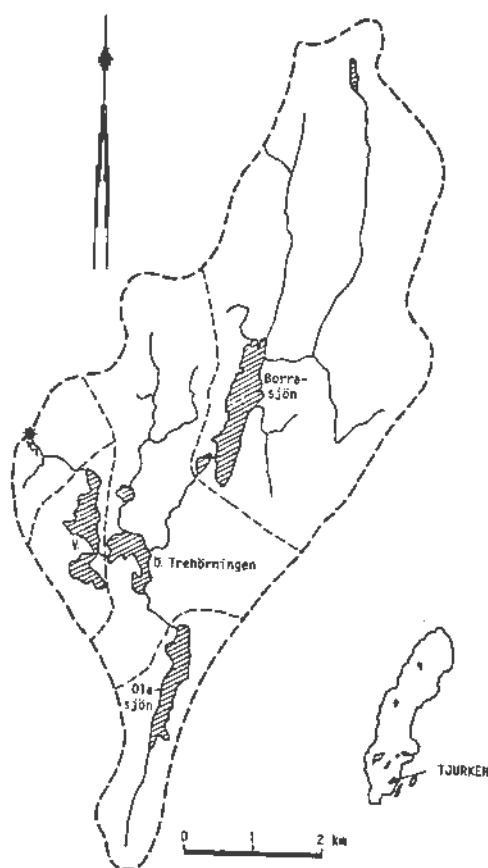
Tjurken

Referens: Bergström, S., Brandt, M., Carlsson, B. (1985)

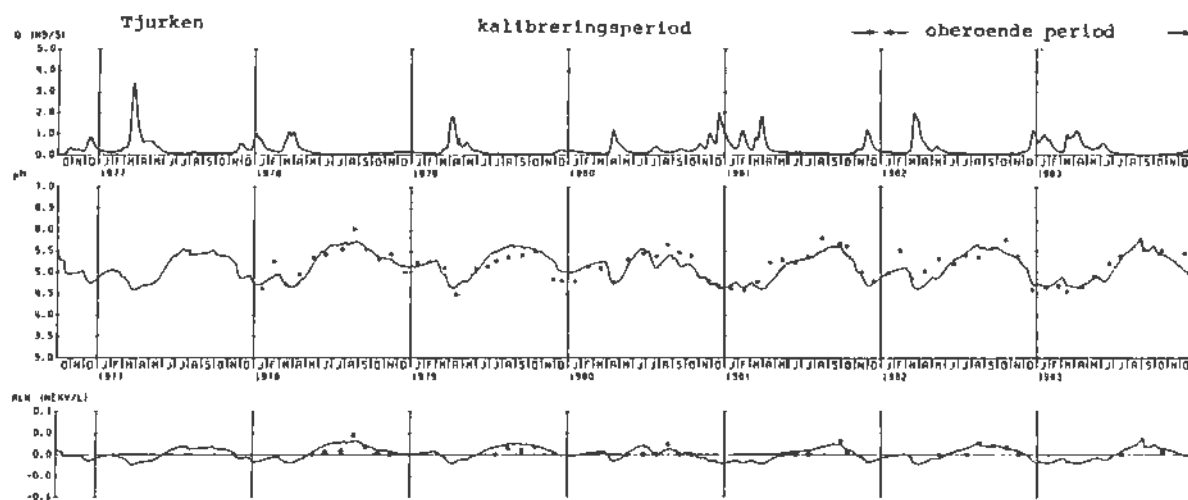
Simuleringarna av vattenföring i Velens och Kassjöns områden har visat på möjligheten att överföra hydrologiska parametrar från ett område till ett annat. I Tjurken-området (se figur

3.10) har vi gått ett steg längre. Trots att vattenföringsmätningar här saknades helt och hållet, har även pH/alkalinitet kunnat simuleras med användande av avrinningsparametrar från ett annat område. Parametrar från Velen-området har utnyttjats. De hydrokemiska modellparametrarna har dock kalibrerats speciellt för området.

Kemiska mätdata från tillrinningen till sjön Tjurken fanns tillgängliga för åren 1978 - 1983. PULS-modellen kalibrerades mot pH/alkalinitet från åren 1978-81, varefter en oberoende period, 1982-83, kördes (se figur 3.11). Dessa två sista år har alltså ej varit med vid kalibreringen av de hydrokemiska parametrarna. Korrelationskoefficienterna för pH och alkalinitet beräknades till 0.84 resp. 0.69. för den oberoende perioden.



Figur 3.10. Delområdesindelning för områden, som rinner till Tjurken. (*) markerar mätplats för pH och alkalinitet.



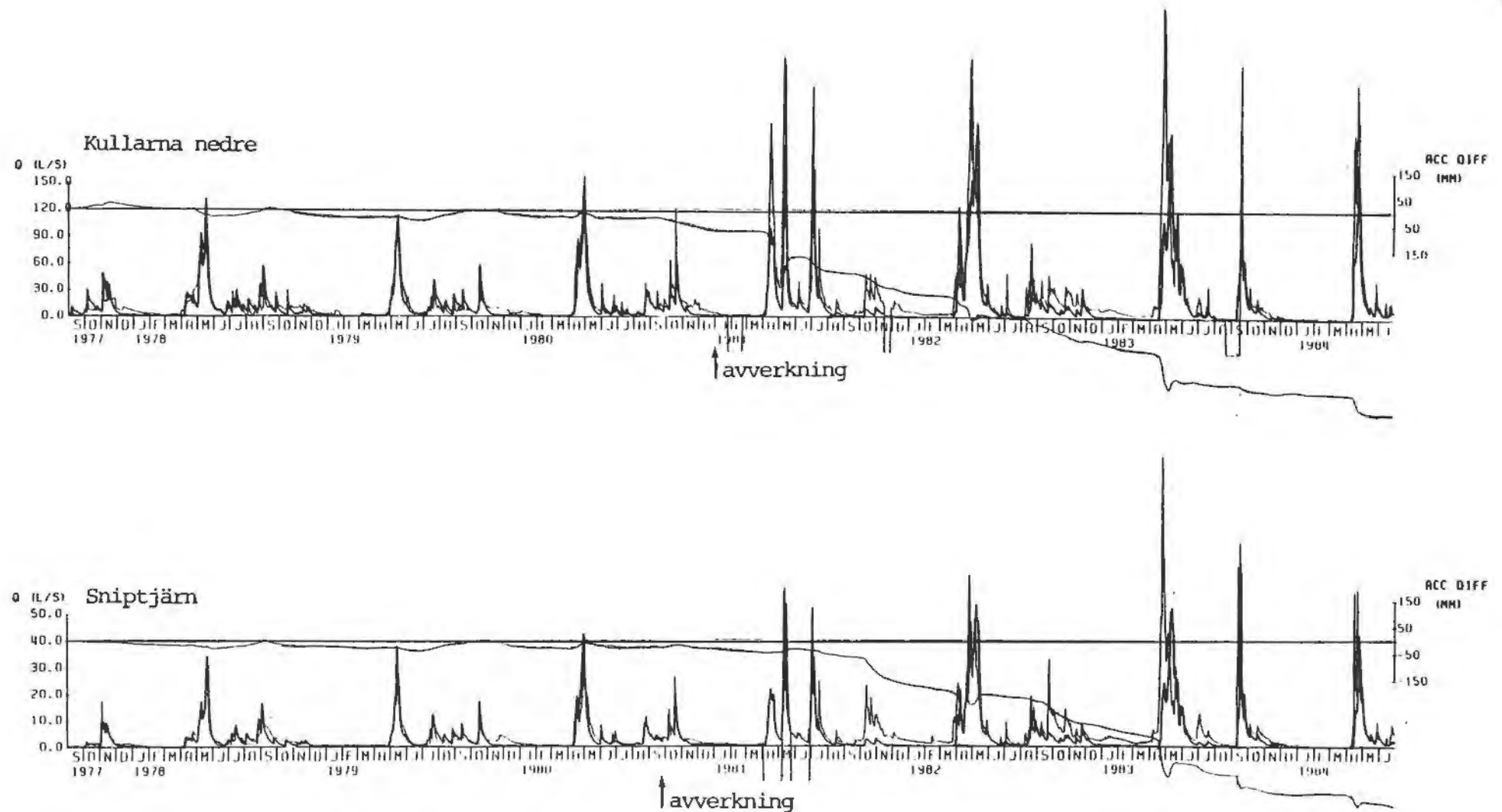
Figur 3.11. Modellsimulering av alkalinitet och pH (heldragen linje) och uppmätta värden (punkter) från området, som rinner till Tjurken. Vattenföringen (Q) är simulerad, eftersom mätningar helt saknas.

Kullarna

Referens: Brandt, M., Rosén, K., Carlsson, B., och Bergström, S. (1986)

I samarbete med SLU (Kaj Rosén) har modellkörningar för studier av kalavverkningens inverkan på avrinning och pH utförts. Mätningar skedde nära tre år före och 3.5 år efter avverkning. Tre delområden ingick i undersökningen. Kullarna övre var referensområden, Kullarna nedre avverkades till 70 % och Snipstjärn till 100 %.

Resultatet av simuleringarna framgår av figur 3.12. Man kan således konstatera, att den verkliga avrinningen kraftigt överstiger den simulerade efter avverkning. Ökningen är av storleksordningen 200 mm/år under de 3.5 år efter avverkning, som försöket omfattar.

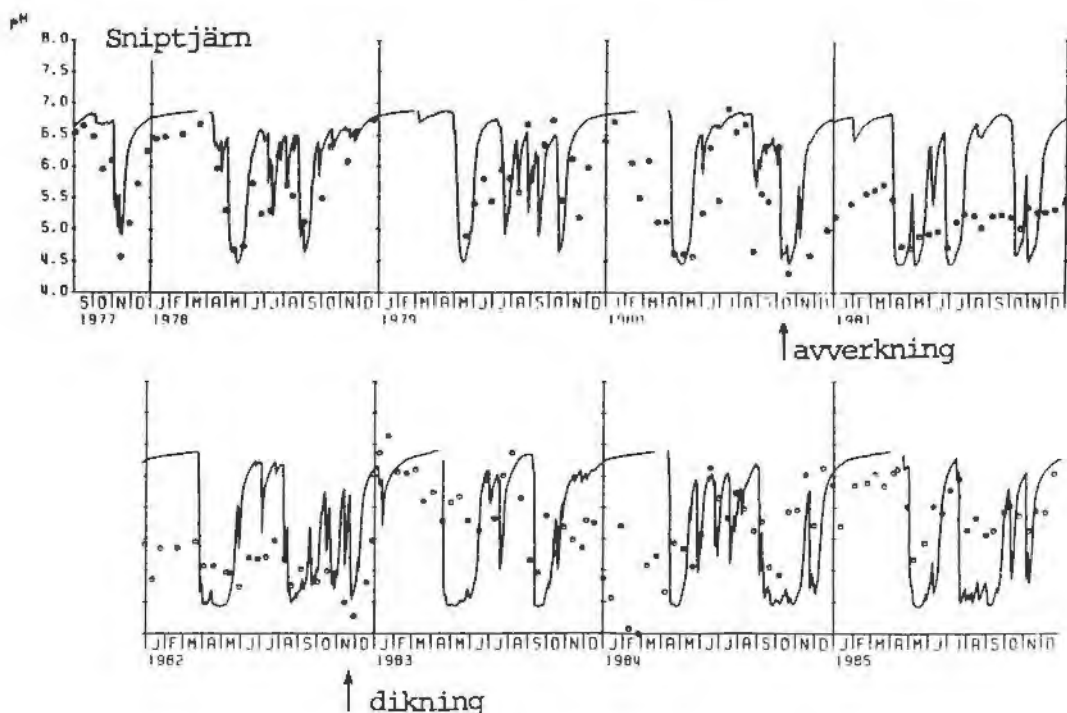


Figur 3.12. Simulerad (tjock linje) och uppmätt (tunn linje) avrinning från Kullarna nedre och Snipptjärn. Åren 1977 - 1980 är utnyttjade för kalibrering av vattenföringsserierna med PULS-modellen. Hösten - vintern 1980/81 avverkades områdena. Nedgången i ACC. DIFF.-kurvan efter avverkningen (den ackumulerade skillnaden mellan simulerad och uppmätt avrinning) visar kalavverkningens inverkan på avrinningen.

Flera processer kan ha bidragit till den kraftiga ökningen av avrinningen efter avverkning:

- * Avdunstningen från snö och/eller regn, som fastnat i träd-kronorna - interceptionsförlusterna-upphör efter avverkningen.
- * Minskad transpiration från vegetationen.
- * Förändringar i snönederbörd över området.

På liknande sätt som för hydrologin har man bestämt PULS-modellens parametrar för simulering av pH före avverkningen och sedan utnyttjat dem för att undersöka om en eventuell differens efter avverkningen kan påvisas (figur 3.13).



Figur 3.13. Snipptjärn, simulerade och uppmätta pH-värden för åren 1977 - 1985:
 — simulering,
 o uppmätt värde.

Såväl mätta som beräknade pH-värden visar för tiden fram till kalavverkningen i oktober - november 1980 snabba, flödesrelaterade fluktuationer. Detta kan tyda på att grundvatten ligger relativt högt i bäcknära områden och vid nederbörds-

eller snösmältningstillfällen snabbt når ytnära markskikt. Området innefattar en hel del sphagnummyrar centralt kring bäckpartiet, som vid dessa tillfällen starkt bidrar till pH-sänkningarna.

Under torrperioder eller vinterperioder utan snösmältning avsänks grundvattenytan och äldre grundvatten står för en allt större del av avrinningsbildningen. Resultatet är ett kontinuerligt stigande pH. Detta förlopp speglas väl i både uppmätta och modellberäknade värden för perioden före avverkning (figur 3.13).

Avverkningen i oktober - november 1980 resulterar, framför allt under sommarhalvåret, i en ökad grundvattenbildning och ett allmänt högre grundvattenstånd. Det avrinnande vattnet får under sådana förhållanden ett lägre pH-värde. pH-sänkningen under vårfloden avspeglas tydligt i uppmätta värden för både 1981 och 1982, men den före avverkningen tydliga pH-stegringen under sommaren uteblir eller är åtminstone mindre uttalad.

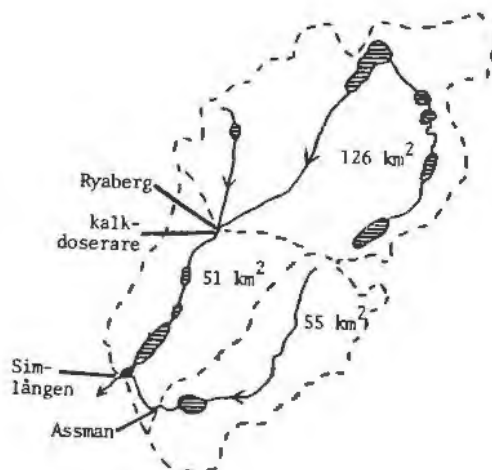
I november 1982 dikades sådana partier av hygget, som riskerade att försumpas. Då dikesbottnen ligger väl nere i mineraljorden, innebär ingreppet att, trots det allmänt sett höga grundvattenståndet, endast en mycket liten andel av det avrinnande vattnet passerat det sura humuslagret i ytan. Effekten blir en pH-höjning mot en nivå som före avverkningen. Den regelbundna säsongsvariationen, som är tydlig före avverkningen, har dock ersatts av ett betydligt mer oregelbundet mönster.

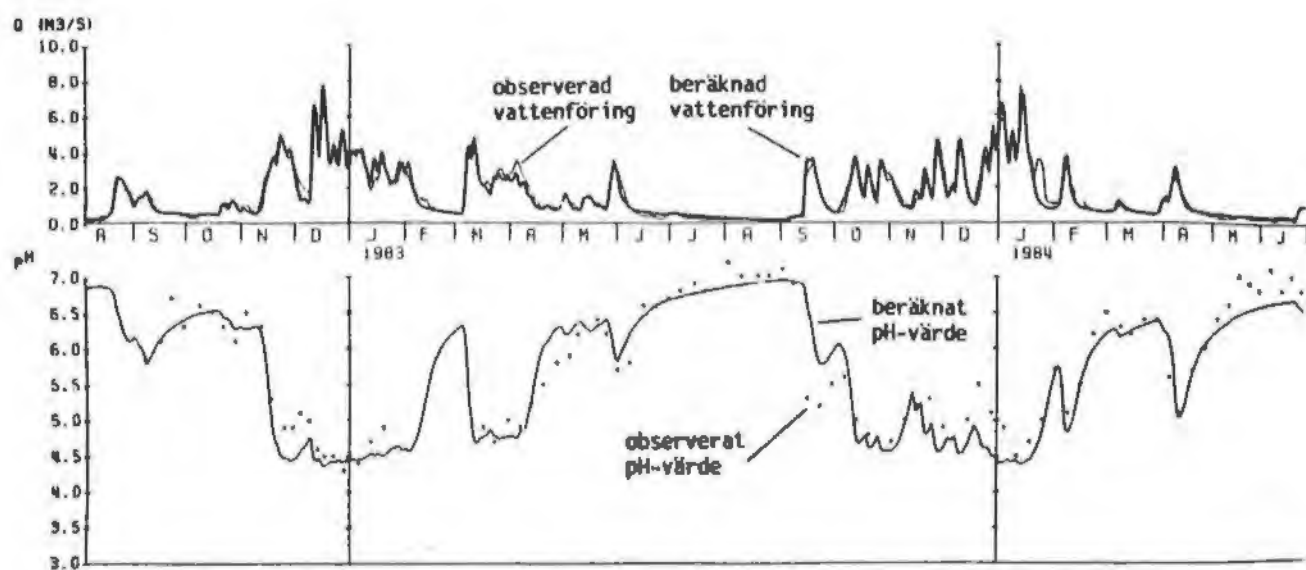
Kalkning i Fylleån

PULS-modellens struktur ger möjlighet att simulera effekten av en kontinuerlig kalkdosering. Inför ett kalkningsföretag med doserare görs först en kalibrering mot uppmätta alkalinitets/pH-mätningar, i detta exempel en ca 2 år lång serie från sjön Assmans utlopp.

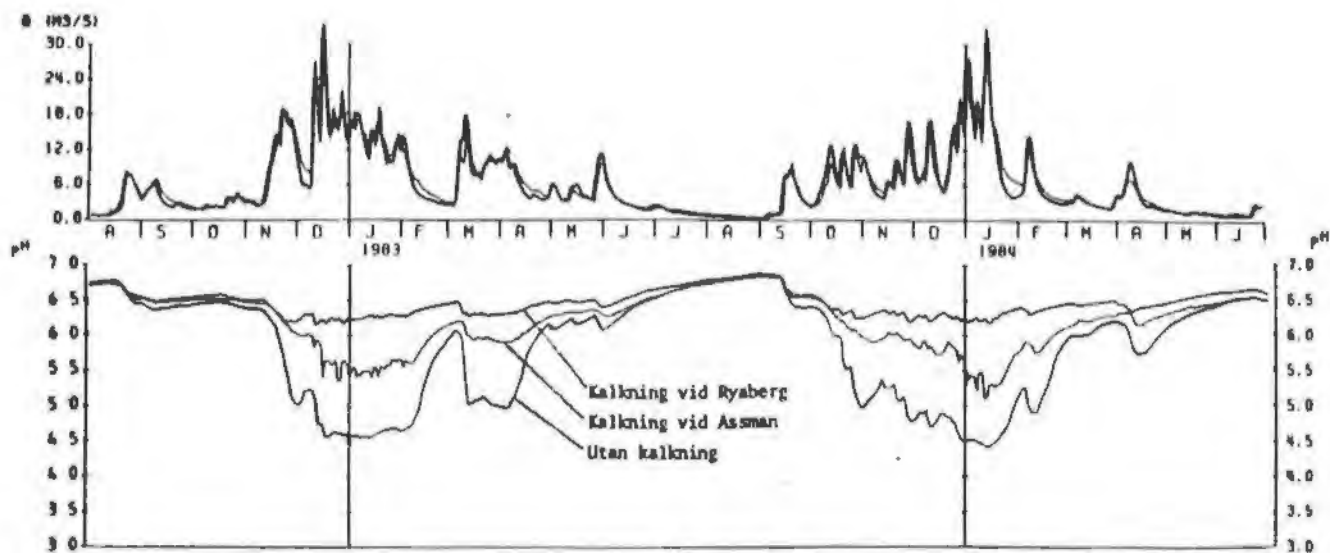
Avrinningsområdet (figur 3.14) är indelat i ett antal delområden beroende på var dataserier finns och var kalkning lämpligen skall sättas in. Resultatet av kalibreringen framgår av figur 3.15. Möjliga platser för kalkning var Ryaberg och Assman. Vid enstaka tillfällen, då vattenföringssimuleringen gått helt fel, har en uppdatering genom ändring av nederbörd och/eller temperatur gjorts för vissa dagar. Parametervärdena från Assman överfördes till Simlången och kalkningar simulerades vid Ryaberg och Assman, såsom framgår av figur 3.16. Eftersom i detta fall kalkdosering redan skett vid Ryaberg, fanns facit att tillgå. Figur 3.17 visar, att man medelst simulering i förväg väl hade kunnat fastställa pH-nivån vid Simlången för en given dosering vid Ryaberg.

Figur 3.14.
Kartskiss över
Fylleåns område.
SMHI har vatten-
föringsstationer
vid Assman och
Simlången.

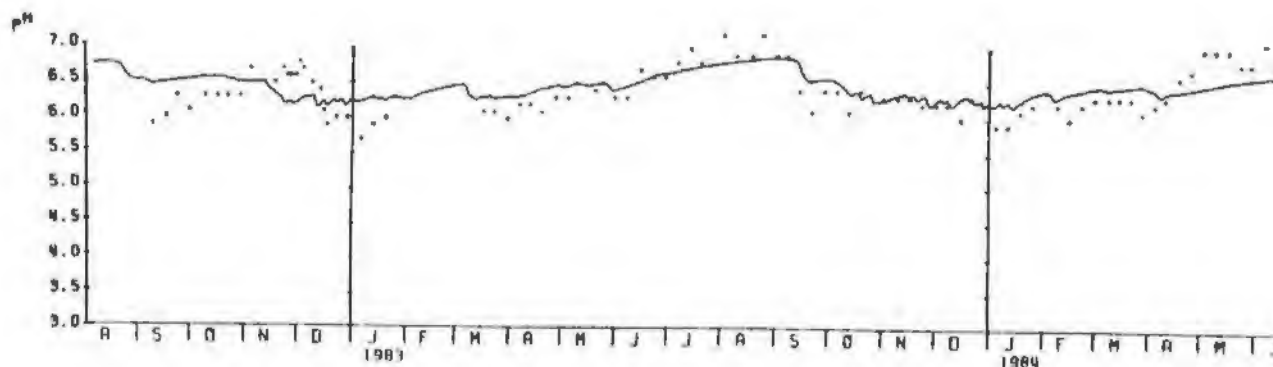




Figur 3.15. Exempel på modellberäkning från Assman (biflöde till Fylleån i Halland. Den heldragna pH-kurvan har simulerats med modellen och skall jämföras med de punktvisa mätningarna.



Figur 3.16. Exempel på modellberäkning av vattenföring och pH i Simlångan utan kalkning, med kalkning i Assmans utlopp respektive med kalkning i Ryaberg.



Figur 3.17. Verifiering av modellberäkning av effekten av en kalkning i Fylleån. Den heldragna linjen avser modellberäknat pH-värde vid Simlångan efter kalkning i Ryaberg (övre kurvan i figur 3.16). Punkterna visar den uppmätta effekten. (Kalkningen antas ge en alkalinitet om minst 0.1 mekv/l vid Ryaberg.)

Bersbo

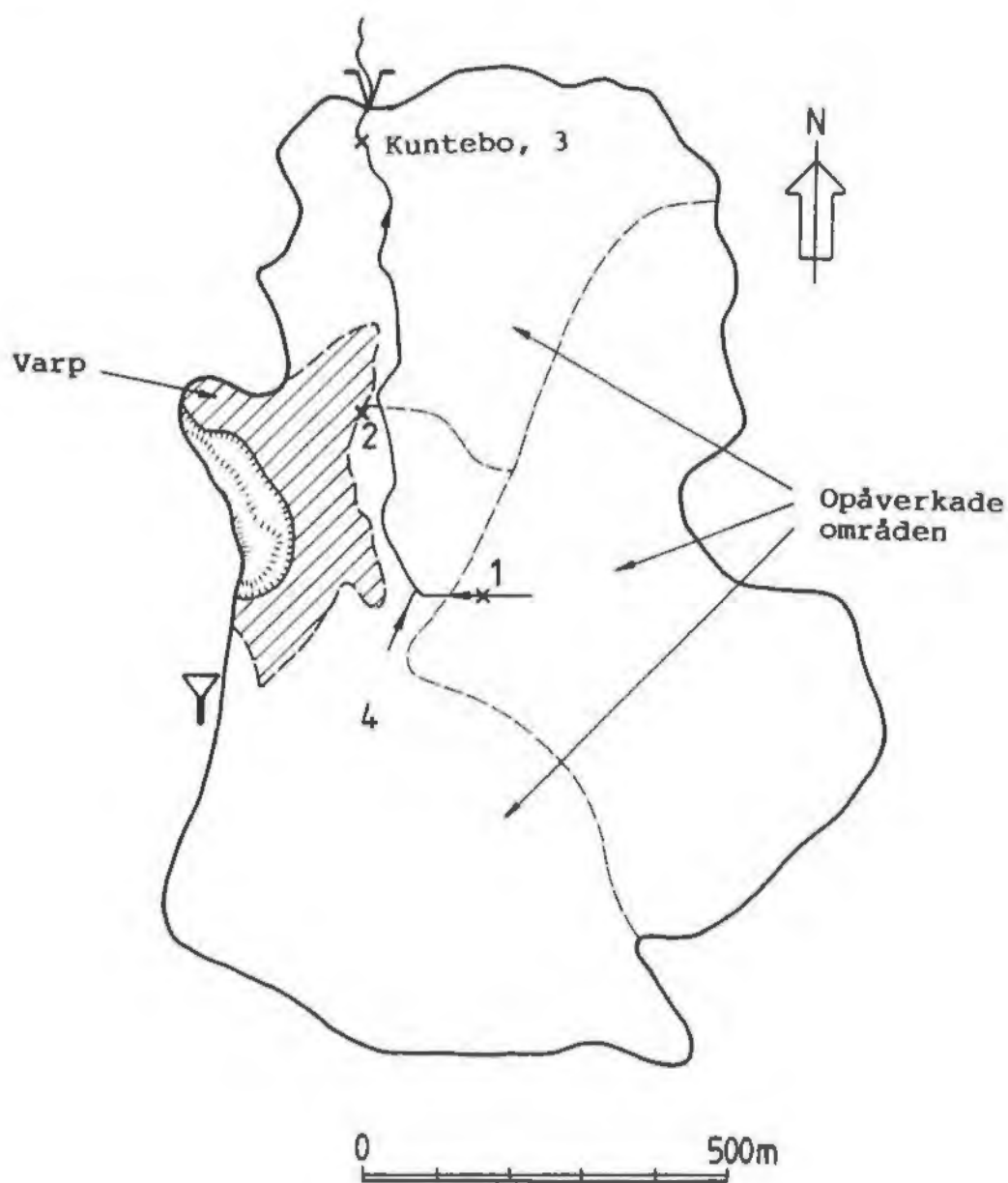
Referenser: Allard m fl (1985 och 1986)

Följande exempel på modellsimuleringen från Bersbo visar på hur man via en kombination av simuleringar av delområden kan erhålla en god slutsimulering av pH. Dessa simuleringar gjordes för en undersökning av metalltransport från läckande varphögar.

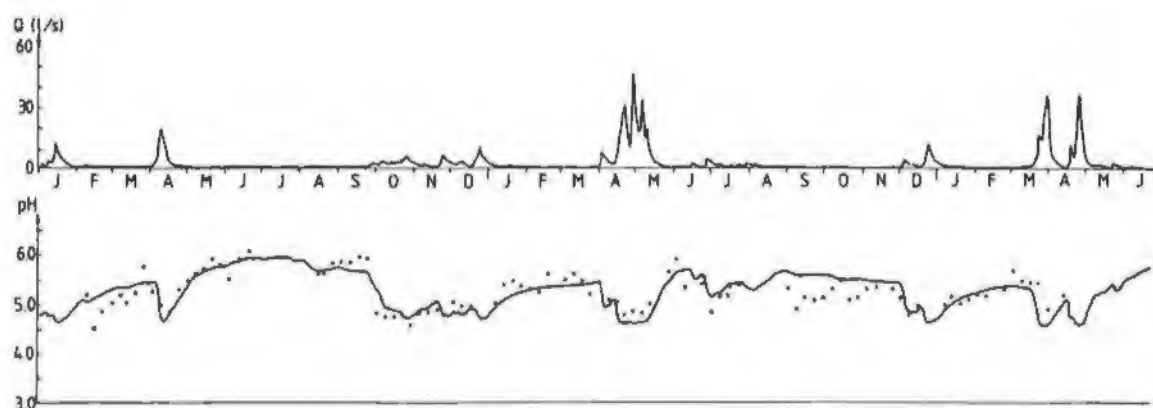
Inom ett av delområdena - nr 2, se figur 3.18 - finns en varphög, varifrån bl a metaller läcker till huvudflödet, Kuntebobäcken.

Vid Kuntebo finns vattenföringsmätningar. Med hjälp av där framtagna hydrologiska parametrar kunde vattenföringen för de opåverkade delområdena 1, 3 och 4 simuleras. Simuleringen

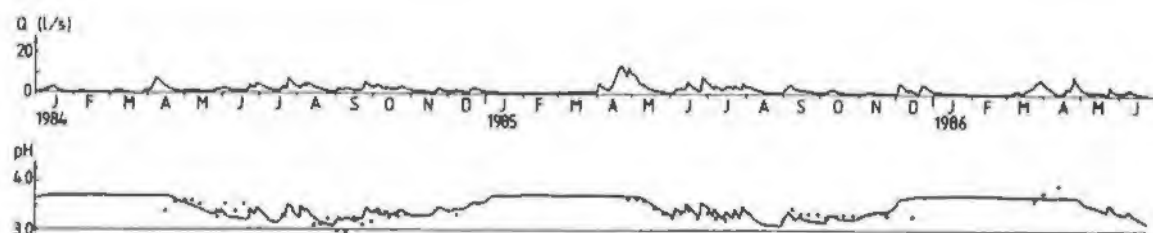
av vatten från varphögen, område 2, har utförts fristående med hjälp av mätta koncentrationer av kemiska variabler, i första hand konduktivitet, vid mätplatserna 1, 2 och 3. Figurerna 3.19, 3.20, och 3.21 visar tillvägagångssättet vid alk/pH-simuleringen. Den slutliga pH-simuleringen vid Kuntebo (figur 3.21) bygger på simuleringarna uppströms och från varpen och är ej kalibrerad mot uppmätta pH-värden vid Kuntebo.



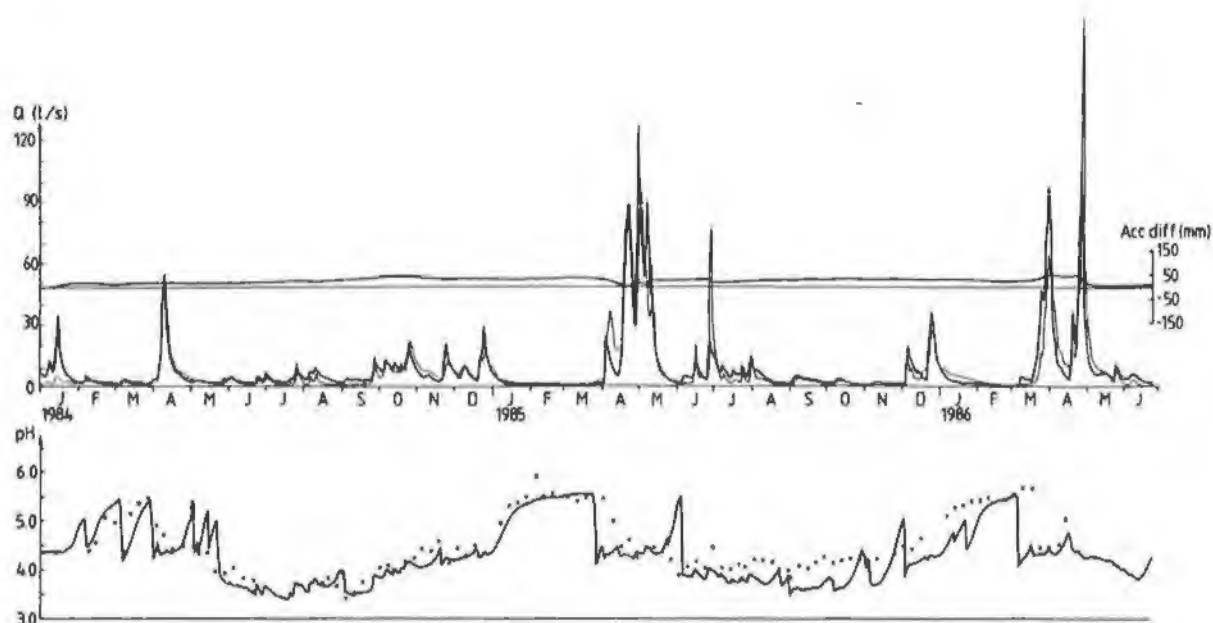
Figur 3.18. Bersbo, området kring varphögarna.



Figur 3.19. Uppmätt pH (•) och simulerad pH och vattenföring (linjer) vid mätplatsen 1 uppströms varpen. Vattenföringen uppströms varpen är beräknad utifrån vattenföringen vid Kuntebo.



Figur 3.20. Uppmätt pH (•) och simulerad pH och vattenföring (linjer) vid mätplats 2, Varpen. Vattenföringen är framtagen med hjälp av hydrokemiska observationer av konduktivitet, Zn, Al och Mn.



Figur 3.21. Uppmätt pH (.) och simulerat pH (linje) och vattenföring (tunn linje = uppmätt, tjock linje = simulerad) vid Kuntebo. pH-simuleringen bygger på fyra delområden, där för de tre opåverkade områdena parametervärdena ansatts enligt kalibreringen i figur 3.19 och för varpen enligt figur 3.20. Acc. diff. är skillnaden mellan simulerad och uppmätt vattenföring vid Kuntebo.

4. LÅNGA SERIER

Om hydrokemiska data från IHP-perioden 1965-75 (analyserade av MISU, Meteorologiska institutionen, Stockholms Universitet) sammanställs med nuvarande FFO-data, från 1979 (analyserade av SMHI), så finns för ett antal områden i Sverige nära 20 år långa serier av månatliga hydrokemiska data att tillgå. De stationer, som är gemensamma för IHD och FFO och för vilka data fortfarande finns tillgängligt lagrade på SMHI, är Solmyren, Vuoddasbäcken, Lilla Tivsjön, Norrsjön, Nolsjön och Velen. Tre av dessa, nämligen Solmyren, Lilla Tivsjön och Nolsjön, har här valts ut för studier av eventuella trender i alkalinitet med hjälp av PULS-modellen. Områdena kan beskrivas med hjälp av tabell 4.1., hämtad ur Carlsson (1985).

Långa serier med pH-mätningar finns även att tillgå från SMHIs sedimenttransportnät (Brandt, 1982). Avslutningsvis diskuteras data från den i sedimenttransportnätet ingående stationen Funäsdalen från åren 1967 - 1980.

Tabell 4.1. Karakteristiska värden för fältforskningsområdena Solmyren, Lilla Tivsjön och Nolsjön.

Område	Höjd över havet m	Area km ²	Sjö %	Skog %	Myr %	Öppen mark %	Berg- grund	Huvud- saklig mark- använd- ning	Period, medel- vatten- förling l/s
Solmyren	370 (326-466)	27.5	0.5	66	33	-	Lina- gra- nit	Skogs- bruk	1971-80 296
Lilla Tivsjön	310 (246-470)	12.8	2.7	88	8	1.5	Rev- sunds- gra- nit	Skogs- bruk	1967-83 101
Nolsjön 67-1912	144 (124-175)	18	1.5	70	~14	~15	Älsta- gra- niter	Skogs- bruk, små in- slag av jord- bruk	1967-80 153

IHD-FFO-data

Referens: Carlsson, B. (1985)

Alkalinitetsmätningar från IHD- och FFO-perioderna har analyserats dels medelst enkla medelvärdesberäkningar och dels medelst modellsimuleringar.

En beräkning av skillnaderna i medelvärde mellan perioderna visar lägre alkalinitet för den senare perioden enligt nedanstående tabell 4.2.

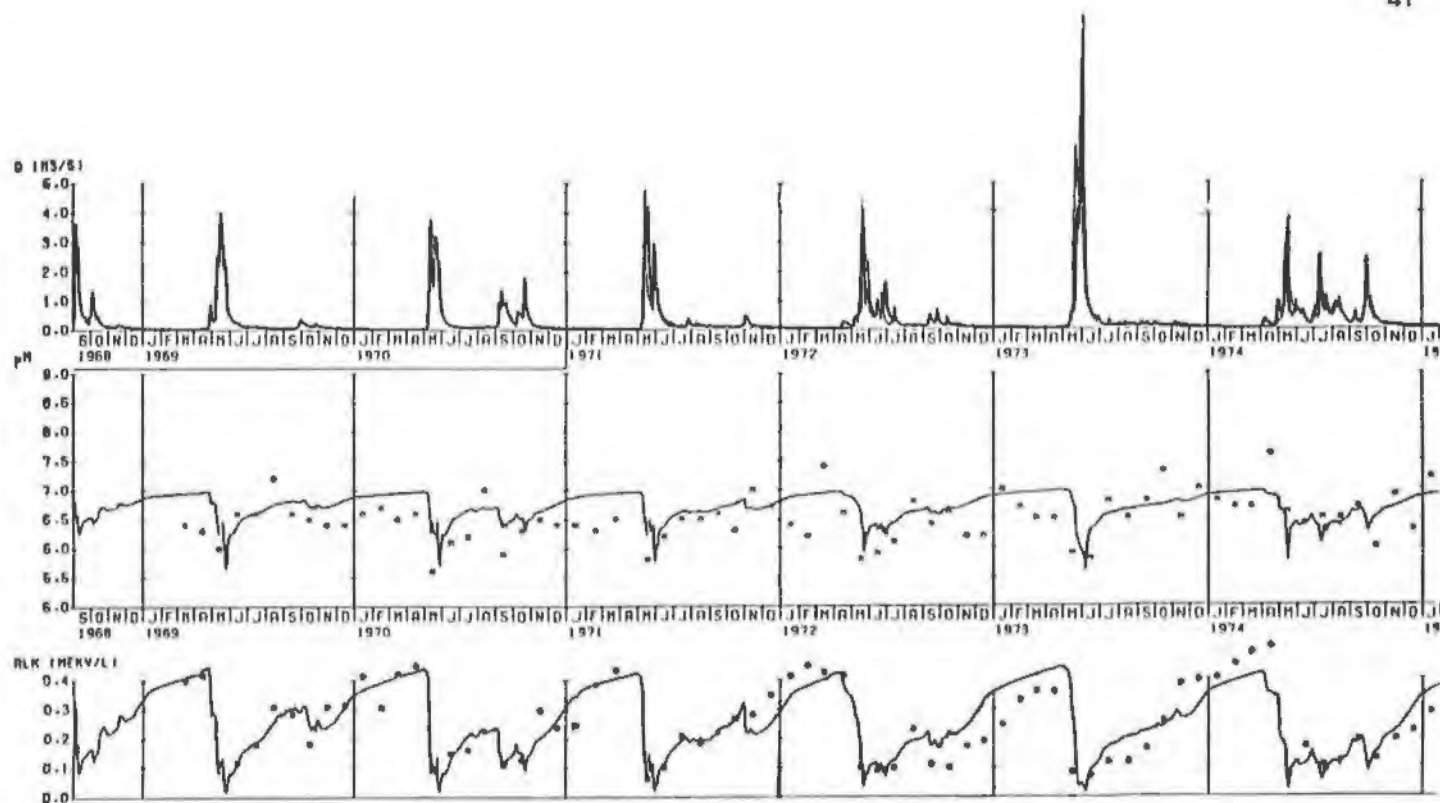
Tabell 4.2. Medelvärden och skillnad i alkalinitet för IHD- och FFO-perioderna i de tre områdena Solmyren, Lilla Tivsjön och Nolsjön. Antal mätvärden inom parentes.

	Alkalinitet IHD 1965-75	Alkalinitet FFO 1978-85	Skillnad FFO-IHD mekv/l
Solmyren	0.239 (74)	0.196 (44)	-0.042
Lilla Tivsjön	0.250 (70)	0.225 (55)	-0.025
Nolsjön	-0.004 (54)	-0.012 (51)	-0.008

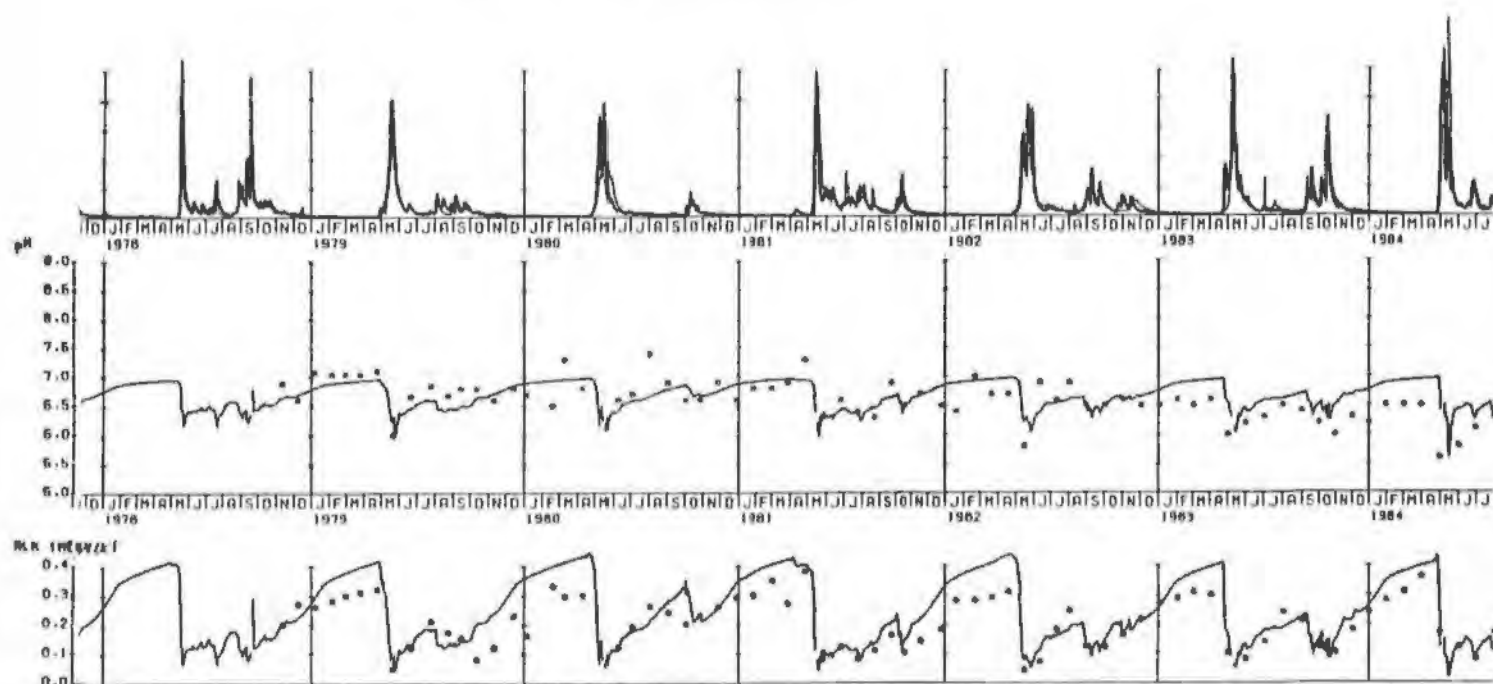
Beräkningarna enligt tabell 4.2 indikerar en minskning av alkaliniteten för i varje fall Solmyren (0.042 mekv/l) och troligen även för Lilla Tivsjön (0.025 mekv/l). Beroende på små förändringar är det svårt att uttala sig om Nolsjön.

Ett sätt att gå vidare i analysen är att jämföra uppmätta värden med modellsimulerade värden. För vart och ett av de tre områdena har som ett första steg modellen kalibrerats mot vattenföringen. Alla åren har använts vid kalibreringen. Alkaliniteten har därefter kalibrerats för IHD-perioden. Med samma kalibrering har sedan FFO-perioden simulerats. I figur 4.1 visas vattenföring och alkalinitet för båda perioderna.

Visuellt kan man ur tidsserien för Solmyren konstatera lägre uppmätt alkalinitet vid lågvattenföring under vintermånaderna under FFO-perioden än för IHD-perioden jämfört med den simulerade kurvan. Om man antar, att analyserna är riktiga (se nedan), så kan detta vara tecken på en pågående försurning, som här först visar sig vid lågvatten.

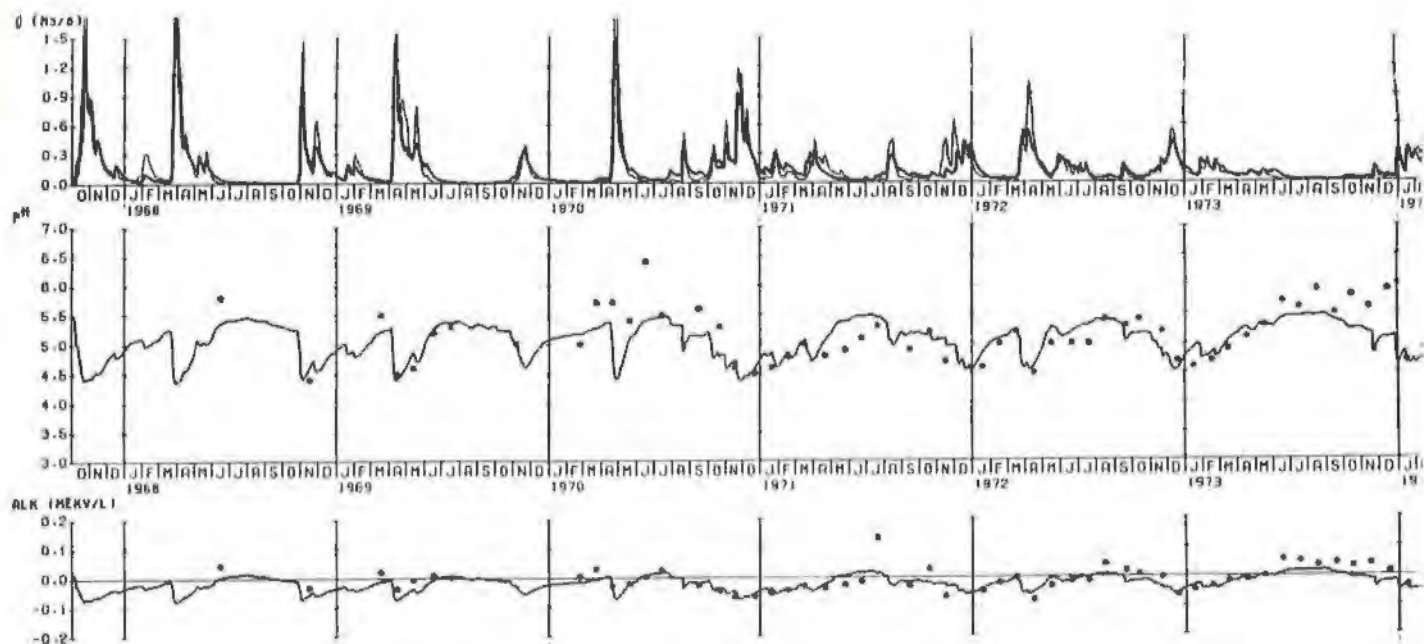


Figur 4.1.a) Simulering av vattenföring, alkalinitet och pH
Solmyren, IHD-perioden

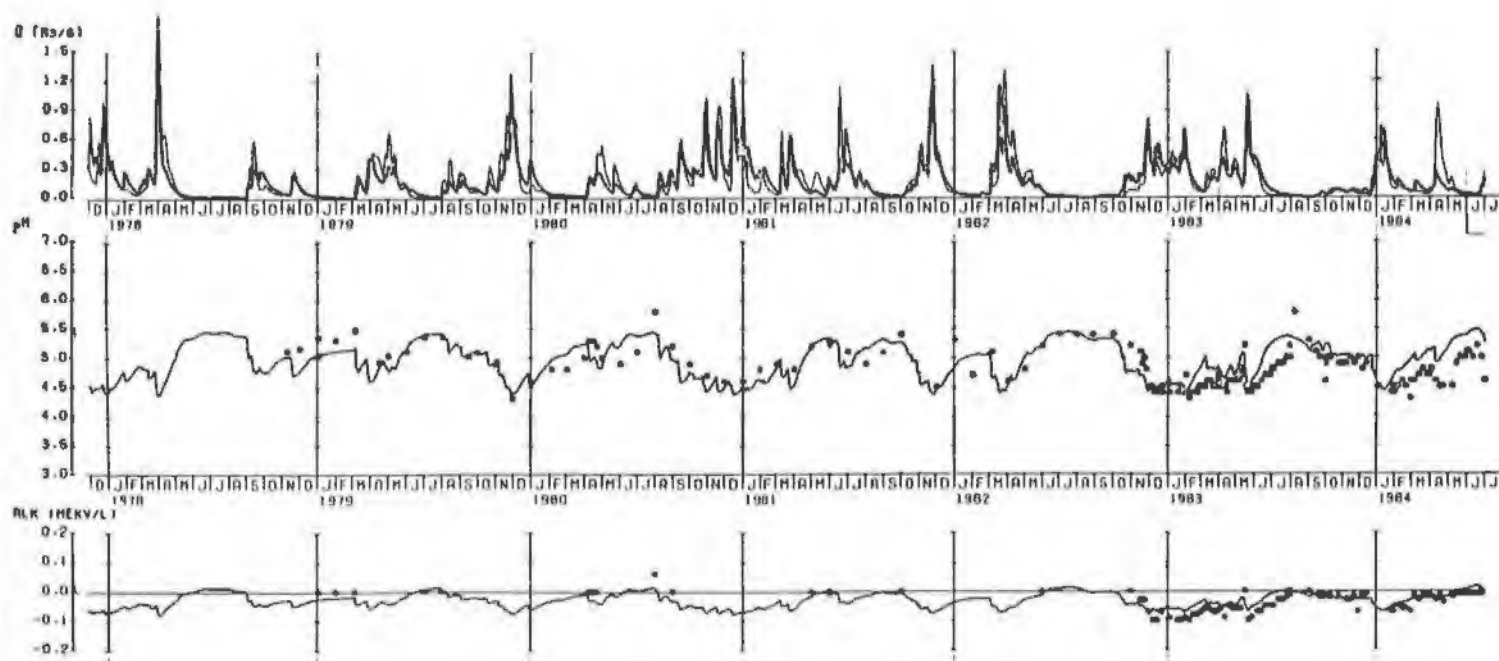


Figur 4.1.b) Simulering av vattenföring, alkalinitet och pH.
Solmyren, FFO-perioden

(vattenföring: tjock linje = simulerad, tunn linje = uppmätt)
(pH och alkalinitet: linje = simulerad, punkter = uppmätt)



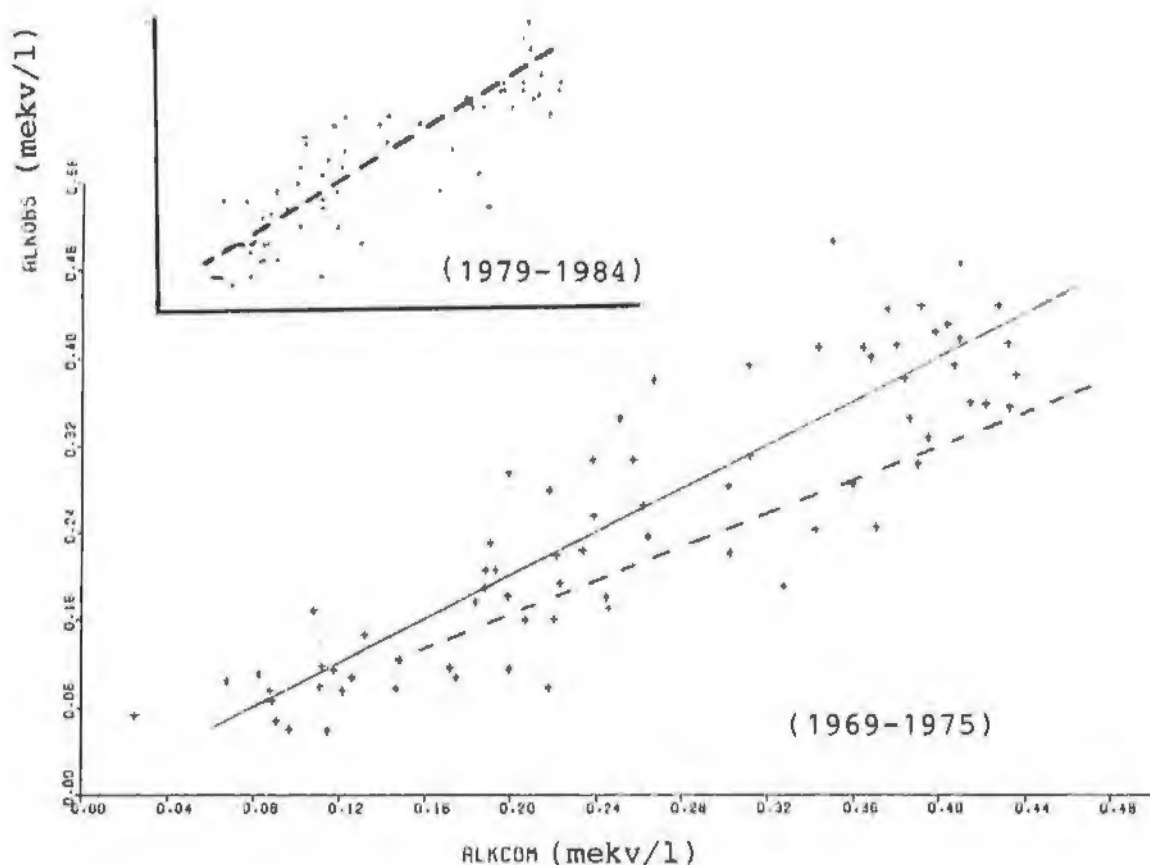
Figur 4.1.e) Simulering av vattenförling, alkalinitet och pH.
Nolsjön, IHD-perioden



Figur 4.1.f) Simulering av vattenförling, alkalinitet och pH.
Nolsjön, FFO-perioden.

(vattenförling: tjock linje = simulerad, tunn linje = uppmätt)
(pH och alkalinitet: linje = simulerad, punkter = uppmätt)

Alkalinitetsminskningen kan även illustreras genom plottningar av observerade värden mot simulerade. Figur 4.2 visar ett exempel på sådana plottningar av observerade mot simulerade alkaliniteter för Solmyren 1969 - 1984. Den heldragna linjen är den visuellt dragna korrelationslinjen för IHD-perioden. Den streckade linjen visar motsvarande linje för FFO-perioden. Skillnaden mellan linjerna vid en modellberäknad alkalinitet på ca 0.4 mekv/l, d v s lågvattenföringen vintertid (jfr figur 4.1 a och b) är ca 0.08 mekv/l. Vid högvattenföringar, modellberäknad alkalinitet 0.1 - 0.15, möts linjerna.



Figur 4.2. Korrelation mellan uppmätta och modellberäknade alkaliniteter i Solmyren.

- IHD-perioden (1969 - 1975),
- - - - - FFO-perioden (1979 - 1984),
- + mätta värden, IHD-perioden,
- mätta värden, FFO-perioden.

Som nämndes inledningvis, så har IHD- och FFO-perioderna analyserats av olika laboratorier, och man kan därför fråga sig, om inte avvikelserna mellan perioderna beror på detta. Mot detta talar det faktum, att skillnaden i alkalinitet för andra områden ej är av samma storleksordning.

Sedimenttransportnätet

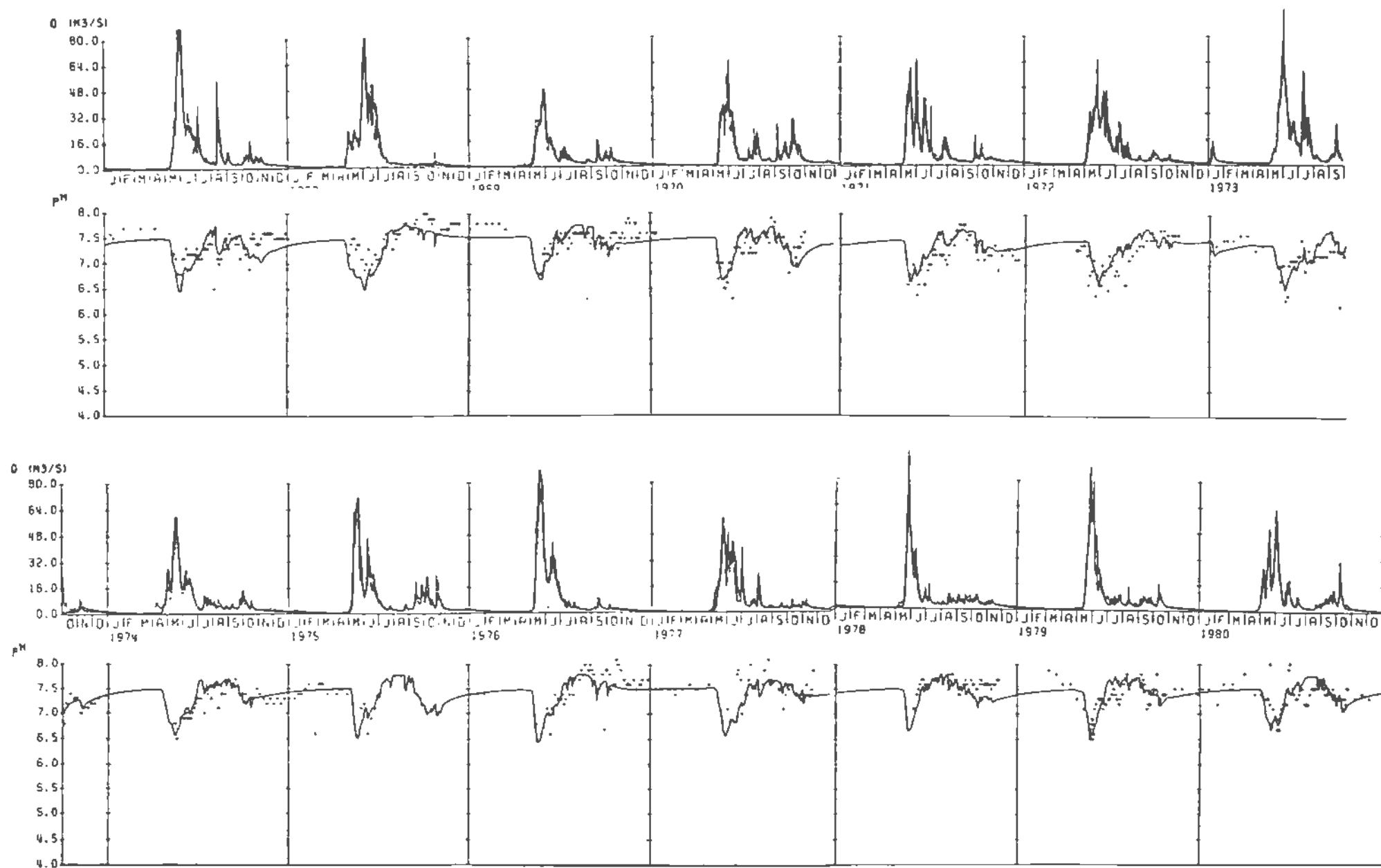
Referenser: Bergström, S., Carlsson, B., Sandberg, G., Maxe, L. (1985)
Brandt, M. (1982)

Sedan mitten på 1960-talet driver SMHI ett s k sedimenttransportnät. Vattenprover för analys av turbiditet, organiskt och oorganiskt material samt vissa kemiska variabler, varibland pH är en, samlas in från ca 15 vattendrag i Sverige. En av provtagningsplatserna är belägen i Funäsdalen. Ljusnan avvattnar här ett ca 340 km² stort område.

Avrinningsområdet är således mer än tio gånger så stort som de tidigare diskuterade FFO. Detta ger en tröghet i hela systemet, såväl hydrologiskt som hydrokemiskt, t ex kommer ett enstaka litet delområdes eventuella förurningskänslighet att undertryckas i analysen av hela området.

I figur 4.3. visas pH-simuleringen för åren 1967 till 1982. Perioden 1974-80 har använts för kalibrering, och 1967-73 användes som oberoende testperiod.

Av pH-kurvan och mätningarna framgår mycket tydligt den vid varje vårflod återkommande nedgången i pH. Man ser också, att pH-sänkningar - både simulerade och mätta - förekommer vid flera tillfällen vid höstflöden. pH-sänkningarna i samband med snösmältningen beror således till största delen på att avrinningen då utgörs av ytligt grundvatten och till mindre del på den under vintern ackumulerade sura snön. Någon förurningstrend går ej att se ur simuleringen.



Figur 4.3. Simulering av vattenförling och pH i Ljusnan vid Funäsdalen
 Data från SMHI's sedimenttransportnät.
 (Vattenförling: tjock linje = simulerad, tunn linje = mätt)
 (pH: linje = simulerat, punkter = mätt)

SAMMANFATTANDE SYNPUNKTER

Arbetet med PULS-modellen har visat, att en stor del av det kortsiktiga variationsmönstret hos pH och alkalinitet i rinnande vatten kan förklaras med ett mycket enkelt hydrokemiskt betraktelsesätt i kombination med en vattenbalansmodell, som beskriver huvuddragen i vattnets flödesvägar. Ansatsen innebär, att nederbördens och snösmältningens kemiska sammansättning på kort sikt har underordnad betydelse för det avrinnande vattnets kvalitet. Detta överensstämmer med den numera accepterade synen på avrinningsbildning i ett moränområde.

Modellen måste kalibreras och kräver därför stöd av uppmätta serier. Efter kalibrering kan modellen användas som ett redskap för särskiljande av kortsiktiga variationer i vattnets kemi från trender och andra långsiktiga förändringar. Modellen kan även användas vid kalkningsplanering för ett helt vattendragssystem.

Det förenklade betraktelsesättet i modellen innebär, att den inte kan användas för förutsägelser av vilken effekt en viss belastning får på systemet på lång sikt. De i modellen ingående hydrokemiska koefficienterna har dessutom visat sig starkt samverka med de koefficienter, som styr vattenbalansen, vilket försvårar generaliseringar och tillämpningar i områden, som helt saknar kemiska data.

Modellens distribuerade struktur, framför allt med separat beskrivning av sjöarnas effekt på avrinningen, har tillsammans med erfarenheter av tillämpningar med HBV- och PULS-modellen inneburit, att vi kan minska kraven på vattenföringsdata. PULS-modellen kan därför ofta utnyttjas, även om det bara finns en mätserie av pH eller alkalinitet i vattendraget.

PULS-modellen är, trots att den ofta framställs som en enkel modell, ett relativt komplicerat beräkningsverktyg, som kräver ingående kännedom om såväl hydrologi som programsystemets

uppbyggnad. Den, som är intresserad av att själv använda modellen, hänvisas till en datateknisk manual, som finns vid SMHI, samt till författarna.

REFERENSER

Allard, B., Bergström, S., Brandt, M., Gårdhammar, G., Karlsson, S., Lohm, U., Lundgren, T., Lundman, L., Norberg, S., Persson, S., Sandén, P., Sigas, E. (1985)

Bersbo - modellområde för studier av metallers spridning i naturliga vattensystem.

Vannet i Norden, nr 4, årg. 18

Allard, B., Bergström, S., Brandt, M., Karlsson, S., Lohm, U., Sandén, P. (1986)

Bersbo - några resultat från hydrokemisk modellstudie av metalltransport från läckande varphögar.

Vannet i Norden, nr 1, årg. 19

Bergström, S., (1976)

Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments.

SMHI Rapporter, RHO nr 7, Norrköping

Bergström, S., Sandberg, G. (1983)

Simulation of groundwater response by conceptual models - Three case studies.

Nordic Hydrology, Vol. 14, No. 2

Bergström, S., Brandt, M., Carlsson, B. (1985)

Hydrologisk och hydrokemisk modellberäkning i sjörika skogsområden.

Vatten 41:3

Bergström, S., Carlson, B., Sandberg, G., Maxe, L., (1985)

Integrated modelling of runoff, alkalinity and pH on a daily basis.

Nordic Hydrology, Vol. 16, No. 2

Brandt, M. (1982)

Sedimenttransport i svenska vattendrag.

SMHI Rapporter, RHO 33, Norrköping

Brandt, M., Rosén, K., Carlsson, B., Bergström, S. (1986)

Inverkan av kalavverkning på avrinning och pH i små avrinningsområden.

Nordisk Hydrologisk Konferens, Reykjavik

Carlsson, B. (1985)

Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena.

SMHI Rapporter, Hydrologi nr 1, Norrköping

Eriksson, B., (1981)

Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige.
SMHI Rapporter, RMK 28, Norrköping

Grip, H., Rodhe, A. (1985)

Vattnets väg från regn till bäck.
Forskningsrådets Förlagstjänst

Wallén, C.C. (1966)

Global solar radiation and potential evapotranspiration in
Sweden.
Tellus, Vol. 18:4

Nr	Titel	
1	Hydrologiska undersökningar i Kasejebäns representativa område Meddelande nr III: Vattenomsättningen i Lilla Tivsjöns område 1966/67 - 1972/73 av A Waldenström Stockholm 1974	26 Strömmätningar i Himmerfjärden 1976 av S Bergström Norrköping 1977
2	Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område Meddelande nr IV: Nederbörd och vattenomsättning av M Persson Stockholm 1974	27 Oceanografiska observationer i Östersjön 1977 med kustbevakningens båtar av U Ehlin och B Juhlin Norrköping 1978
3	Oceanografiska observationer i Östersjön 1973 med kustbevakningens båtar samt från isbrytare av U Ehlin och B Juhlin Stockholm 1974	28 Slutrapport över hydrologiska undersökningar i Väners representativa område av A Waldenström Norrköping 1977
4	Oceanografiska undersökningar i Ålands hav Meddelande nr I: Mätningar juni - september 1973 av U Ehlin och C Ambjörn Stockholm 1974	29 Slutrapport över hydrologiska undersökningar i Kasejebäns representativa område av A Waldenström Norrköping 1977
5	SMHI-rapport Verification of heated water jet numerical model by James O Weil Stockholm 1974	30 Oceanografiska undersökningar i Ålands hav Meddelande nr 3: MRresultat 1977, vatten- och materialtransportberäkningar ur 1974 och 1975 års mätningar av C Ambjörn Norrköping 1978
6	Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område Meddelande nr VI: Markvattnetudier av T Milanov Stockholm 1975	31 Basnit för vattentemperatur Stationeförteckning 1974-01-01 av O Cabella och A Möberg Norrköping 1978
7	Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område Meddelande nr VII: Vattenomsättningen 1960-73 med fallupphattning av M Persson Stockholm 1975	32 Operational Hydrological Forecasting by Conceptual Models av S Bergström, M Persson och B Sundqvist Norrköping 1978
8	Hydrologiska undersökningar i Kasejebäns representativa område Meddelande nr IV: Andetisering 1974 och vattenomsättning 1969-73 av A Waldenström Stockholm 1975	33 Slutrapport över hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område av M Persson Norrköping 1978
9	Ensmätningen i en punkt som funktion av meteorologiska data av B Jönsson Stockholm 1975	34 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens båtar av U Ehlin och B Juhlin Norrköping 1979
10	Oceanografiska undersökningar i Ålands hav Meddelande nr 2: Mätningar okt-dec 1973 och juli-sept 1974 av U Ehlin och C Ambjörn Stockholm 1975	35 Utvärdering av 1979 års vårflödesprognoser av S Bergström och B Jönsson Norrköping 1979
11	Oceanografiska observationer i Östersjön 1974 med kustbevakningens båtar samt från isbrytare av U Ehlin och B Juhlin Stockholm 1975	36 Oceanografiska observationer i Östersjön 1979 med kustbevakningens båtar av U Ehlin och B Juhlin Norrköping 1980
12	Vattenomsättning och flöde i Stormyrsområdet av L Liljquist och L Stenar Stockholm 1975	37 Vårflödesolympismprognoser baserade på analys av nederbördsfaktor av B Jönsson Norrköping 1980
13	Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område Meddelande nr VIII: Avrinningen och dess variationer inom området av M Persson Norrköping 1976	38 Resultat och erfarenheter av försöksverksamhet med utökad vattenprovtagning från kustbevakningens båtar av B Juhlin och B Carlsson Norrköping 1980
14	Vattenomsättningsstudier m m i Väners och Kasejebäns representativa områden av A Waldenström Norrköping 1976	39 Sedimenttransport i svenska vattendrag 1979 av M Brandt Norrköping 1980
15	Strömmätningar i sundet mellan Värmlandssjön och Dalnäsjön, Väners Vännersjöarna. Meddelande nr I av B Carlsson och M Brandt Norrköping 1976	40 Sluttransport till Miljöstatensorden över projekt MI - 01-2. Systemutredning förande samordnade uttag av information ur MI och SMHIs maskinella register av T Milanov och B Sundqvist Norrköping 1980
16	Oceanografiska observationer i Östersjön 1975 med kustbevakningens båtar samt från isbrytare av U Ehlin och B Juhlin Norrköping 1976	41 Användning av väderelementdata för att studera ytvattentemperatur av G Wennerberg Norrköping 1980
17	Oceanografiska undersökningar i Ålands hav 1975 Meddelande nr 1: Mätningar 1974-75. Vattentransporter av U Ehlin och C Ambjörn Norrköping 1976	42 Nordisk hydrologi i utveckling. Tillägnad Ragnar Mellin av A Forsman, J Örnäs, M Falkenmark, K Kuusisto, H Lemmink och J Sundager-Jensen Norrköping 1980
18	Tillämpning av HGV-2 modellen på regleringsmagasin i Ångermanälven av S Bergström och B Jönsson Norrköping 1976	43 Beräkning av en föroreningstransport och blandning i en grund isläckage sjö av U Ehlin, I Bork och J Svensson Norrköping 1980
19	Grundvattenstudier i Ångermanälvens övre tillrinningsområde av T Milanov Norrköping 1976	44 Utvärdering av 1980 års vårflödesprognoser av S Bergström, M Haggström och M Persson Norrköping 1980
20	Beräkning av frekvenser av torrår av L Gotscheik Norrköping 1976	45 Mätningar av sjötemperatur vid Rönne av A Möberg Norrköping 1981
21	Hydrografi och sandavgivning av M Brandt Norrköping 1976	46 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens båtar 1980 av B Juhlin Norrköping 1981
22	Hydrologiska undersökningar i Lappträskets representativa område Meddelande nr VIII: Vattenomsättning och avdunstning under perioden 1968-74 av M Persson Norrköping 1976	47 Temperaturmätningar vid Vieby av B Broman samt Spridning av utsläppt vatten av B Vassén Norrköping 1981
23	Oceanografiska observationer i Östersjön 1976 med kustbevakningens båtar av U Ehlin och B Juhlin Norrköping 1977	48 Användning av satellitdata från Landsat för studium av vattensrumlinjer av G Wennerberg Norrköping 1981
24	Oceanografiska undersökningar i Ålands hav Meddelande nr 4: Mätningar 1975-76, vatten-, värme- och materialtransportberäkningar av U Ehlin och C Ambjörn Norrköping 1977	49 Utvärdering av 1981 års vårflödesprognoser av S Bergström, M Haggström och M Persson Norrköping 1981
25	Ström- och vattentransportstudier i norra Öresund, sydöstra Kattegatt och i Åkäldeviken av M Brandt Norrköping 1977	50 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens båtar 1981 av B Juhlin Norrköping 1982
		51 Sedimenttransport i svenska vattendrag 1980 av M Brandt Norrköping 1982
		52 The areal precipitation index method - A simple method to forecast the spring flood volume by M Haggström Norrköping 1982
		53 Vågdata från svenska kustvatten 1981 av J Svensson Norrköping 1982

HO-RAPPORTER

- 1 Metod för homogenitetkontroll av meteorologiska och hydrologiska observationer av Sven-Erik Westman Norrköping 1982
- 2 Utvärdering av modellsimulering av grundvatten-mätningarna i Ångermanälvens övre tillrinningsområde av J Sandberg Norrköping 1982
- 3 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens båtar 1982 av Bo Juhlin Norrköping 1983
- 4 Utvärdering av 1982 års vårfloödesprognoser av M Haggström och M Persson Norrköping 1983
- 5 Vågdata från svenska kustvatten 1983 av Jonny Svensson Norrköping 1983
- 6 The new harbour in Landskrona - Oceanographic investigations by Jonny Svensson Norrköping 1983
- 7 Operational hydrological forecasting in Sweden by Magnus Persson Norrköping 1983
- 8 Vattenutbyte mellan Bottniska Viken och Östersjön av Cecilia Ambjörn Norrköping 1983
- 9 Vår vintern 1982/83 skrevs En jämförande studie av vattentemperatur i några mellanensiska sjöar av Gun Zachrisson Norrköping 1983
- 10 Sedimenttransport i svenska vattendrag 1981. Resultat från sedimenttransportmätet av Håls Brandt Norrköping 1983
- 11 Forsök med automatisk vattenprovtagning i Marviken av Bo Juhlin Norrköping 1983
- 12 Verksamhet ur Helgasjön - Möjligheter och konsekvenser av Jan Zachrisson och Barry Broman Norrköping 1984
- 13 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1983 av Bo Juhlin Norrköping 1984
- 14 Åtgärder mot förorening i Viken. Erfarenheter från utförd behandling med kalk och soda samt förelag till fortsatta åtgärder. En utredning för Föreläggelse kommun av Ingemar Holmström Norrköping 1984
- 15 Vågdata från svenska kustvatten 1984 av Jonny Svensson Norrköping 1984
- 16 Beräkning av daglig vattenföring vid Ulva kvarn i Fyrisån 1951-82 av Magnus Persson och Sven-Erik Westman Norrköping 1984
- 17 Utvärdering av 1981 års vårfloödesprognoser av Martin Haggström och Magnus Persson Norrköping 1984
- 18 Vattenståndsprognoser för Hammaröns Helga å En utredning för Kristianstad län av Barbro Johansson Norrköping 1984
- 19 Utvärdering av 1984 års vårfloödesprognoser av Martin Haggström Norrköping 1984
- 20 Svenska Björgeglätor Uppdatering av Torbjörn Lindkvist och Christina Thoms-Hjertz Norrköping 1984
- 21 Snömätning med flygburen gummeseptometer i Kullasjöns avrinningsområde 1980 - 1984 av Stan Haggström och Håls Brandt Norrköping 1984
- 22 PRUE - An instruction Manual by Urban Svensson Norrköping 1984
- 23 Kartläggning av ytvattentemperaturen med satellitdata av Thomas Thompson Norrköping 1985
- 24 Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg av Bo Juhlin Norrköping 1985
- 25 Vindförluster vid mätning av andrehörsdör med SMHI nederbördsmätaren av Bengt Carlsson Norrköping 1985
- 26 Svenska Vattendragsregulatorer av Torbjörn Lindkvist Norrköping 1985
- 27 Svenska Björgeglätor av Kurt Zhiere (projekterare) Norrköping 1985
- 28 Aplicación del modelo HBV a la cuenca del Lago de Atitlán en Costa Rica av Barbro Johansson, Magnus Persson, Göran Brandberg och Edgar Robles (ICR) Norrköping 1985
- 29 Beräknat markvattenunderskott i Emlånsens avrinningsområde 1974-83 av Gun Zährn, Barbro Johansson och Barbro Norlander Norrköping 1985
- 30 Beräknat markvattenunderskott i Emlånsens avrinningsområde 1974-83 av Gun Zährn, Barbro Johansson och Barbro Norlander Norrköping 1985
- 31 Application of the HBV model to pilot basins in Burma av Gun Zährn och Magnus Persson Norrköping 1985
- 32 Vattenbalansaktat över Hverfje - månadsmedelvärden för 1931 - 1980 av nederbörd, avdunstning och avrinning av Todor Milenov Norrköping 1985
- 33 Vågdata från svenska kustvatten 1984 av Jonny Svensson Norrköping 1985

HYDROLOGISKA RAPPORTER

- 1 Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena av Bengt Carlsson Norrköping 1985
- 2 Utvärdering av 1985 års vårfloödesprognoser av Martin Haggström och Magnus Persson Norrköping 1986
- 3 Riktlinjer och praxis vid dimensionering av utskov och dammar i USA. Rapport från en studieresa i oktober 1985 av Stan Haggström, Ulf Zhiere, SMHI, och Per-Eric Ohlsson, VABO Norrköping 1986
- 4 Skåneprojektet Hydrologisk och Oceanografisk information för vattenplanering - ett pilotprojekt av Barbro Johansson, Erlend Bergström och Torbjörn Jutman Norrköping 1986
- 5 Översiktligt sammanställning av den geografiska fördelningen av skador framåt på dammar i samband med septemberflödet 1985 av Martin Haggström Norrköping 1986
- 6 Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett forskningsprojekt av Barbro Johansson Norrköping 1986
- 7 Arvells studier av Maja Brandt Norrköping 1986
- 8 PRUE-modellen. Struktur och tillämpningar av Bengt Carlsson, Stan Haggström, Maja Brandt och Göran Lindström Norrköping 1987
- 9 Vågor i kraftverksamheten beräknade med en numerisk modell av Lennart Funkqvist Norrköping 1987
- 10 Application of the HBV-Model to Bolivian Basins av Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Arambur och Roberto Liobet Norrköping 1987
- 11 Monthly streamflow simulation in Bolivian Basins with a stochastic model av Cecilia Ambjörn, Enrique Arambur och Roberto Liobet Norrköping 1987

OCEANOGRAFISKA RAPPORTER

- 1 En hydrodynamisk modell för spridnings- och cirkulationsberäkningar i Östersjön - Slutrapport av Lennart Funkqvist Norrköping 1985
- 2 Spridningsundersökningar i yttre fjärden Piteå av Barry Broman och Carsten Pettersson Norrköping 1985
- 3 Utbyggnad vid Halmö hamn; effekter för Lommabuktens vattenutbyte av Cecilia Ambjörn Norrköping 1986
- 4 SMHI:s undersökningar i Öregrundsgrepen perioden 8/8-9/9 av Jan Andersson och Robert Hallgren Norrköping 1986
- 5 Oceanografiska observationer utmed svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1985 av Bo Juhlin Norrköping 1986
- 6 Uppföljning av sjövarmpump i Lilla Värtan av Barry Broman Norrköping 1986
- 7 15 års mätningar längs svenska kusten med kustbevakningen (1970 - 1985) av Bo Juhlin Norrköping 1986
- 8 Vågdata från svenska kustvatten 1985 av Jonny Svensson Norrköping 1986
- 9 Oceanografiska stationerat Tugbakt Vattenackiv av Barry Broman Norrköping 1986
- 10 PRUE - An instruction manual av Urban Svensson Norrköping 1986



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 Norrköping. Tel 011-15 80 00. Telex 64400 smhi s.