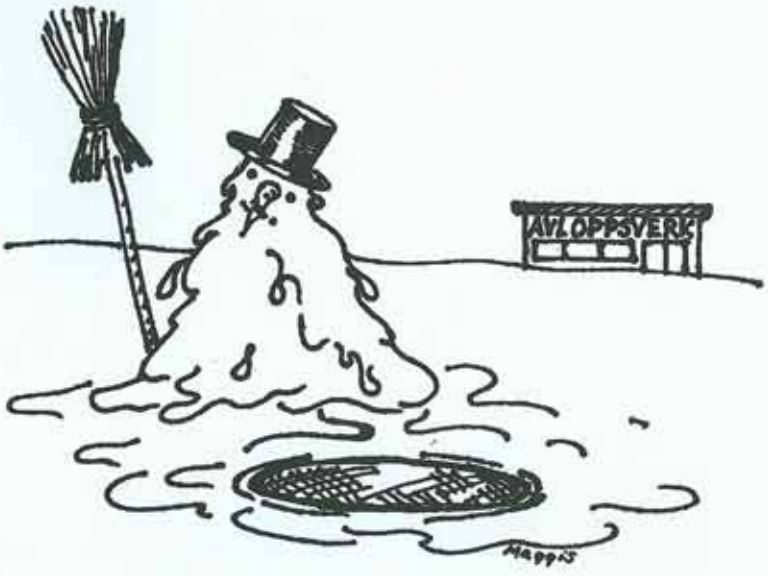
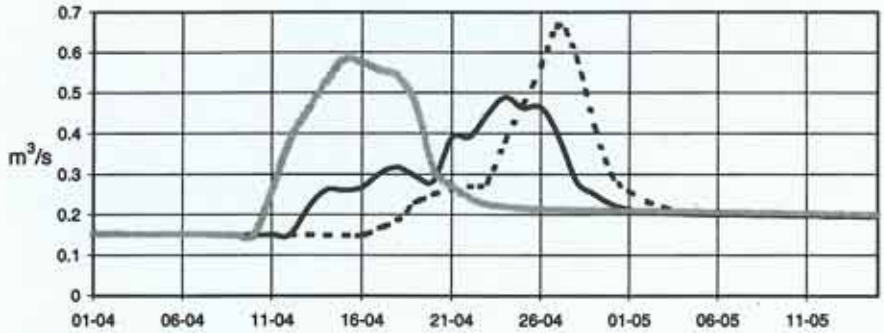
Snösmältnings-påverkan på avlopps-system inom urbana områden

Claes Hernebring





Utgiven av Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, VAV

RAPPORT

1996 07

VA-FORSK

VAV

VA-FORSK

VA-FORSK är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande en krona per kommuninnevånare och år. Avgiften är frivillig och intresset från kommunernas sida har varit mycket stort. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

VA-FORSK initierades gemensamt av Kommunförbundet och VAV. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

VA-FORSK styrs av en kommitté, som utsetts gemensamt av VAV och Kommunförbundet. Kommittén är underställd VAVs styrelse. Under perioden 1993-1995 har kommittén följande sammansättning:

Hans Mattsson, ordförande	Södertälje
Professor Peter Balmér	GRYAAB, Göteborg
Driftchef Sture Bergström	Gatukontoret, Skellefteå
Kommunalråd Nina Jarlbäck	Eskilstuna
Tekn chef Peeter Maripuu	Lysekil
Ledamot i KS o KF Håkan Mattsson	Ystad
Ledamot i KS Åsa Möller	Sundsvall
VA-chef Bengt L Persson	VA-verket Malmö
Sektionschef Jan Söderström	Sv kommunförbundet
VD Håkan Westerlund	VAV
Forskningschef Jan Falk, sekreterare	VAV

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande VAVs ståndpunkt.

VA-FORSK
Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV
Regeringsgatan 86
111 39 STOCKHOLM
Tel: 08-23 29 35
Fax: 08-21 37 51

Snösmältnings-påverkan på avlopps-system inom urbana områden

Claes Hernebring

RAPPORT

1996 ● 07

VA-FORSK

VAV

Utgiven av Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, VAV

VA-FORSKs rapportserie

Rapportens titel:	Snösmältningspåverkan på avloppssystem inom urbana områden
Title of the report:	Snowmelt induced runoff in sewer systems
Rapportens beteckning	
Nr i VA-FORSK-serien:	1996-07
ISSN-nummer:	1102-5638
ISBN-nummer:	91-88392-97-X
Författare:	Claes Hernebring, VBB Viak AB, Linköping
Utgivare:	Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen, VAV
VA-FORSK projekt nr:	93-130
Projektets namn:	Simulering av snösmältningen inom urbana områden med den hydrologiska modellen MouseNAM
Projektets finansiering:	VA-FORSK, Deltagande kommuner
Rapporten beställs från:	Svensk Byggtjänst, Litteraturtjänst, 171 88 Solna, tel 08-734 51 00
Rapportens omfattning	
Sidantal:	120
Format:	A4
Upplaga:	1100
Sökord:	Snösmältning, snösmältningsmodell, snösmältningsavrinning, avloppssystem, ovidkommande vatten, avloppsverk
Keywords:	Snowmelt, snowmelt modelling, snowmelt induced runoff, sewer system, infiltration flow, inflow to wastewater treatment plants

Sammandrag:

Rapporten beskriver tillämpning av analys på tillrinningen till sju avloppsverk fokuserat på snösmältningspåverkan. Tekniken för att formulera och verifiera en modellbeskrivning, ger exempel på problem med denna och anger förslag till lämpliga modifieringar.

Abstract:

The paper describes the analysis of the flow from seven wastewater treatment plant catchments focused on snowmelt processes. The techniques used to formulate and verify the model description, gives examples of shortcomings and problems, and suggestions for appropriate model modifications.

Målgrupper:	Kommunala VA-förvaltningar Konsulter
Utgivningsår:	1996
Pris 1996:	150 kr, exkl moms

SAMMANFATTNING

De senaste åren har ett stort antal tillämpningar utförts med modellering av hydrologiskt påverkad tillrinning i avloppssystem med hjälp av den generella hydrologiska modellbeskrivningen i MouseNAM. Modellverktyget har använts som ett led i analys av avloppssystemen för att få en mer realistisk beskrivning av varierande basflödesförhållanden än vad t ex en belastning med statistiska typregn skulle ge. Tillämpningsområden har främst varit problembeskrivning och åtgärdsförslag för att minska bräddningar, att påverka tillrinningen till avloppsverk samt att minska risken för översvämningar inom avloppsledningssystem. I de nordliga delarna av Sverige, innebär snösmältningsperioden erfarenhetsmässigt bl a en hög flödesmässig belastning på avloppssystemen och reningsprocesserna vid anslutna reningsverk, under en relativt lång tid.

Syftet med projektet var att undersöka i hur hög grad den förenklade modellbeskrivningen av snösmältningsförloppet i NAM-modellen (en konceptuell modell som bygger på en graddagarsmetod) är lämplig för variationer i ovidkommande vattenmängder i kombinerade eller separerade avloppssystem påverkade av snösmältningsförhållanden.

Rapporten beskriver tillämpning på tillrinningen till sju avloppsverk fokuserat på snösmältningspåverkan, tekniken för att formulera och verifiera modellbeskrivningen, ger exempel på problem med modellbeskrivningen och ger förslag till lämpliga modifieringar.

Avloppsverken inom tillämpningskommunerna visar en hög grad av påverkan under snösmältningen, i varierande grad beroende på ledningssystemens status. Baserat på årsmedelvärden uppvisar dock inte tillämpningsområdena ett variationsintervall som skiljer sig från områden i övriga delar av Sverige.

Studien baserar sig på tioåriga flödesserier från varje avloppsverk. Modellbeskrivningen av snösmältningsprocessen, kalibrerad mot uppmätta flödesvärden, jämförs med observationer och mätningar inom avrinningsområdena.

Mätdata från avd för Vattenteknik, Högskolan i Luleå, har också inkluderats i projektet. Där har snösmältningsförloppet följts i detalj genom snötaxeringar och avrinningsmätningar från ett bostadsområde. Dessa mätdata har använts för att testa en modifierad modellbeskrivning, vilken visat sig med tillfredsställande noggrannhet kunna beskriva förloppet.

NYCKELORD

Snösmältning, snösmältningsmodell, graddagarskonstant, snösmältningsavrinning, avloppssystem, ovidkommande vatten, avloppsverk.

ABSTRACT

The MouseNAM concept has in Sweden been applied in more than 50 wastewater treatment plant catchments to model hydrological processes affecting variations in inflow infiltration components. The model has been used as a part of analyses of the loading situation for sewer systems in order to get a realistic description of both short term and long term variations, i.e. varying baseflow conditions. The main application areas, essentially within the south of Sweden, have mainly been to give a problem survey and a basis for measures in sewerage master plans in order to reduce combined sewer overflows, the risk of flooding or the inflow to wastewater treatment plants. In the northern parts of Sweden the snowmelt period means rather high loadings during several weeks, low wastewater temperature, and thereby, among other things, problems to manage wastewater treatment processes.

The aim of the research project described here is to examine to what extent the simplified snowmelt process description in the MouseNAM-model (a lumped model based on the temperature index approach) is suitable to describe variations of inflow infiltration into separated or combined sewers heavily affected by snowmelt conditions. The project is supported by the Swedish Water and Waste Water Works Association.

The paper describes the application of the concept on seven wastewater treatment plant catchments focused on snowmelt processes, the techniques used to formulate and verify the model description, gives examples of shortcomings and problems, and suggestions for appropriate model modifications.

The wastewater treatment plants are shown to be heavily affected during snowmelt conditions to a varying degree, depending on sewer system status. On a yearly basis, however, key numbers for infiltration inflow do not generally differ from variations met in the rest of Sweden.

The basis of the study is 10-year daily measurements of inflow to the wastewater treatment plants on each site. The model description of the snowmelt process calibrated against sewer flows is compared with observations and measurements made within the catchments.

Measurements made at Water Resources Engineering, Luleå University are included. The snowmelt has been followed in detail by snow surveys and runoff measurements from a residential area. These measurements have been used to test a modified MouseNAM snowmelt routine which is shown to describe the runoff processes with reasonable accuracy.

KEYWORDS

Snowmelt, snowmelt modelling, degree-day factor, snowmelt induced runoff, sewer system, infiltration flow, inflow to wastewater treatment plants.

FÖRORD

Projektet har utförts i samarbete mellan sex tillämpningskommuner och VBB Viak Ledningsförnyelse med VA-chef Stefan Marklund, Luleå kommun, som projektledare. Från VBB Viak har i projektgruppen Claes Hernebring och Lars-Göran Gustafsson deltagit. För sammanställning av rapporten svarar Claes Hernebring.

Som vetenskapliga rådgivare beträffande snösmältningsprocesser har professor Lars Bengtsson, Lunds tekniska högskola Inst. för Teknisk vattenresurslära, och Göran Westerström, Högskolan i Luleå avd för Vattenteknik, medverkat. Göran Westerström har dessutom välvilligt ställt mätdata till projektets förfogande.

Sex tillämpningskommuner har deltagit med data från totalt sju avrinningsområden (reningsverk). Deltagande kommuner samt kontaktpersoner har varit:

kommun	*kontaktperson*
Kiruna	Ronny Klippmark
Luleå (Uddebo, Råneå rv)	Stefan Marklund
Lycksele	Ulf Nilsson
Malå	Sture Hedström
Skellefteå (Kåge)	Sture Bergström
Sundsvall (Tivoliverket)	Sune Källström

Inom projektet har två informationsmöten hållits med deltagande från projektarbetsgruppen och tillämpningskommunerna.

I arbetet inom projektet har dessutom följande personer från VBB Viak Ledningsförnyelse bidragit: Ann-Marie Gustafsson, Hans Hammarlund och Cecilia Wennberg

Projektet har finansierats av VA-FORSK och tillämpningskommunerna.

Claes Hernebring

VBB Viak Ledningsförnyelse
Linköping i april 1996

Innehållsförteckning

FÖRORD

SAMMANFATTNING

ABSTRACT

1. Bakgrund
   1.1 Problembeskrivning 1
   1.2 Variationer i flöden av ovidkommande vatten 2
   1.3 Snösmältningsprocesser 3
   1.4 Syftet med detta projekt 4

2. Snösmältningspåverkan i avloppssystem
   2.1 Tillämpningskommuner 5
   2.2. Datainsamling 6
      2.2.1 Klimatdata 6
      2.2.2 Flödesstatistik 7
   2.3 Exempel på kalibreringsresultat- tillrinning 8
   2.4 Flödespåverkan under snösmältning 11
   2.5 Beskrivning av snösmältning i MouseNAM 12
      2.5.1 Mätdata för verifiering av snöbeskrivning 12
      2.5.2 Problem med befintligt modellkoncept 13

3. Modellbeskrivning av snösmältningsförloppet
   3.1 Väsentliga delproblem i beskrivning av smältförloppet 14
      3.1.1 Temperaturdata 14
      3.1.2 Snötäckets vattenhållande förmåga 15
      3.1.3 Mätning av snönederbörd 15
      3.1.4 Deltagande area. 15
      3.1.5 Infiltration. 16
      3.1.6 Dygnsvariation 16
      3.1.7 Modifierad modellbeskrivning 17
   3.2 Kalibrering av en avrinningsmodell mot mätdata med hög upplösning 18
      3.2.1 Mätningar av snösmältningsavrinning från Porsöberget, Luleå 18
      3.2.2 Modellbeskrivning av snötäcket med olika temperaturinformation 19
      3.2.3 Modellbeskrivning av avrinningsförloppet med MouseNAM 23
      3.2.4 Diskussion 25
      3.3.5 Uppbyggnad av snötäcket 25
      3.3.6 Snösmältningsavrinning - dygnsupplösning, tillämpning på Lycksele 26

4. Nyckeltal för variationer i tillrinningen
   4.1 Bakgrund 28
   4.2 Skiljer sig aktuella områden från områden i södra Sverige? 30
   4.3 Nyckeltal för snösmältningspåverkan 33

5. Diskussion 34

6. Vad ska en bra modell användas till? 35

Begreppsförklaringar 37

Referenser 39

BILAGOR

1. TILLÄMPNINGSKOMMUNER
BILAGA A. Kiruna avloppsreningsverk A:1
BILAGA B. Uddeboverket, Luleå kommun B:1
BILAGA C. Råneå avloppsreningsverk, Luleå kommun C:1
BILAGA D. Lycksele avloppsreningsverk D:1
BILAGA E. Malå avloppsreningsverk E:1
BILAGA F. Kåge avloppsreningsverk, Skellefteå kommun F:1
BILAGA G. Tivoliverket, Sundsvalls kommun G:1

2. MÄTNINGAR AV SNÖSMÄLTNINGSAVRINNING PÅ PORSÖBERGET I LULEÅ 2:1

3. MODELLBESKRIVNING MED SNÖTÄCKETS VATTENHÅLLANDE FÖRMÅGA 3:1

1. Bakgrund

1.1 Problembeskrivning

De senaste åren har ett stort antal tillämpningar utförts med modellering av hydrologiskt påverkad tillrinning i avloppssystem med hjälp av den generella hydrologiska modellbeskrivningen i MouseNAM. Modellverktyget har använts som ett led i analys av avloppssystemen för att få en mer realistisk beskrivning av varierande basflödesförhållanden än vad t.ex en belastning med statistiska typregn skulle ge (av typen "sommarmodell"). En bakgrund till problemområdet ges av Bäckman et al (1993).

Tillämpningsområden har främst varit problembeskrivning och åtgärdsförslag för att minska bräddningar, att påverka tillrinningen till avloppsverk samt att minska risken för översvämningar inom avloppsledningssystem. När detta skrivs har analysmetodiken tillämpats på mer än 50 avrinningområden av varierande storlek och urbaniseringsgrad, från någon km^2 upp till 200 km^2. Metodiken och tillämpningar finns beskrivet av Gustafsson (1993).

Den hydrologiskt påverkade andelen av flödet, ibland benämnd "ovidkommande vatten" (tillrinningen exkl spillvatten) har i olika avloppssystem visat sig variera högst betydligt; ett tillskott i medeltal i intervallet 50-150% av spillvattenflödet, dessutom ojämnt fördelat i tiden.

I de nordliga delarna av Sverige, samt övriga delar av landet med vad man kan beteckna som "kallt klimat", dvs även t ex sydsvenska höglandet, innebär snösmältningsperioden erfarenhetsmässigt bl a en hög flödesmässig belastning under en relativt lång tid på avloppssystemen och reningsprocesserna vid anslutna reningsverk.

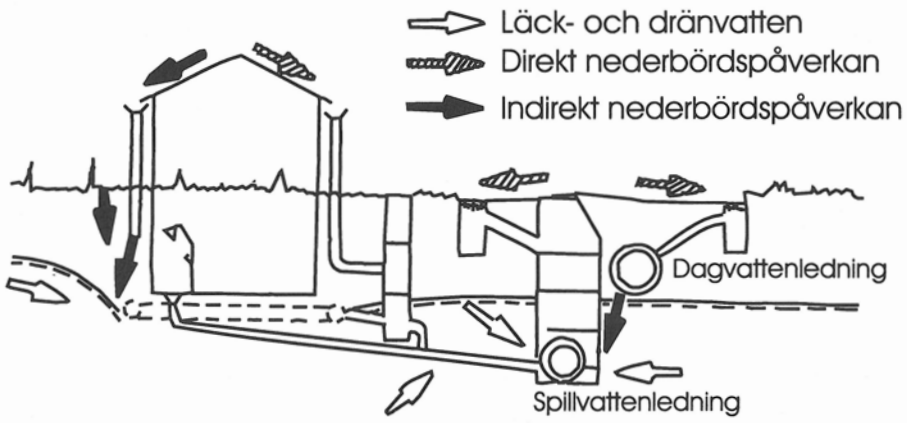
Ett kallt och utspätt avloppsvatten under en tidsrymd av flera veckor kan vara ödesdigert, speciellt för biologiska behandlingsprocesser. Problemen vid dessa flödesförhållanden ur reningsverkets synpunkt beskrivs av t ex Marklund (1982), Hernebring et al (1984) och Hernebring (1985). Att biologisk behandling är möjlig även under dessa extrema förhållanden har emellertid rapporterats av exempelvis Balmér (1970) och Marklund (1994). Förutsättningen är då att lämpliga reningsprocesser har valts och att dimensioneringen av delprocesserna har utförts med tanke på aktuella förhållanden.

De flesta modellkalibreringar med MouseNAM som utförts har gällt områden i södra Sverige. Innan föreliggande projekt startade fanns endast ett begränsat antal MouseNAM-tillämpningar inom avrinningsområden i norra Sverige, bl a Sundsvall och Gävle. Ett motiv för projektet är att det vore önskvärt att mer klarlägga metodikens tillämpbarhet för mer extremt snösmältningspåverkade avrinningsområden. En trovärdig beskrivning av snösmältningsförloppet skulle förbättra beslutsunderlaget avseende förhållanden väsentliga för analys, systemval och dimensionering av både ledningssystem och reningsprocesser vid reningsverk även i nordligare klimatzoner.

1.2 Variationer i flöden av ovidkommande vatten

Generellt är de flesta avloppssystem i Sverige nu för tiden nybyggda och ombyggda till s k separerade ledningssystem, med undantag för vissa delar inom äldre stadsområden med kombinerade ledningar. Det är vanligt att dräneringsledningar runt byggnader av höjdskäl är anslutna till spillvattensystemet. Det finns också andra vägar, som principiellt beskrivs i figur 1 (från Bäckman et al , 1993), för vatten av annat ursprung än spillvatten att nå den nominellt separerade spillvattenledningen.

Vid utarbetande av sanerings/åtgärdsplaner på ledningsnäten förväntar man sig vanligen att finna punktkällor för inläckage eller inflöden. Den allmänna erfarenheten är emellertid att dessa källor tenderar att vara ganska jämnt fördelade inom ledningsnätet. Detta representerar oftast mera en generell (avsiktlig eller oavsiktlig) dräneringsfunktion hos avloppssystemet än punktvisa sammankopplingar med omgivande naturliga vattendrag/markvattenmagasin eller dagvattenledningar, även om denna typ av punktkällor naturligtvis också existerar.



Figur 1 Möjliga källor för ovidkommande vatten i avloppsystem

En kalibrering av en MouseNAM-modell mot mätdata i någon punkt i ett avloppsnät innebär att man försöker finna en hydrologisk förklaring till flödesvariationerna. Att förklaringen är hydrologisk innebär att de faktorer som påverkar avrinningen är nederbörd, temperatur och potentiell avdunstning. Kalibreringen innebär bl a att storleken på vissa tidskonstanter för delprocesser i det hydrologiska avrinningsförloppet bestäms tillsammans med en bidragande yta.

Då en kalibrerad MouseNAM-modell belastas med en nederbördsserie erhålls ett beräkningsresultat där flödet är uppdelat på ett antal flödeskomponenter som styrs av olika tidskonstanter. Dessa flödeskomponenter är, från det trögaste (d v s det med längst tidskonstant), basflöde, interflow, overlandflow och, till det snabbaste, FRC-flödet. Dessutom tillkommer, vid en beskrivning av tillrinningen till reningsverket, spillvattenflödet.

Med FRC (Fast Response Component) avses den snabba avrinningskomponent i direkt anslutning till regntillfällen, t ex avrinning från hårdgjorda ytor, som ej är påverkad av den hydrologiska situationen, dvs hög eller låg markvattenhalt.

Vid utvärderingar av MouseNAM modellberäkningar brukar normalt de tre trögaste flödena (basflöde, interflow och overlandflow) slås ihop till en flödeskomponent som då benämns SRC-flöde. SRC (Slow Response Component) avser en trög avrinningskomponent, t ex läck- och dränvatten, som är starkt beroende av den hydrologiska situationen, dvs vattenhalt i olika markvatten- och grundvattenmagasin.

Det är viktigt att tänka på att uppdelning på dessa flödeskomponenter är en modellkonstruktion som inte tar någon hänsyn till vattnets väg i naturen. Om vatten som rinner av på ytan, letar sig in via dräneringen eller läcker över från dagvattenledningar tillförs reningsverket på ungefär samma tid (för FRC-flödet ca 0 - 6 h) beskrivs det med en och samma flödeskomponent i MouseNAM.

1.3 Snösmältningsprocesser

Snösmältning är resultatet av ett värmeutbyte mellan snötäcket och dess omgivning. Det enda teoretiskt korrekta sätt att beräkna smältmängden är att göra detta genom att upprätta en energibudget, (Anderson, 1968). Eftersom de olika källorna och processerna som påverkar värmetransporten till och från snötäcket är mycket svåra att uppskatta, brukar man för att få praktiskt hanterbara procedurer för att förutsäga snösmältningsintensiteten vanligen utnyttja lufttemperaturen som styrande för smältningen, se Male och Gray (1981) samt Westerström (1986) för litteraturgenomgång.

Graddagarsmetoden. Beskrivningen av snösmältningsprocessen i MouseNAM baserar sig på den s k graddagarsmetoden, dvs beräknad avrunnen volym från snötäcket är proportionell mot antalet positiva graddagar (°C · dag). För beräkning av tillväxt för och avrinning från snötäcket utnyttjas temperaturdata för beräkningsperioden. Nederbörd och samtidig negativ lufttemperatur adderar nederbördsvolymen till snötäcket. Vid positiv temperatur börjar avsmältningen.

Det har visats att det är möjligt att beskriva avrinningen från ett smältande snötäcke med dygnsupplösning på ett tillfredsställande sätt med den angivna typen av samband (Westerström, 1986). Temperaturinformationen (med dygnsupplösning) kan antingen väljas som a) ett aritmetiskt medelvärde för temperaturvariationen under dygnet, b) ett medelvärde baserat på daglig max- och mintemperatur, eller c) ett medelvärde baserat på temperaturvärden under dygnet över 0°C. De olika typerna av temperaturdata kommer att resultera i en något varierande kalibrerad graddagarskonstant, så det är viktigt att beräkningar uförs med samma typ av temperaturdata som kalibreringen har utförts med. Vidare är det viktigt att notera att angiven längd på tidssteget är ett dygn. Variationer av snösmältningsintensiteten under dygnet diskuteras senare i rapporten.

1.4 Syftet med detta projekt

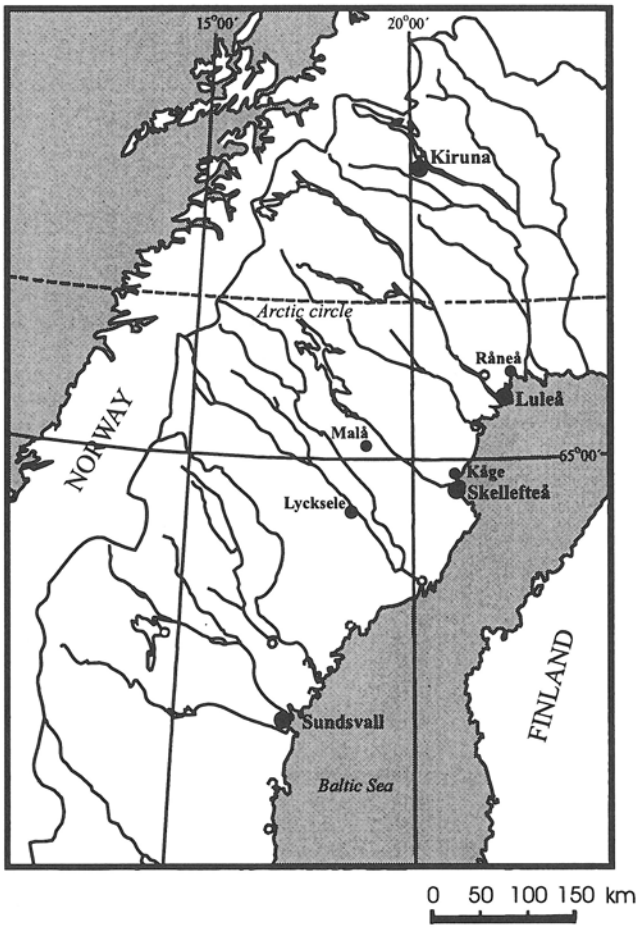
Projektets syfte är att klarlägga i hur hög grad den förenklade beskrivningen av snösmältning i den befintliga MouseNAM-modellen är lämpad att beskriva det verkliga förloppet som det uppträder i variationer av mängden ovidkommande vatten i ett spillvattensystem (eller kombinerat system). Även snösmältningsflöden i dagvattensystem kan naturligtvis beskrivas. Eventuella modifieringar av modellbeskrivningen kommer att diskuteras.

Med en trovärdig modellbeskrivning är det möjligt att utföra långtidssimuleringar för att t ex etablera "dimensionerande snösmältningsintensiteter/volymer", att relatera ett förlopp till normalförhållanden eller att simulera effekter av olika åtgärdsstrategier. Det är också möjligt att utnyttja en verifierad modell för att göra avrinningsprognoser i olika tidsskalor, om den framtida utvecklingen av klimatfaktorer är känd, t ex genom väderprognoser.

Bortsett från de modelltekniska aspekterna, att mer eller mindre väl kunna beskriva förloppet, innebär insamlandet av data från olika nordligt belägna avrinningsområden att en systematisk sammanställning och kararakterisering av förekommande variationer i mängden ovidkommande vatten kan göras för dessa nordligt belägna avloppsnät. Skiljer sig variationerna i tillrinningen på ett sådant sätt från förhållandena i södra Sverige att speciella slutsatser bör dras för t ex strategier för avloppsbehandling och åtgärder på ledningsnäten?

2. Snösmältningspåverkan i avloppssystem

2.1 Tillämpningskommuner



Figur 2 Belägenhet för avrinningsområden inom tillämpningskommunerna i norra Sverige.

Ett antal kommuner i norra Sverige tillfrågades om att delta i studien. Den slutliga sammansättningen av tillämpningsområden representerar sju avloppsverk av varierande storlek och spridda över norra Sverige, som framgår av figur 2. Kommunerna är Kiruna, Luleå (med Uddebo respektive Råneå avloppsverk), Malå, Skellefteå (Kåge avloppsverk), Lycksele samt Sundsvall (Tivoliverket). I några av resultatpresentationerna återfinns även Huskvarna reningsverk som en representant för sydsvenska förhållanden. Detta avloppsverk ingick egentligen inte som deltagare i denna studie. Ett liknande arbete, en kalibrering av en MouseNAM-modell mot en tio-års flödesserie, har dock utförts där och vissa delresultat har använts i denna rapport för jämförelser.

2.2. Datainsamling

2.2.1 Klimatdata

Klimatdata insamlades från SMHI för åren 1983-93. Året 1983 användes som initialiseringsår, för att modellberäkningarna inte skulle vara beroende av antagna initialförhållanden. I tabell 1 visas några typiska medelklimatförhållanden för utnyttjade klimatstationer, Eriksson (1983) och Taesler (1972). Angiven höjd över havet i tabellen refererar till den utnyttjade klimatstationen och är inte nödvändigtvis representativ för respektive avloppsverks avrinningsområde.

Tabell 1 Klimatdata från aktuella avrinningsområden

	Breddgrad °N	Höjd, m över havsnivå	Årsmedelnederbörd, mm (korrigerad)	Andel snönederbörd	Vinterverakt., månader	Årsmedeltemp, °C	Snötäcke, medel,årligt max (m)
Kiruna	67°49′	505	680	45%	6.7	-1.6	0.90
Luleå	65°33′	17	615	39%	5.6	1.5	0.67
Malå	65°11′	320	675	43%	5.9	0.2	-
Lycksele	64°35′	234	725	42%	5.7	1.0	-
Skellefteå, Kåge	64°38′	46	660	41%	5.4	2.2	-
Sundsvall	62°23′	60	797	34%	3.9	3.4	0.62
Huskvarna	57°47′	99	680	24%	2.9	6.7	0.18

Nederbördsdata insamlades från en till avloppsverket näraliggande klimatstation för åren 1983-93. Upplösningen var ett värde per dygn, med undantag för Skellefteå och Kiruna med två värden per dygn. Observerad nederbörd korrigerades enl Eriksson (1983) med hänsyn till mätfel beroende på avdunstning, vätning och vindpåverkan. Korrektionen för regnnederbörd var +15-20% (över 0°C) och för snönederbörd (under 0°C) +21-44%, beroende på bedömd vindexponering för respektive klimatstation.

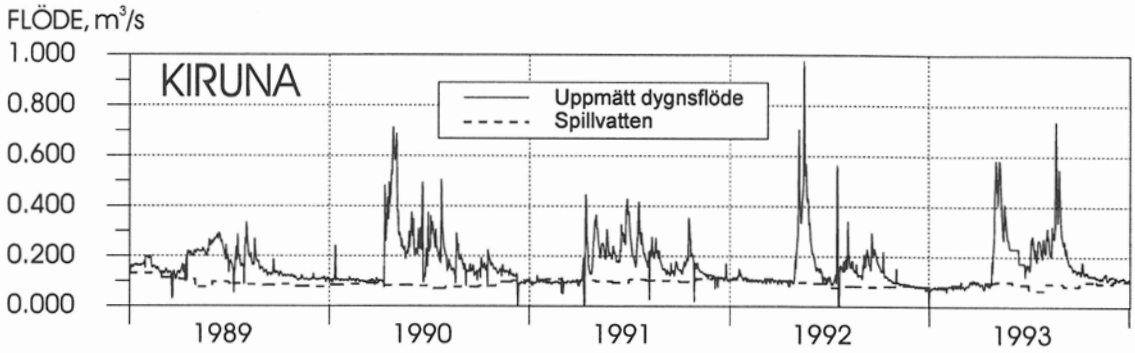
Temperaturdata är ytterst väsentliga för beskrivning av uppbyggnad och avtappning av snötäcket. För att erhålla möjligheten att testa olika sätt att utnyttja temperaturdata inhämtades data från SMHI, något olika för olika klimatstationer: från Kallax i Luleå ett värde per dygn kl 07 (Luleå, Råneå), Skellefteå två värden per dygn (kl 04 och 13), Kiruna kl 07 och 19, samt för Sundsvall resp Lycksele tre värden per dygn kl 07, 13 och 19. För Malå utnyttjades temperaturdata från Lycksele.

I bilagorna 1:A-G redovisas kalibreringsresultat där ett temperaturvärde per dygn (uppmätt kl 07) utnyttjats för avrinningsområdena Luleå, Råneå, Lycksele, Malå och Sundsvall, två värden per dygn för Kiruna och Kåge. I kapitel 3 diskuteras vidare vilken temperaturinformation som lämpligen bör utnyttjas.

Potentiell avdunstning utnyttjades med månadsupplösning. Normalvärden per månad för respektive avrinningsområde enl Eriksson (1981), korrigerat för urbana förhållanden,

tjänade som indata för MouseNAM-beräkningarna. Den verkliga avdunstningen beräknas av modellen, beroende på vatteninnehållet i yt- och rotzonsmagasinen.

2.2.2 Flödesstatistik



Figur 3 Uppmätt tillrinning, dygnsvärden, till Kiruna avloppsverk under fem år.

Flödesstatistik för tillrinningen till avloppsverken insamlades via journaler, dygnsvärden, för åren 1984-93. I figur 3 visas tillrinningen till det nordligaste avloppsverket, Kiruna, för de sista fem åren. Mera detaljer beträffande bl a tillrinningen för respektive avloppsverk framgår i bilagorna.

Uppskattning av spillvattenflöden gjordes baserat på månadsvis vattenproduktion och årlig debiterad vattenmängd.

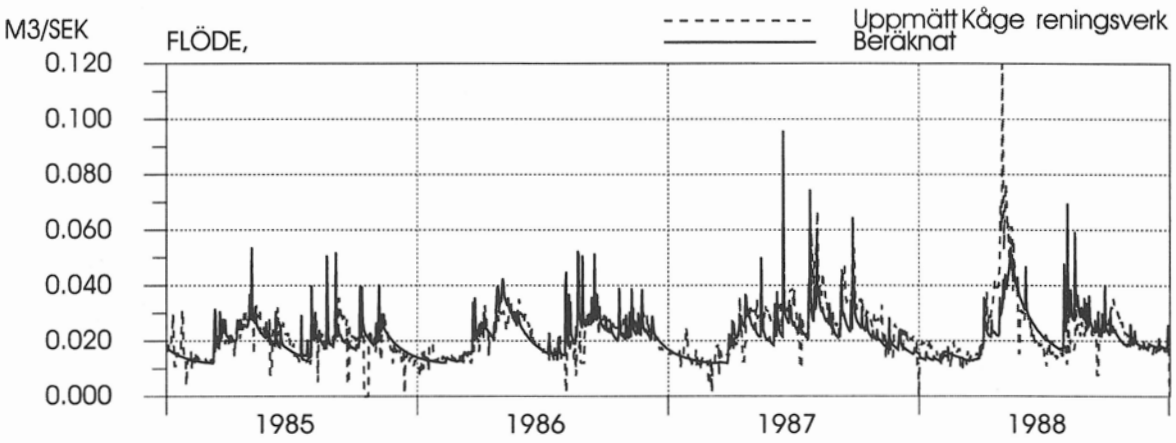
Tabell 2 visar några sammanfattande karakteristika för avrinningsområdena och tillrinningen till respektive avloppsverk.

Tabell 2 Några karakteristika för tillrinning och avrinningsområden

Avr. område	Total tätortsarea, ha	Antal invånare, tusental	Uppsk spillvattenflöde, l/s	Medelflöde (1984-93) reningsv, l/s	Totalflöde i relation till spillvattenflöde.
Kiruna	1000	22	98	170	173%
Luleå	2800	62	247	354	143%
Råneå	170	2.5	6.5	14.4	222%
Malå (1990-93)	180	3	5.3	10.6	184%
Lycksele	540	12	31.5	50.9	162%
Kåge	210	2.5	12.1	21.5	176%
Sundsvall	1720	45	128	284	221%
Huskvarna	2500	30	77	181	235%

2.3 Exempel på kalibreringsresultat - tillrinning

I figur 4 visas exempel på kalibreringsresultat för tillrinningen till Kåge reningsverk. Det totala simulerade flödet jämförs med upmätt flöde med dygnsupplösning under fyra år. Flera kalibreringsexempel och detaljer återfinns i bilagorna för respektive avrinningsområde.



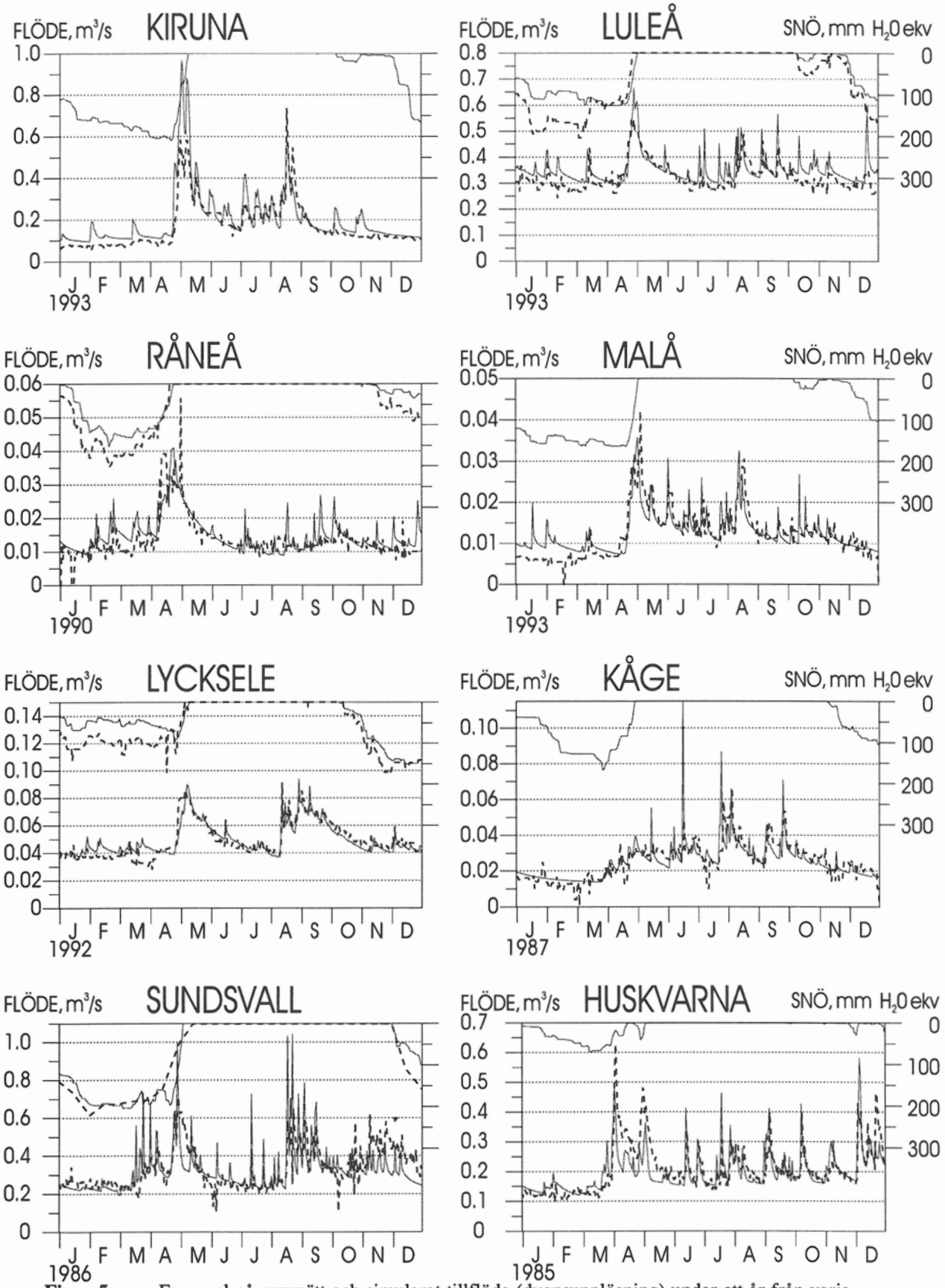
Figur 4 En-box NAM-modell för tillrinningen till Kåge reningsverk. Jämförelse mellan simulerade och uppmätta värden under fyra år, 1985-88. Dygnsupplösning

I tabell 3 har några viktiga kalibreringsparametrar från respektive avrinningsområde sammanställts.

Tabell 3 Några viktiga MouseNAM kalibreringsparametrar

	Total tätorts-area, ha	Kalibrerad dräneringsarea Asrc, ha	Andel av total area	Snabb avr komponent area Afrc, ha	Basflöde tids-konstant, h
Kiruna	1000	750	75%	40	1000
Luleå	2800	760	27%	65	1200
Råneå	170	80	47%	5	800
Malå	180	37	21%	5	1000
Lycksele	540	145	27%	5	1000
Kåge	210	52	25%	6	800
Sundsvall	1720	735	43%	110	2500
Huskvarna	2500	1000	40%	50	4000

I figur 5 visas exempel på kalibreringsresultat från alla de åtta avrinningsområdena. Det totala simulerade flödet jämförs med upmätt flöde med dygnsupplösning under ett utvalt år från de totala tidsserierna på tio år, med undantag för Malå där endast en fyraårig mätserie var tillgänglig. Åren är inte utvalda för att de skulle vara speciellt representativa, utan mer som kalibreringsexempel och för att illustrera några problem med modellbeskrivningen. T ex resulterade klimatet under 1992 i ett extremt litet snödjup över hela Sverige. I slutet av 80- och början av 90-talet har inte södra Sverige upplevt några större snödjup. Året 1985 representerar för Huskvarnas del ett extremt snörikt år.



Figur 5 Exempel på uppmätt och simulerat tillflöde (dygnsupplösning) under ett år från varje studerat avrinningsområde. Angivet är också beräknat samt, när det varit tillgängligt, uppmätt snödjup. Beräknade värden - heldragna linjer. Uppmätt - streckade linjer.

2.4 Flödespåverkan under snösmältning

I bilaga 1:A-F anges för respektive avrinningsområde beräknad maximal snösmältningsintensitet med varierande tidsbas (under 1 dygn, 2 dygn, 1 vecka, 2 veckor). Detta har utförts så, att maximal minskning av snömagasinet med aktuell tidsbas beräknats ur dataserierna. I tabell 4 har resulterande värden sammanställts. Uppskattningarna har utförts på beräknade värden för snötäcket. I bilagorna finns också jämförelser med uppmätta värden, då dessa funnits tillgängliga.

Det bör påpekas att slusatser beträffande den "naturliga" hydrologin har dragits utifrån flödesdata uppmätta vid respektive avloppsverk. Beräkningen av snötäcket och dess avsmältning baseras på (korrigerade) nederbörds- och temperaturindata. Vid kalibreringen har graddagarskonstanten använts för att justera intensiteten i smältförloppet. Detta har t ex resulterat i att den maximala beräknade snösmältningen för Luleå respektive Råneå avloppsverk avviker något från varandra, även om samma klimatdata använts, eftersom kalibreringen resulterat i en något högre graddagarskonstant för tillrinningen i Råneå.

Under snösmältningsperioden utgör smältvattnet en mycket stor andel av den totala tillrinningen inom avrinningsområdet. Som en jämförelse har den maximala beräknade avsmältningen under en vecka resp två veckor enligt ovan ställts i relation till spillvattenproduktionen under samma tid genom att smältvolymen (mm) multiplicerats med total dräneringsyta ($A_{SRC}+A_{FRC}$). På så sätt erhålls ett relativmått på snösmältningspåverkan i tillrinningen, där den relativa andelen ovidkommande vatten vägs in. Det framgår i tabell 4 att Huskvarna som representant för södra Sverige uppvisar en relativt sett stor snösmältningspåverkan på grund av stor andel ovidkommande vatten, medan påverkan i tillrinningen till Uddeboverket i Luleå är jämförelsevis liten.

Tabell 4 Sammanställning av snösmältningspåverkan

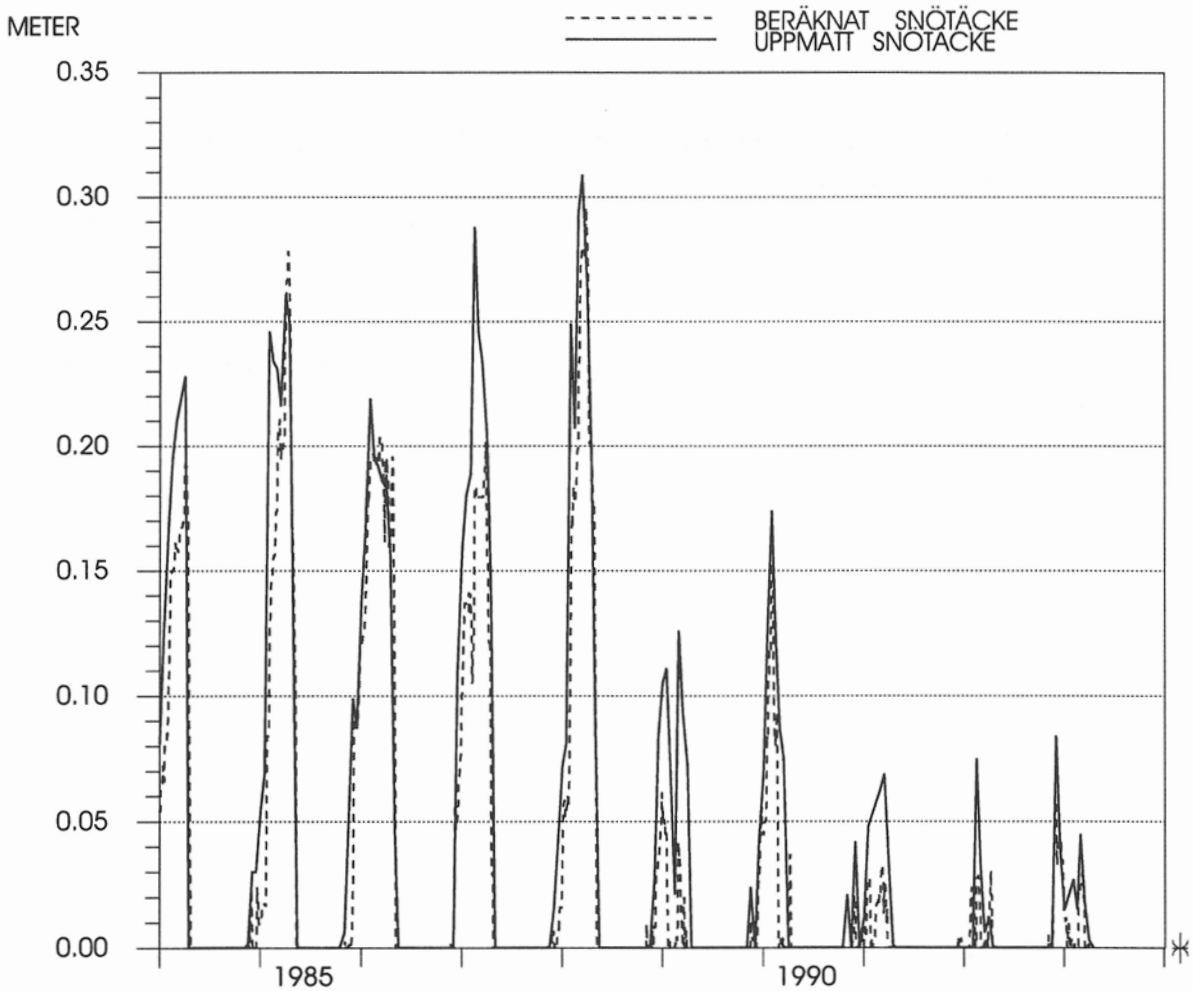
Beräknade värden 1984-93

	Maximal snösmältning, mm vattenekv				Max smältvolym/spillvattenmängd	
	1d	2d	7d	14d	7d	14d
Kiruna	31.5	52.1	133	183	17.7	12.1
Luleå	24.2	44.0	108	172	5.9	4.7
Råneå	26.0	49.7	121	190	26.2	20.6
Malå (1990-93)	22.4	41.6	117	165	15.6	11.0
Lycksele	22.4	41.6	119	190	9.4	7.5
Kåge	33.1	55.8	134	222	10.6	8.8
Sundsvall	36.0	54.2	138	196	15.1	10.7
Huskvarna	17.1	27.5	54.5	67.9	12.3	7.7

2.5 Beskrivning av snösmältning i MouseNAM

2.5.1 Mätdata för verifiering av snöbeskrivning

Från några klimatstationer inhämtades snödjupsobservationer (Luleå, Sundsvall och Lycksele). Dessa observerade snödjup omräknades till en uppskattad vattenekvivalent genom antagandet om en konstant snödensitet på 0.3 mm vattenekvivalent per mm observerat snödjup. Detta antagande är dock korrekt först sent under vintersäsongen, representativ för "mogen" snö under begynnande avsmältning, Bengtsson et. al. (1980), Westerström (1986). Dessa omräknade observationsvärden har införts i figur 5 som en jämförelse med beräknat snömagasin. I figur 6 visas överensstämmelsen mellan beräknat och uppmätt snödjup i Sundsvall för hela 10-årsperioden 1984-93. Flera jämförelse på andra orter finns i bilagorna.



Figur 6 Jämförelse mellan beräknat snömagasin och uppmätt snödjup i Sundsvall under 10-årsperioden 1984-93.

Av figuren framgår att snömagasinets innehåll naturligtvis varierar år från år, men också att modellbeskrivningen oftast förmår återskapa den verkliga snöuppbyggnaden mycket bra, trots osäkerheter i indata som mätning av snönederbörd, korrektionsfaktorer etc.

Detta gäller generellt även för de andra områden där data för uppmätt snötäcke funnits tillgängliga, se bilagor.

2.5.2 Problem med befintligt modellkoncept

Redovisade kalibreringsresultat i figur 5 och i bilagorna illustrerar några problem med modellbeskrivningen under vinterperioden. Perioder med extremt låga basflödesförhållanden kan inte beskrivas korrekt av modellen om dessa innehåller korta perioder med plusgrader, eftersom modellen då genererar avrinning som uppenbarligen inte finns i mätdata. Detta beror på att snötäcket har en viss vattenhållande förmåga då en viss smältvattenmängd ackumuleras i snötäcket innan avrinning kan ske. Detta diskuteras i följande kapitel.

Samma fenomen har betydelse för tidpunkten när den egentliga snösmältningen sätter igång och får genomslag på uppmätta flödesvärden. Det kan alltså vara vissa problem att beskriva tidsförloppet helt korrekt. Den befintliga MouseNAM-beskrivningen har en tendens att starta avrinningsökningen för tidigt.

Förhållandena blir ofta osäkra om temperaturen under långa perioder pendlar runt 0 °C. Det kan då vara svårt att avgöra om en bristande överensstämmelse mellan modellberäknade resp uppmätta flödesvärden beror på att små fel i temperaturdata (ej representativa för hela avrinningsområdet) ger stora effekter i beräknade värden eller att modellbeskrivningen inte tar hänsyn till t ex snöns vattenhållande förmåga, tjälningsförlopp etc.

Korrekta temperaturdata är självfallet av vital betydelse för modellbeskrivningen. Detta kommer att diskuteras i följande kapitel. Det framgår till viss del av tidigare redovisade modellberäkningar i de fall där ett temperaturvärde per dygn utnyttjats, och då avläst kl 07 på morgonen. Eftersom denna temperatur inte är representativ för hela dygnets medeltemperatur tenderar det modellberäknade snösmältningsförloppet att bli något försenat jämfört med verkliga uppmätta flödesvärden.

3. Modellbeskrivning av snösmältningsförloppet

3.1 Väsentliga delproblem i beskrivning av smältförloppet

3.1.1 Temperaturdata

Det har nämnts tidigare och det är självklart att tillgång till relevanta temperaturdata är högst väsentligt om smältförloppet skall kunna beskrivas med framgång. Av praktiska skäl (tillgång på data väl representerade i tid och rum) kommer man slutligen att vara hänvisad till resultat av mätningar av lufttemperaturen, även om olika komponenter i snötäckets energiutbyte med omgivningen, som t ex solinstrålning och reflektionsegenskaper hos snötäcket vore mer relevanta.

Temperaturdata ingår, när ett graddagarssamband utnyttjas, som drivkraft för smältförloppet där smältintensiteten antages proportionell mot temperaturvärdet utöver en jämviktstemperatur, vanligen 0 °C. Temperaturdata bör självfallet vara representativa för förhållandena under det tidssteg som avsmältningsvolymen skall beräknas. Om t ex avsmält volym under ett dygn skall beräknas uppkommer problemet att bestämma det temperaturvärde som är relevant för beräkningen utifrån tillgängliga data.

Eftersom temperaturförloppet under ett dygn är cykliskt, ofta med negativ temperatur under natten, under smältperioden kan mycket väl medeltemperaturen vara negativ, fastän snösmältning kan konstateras ske under kortare tid med positiv temperatur dagtid. En modellbeskrivning som baseras på dygnsmedeltemperaturen kan under sådana förhållanden inte beskriva förloppet. Olika varianter att sammanfatta temperaturinformationen under ett dygn samt resultatet av kalibreringar mot uppmätta data redovisas i avsnitt 3.2.2.

Vid utnyttjande av temperaturinformation med kortare tidsbas än dygnet, t ex en gång per timme, kommer ett direkt graddagarssamband att få vissa problem att beskriva smältförloppet, se t ex Bengtsson (1980), eftersom uppmätta temperatur- resp smältflödesförlopp visar sig variera något olika i tiden. En viss fördröjning av smältflödet uppkommer på grund av bl a smältvattenströmning inom snötäcket. I avsnitt 3.2.3 visas dock resultatet av att utnyttja detaljerad temperaturinformation samt en något modifierad modellbeskrivning, jämfört med uppmätta flödesvärden med kortare tidssteg.

Om det avrinningsområde varifrån man vill beskriva avrinningen är stort och innehåller stora höjdskillnader är det inte sannolikt att en enskild temperaturserie är representativ för hela området. Speciella överväganden krävs då, kanske att indela området i olika höjdzoner och beskriva avrinningen från dessa var för sig med lämplig korrektion av temperaturdata. Detta har inte tillämpats inom detta projekt.

Det skulle finnas skäl att tillämpa en varierande smältkonstant beroende på om smältningen inträffar sent eller tidigt på säsongen. Nysnö har en avsevärt lägre förmåga att absorbera solljusenergi än mogen, smältande snö i slutfasen av smältförloppet. Detta skulle motivera att en högre smältkonstant utnyttjades sent i smältförloppet. Denna möjlighet har dock inte utnyttjats i här rapporterade modellkalibreringar.

3.1.2 Snötäckets vattenhållande förmåga

Det är välkänt, åtminstone bland snöhydrologer, att snösmältningen måste pågå en tid innan avrinning genereras. Larsson (1995) rapporterade för mätningar under 80-talet i Stockholm att ca 6 positiva graddagar krävdes innan vatteninnehållet i ett snötäcke på 110 mm började att reduceras.

Den vattenhållande kapaciteten för mogen snö har av U.S. Corps of Engineers (1956) rapporterats vara omkring 4 volyms-% för snö med densiteten 0.4, vilket innebär 10 vikts-%. Från laboratoriemätningar fann Bengtsson (1980) att den vattenhållande kapaciteten hos initiellt torr snö med den relativa densiteten 0.2-0.25 är 5-6 volyms-% (20-30 vikts-%). Från mätningar vid en försöksyta fann Westerström (1986) att den vattenhållande kapaciteten hos mogen snö var 4-5 volyms-% (10-15 vikts-%).

Det är uppenbart att en modellbeskrivning av avrinningsområden med betydande snötäcke måste inkludera snötäckets vattenhållande förmåga. Det gör inte den nuvarande MouseNAM-modellen. Senare redovisas resultat av modifiering av modellbeskrivningen i denna riktning, se avsnitt 3.1.7.

3.1.3 Mätning av snönederbörd.

Vissa problem med att kalibrera en avrinningsmodell under snösmältningen kan ha sitt ursprung i nederbördsdata. En förutsättning för en bra modellkalibrering är att ett korrekt vatteninnehåll i snömagasinet har beräknats vid snösmältningsperiodens start. Den enda allmänt tillgängliga källan för denna komponent i modellbeskrivningen är uppmätta nederbördsdata från en näraliggande klimatstation. Registrering av fast nederbörd är emellertid i högsta grad osäker, vilket återspeglas i de höga korrektionsfaktorer som brukar rekommenderas, av storleksordningen + 30%.

Tidigare redovisade modellkalibreringar, se avsnitt 2.5.1, för här aktuella tillämpningsområden visar dock att den befintliga modellbeskrivningen i MouseNAM trots allt klarar detta problem ganska bra, när modellbeskrivningens beräknade snömagasin jämförs med värden för verkligt uppmätt snötäcke.

I avsnitt 3.2.3 diskuteras detta problem vidare, där jämförelser görs med noggranna snötaxeringar inom ett avrinningsområde.

3.1.4 Deltagande area.

Vissa problem att få modellen att beskriva ett verkligt förlopp kan bero på att beskrivningen i MouseNAM är en sk rumsligt förenklad modell, dvs hydrologin uppströms kalibreringspunkten beskrivs som en helhet med modellparametrar som representerar medelvärden för avrinningsområdet. Dessutom förutsätts det att avrinningen härrör från en yta med konstant area, vilken möjligen kan vara olika under snösmältningsperioden jämfört med sommartid. Olika snösmältningsintensiteter från olika typer av urbana ytor (takytor, gatumark, grönområden etc) kan teoretiskt hanteras så att den totala ytan delas in i delområden.

3.1.5 Infiltration.

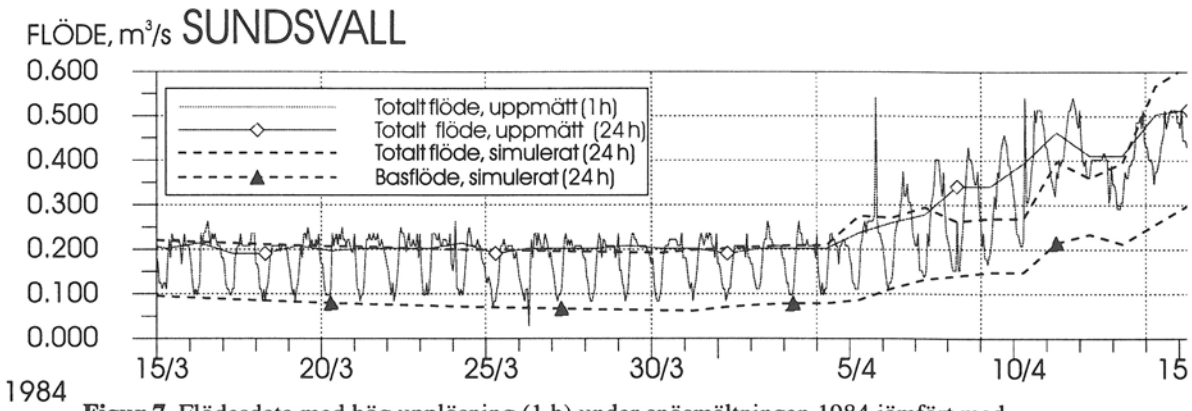
Effekten av frusen mark på infiltrationsförloppet kan inte hanteras med nuvarande modellbeskrivning i MouseNAM. Problemet kompliceras, i de tillämpningar som är aktuella här, av att vattnets väg in i ett avloppssystem inom ett urbant område är en kombination av olika delprocesser som inte behöver likna den naturliga hydrologiska infiltrationsprocessen. Denna del i modellbeskrivningen bör bli föremål för framtida modellutveckling. I de tillämpningsområden som varit aktuella i detta projekt har inte specifika fenomen kunnat skiljas ut som kan bero på denna typ av ofullkomligheter i modellbeskrivningen.

3.1.6 Dygnsvariation.

Vanligen är man inte intresserad av att beskriva variationer i smösmältningsförloppet med bättre tidsupplösning än dygnet. Det är också den noggrannheten som har tillämpats vid kalibrering av avrinningsmodeller för tillrinningen till avloppsverken inom tillämpningskommunerna enligt bilaga 1A-G. Snösmältningsprocessen uppvisar dock, om den uppmäts i nära anslutning till snötäcket, en dygnsvariation (Bengtsson, 1984). Åtminstone initiellt sker snösmältning endast dagtid på grund av låga nattemperaturer. Dessutom bidrar faktorer som latent värmeinnehåll i snön, solstrålning och förändrade reflektionsegenskaper hos snöytan under smältperioden, att relationen mellan lufttemperatur och avrinning blir mer indirekt, med en tidsförskjutning och med förändrad proportionalitet (Westerström,1986).

Från ett reningsverks synpunkt skulle det i vissa fall vara av intresse att kunna beskriva dygnsvariationen i smältpåverkan. Frågan är om avrinningsvariationerna, som kan uppmätas från små ytor (av storleksordningen mindre än 1 ha), också gäller för den samlade avrinningen från åtskilliga hundratals ha som vid tillämpningsområdena i detta projekt. För att illustrera detta insamlades flödesdata med 1-h upplösning under våren 1984 från Tivoliverket i Sundsvall. Dessa värden är inritade i figur 7 tillsammans med uppmätta dygnsflöden, simulerat totalt flöde och simulerat basflöde för perioden. Simuleringen utfördes med tidssteget 1 dygn, så endast ett temperaturvärde per dygn (kl 07) har utnyttjats.

Det framgår av figuren att dygnsvariationen i flödet förstärks under snösmältningens initialskede. Efter detta återgår amplituden för flödesvariationerna till densamma som före snösmältningen. Det verkar troligt att detta förlopp har sin förklaring i flödestillskott från ytor på eller i nära anslutning till markytan. Allt eftersom flödet ökar och blir mer av basflödeskaraktär utjämnas de dagliga variationerna.



Figur 7 Flödesdata med hög upplösning (1 h) under snösmältningen 1984 jämfört med dygnsvärden för uppmätt och simulerat flöde. Sundsvall, Tivoliverket

3.1.7 Modifierad modellbeskrivning

I bilaga 3 har en modifiering av modellbeskrivningen av snösmältningsförloppet skisserats, vilken som huvudkomponent innehåller den vattenhållande förmågan hos ett snömagasin. För detaljer hänvisas till bilagan. Här redovisas endast huvuddragen i modellkonceptet.

Snömagasinet delas in i två delar, ett "fruset" och ett "flytande". Vid snösmältning fylls först den "flytande" andelen av snömagasinet upp till en given andel (av storleksordningen knappt 10%) av kvarvarande frusen snö. Först när smältningen pågått så länge att vattenhalten är fullt utnyttjad sker avrinning från snömagasinet. Nederbörd vid minusgrader fyller upp det frusna snömagasinet, medan nederbörd vid plusgrader i första hand ger påfyllning av snötäckets vattenhalt.

För att inte bara ett enstaka snösmältningsförlopp skall kunna beskrivas för ett givet snötäcke, utan mera verklighetstrogen successiv avsmältning och uppbyggnad under möjligen flera delperioder under säsongen, måste beskrivningen också innehålla mekanismer för att flytta vatteninnehåll från den ofrusna till den frusna delen av snötäcket - återfrysning.

I analogi med t ex vad som finns beskrivet för istillväxt på sjöar (Bengtsson och Eneris, 1977) , naturlig infrysning av slamlager (Hernebring och Lagesson, 1986) och tjäldjupsberäkningar valdes en modellbeskrivning där potentiell infrusen vattenmängd är proportionell mot kvadratroten ur köldmängden. Innebörden av den delbeskrivning av återfrysningen som finns skisserad i bilaga 3 är att återfrysningshastigheten påverkas av snötäckets isolerande förmåga, så att fryshastigheten är relativt hög vid måttligt snötäcke och starkt reducerad vid stora snömängder.

Modellbeskrivningen har därmed tillförts två modellparametrar (C_{frys} och vattenhållande förmåga); smältkonstanten fanns tidigare. Av dessa kommer i varje fall fryskonstanten att vara mycket svår att använda som kalibreringsparameter. I en praktisk modelltillämpning ges därför denna parameter ett fast, rimligt värde vilket användaren inte kan modifiera så lätt utan att andra möjligheter är undersökta.

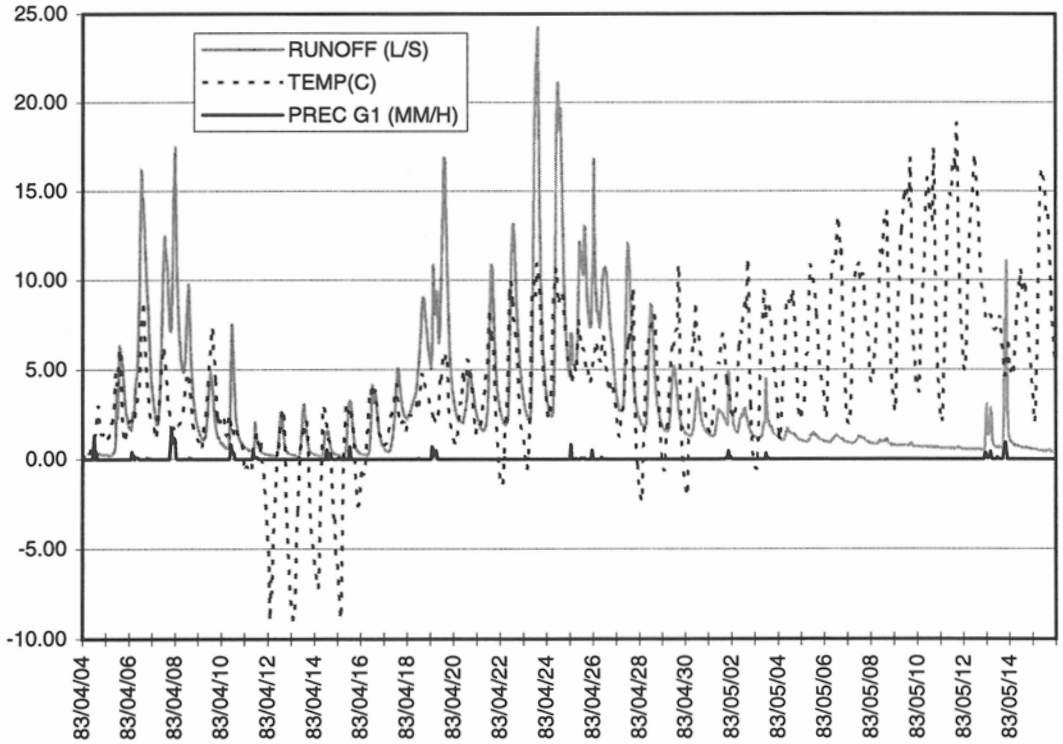
3.2 Kalibrering av en avrinningsmodell mot mätdata med hög upplösning

3.2.1 Mätningar av snösmältningsavrinning från Porsöberget, Luleå

Westerström (1984) har i början av 80-talet utfört detaljerade mätningar av snösmältningsförloppet bl a från ett bostadsområde nära Högskolan i Luleå. Data från dessa mätningar för åren 1983, 1984 och 1985 har ställts till förfogande för detta projekt. I Bilaga 2 har tillgängliga data sammanställts i diagramform.

Porsöbergets urbana avrinningsområde är beläget inom ett förortsområde i Luleå. Avrinningsområdets area är 13.1 ha och är ett modernt bostadsområde med bebyggelse bestående av enfamiljshus och radhus. Jordlagret som överlagrar granitberggrunden är relativt tunt, 0.5-1.5 m. Den totala karterade hårdgjorda ytan inkl gatumark, parkeringsplatser och takytor utgör 3.9 ha, 30% av den totala ytan. Ett dagvattensystem från området samlas upp i en punkt, där flödesmätning av dagvattenavrinningen utförts.

Det förtjänar i detta sammanhang att betonas att mätningarna är utförda i dagvattensystemet. Enligt uppgift från Luleå kommun är dräneringssystemen runt husen i detta område anslutna till spillvattensystemet, varifrån inga mätdata finns. Det saknas alltså viss information om en fullständig vattenbalans för området skall upprättas. Utförda mätningar ger dock i detta sammanhang värdefull information om smältprocessens förlopp på och i omedelbar anslutning till markytan och möjlighet att verifiera och/eller klarlägga brister i den förenklade modellbeskrivningen i MouseNAM.



Figur 8 Uppmätt temperatur, avrinning och nederbörd från Porsöberget i Luleå under snösmältningsperioden 1983.

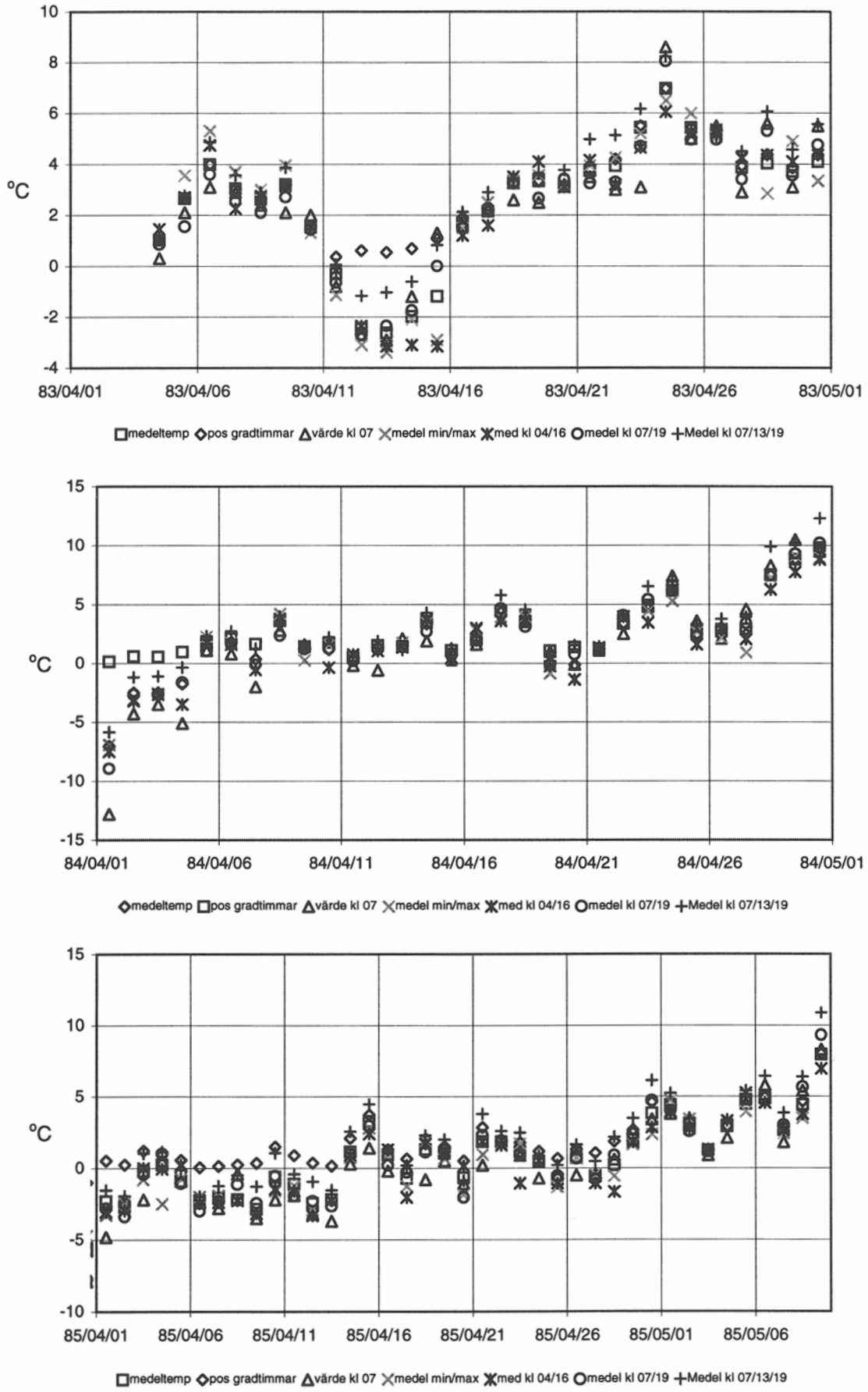
Temperatur, avrinning och nederbörd insamlades via ett mikrodatorsystem. Under snösmältning registrerades ett värde var 10:e minut, under nederbörd scannades nederbördsintensitet varje minut. Här har data med en timmes upplösning utnyttjats.

Lufttemperaturen 2 m över markytan mättes med en Pt-100-givare i ett vindskyddat läge. Nederbörden registrerades på två platser med hjälp av vipp-mätare. Avrinningen från området registrerades genom nivåmätning i ett V-format överfall installerat i utloppsbrunnen från området.

Under snösmältningsperioden inventerades snötäckets vatteninnehåll inom området genom snötaxeringar (snödjup/densitetsmätningar) varannan eller var tredje dag. I figur 8 visas som exempel mätdata från snösmältningsperioden 1983.

3.2.2 Modellbeskrivning av snötäcket med olika temperaturinformation

Mätdata för åren 1983, 1984 och 1985 utnyttjades för att se om snötäckets avsmältningsförlopp inom området, som det var dokumenterat genom snötaxeringar, kunde beskrivas med utnyttjande av varierande temperaturinformation: dels tillgängliga temperaturvärden med timupplösning och dels dessa värden sammanfattade på olika sätt till ett värde per dygn.



Figur 9 Uppmätt lufttemperatur på Porsöberget i Luleå under snösmältningsperioderna 1983, 1984 respektive 1985 sammanfattade på olika sätt till ett värde per dygn.

Temperaturdata bearbetades så att för varje dygn beräknades medeltemperatur, ett medelvärde baserat på antalet positiva gradtimmar samt medelvärdet av dygnets max- och min-temperatur. Dessutom beräknades karakteriska dygnstemperaturvärden genom att utnyttja avläsningar vid bestämda klockslag: avläsning kl 07, medel kl 07 och 19, medel kl 04 och 16 samt medel av avläsningarna kl 07, 13 och 19. I figur 9 redovisas resultatet av dessa beräkningar för snösmältningsperioderna 1983, 1984 respektive 1985.

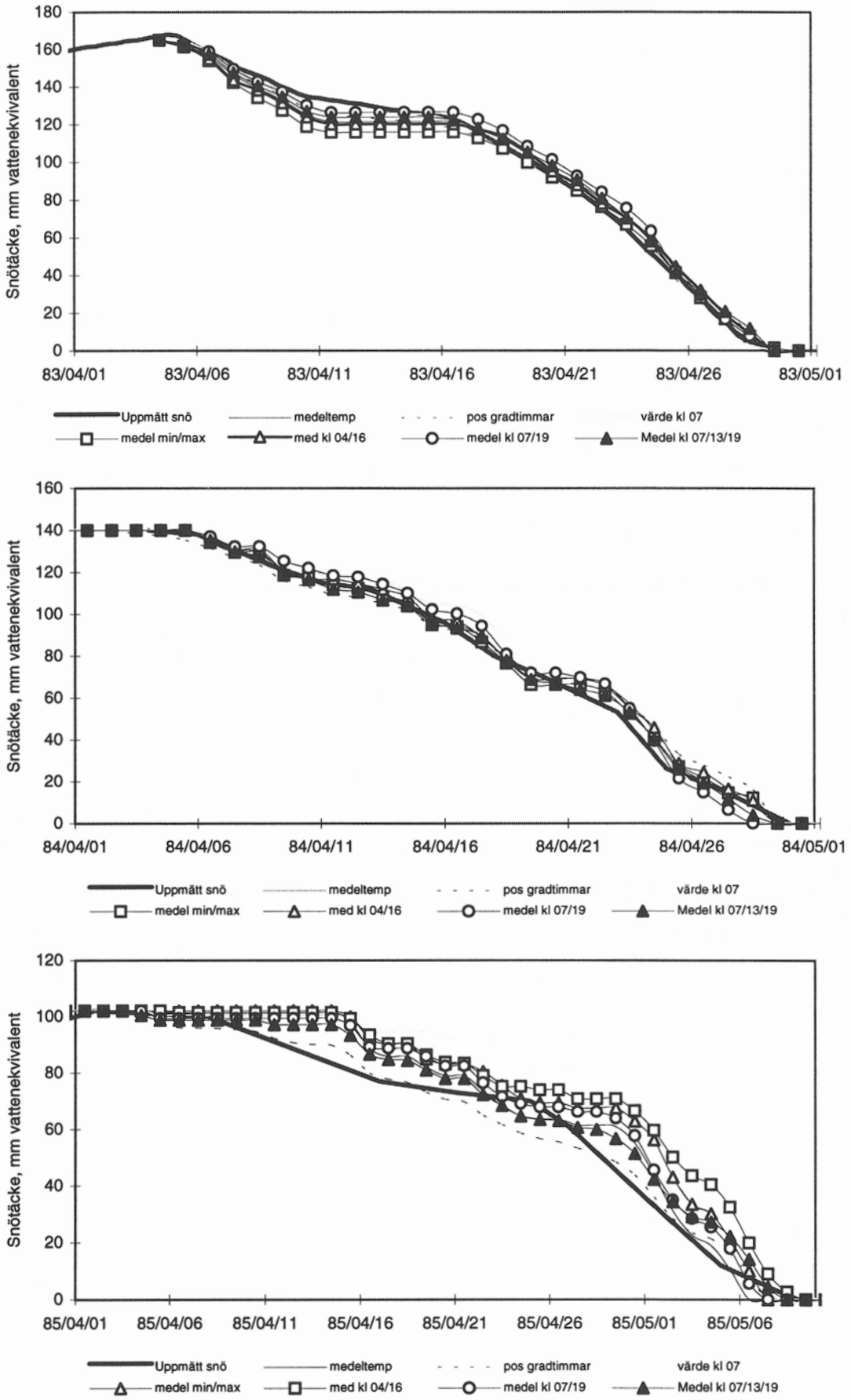
För temperaturdataserierna enligt figur 9 kalibrerades en enkel snösmältningsmodell byggd på graddagarsmetoden genom att en graddagarskonstant bestämdes, vilken gav en beräknad avsmältning så nära förloppet för det uppmätta snötäcket som möjligt. I figur 10 visas resulterande förlopp för snötäcket från samma utgångsnivå, dvs uppmätt snömagasin vid snösmältningens inledning. Figuren visar att det i detta fall, i stort sett oberoende av vilken temperaturinformation som utnyttjats, går att beskriva snötäckets minskning ganska bra (om man bortser från smältperioden under 1985). Den resulterande kalibrerade graddagarskonstanten blir naturligtvis annorlunda. Erhållna graddagarskonstanter för åren 1983-85 framgår av tabell 5. I tabellen är också angivet motsvarande värde på kalibrerad graddagarskonstant, då ett temperaturvärde per timme utnyttjats.

På grund av en lång period i snösmältningens inledning under 1985 med temperaturer runt 0 °C, se figur 9, uppstår stora problem att beskriva smältförloppet på dygnsbasis baserat på all annan temperaturinformation än dygnets positiva gradtimmar och möjligen medelvärdet av temperaturen kl 07, 13 och 19. Detta framgår av figur 10 samt av erhållna graddagarskonstanter i tabell 5.

Tabell 5 Resultat av kalibrering av smältförloppet med varierande temperaturinformation

Kalibrerad graddagarskonstant (mm / °C och dag) beroende på utnyttjad temperaturinformation

År	medel temp	pos grad timmar	värde kl 07	medel min/max	medel kl 04/16	medel kl 07/19	medel kl 07/13/19	*Ett värde per timme*
1983	2.4	2.2	2.7	2.2	2.4	2.6	2.0	*2.2*
1984	2.6	2.1	2.9	2.6	2.7	2.9	2.0	*2.2*
1985	2.9	1.7	3.5	2.8	2.4	2.6	1.5	*1.8*

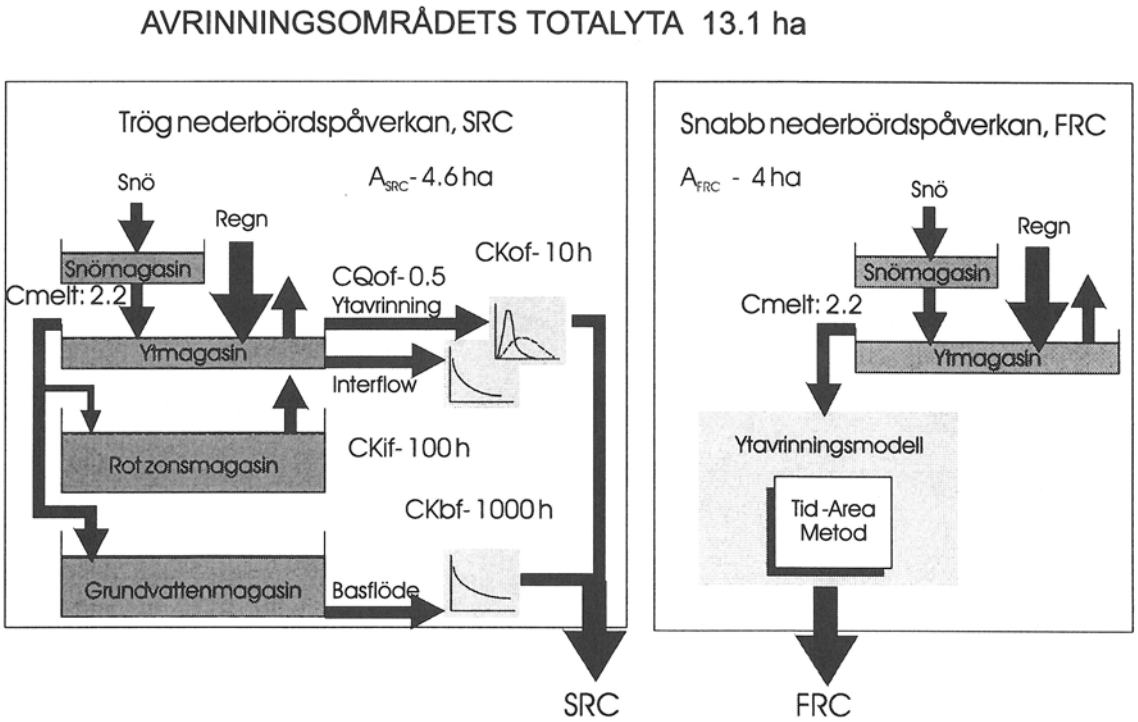


Figur 10 Beräknat snösmältningsförlopp baserat på olika temperaturinformation enligt figur 9 jämfört med uppmätt snötäcke enligt snötaxeringar. Porsöberget i Luleå, 1983, 1984 och 1985.

3.2.3 Modellbeskrivning av avrinningsförloppet med MouseNAM

Uppmätt avrinning från Porsöberget i Luleå för snösmältningsperioden under åren 1983-85 enl ovan har använts för att verifiera modellbeskrivningen i MouseNAM. Eftersom data endast täckte själva snösmältningsperioden samt en viss tid före denna, gavs snömagasinet initiellt ett värde enligt utförda snötaxeringar för resp år. All avrinning som genereras av modellen kommer alltså ursprungligen från avsmältning av denna snömängd, såvida inte det fallit nederbörd under tiden, vilket också adderas till avrinningen.

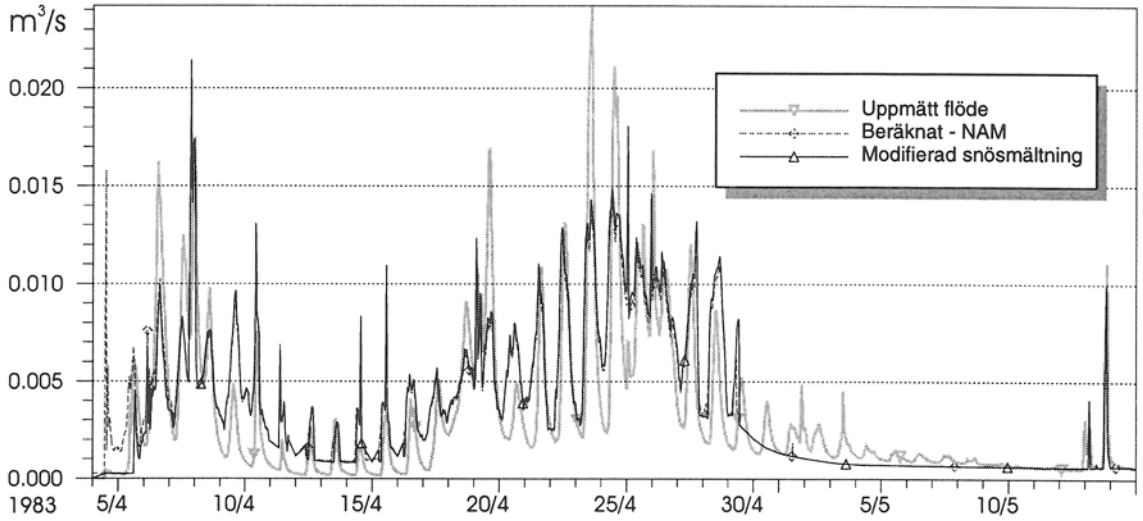
Snömängden har antagits vara jämnt fördelad över karterad hårdgjord yta, ca 4 ha. Förutom den snabba avrinningskomponenten från huvudsakligen hårdgjorda ytor innehåller den uppmätta avrinningen en trögare komponent, vilken kan tolkas som en viss anslutning av dränvatten. Baserat på de tre snösmältningsperioderna gjordes en förenklad uppskattning att ca 4.6 ha s k SRC-yta av hydrologisk karaktär dränerades genom dagvattensystemet. Det innebär att av Porsöbergets totala yta på 13.1 ha dränerades 30% via hårdgjorda ytor och 35% via t ex dräneringar till dagvatten-systemet. Modellbeskrivningen sammanfattas i figur 11.



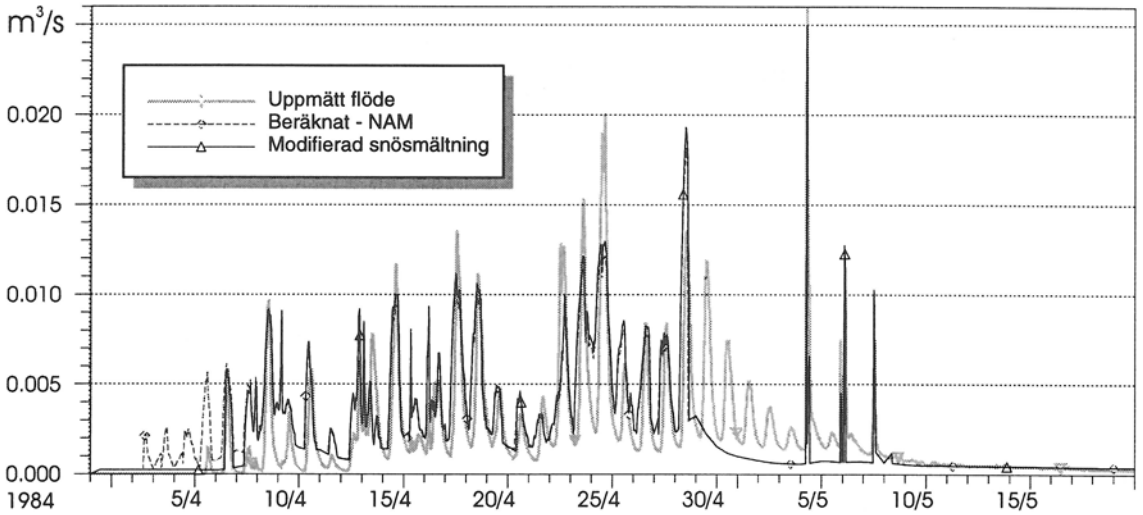
Figur 11 En-box MouseNAM-modell för avrinningen från Porsöberget, Luleå.

Beräkningen utfördes med timupplösning med uppmätt temperatur och nederbörd som indata. Med snösmältning enligt befintlig MouseNAM-beskrivning tillämpades smältkonstanterna 2.2 (1983,84) samt 1.8 (1985) mm / °C och dag. Denna beskrivning medför att inledningen av smältperioden kommer att slå igenom allt för tidigt, varför ett alternativt modellkoncept testades, se bilaga 3. Härvid tas hänsyn till snötäckets vattenhållande förmåga. Innebörden är att ingen avrinning sker förrän snötäckets vattenhalt uppgår till en viss andel av snömagasinet. I detta fall tillämpades en vattenhållande förmåga på 7% (1984,85) resp 5% (1983) uttryckt som mängden smält snö i

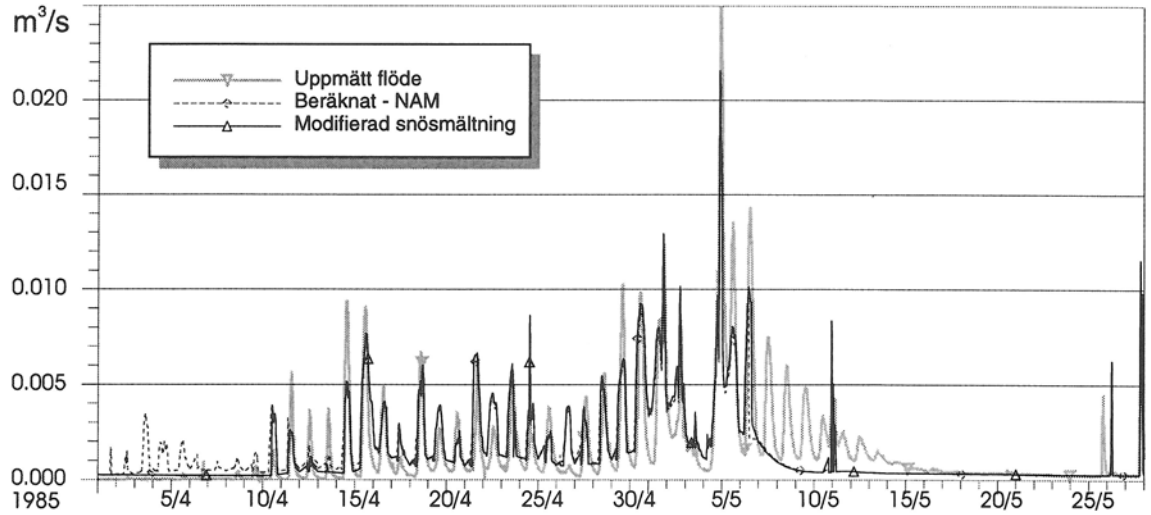
snö i förhållande till mängden frusen. I figur 12-14 visas uppmätt avrinning, avrinning beräknad med MouseNAM samt med modifierad snösmältning.



Figur 12 Beräknad och uppmätt snösmältningsavrinning från Porsöberget, Luleå. 1983



Figur 13 Beräknad och uppmätt snösmältningsavrinning från Porsöberget, Luleå. 1984



Figur 14 Beräknad och uppmätt snösmältningsavrinning från Porsöberget, Luleå. 1985

3.2.4 Diskussion

I den modifierade modellbeskrivningen enligt ovan har snötäcket antagits vara jämnt utspritt över deltagande area, enbart temperaturdata har använts för att beskriva smältförloppet samt graddagarskonstanten har varit konstant över hela tidsperioden. Om inte modellbeskrivningen då blir tillfredsställande, finns det naturligtvis möjligheter att öka detaljeringsgraden genom att ta hänsyn till flera faktorer.

Snöröjning inom området innebär att snötäcket i realiteten inte är jämnt utspritt. Vissa delytor, företrädesvis gatumark, har mycket mindre snölager än anslutande vägkanter, där uppskottade snövallar kan finnas. Avrinningsbidraget från t ex dessa snövallar framgår i uppmätta flödeskurvor (se figur 12-14) sent i smältförloppet, där en dygnsvariation i avrinningen återstår fastän snötäcket borde ha försvunnit inom området sett som en helhet. En förfinad modellbeskrivning i detta avseende skulle uppnås om området indelades i delytor, där man tog hänsyn till omfördelningen av snötäcket.

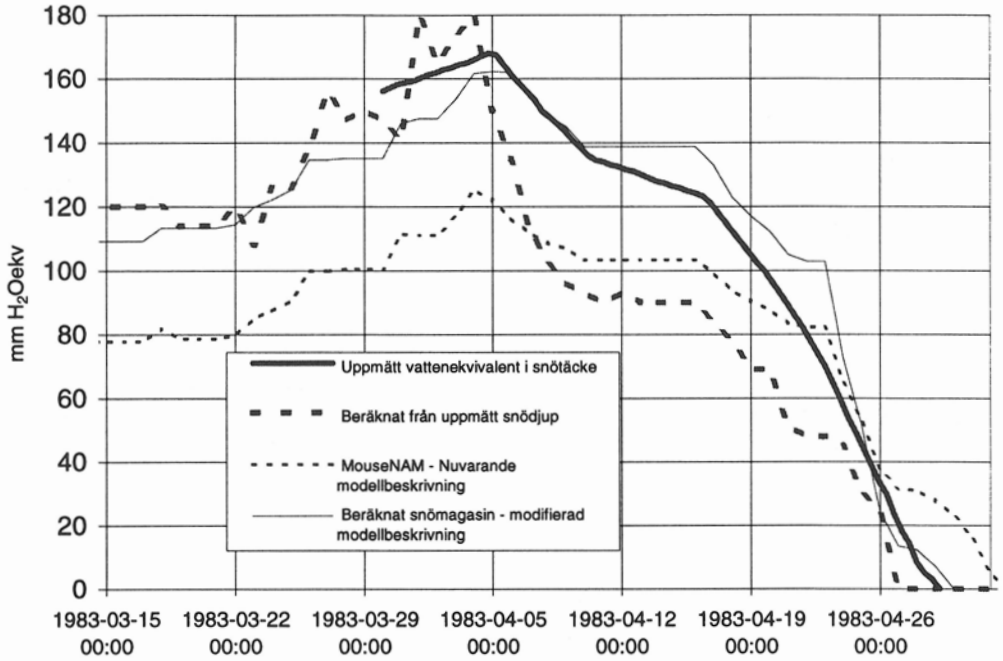
Det framgår av vissa delar av förloppet i figur 12-14 att temperaturinformationen inte är tillräcklig för att till fullo beskriva smältintensiteten. Detta beror på att uppmätt lufttemperatur endast är ett indirekt mått på värmebalansen, att solinstrålningen t ex vid samma lufttemperaturvärde kan vara olika.

Vidare ökar succesivt under smältförloppet snötäckets värmeabsorptionsförmåga på grund av förändrad snöyta. Detta borde återspeglas i en ökad smältkonstant. Detta fenomen skulle man kunna införa i modellberäkningen. Svårigheten är dock att definiera "början" resp "slut" i en generell modell, speciellt om smältförloppet inte består av en sammanhängande avsmältningsperiod utan flera delförlopp under vinterperioden med kanske uppbyggnad av snötäcket däremellan.

Det framgår av figur 12-14 att den modifierade modellbeskrivningen endast har betydelse för inledningen av smältförloppet. När väl snön är vattenmättad sammanfaller MouseNAM-beskrivningen och det modifierade förloppet i hög grad.

3.2.5 Uppbyggnad av snötäcket

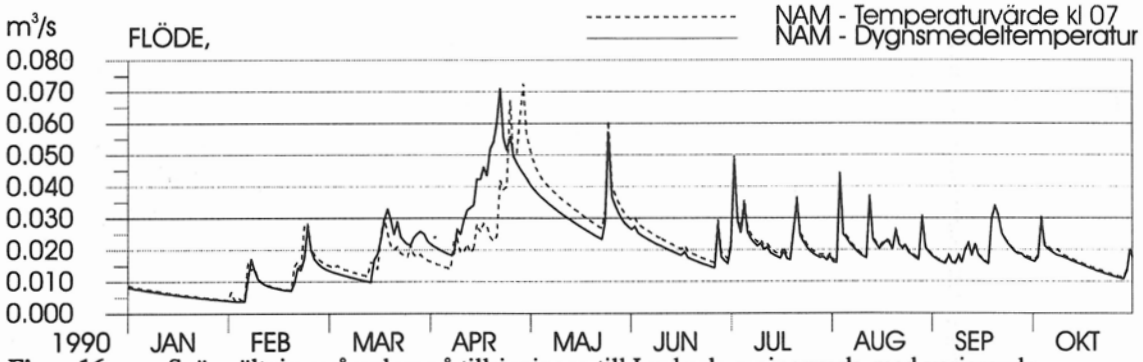
Snötäckets vattenhållande förmåga har inte bara betydelse för smältförloppet utan kan även vara väsentlig för en riktig beskrivning av uppbyggnaden. I figur 15 visas exempel från uppmätt vattenekvivalent från snötaxeringar vid Porsön, Luleå. I samma figur visas också beräknad vattenekvivalent från snödjupsmätningar vid Kallax flygplats i Luleå (med en antagen densitet av 0.3 mm vattenekv/mm observerat snödjup), beräknat snötäcke utifrån dygnsvärden för temperatur och nederbörd (nuvarande samt modifierad MouseNAM snömagasinsbeskrivning).



Figur 15 Snötäcke i Luleå 1983 som: a) uppmätt vattenekvivalent, b) beräknat från uppmätt snödjup, c) beräknat från dygnsvärden för temperatur och nederbörd (nuvarande MouseNAM beskrivning), och d) beräknat från dygnsvärden för temperatur och nederbörd (modifierad modellbeskrivning).

3.2.6 Snösmältningsavrinning-dygnsupplösning, tillämpning på Lycksele.

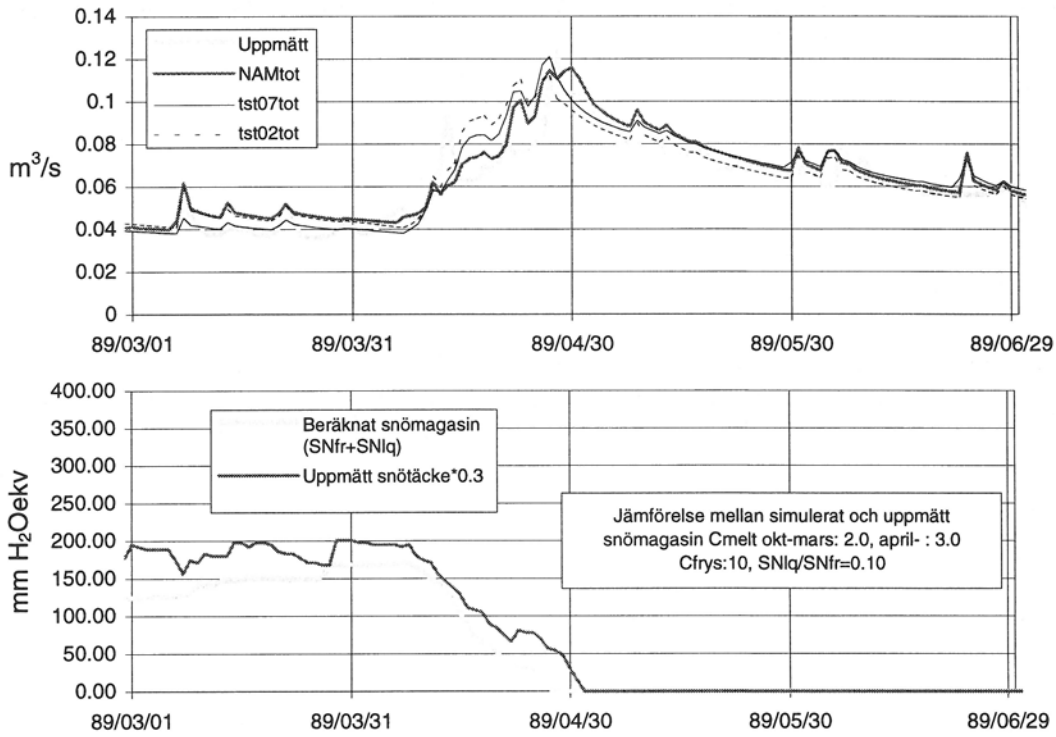
För att illustrera effekter av olika modifieringar i modellbeskrivningen har testberäkningar utförts på data från Lycksele avloppsverks avrinningsområde, se bakgrund och detaljer i bilaga 1:D. I den samlade tillrinningen till avloppsverk sammanlagras effekter av alla de tänkbara felkällor som nämnts tidigare. Det är inte alltid lätt att avgöra varför en bristande överensstämmelse mellan modellerat och uppmätt flödes-värde uppstår. En uppenbar felkälla är temperaturinformationen. I figur 16 visas skillnaden mellan att använda temperaturvärdet kl 07 resp ett dygnsmedelvärde, vilket i detta fall innebär en mycket stor tidsförskjutning i beräknat tidsförlopp.



Figur 16 Snösmältningspåverkan på tillrinningen till Lycksele reningsverk, med varierande temperaturinformation. Enbart beräknade variationer i mängden ovidkommande vatten visas i figuren.

I figur 17 visas effekten av att ta med snöns vattenhållande förmåga i modellbeskrivningen. Beräkningen med MouseNAM visar en någorlunda överensstämmelse med uppmätta flödesvärden. Tillämpad smältkonstant har där varit 2.0 mm / °C och dag. Om en potential för snötäcket att hålla en viss vattenmängd införs (här har 10% tillämpats) erhålls med smältkonstanten 3 mm / °C och dag den andra jämförelsekurvan (tst02tot) i figuren. Den tredje kurvan (tst07tot) har erhållits med samma modellbeskrivning, men då smältkonstanten tillåtits variera med ett lägre värde i början av vintersäsongen och ett högre i slutet. Beräknat snötäcke i figur 17 är hämtat från den senare modellvarianten.

Generellt innebär en låg smältkonstant att mer snö beräkningsmässigt kan ackumuleras i snömagasinet under vintern, något olika beroende på det historiska temperaturförloppet. Med den befintliga MouseNAM-beskrivningen kan därför valet av smältkonstant bli en kompromiss mellan att få riktiga flödesintensiteter under snösmältningen och att ha en riktig volym i snömagasinet vid snösmältningens inledning.



Figur 17 Snösmältningspåverkan på tillrinningen till Lycksele reningsverk. Uppmätta och beräknade flödesvärden med olika modellmodifieringar.

4. Nyckeltal för variationer i tillrinningen

4.1 Bakgrund

En metodik för karakterisering av ovidkommande vattenmängder har utvecklats i ett projekt finansierat av Statens Naturvårdsverk *(se SNVs rapport "Bedömningsgrunder för ovidkommande vatten i avloppsnät", Huvudrapport och Metodikmanual)*. Data från de kommuner som deltagit i snösmältningsprojektet har också inkluderats i dessa bearbetningar. Malå har inte medtagits i beräkningarna på grund av att flödesstatistik inte varit tillgänglig för den aktuella perioden. I detta avsnitt refereras vissa avsnitt i denna rapport för att klarlägga om tillämpningskommunerna utmärker sig på något sätt i framräknade nyckeltal.

Fyra nyckeltal har beräknats utgående från flödesstatistik uppmätt vid avloppsreningsverken:

- o Utspädningsgrad, [(l/s)/(l/s spillvatten)].
- o Ovidkommande flöde per ledningslängd, [l/d,m].
- o Total dräneringsarea per ledningslängd, [m^2/m], motsvarar påverkan från både läck- och dräneringsvatten och nederbörd.
- o Bidragande nederbördsarea per ledningslängd, [m^2/m], motsvarar den totala nederbördspåverkan under fyra dygn från regnstart.

För nyckeltalet Utspädningsgrad har även tre nyckeltalsvariabler beräknats för att beskriva flödesvariationerna över en viss flödesgräns under ett medelår baserat på den studerade perioden.

- o Total relativ volym, [%]
- o Total relativ varaktighet, [%]
- o Frekvens, [gånger per år]

Indata har varit:
- nederbörd, dygnsvärden
- temperatur, dygnsvärden
- uppmätt flöde till reningsverket, dygnsvärden
- total längd självfallsledning
- medelspillflödet
- andel duplikat ledningsnät

Till grund för nyckeltalsberäkningarna ligger även ett antal områdesparametrar enligt nedan för att karakterisera ledningssystemen och de fysikaliska förhållandena i avrinningsområdet med några övergripande tal. Uppgifterna är framtagna av respektive kommun och är ofta erfarenhetsmässiga uppskattningar gjorda av de som har störst kännedom om nätet.

Tabell 6 Områdesparametrar för att karakterisera ledningssystemen i tillämpningskommunerna.

	Kiruna	Luleå	Lycksele	Råneå	Kåge	Sundsvall
m/PE	3.5	6.0	5.5	12.5	15.6	2.9
% duplikatsystem	75	58	90	60	100	30
% drän till spill	10	50	3	50	80	70
% ledn lagd före 1970						75
permeabilitet	55	72	76	52	45	54

m/PE, längd kommunal självfallsledning ansluten till reningsverk/pumpstation per personekvivalent indikerar områdets exploateringsgrad.

% duplikatsystem, andel tvåledningssystem inom det studerade avloppssystemet, där en låg andel kan indikera stor sannolikhet för ovidkommande vatten.

% drän till spill, andel fastigheter med dränering kopplad till spillvattennätet, där en hög andel kan indikera stor sannolikhet för ovidkommande vatten.

% ledning lagd före 1970, andel kommunal självfallsledning lagd före 1970, som indikerar andel ledningslängd med öppen fog.

Dessutom har ett mått på den övergripande permeabiliteten i det övre markskiktet tagits fram för att få en indikation på hur avrinningen troligen beter sig. Detta mått togs fram med hjälp av jordartskartor över respektive kommun. Värdet sträcker sig från 0-100 där 0 innebär att jordarten är helt tät.

Alla områdesparametrar är mer eller mindre svåra att få fram. Områdesparametrarna "% drän till spill" och "% ledning lagd före 1970" visade sig vara så grovt uppskattade och svårtolkade att de uteslöts ur studien.

4.2 Skiljer sig aktuella områden från områden i södra Sverige?

I tabell 7 redovisas en sammanställning av erhållna nyckeltal som är beräknade på flödesdata från åren 1987-1990. Nyckeltalen redovisas som årsmedelvärden för dessa fyra år.

Tabell 7 Verkliga nyckeltal för tillämpningskommuner samt medel för samtliga områden enligt SNV-rapport.

	Kiruna	Luleå	Lycksele	Råneå	Kåge	Sundsvall	Medel "snösmält"	Medel enligt SNV-rapport
USG	1.9	1.4	1.7	2.6	1.8	2.3	1.9	2.2
LDM	61	17	31	33	12	70	37	50
TDA	101	21	31	39	11	54	43	55
BNA	8.0	2.1	1.6	2.8	1.3	7.1	3.8	7
BNA/TDA	8%	10%	5%	7%	12%	13%	9%	13%

För *utspädningsgraden (USG)* uppvisar avrinningsområdena inom detta projekt ungefär samma variationsintervall som resten av Sverige. Utspädningsgraden 1.4 för Luleå är bland de klart lägsta (utspädningsgraden 1.0 innebär att avloppsvattnet helt saknar ett ovidkommande vattentillskott) medan utspädningsgraden 2.6 för Råneå är en bit över medel.

Nyckeltalet *ovidkommande flöde per meter ledning (LDM)* varierar också på samma vis som för resten av Sverige. Kåge ligger lägst och Sundsvall högst, vilket också stämmer med SNV-studien som visade ett klart samband mellan exploateringsgraden och mängden ovidkommande vatten per meter ledning, där mängden ovidkommande vatten per meter kommunal ledning ökar med ökad exploateringsgrad (PE/m). Detta skulle kunna tolkas som att servis och dräneringsledningar bidrar med en väsentlig del av mängden ovidkommande vatten eftersom en högre exploateringsgrad oftast innebär en ökad längd servis- och dräneringsledningar per meter kommunal ledning.

De *totala dräneringsareorna per meter ledning (TDA)* håller sig mestadels under Sverigemedel, utom Kiruna som har en stor dräneringsarea, dvs en stor area måste dräneras per meter ledning för att generera aktuell mängd ovidkommande vatten.

Tittar man på de *bidragande nederbördsareorna per meter ledning (BNA)* är förhållandet mellan dem och de totala dräneringsareorna lägre än Sverigemedel för alla utom Sundsvall, dvs den ovidkommande vattenvolymen består av en något mindre andel nederbördspåverkan.

Slutligen kan noteras att medelvärdena för tillämpningskommunernas nyckeltal är lägre jämfört med medel för SNV-studien.

Av intresse är också att se hur den ovidkommande vattenmängden varierar i tiden under ett medelår beräknat utifrån de fyra år som ingick i studien (1987-1990).

I tabell 8 redovisas:

- hur stor relativ volym som överskred de olika flödesgränserna under ett medelår,
- hur lång relativ varaktighet man hade då respektive flödesgräns överskreds under ett medelår samt,
- hur många gånger respektive flödesgräns överskreds under att medelår.

Flödesgränserna har valts till 1.5·Qspill, 3.0·Qspill, 4.5·Qspill och 6.0·Qspill, där Qspill är medelspillflödet.

I tabellen nedan kan man utläsa att även här ligger medel för "snösmältningskommunerna" lägre än Sverige-medel. Flödeshydrografernas utseende karakteriseras inte av kraftiga toppar i samband med nederbörd, vilket även nyckeltalet *bidragande nederbördsarea per meter ledning* visade, utan av de långsträckta volymökningarna i samband med snösmältning. Detta visas av de låga frekvenserna och att huvuddelen av volymen återfinns vid de lägre flödesgränserna.

Tabell 8 Nyckeltalsvariabler för beskrivning av utspädningsgradens tidsvariationer för tillämpnings-kommunerna (verkliga förhållanden).

Nyckeltalsvariabler	Flödesgräns 1.5 Qspill	Flödesgräns 3.0 Qspill	Flödesgräns 4.5 Qspill	Flödesgräns 6.0 Qspill
KIRUNA rel. Volym	23.5 %	3.8 %	0.53 %	0.06 %
rel. Varaktighet	61 %	8.6 %	1.2 %	0.34 %
Frekvens	8 ggr/år	7.8 ggr/år	2.3 ggr/år	0.75 ggr/år
LULEÅ rel. Volym	6.1 %	0.1 %	0 %	0 %
rel. Varaktighet	22%	0.4 %	0 %	0 %
Frekvens	18 ggr/år	1 ggr/år	0 ggr/år	0 ggr/år
LYCKSELE rel. Volym	15.1 %	0.6 %	0.01 %	0 %
rel. Varaktighet	58 %	2.1 %	0.07 %	0 %
Frekvens	7.8 ggr/år	1.3 ggr/år	0.25 ggr/år	0 ggr/år
RÅNEÅ rel. Volym	44 %	14.7 %	6.4 %	2.7 %
rel. Varaktighet	88 %	23.7 %	9.0 %	4.2 %
Frekvens	3.5 ggr/år	14 ggr/år	5.8 ggr/år	3.3 ggr/år
KÅGE rel. Volym	21 %	2.4 %	0.4 %	0.1 %
rel. Varaktighet	55 %	5.1 %	0.7 %	0.2 %
Frekvens	12.5 ggr/år	9.5 ggr/år	1.8 ggr/år	0.75 ggr/år
SUNDSVALL rel. Volym	34 %	6.8 %	2.1 %	0.66 %
rel. Varaktighet	94%	12.2 %	3.5 %	1.3 %
Frekvens	4.8 ggr/år	21 ggr/år	7.8 ggr/år	3.0 ggr/år
MEDEL "SNÖ" rel. Volym	24 %	4.7 %	1.6 %	0.59 %
rel. Varaktighet	63 %	8.7 %	2.4 %	1.01 %
Frekvens	9.1 ggr/år	9.1 ggr/år	3.0 ggr/år	1.3 ggr/år
MEDEL "SNV" rel. Volym	28.6 %	6.9 %	2.6 %	1.08 %
rel. Varaktighet	68.8 %	13 %	3.9 %	1.55 %
Frekvens	10 ggr/år	14.8 ggr/år	7.2 %	3.5 ggr/år

Nyckeltalen har även beräknats utifrån meteorologiskt normerade flödeshydrografer för att möjliggöra jämförelser med andra avrinningsområden utan påverkan från de lokala nederbördsförhållandena.

Tabell 9 Meteorologiskt normerade nyckeltal för tillämpningsskommuner jämfört med medel för samtliga områden i SNV-rapporten.

	Kiruna	Luleå	Lycksele	Råneå	Kåge	Sundsvall	Medel "snösmält"	Medel enligt SNV-rapport
USG	2.23	1.4	1.6	2.6	1.6	1.9	1.9	2.2
LDM	87	17.5	27	32	9	47	37	50
TDA	88	20.6	28	33	9.5	48	38	55

Här är intressant att se att om samma nederbörd hade fallit i Kiruna och Sundsvall får Kiruna de högre nyckeltal som Sundsvall har i verkligheten. För övriga kommuner håller sig nyckeltalen i samma härad som för den lokala meteorologin.

Även här ligger tillämpningskommunernas medel lägre än Sverige-medel.

4.3 Nyckeltal för snösmältningspåverkan

I avsnitt 2.4 redovisas en sammanställning av snösmältningspåverkan för tillämpningskommunerna, se tabell 4. Denna sammanställning grundar sig på en mycket förenklad uppskattning, där den vattenmängd som genereras av snösmältningsförloppet inom avrinningsområdet under en viss tid (en eller två veckor) ställs i relation till spillvattenmängden under samma period. Där redovisas en ovidkommande vattenmängd av storleksordningen mer än 10-20 gånger spillvattenmängden. Av ovanstående analys av uppmätta flödeshydrografer framgår att dessa jämförelser kanske inte är helt relevanta. Avrinningen av smältvatten kan i och för sig vara hög under en kort tid, men om denna innebär en uppfyllnad av t ex grundvattenmagasin, kommer den flödesförhöjning man kan märka i avloppssytemet att vara mycket fördröjd och långvarig, och därmed kräva en längre tidsperiod för jämförelser.

5. Diskussion

Utgångspunkten för projektet var att testa om den enkla graddagarsmetoden som finns i MouseNAM är tillräcklig för att beskriva variationer i mängd av ovidkommande vatten i avloppssystem. Svaret är beroende på de krav man ställer på beskrivningen. För översiktliga ändamål i en grov tidsskala ger modellbeskrivningen godtagbara resultat och en bra bild av relativa flödesvariationer. Detta bekräftas av bilaga 1:A-G, där data från respektive avrinningsområde beskrivits på detta sätt och där som regel godtagbara modellresultat erhållits efter kalibrering. Ibland kan osäkerheten i registrerade flödesvärden och uppskattad spillvattenandel vara så stor, att nyttan av en noggrannare modellbeskrivning kan ifrågasättas.

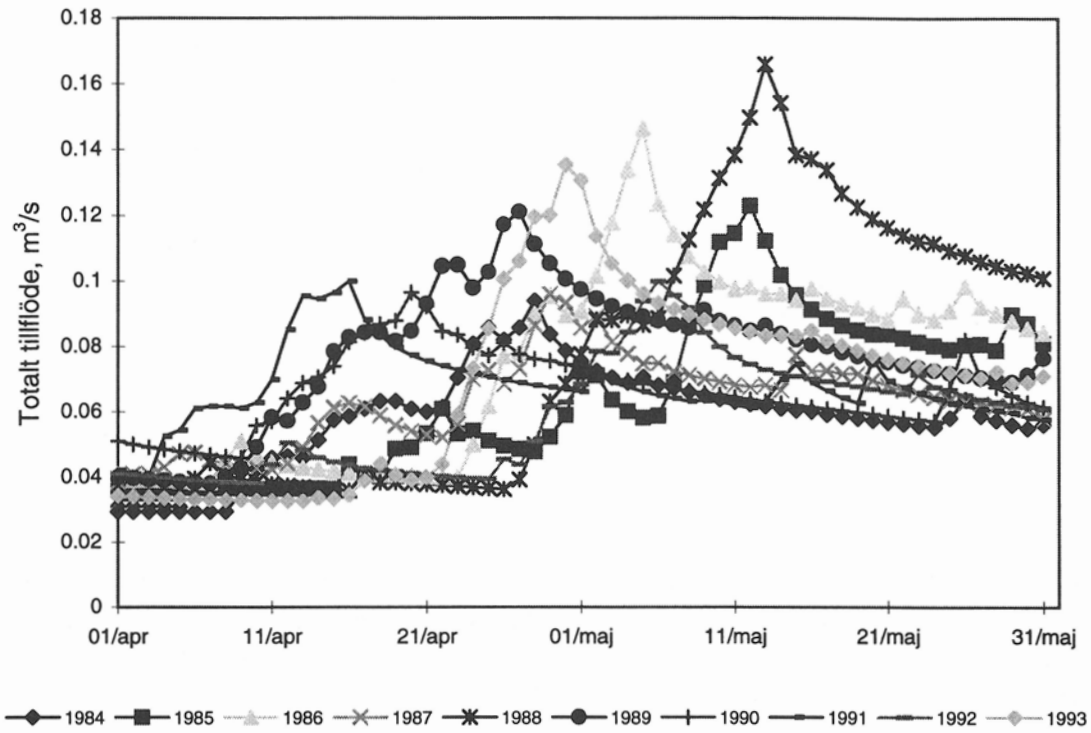
I de fall det är viktigt att tidsförloppet blir helt korrekt, speciellt inledningen av avrinningsprocessen, är det nödvändigt att beskriva snötäckets vattenhållande förmåga. Denna egenskap kan också vara väsentlig för en riktig beskrivning av snömagasinets uppbyggnad.

Det har betonats flera gånger tidigare i rapporten att tillgång till en tillförlitlig temperaturinformation är helt avgörande för att beskriva förloppet. Det har visats att temperaturdata sammanfattade på dygnsbasis på olika sätt väl kan beskriva snösmältningsförloppet, förutsatt att kalibrering och beräkning utförs på samma typ av data. Långvariga förlopp med en temperatur som pendlar runt 0°C kan vara mycket besvärliga att beskriva korrekt. Vidare är avrinningsområden som innehåller stora skillnader i lokalklimat t ex beroende på höjdförhållanden inte lämpliga att beskriva med en s k enbox-modell, utan kräver uppdelning i mindre delar. Detta kan dock beroende på tillgång på mätdata medföra vissa problem. En variant kan vara en schematisk indelning av avrinningsområdet i klimatzoner och justering av temperaturdata för resp delområde beroende på var mätpunkten varit placerad.

Som visats i kapitel 3.2 kan man också relativt framgångsrikt beskriva smältförloppets dygnsvariation baserat endast på temperaturinformation. Detta motsäger i viss mån uppgifter enl Westerström (1986), där en betydande tidsfördröjning mellan temperatur- och flödesförlopp konstaterats. Dessa resultat härrör från relativt små (8*25 m^2) försöksytor, att jämföra med Porsöbergets 13.1 ha, vilket dock rimligen borde innebära att ev tidsfördröjning vore mindre.

Sammanfattningsvis rekommenderas att en modellbeskrivning för avrinningsförlopp som inkluderar snösmältning (t ex MouseNAM) innehåller en beskrivning av snöns vattenhållande förmåga, t ex enligt bilaga 3. En konsekvens av detta är att också återfrysningsmekanismer måste kunna beskrivas, vilka dock är avsevärt besvärligare att kalibrera baserat på mätdata. Önskvärt är också att smältkonstanten skall kunna varieras under förloppet mot ett högre värde i slutet av snösmältningen. Praktiskt kan detta åstadkommas t ex genom en faktor på tillämpad smältkonstant beroende på kalendermånad.

6. Vad ska en bra modell användas till?



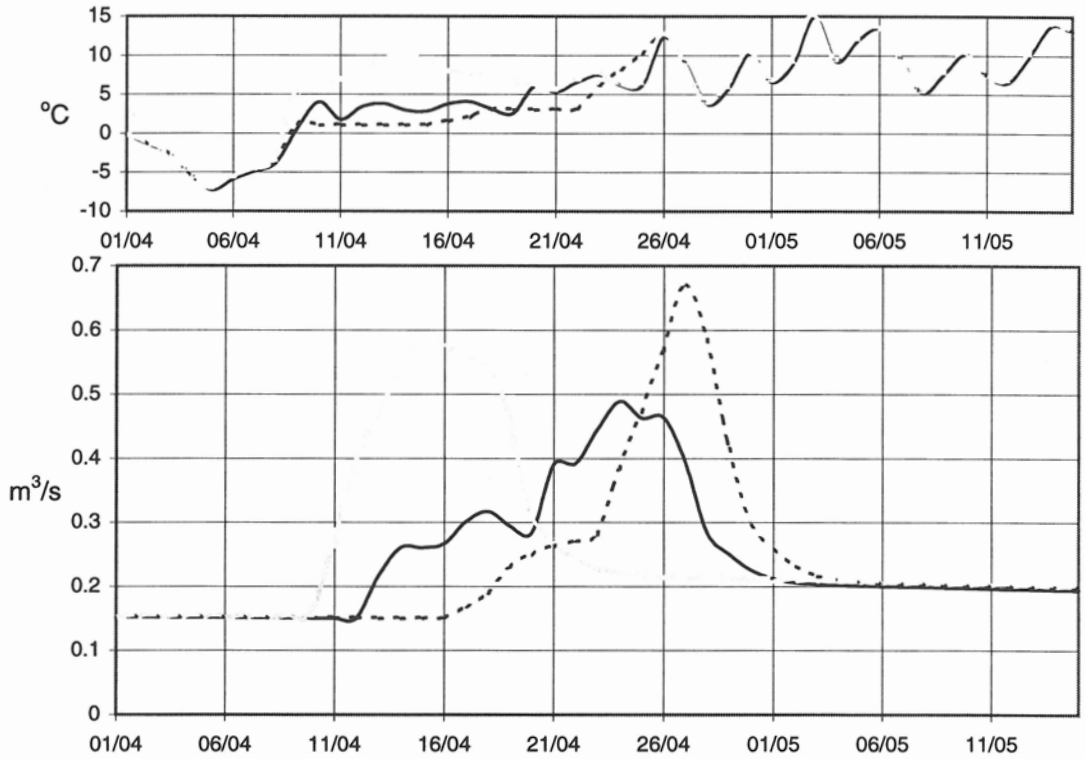
Figur 18 Variationer i tillrinningen till Lycksele reningsverk under perioden april-maj för åren 1984-93. Beräknade flödesvärden med modifierad snömagasinsbeskrivning.

Tillrinningsvariationerna till Lycksele avloppsverk (se figur 18) under april-maj för den tioårsperiod som omfattats av projektet, kan tjäna som illustration till vad en trovärdig modellbeskrivning kan användas. Tidsförloppet och variationerna i flödesintensiter är olika varje år, naturligtvis beroende på varierande klimatfaktorer. Maximalt flödesvärde kan här skilja sig upp till 80-100% mellan resp år. Tidpunkten när detta inträffar varierar med mer än en månad.

Det skulle vara möjligt att utnyttja en verifierad modellbeskrivning för att förutsäga flödesförloppet i olika tidsskala i den mån utvecklingen av olika klimatfaktorer är kända genom väderleksprognoser, kanske kompletterade med taxering av snötäcket. Informationen om ett kommande flödesförlopp med uppskattad tidpunkt och storlek skulle kunna tjäna som underlag för att vidta ågärder för att minimera skadeverkningar både på ledningsnätet och i behandlingsprocesser vid reningsverket.

Det har redan framgått för övrigt i rapporten att en modellbeskrivning kan användas för kalibrering och beräkning med historiska data. Långtidssimuleringar kan utföras för beräkning av t. ex. "dimensionerande" snösmältningsvolymer/intensiteter såväl inom spill- som dagvattensystem, för att relatera ett aktuellt förlopp till normala förhållanden eller simulera effekter av olika åtgärdsalternativ.

I figur 19 visas tre olika temperaturförlopp. Alla dessa tre övergår från minusgrader till plustemperatur vid ungefär samma tidpunkt. Skillnaden i temperaturvärden resulterar emellertid i helt olika flödesrespons. Det gäller tidpunkten för flödesökningens början, tidpunkt för maxvärde samt maxvärdets storlek. I samtliga tre fall innehöll snömagasinet från början 150 mm vattenekvivalent. Områdesdata för Tivoliverket i Sundsvall har använts vid beräkningen.



Figur 19 Variationer i tillrinningen beroende på olika temperaturförlopp. Beräknade flödesvärden med modifierad snömagasinsbeskrivning. Områdesdata från Tivoliverket, Sundsvall. Ursprungligt snömagasin: 150 mm vattenekv.

Begreppsförklaringar

avdunstning

Den fysikaliska process varvid vatten omvandlas till vattenånga. *Potentiell avdunstning* är den möjliga avdunstningen från en vatten- eller markyta.

basflöde

Avtappning av ett grundvattenmagasin. En flödeskomponent i MouseNAM-modellen.

avrinningsområde

Ett genom höjdryggar eller andra geologiska bildningar avgränsat område varifrån vatten avrinner till en viss punkt.

FRC (Fast Response Component)

Snabb avrinningskomponent i direkt anslutning till regntillfällen, t ex avrinning från hårdgjorda ytor. Påverkas ej av den hydrologiska situationen, dvs hög eller låg markvattenhalt.

interflow

Markvattenflöde i de övre marklagren ovanför grundvattenytan. En flödeskomponent i MouseNAM-modellen.

kalibrering (av en modell)

Fria modellparametrar justeras för att erhålla så god överensstämmelse som möjligt mellan beräknade utdata och motsvarande uppmätta data.

markvatten

Vatten i den omättade zonen mellan markytan och grundvattenytan.

modell

En förenklad beskrivning av ett komplext system. En *matematisk modell* är en uppsättning matematiska uttryck och logiska samband kombinerade för att simulera ett givet system. En *black box-modell* är utvecklad utan någon hänsyn till de fysikaliska processerna i systemet. En *konceptuell modell* (gray box-modell) baseras på vissa överväganden om de fysikaliska processerna i systemet. En *fullt distribuerad fysikalisk modell* (white box-modell) är baserad på en grundlig beskrivning av de ingående processerna i systemet. En *rumsligt förenklad modell* är en modell där i detta fallet avrinningsområdet behandlas som en enhet (en-box) utan hänsyn till den geografiska variationen. En *distribuerad modell* tar hänsyn till den geografiska fördelningen av egenskaper i systemet.

MouseNAM

En konceptuell, rumsligt förenklad matematisk modell för beskrivning av hydrologiska processer inom urbana avrinningsområden. Avloppssystemet betraktas i detta sammanhang som ett dräneringssystem för avrinningsområdet. Modellen simulerar både FRC- och SRC-komponenter

MouseRÖR

En fullt distribuerad fysikalisk modell för beskrivning av hydraulisk transport av vatten i ett ledningssystem, dvs flöden och nivåer i olika delar av ledningsnätet. En verifierad RÖR-modell kan t ex användas för beskrivning av bräddning i enskilda bräddpunkter och risk för källaröversvämningar vid häftiga regn. Modellen kan belastas med t ex beräknade FRC- resp SRC-flöden från en MouseNAM-beräkning.

MousePILOT

Komponent i Mouse-systemet som gör det möjligt att utföra kontinuerliga långtidsberäkningar, där modellbeskrivningar i MouseNAM och MouseRÖR kombineras.

parameter

En konstant i ett matematiskt uttryck för en matematisk modell. En parameter förblir konstant i tiden. Värdet på en fri eller empirisk parameter erhålls erfarenhetsmässigt under kalibreringen av modellen.

rotzon

Den del av den omättade zonen där vegetationen kan ta upp vatten.

SRC (Slow Response Component)

Trög avrinningskomponent, t ex läck- och dränvatten. Är starkt beroende av den hydrologiska situationen, dvs vattenhalt i olika markvatten- och grundvattenmagasin.

validering (av en modell)

Test av en modell mot oberoende data som ej påverkar valet av parametervärden. Genomförs efter kalibrering av en modell.

variabel

En kvantitet som varierar med tiden. Det kan vara en serie av indata eller utdata från modellen, men även en beskrivning av förhållandena i de olika del-processerna i modellen.

verifiering (av en modell)

Bestyrkande av en modells trovärdighet.

Referenser

Anderson, E.A. (1968). Development and testing of snowpack enegy balance equations. *Water Resour. Res.Vol 1*, No 4, pp 19-37.

Balmér, P (1970). Biological and chemical waste water treatment experiments i far northern Sweden. Water Pollution Control in Cold Climates, University of Alaska, July 1970, p 252.

Bengtsson, L., Eneris (1977). Istillväxt i sjöar analyserad med graddagarsmetoden. WREL. Högskolan i Luleå.

Bengtsson, L., Johnsson, A., Malmquist, P.A., Särner, E., Hällgren, J., (1980). Snöhantering i tätort. BFR Rapport R27:1980.

Bengtsson, L. (1984). Modeling snowmelt induced runoff with short time resolution. *Proceedings Third International Conference on Urban Storm drainage, Göteborg, Sweden, June 4-8, 1984, Vol 1*, pp. 305-314.

Bäckman, H., Marklund, B., Olsson, R., B., L., Peterson, Wästlin, T. (1993). Indirekt nederbördspåver kan på avloppssystem. VAV. VA-FORSK. Rapport 1993-04)

Eriksson B. (1981). The potential evapotranspiration in Sweden. *SMHI, RMK 28.*.

Eriksson B. (1983). Data rörande Sveriges nederbördsklimat. Normalvärden för perioden 1951-80. *SMHI 1983:28*

Gray, D.M., Male, D.H. (1981). Handbook of snow. *Pergamon press*. Toronto. 1981.

Gustafsson, A.M., (1994). Key numbers for infiltration inflows in sewer systems. *7th European Junior Science Workshop On Integrated Urban Storm Runoff.* Cernice Castle, Bechyne, Czech Republic, 2-5 June 1994.

Gustafsson, L.G., Lindberg, S., Olsson, R. (1991). Modelling of the indirect runoff component in urban areas. *International Conference on Urban Drainage an New Technologies*, Dubrovnik, 1991.

Gustafsson, L.G. (1993). Simulering av hydrologin inom urbana områden. Metodikmanual - Mouse NAM. VAV. VA-FORSK. Rapport 1993-04

Hernebring, C. (1985). Winterbetrieb auf Kläranlagen - Erfahrungen aus dem nördlichen Schweden. *Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, vol 75*, pp. 187-209. 18. Essener Tagung. march 6-8, 1985, Saalbau Essen.

Hernebring, C., Lagesson, E. (1986). Konditionering av slam genom naturlig frysning. TULEA 1986:11, Avd för VA-teknik. Högskolan i Luleå. Rapport nr 27

Larsson, J., (1995), muntlig kommunikation, VBB Viak , Stockholm.

Marklund, S., (1994). Cold climate sequencing batch reactor biological phosphorus removal. *Wat. Sci. Tech. Vol. 28*, No. 10, pp. 275-282.

Taesler, R. (1972) Klimatdata för Sverige. SMHI, 1972

U.S. Corps of Engineers. (1956). Snow hydrology. North Pacific Div., Portland, Oregon, 1956.

Westerström, G. (1984). Snowmelt Runoff from Porsön Residential Area , Luleå, Sweden. *Proceedings Third International Conference on Urban Storm Drainage, Göteborg, Sweden, June 4-8, 1984*

Westerström, G. (1986). Estimating urban snowmelt runoff by the temperature index approach. Licentiatavhandling, Vattenteknik, Högskolan i Luleå,, 1986:003L.

BILAGOR

1. TILLÄMPNINGSKOMMUNER

A. Kiruna
B. Luleå - Uddebo
C. Luleå - Råneå
D. Lycksele
E. Malå
F. Skellefteå - Kåge
G. Sundsvall - Tivoliverket

BILAGA A. Kiruna avloppsreningsverk

A.1 Allmänt

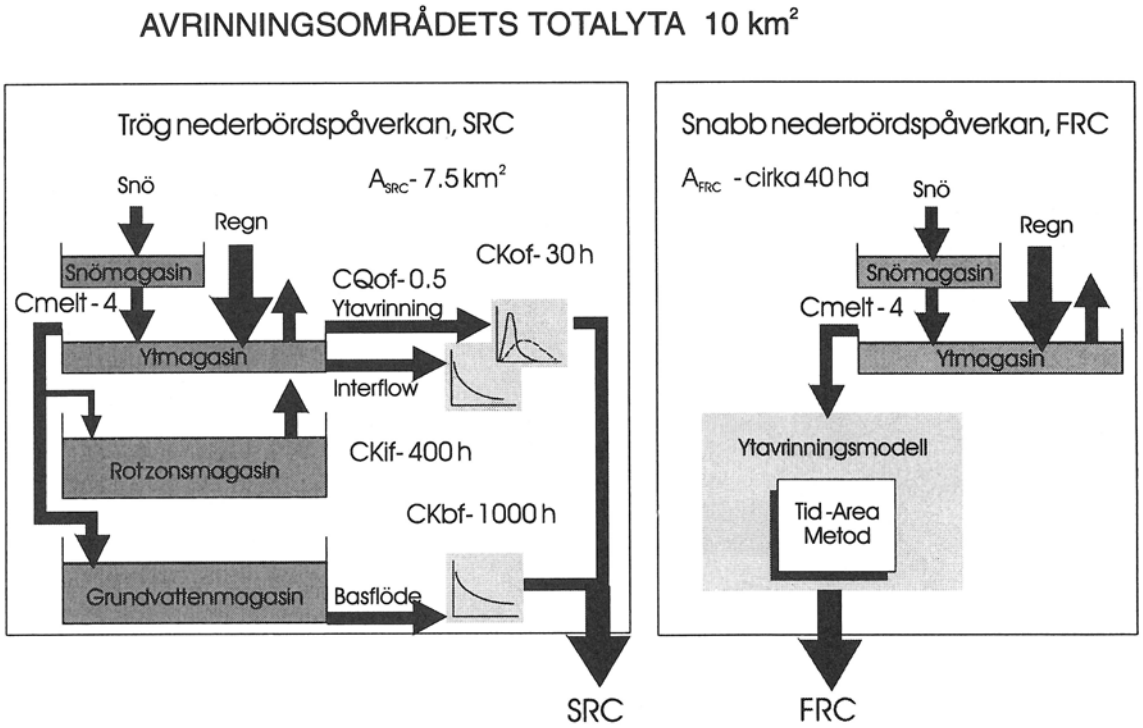
Tillrinningen till Kiruna avloppsreningsverk har beskrivits med en generell hydrologisk modell, MouseNAM. Avloppssystemet betraktas härvid som ett dränerings-system för avrinningsområdet. Förutom den direkta nederbördspåverkan i omedelbar anslut-ning till regntillfället, hanterar modellen indirekt flödespåverkan, till exempel varie-rande inläckage vid höga grundvattennivåer och snösmältningsförlopp.

Den upprättade NAM-modellen är en s k en-boxmodell, d v s hela avrinningsområdet betraktas som en enhet. Modellbeskrivningen är vidare förenklad genom att det i MouseNAM inte finns någon detaljerad beskrivning av den hydrauliska transporten i ledningsnätet.

Modellen har kalibrerats mot uppmätt flöde i reningsverket för perioden 1984 - 1993. Resultatet av kalibreringen redovisas i denna bilaga.

A.2 Modellbeskrivning med MouseNAM

A.2.1 Beräkningsförutsättningar



Figur A:1 En-box Nam-modell för tillrinningen till Kiruna avloppsverk.

För att beskriva variationer i mängden nederbördspåverkat vatten i den samlade tillrinningen till avloppsverket kalibrerades en s.k. en-box NAM-modell, där avrinningsområdet behandlas som en enhet. I figur A:1 visas modellstrukturen, med kalibrerade värden för bidragande ytor och tidskonstanter inlagda.

En NAM-modell består av ett antal mark- och ytvattenmagasin som töms av (avdunstning och avrinning) och fylls på (nederbörd och snösmältning). Om nederbörd saknas under en längre period kommer magasinen att tömmas utan att någon påfyllnad sker.

Avloppssystemet betraktas härvid som ett dräneringssystem för avrinningsområdet. Den vattenmängd som modellen genererar representerar den totala vattenmängden inom tillrinningsområdet inklusive eventuella bräddvattenvolymer. Modellbeskrivningen innehåller alltså inte någon detaljerad beskrivning av den hydrauliska transporten i ledningsnätet. Modellen simulerar både snabb avrinning i direkt anslutning till regntillfället, FRC (ex. avrinning från hårdgjorda ytor) och trögare påverkan, SRC (ex. läck- och dränvatten). Då det ej fanns tillgång till nederbörds- och flödesdata med hög upplösning har det ej varit möjligt att göra någon detaljerad kalibrering av FRC-flödet.

A.2.2 Indata

Nederbörd

Nederbördsdata har hämtats från SMHI:s mätstation vid Kiruna flygplats i form av nederbörd uppmätt klockan 07 och 19 för åren 1983-93.

Uppmätta nederbördsvärden är korrigerade enligt SMHI[1] för mätfel på grund av vindpåverkan, avdunstning och vätning. Som medeltal anger SMHI korrektionen till 31% för mätstationen vid Kiruna flygplats. Korrektionen skiljer sig mycket mellan snönederbörd och regnnederbörd. För aktuella nederbördsdata har tillämpats 20% korrektion vid regn och 44% vid snönederbörd.

För den aktuella perioden, 1983 t o m 1993, har SMHI:s uppgifter om olika korrektion för fast och flytande nederbörd använts så, att nederbörd vid samtidig minustemperatur har tolkats som snönederbörd.

Den korrigerade nederbörden för åren 1983-93 blev i medeltal 668 mm/år, något lägre den siffra SMHI anger som korrigerat medelvärde för perioden 1951-80, 682 mm/år.

[1] SMHI: Data rörande Sveriges nederbördsklimat. Normalvärden för perioden 1951-80. Rapport 1983:28

Potentiell avdunstning

Uppgifter om potentiell avdunstning, normalvärden för respektive månad, inhämtades från SMHI. Den årliga potentiella avdunstningen för Kiruna är 381 mm/år. Mouse-NAM beräknar verklig avdunstning beroende på vatteninnehållet i olika delmagasin.

Temperatur

Temperaturdata har hämtats från SMHI:s mätstation vid Kiruna flygplats, två värden per dygn, klockan 07 och 19. Temperaturdata används av modellen endast för tömning och påfyllnad av snömagasinet. De användes också, som nämnts tidigare, vid korrektion av nederbördsdata.

Snötäcke

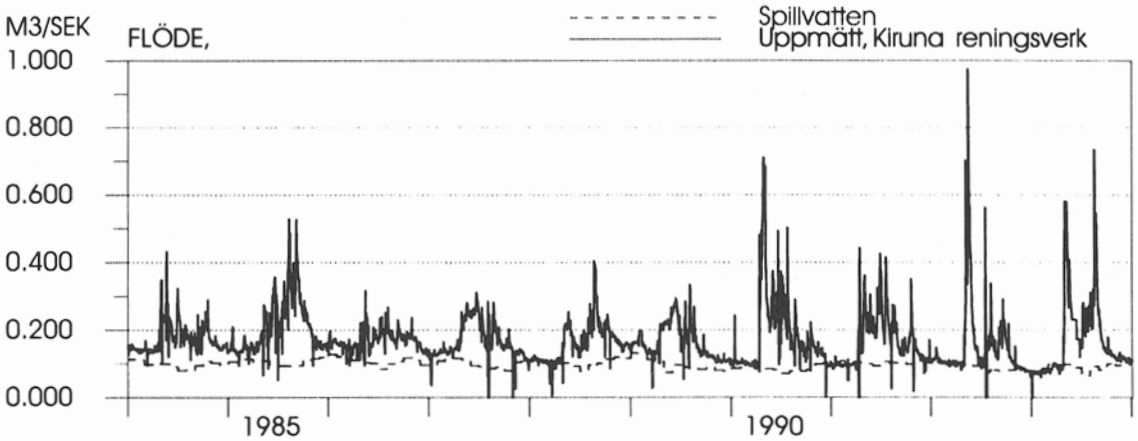
Inga uppgifter om observerat snöjup fanns tillgängliga för detta avrinningsområde.

Spillvatten

Vid uppskattning av spillvattenandelen av tillrinningen till Kiruna avloppsverk användes uppgifter om månadsvis vattenproduktion vid vattenverket i Kiruna för åren 1984-93. Som uppskattning av spillvattenmängden utnyttjades 90% av vattenproduktionen.

Flödesdata vid reningsverket

NAM-modellen kalibrerades mot flödesvärden uppmätta vid Kiruna avloppsverk, dygnsvärden, för åren 1984-93, se figur A:2.

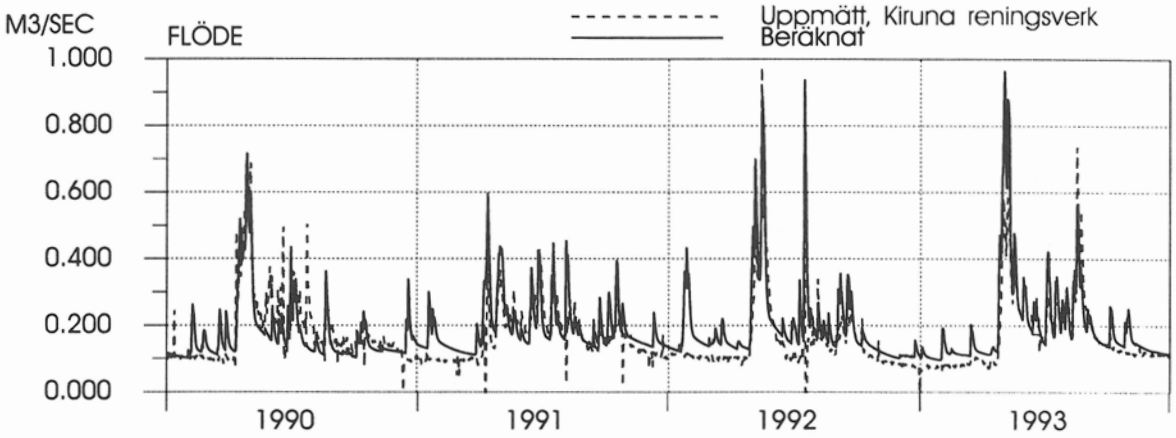


Figur A:2 Flöde uppmätt vid Kiruna avloppsreningsverk, dygnsupplösning, tillsammans med uppskattad spillvattenmängd, månadvis variation.

A.2.3 Kalibreringsresultat

Resultatet av kalibreringen framgår i figur A:1, där några NAM-modellparametrar redovisas. Baserat på mätningarna vid avloppsverket bedömdes mycket översiktligt ca 40 ha bidra med snabb avrinning. Långsam hydrologisk påverkan bedömdes influeras av 750 ha av den totala geografiska ytan 1000 ha. Bedömningen av anslutningen av hårdgjorda ytor (ca 40 ha) är endast översiktlig och baserad på mätdata med dygnsupp-lösning. En säkrare uppskattning kan först erhållas vid tillgång till data med högre upplösning, minst 0.25-1 timme, både vad gäller nederbörd och flödesdata. Den snabba nederbördsresponsen är viktig för att bestämma den momentana flödesintensiteten, för t ex bedömning av bräddningsflöden. I detta sammanhang, där längre tidsperioder beaktas, har däremot ett fel i uppskattningen av anslutna hårdgjorda ytor mindre betydelse för avrunnen totalvolym.

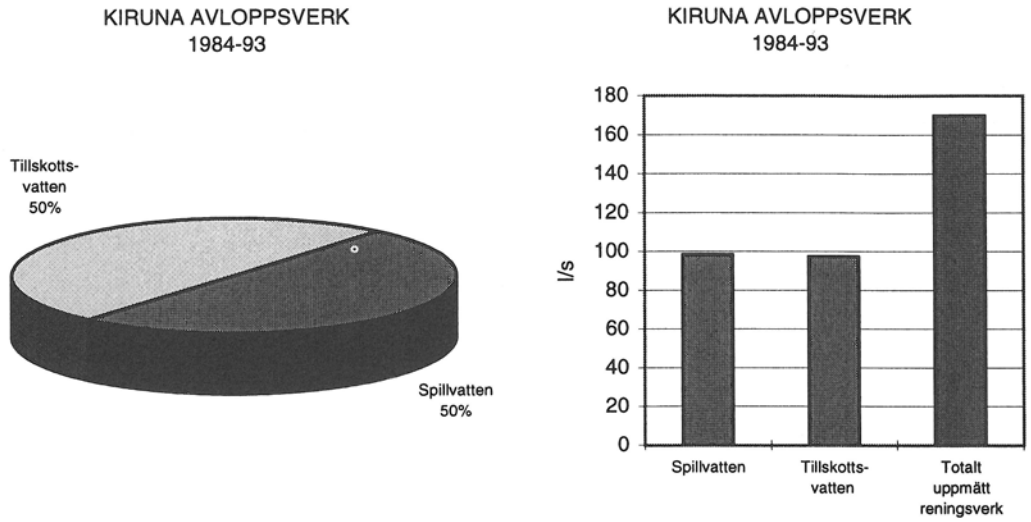
I figur A:3 visas som exempel överenstämmelse mellan simulerade och uppmätta flöden under fyra år.



Figur A:3 En-box NAM-modell för tillrinningen till Kiruna reningsverk. Jämförelse mellan simulerade och uppmätta värden under fyra år, 1990-93. Dygnsupplösning

Kalibreringen visar i stort sett god överensstämmelse mellan uppmätta och beräknade flöden. Variationerna i mänden ovidkommande vatten domineras klart av snösmältningsperioden och avklingningen efter denna. Modellbeskrivningen har vissa svårigheter att helt korrekt beskriva avrinningen under vinterperioden. Korta perioder med plusgrader ger i modellbeskrivningen ett flödestillskott, vilket uppenbarligen inte existerar i verkliga mätdata. Under vissa år under 80-talet, se figur A:2, saknas i uppmätta flödesdata en flödesförhöjning i samband med snösmältningsförhållanden. En förklaring till detta kan vara att flödestoppen inte når mätpunkten vid reningsverket på grund av avlastning genom bräddning vid någon trång sektion på ledningsnätet. Under sådana perioder är avvikelsen stor mellan uppmätta flödesvärden och de avrinningsvolymer som modellbeskrivningen genererar.

A.2.4 Vattenbalans för tillrinningen till reningsverket



Figur A:4 Flödeskomponenter i tillrinningen till Kiruna reningsverk. Medelvärden för 10-årsperioden 1984-93.

Av figur A:4 framgår komponenterna i tillrinningen i medeltal under tioårsperioden. Där redovisas summan av snabb och trög nederbördspåverkan som mängden ovidkommande vatten (beräknad med NAM-modellen). Av figuren framgår också medelvärdet för uppmätt flöde under perioden. Att det återstår en relativt stor skillnad mellan summa beräknat flöde (NAM+spill) jämfört med uppmätta värden, är mest att hänföra till de snösmältningsperioder där det enligt flödesdata vid verket inte registrerats något större flödestillskott. Dessutom kan en felaktig modellbeskrivning av basflödesförhållandena under en lång period, som tidvis under vinterperioden, ge stora fel i avrunnen volym.

I medeltal utgör mängden ovidkommande vatten 97.3 l/s. Den uppskattade spillvattenmängden är i medeltal 98.4 l/s. Vid reningsverket har under 10-årsperioden i medeltal registrerats 169.8 l/s.

A.3 Slutsatser och diskussion - Kiruna reningsverks avrinningsområde

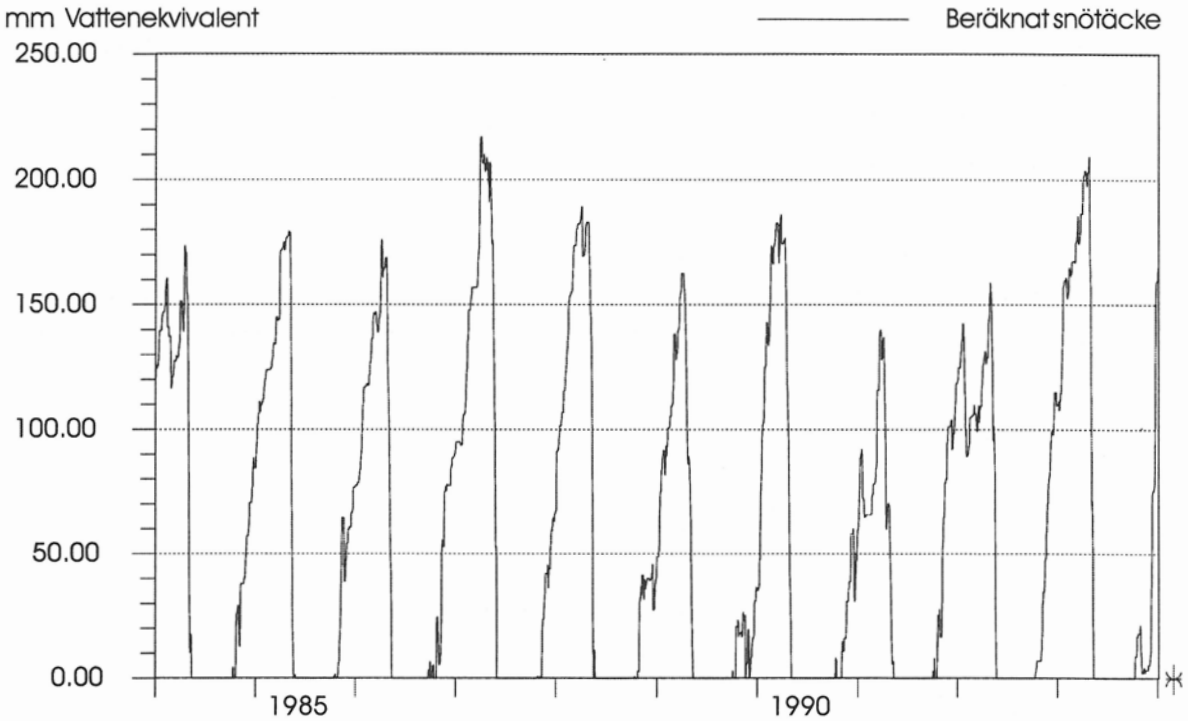
A.3.1 Allmänt

Generellt sett är den ovidkommande vattenmängden relativt normal, jämfört med situationen inom andra avrinningsområden. Det har dock framgått att den nederbördspåverkade andelen av tillrinningen är högst ojämnt fördelad i tiden.

En osäker post utgörs av spillvattenuppskattningen. Den specifika spillvattenproduktionen från 22 000 anslutna personer blir ca 386 l/p·d, vilket är en relativt hög siffra.

A.3.2 Snösmältningspåverkan

I figur A:5 redovisas beräknad uppbyggnad och avtappning av snömagasinet inom avrinningsområden. Snötäcket uttrycks i modellen som ekvivalent smält vattenmängd i mm.



Figur A:5 Beräknat snömagasin i Kiruna under 10-årsperioden 1984-93.

För beräknade snödata anges maximalt snötäcke under 10-årsperioden nedan. Dessutom har maximal snösmältningsintensitet med varierande tidsbas beräknats (under 1 dygn, 2 dygn, 1 vecka, 2 veckor). Denna beräkning har utförts så, att maximal minskning av snömagasinet med aktuell tidsbas och tidpunkten plockats ur dataserierna. Angiven tidpunkt är sluttiden för aktuell period.

Snömagasin, beräknade värden (mm vattenekv.):

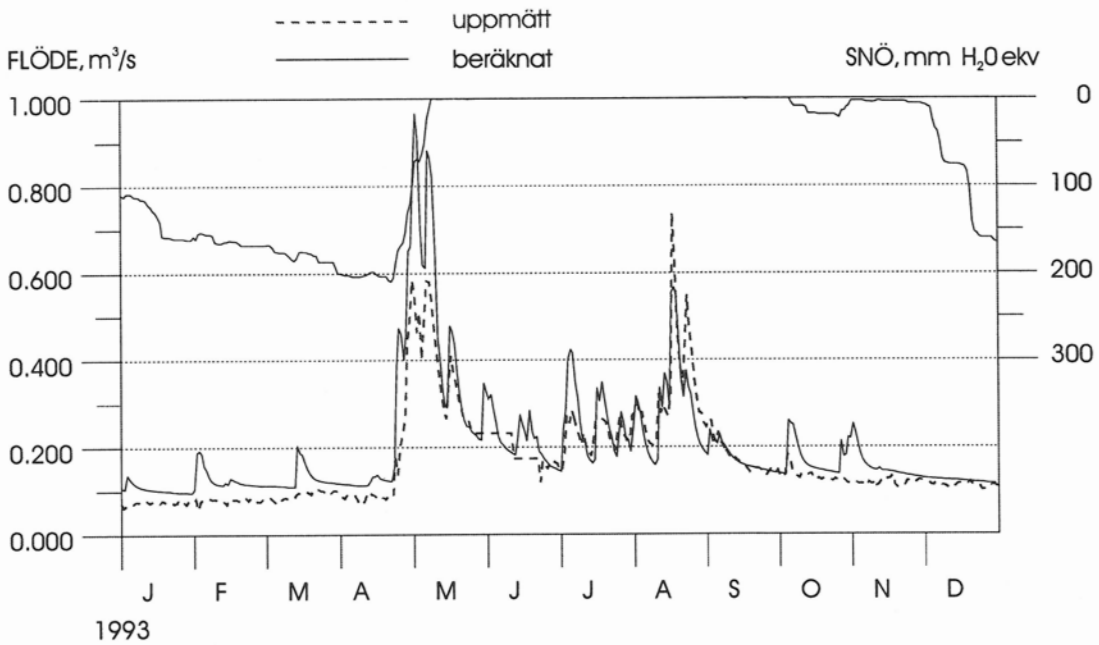
	datum	mm
Max snötäcke :	1987 04 01	217.1
Snösmältningsintensiteter:		
Max snösm 1d :	1992 05 29	31.50
Max snösm 2d :	1992 05 29	52.13
Max snösm 7d :	1992 05 29	133.10
Max snösm 14d:	1992 05 29	182.83

Under snösmältningsperioden utgör smältvattnet en mycket stor andel av den totala tillrinningen inom avrinningsområdet. Som en jämförelse har den maximalt beräknade avsmältningen under en vecka resp två veckor enligt ovan ställts i relation till spillvattenproduktionen under samma tid genom att smältvolymen (mm) multiplicerats med total dräneringsyta ($A_{SRC}+A_{FRC}$), totalt 790 ha:

Smältvolym i relation till spillvattentillrinningen:

Max snösm 7d :	ca 17.7 ggr spillvattenmängden
Max snösm 14d :	ca 12.1 ggr spillvattenmängden

Med kortare tidsbas (1d, 2d) är utspädningsgraden relativt sett större, men situationen är i storleksordning jämförbar med belastningen vid långvariga, volymrika regnsituationer sommartid. Den maximala avsmältningen under ett dygn motsvarar i volym ett 1-årsregn, motsvarande värde för 2 dygn representerar ett 5-årsregn.



Figur A:6 En-box NAM-modell för tillrinningen till Kiruna reningsverk. Jämförelse mellan simulerade och uppmätta flöden samt beräknat snömagasin under 1993. Dygnsupplösning

I figur A:6 visas kopplingen mellan förändringen i snömagasinet och flödesvariationer vid reningsverket genom att dessa plottats i samma diagram.