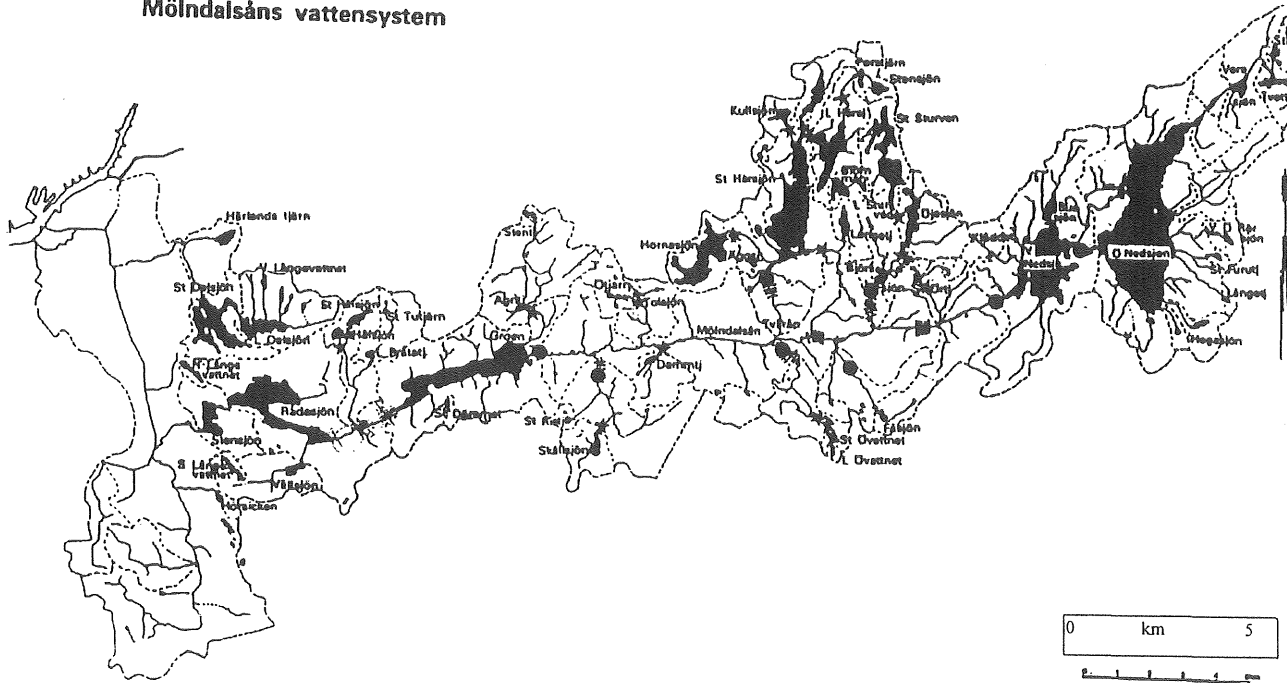


Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

Mölnålsåns vattensystem



Simulering av tillrinning till reglerade sjömagasin med NAM-modellen

av

Johan Andrén



**Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola**

**Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology**

Simulering av tillrinning till reglerade sjömagasin med NAM-modellen

Johan Andrén

Examensarbete 1997:1

Göteborg 1997

Address:	Institutionen för Vattenbyggnad	Telefon	031-772 10 00
	Chalmers Tekniska Högskola	Telefax	031-772 21 28
	412 96 Göteborg,		

El estudio conjunto de una cuenca para su desarrollo integral es uno de los trabajos más apasionantes que se pueden presentar a un ingeniero, porque es de los que más exigen un despliegue de imaginación y de labor creadora y personal.

Prof. Eugenio Vallarino

Förord

Examensarbetet är utfört vid Institutionen för Vattenbyggnad vid Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg i samarbete med VBB Viak. Handledare för examensarbetet har varit Steffen Häggström, Institutionen för Vattenbyggnad samt CG Göransson, VBB Viak.

Under arbetets gång har många andra personer bidragit med kunskap och information. Jag vill tacka alla som känner på sig att jag är tacksam för era bidrag utan vilka examensarbetet inte kunnat genomföras. Speciellt skulle jag vilja tacka Willy Sletteng, Vattenkontrollant för Mölndals Kvarnby och Runo Johansson på Mölnlycke Clinical Products samt Bengt Carlsson på Vattenbyggnadslaboratoriet. Tack.

Uppsatsen är upplagd så att varje kapitel börjar med en översiktlig beskrivning av innehållet. Uppsatsen behandlar ett ämne där många skilda intressen flätas samman och det är min förhoppning att läsaren på detta sätt skall hitta det han söker.

Göteborg 1997 02 28

Johan Andrén

Sammanfattning

Mölnaldalsån inklusive biflöden rinner genom följande fem kommuner, Borås, Lerum, Härryda, Mölnadal och Göteborg. Reglering av vattensystemet sker idag främst för att förhindra översvämningar i Mölnaldals och Härrydas kommuner då vissa av sjöarnas magasin är mycket små i förhållande till de avrinningsytor som de avvattnar. Framförallt gäller detta Landvettersjön och Råda-Stensjön.

En hydrologisk modell NAM (Nederbörd, Avrinnings-Modell) som ingår i MIKE11-systemet har använts för att beskriva tillrinningen från de stora avrinningsytorna till dessa sjömagasin. Modellen tar hänsyn till den effekt tidigare nederbördshändelser har på markens förmåga att avleda nya regn. Den ställdes in under en kalibreringsperiod, 1987-1990 då den jämfördes med uppmätta dagliga värden på tillrinning. Kortare perioder med bättre tidsupplösning har använts för att finjustera parametrarna. Därefter kördes den mot data ur en oberoende valideringsperiod, 1993-1996. Mätserierna från 90-talet är dock mycket glesare än för den första perioden, varför en viss osäkerhet över modellens giltighet kvarstår. Detta beror även på att endast två stationer för nederbörds-mätning i området idag kvarstår mot tidigare nio. Valideringen gjordes därför mot data från hösten -83 och -84 och visade då mycket god överrensstäm-melse. För bästa möjliga resultat föreslås att regnet över den aktuella sjön och dess avrinningsområde delas upp, vilket ger två separata hydrografer som därefter superponeras.

Syftet med studien har dock varit att till slut koppla ihop de här systemen, så att NAM-hydrograferna kan användas för att simulera flöden, och effekter av olika reglering för att undvika översvämningar. Även miljö-intressen, vattenförsörjning till kommunerna och en eventuell nysatsning på vattenkraft i och med avregleringen på elmarknaden gör att en hydrologisk modell över sjösystemet är av intresse. För att uppnå detta kan man koppla tillrinningshydrograferna till MIKE11:s HD-funktion (Hydro Dynamic), som även klarar reglerade vattensystem. Dagens dåliga tillgång på nederbörds-mätningar över området begränsar dock tillförlitligheten av detta simuleringsverktyg, varför en mer direkt metod baserat på NAM föreslås för riskanalys av tillrinning efter regn.

Summary

The river Mölndalsån including affluent rivers runs through the districts of Borås, Lerum, Härryda, Mölndal and Gothenburg. The main purpose of today's regulation of the watersystem is to prevent floodings in the smaller communities, Mölndal and Härryda due to the large catchments of the small lakes, Landvettersjön and Råda-Stensjön.

The hydrological model NAM, part of the MIKE11-system has been used for describing the interaction between rainfall-runoff from these catchments to the lakes. The model is designed to respond to the effects from earlier rainfall induced infiltration and groundwater infiltration when simulating new runoff hydrographs. To obtain a reliable description, the model was calibrated against daily discharge data from the period 1987-1990, with a few shorter periods with higher resolution in time to provide a higher accuracy in determining the parameters. To keep it up to date the data was validated under a second independent period, 1993 -1996 during which the resolution of the timeseries was not good enough to provide a higher certainty to the model. Another factor to take in account is that only two of the nine rain gauges in the area are still running. A third period 1983-84 with certain values for the runoff was therefore used for validation, and showed very good results. A separation of the rain over the reservoir and the land respectively gives two different hydrographs, which are then being superponated into one leads to high accuracy in predicting the actual runoff.

The purpose of the study has been to connect these NAM-hydrographs to a model that simulates water levels and effects of different regulations to avoid floodings. Furthermore environmental concern, watersupply to nearlaying urban areas and a possible future reconstruction of a hydro-electric power station along the river makes modelling of the river interesting. To achieve this, the hydrographs have been connected to the Hydro dynamic river modelling function in the MIKE11 system which has the ability to simulate regulated as well as free flowing rivers. Unfortunately today's lack of rain gauges in the area makes those simulations most uncertain, and therefore a more direct method is suggested in order to predict the risk for flooding.

1. INLEDNING.....	2
1.1 SYFTE	2
1.2 OMFATTNING	2
2. MÖLNDALSÅN.....	3
2.1 GEOGRAFISK BESKRIVNING	3
2.2 SJÖAR OCH AVRINNINGSOMRÅDEN	4
2.3 BESKRIVNING AV REGLERADE SJÖAR:.....	4
2.3.1 Nedsjöarna.....	4
2.3.2 Sturvensjöarna.....	5
2.3.3 Öjesjön.....	5
2.3.4 Vällsjön.....	5
2.3.5 Lilla Härsjön.....	6
2.3.6 Hornasjön.....	6
2.3.7 Stora Härsjön.....	6
2.3.8 Landvettersjön.....	7
2.3.9 Rådasjön-Stensjön.....	8
2.4 MÖLNDALS KVARNBY	9
2.4.1 Vattenkraftprojekt	10
3. MODELLERING AV SJÖSYSTEMET.....	11
3.1 OLIKA MODELLANSATSER.....	11
3.2 MIKE11 NAM-MODELLEN	11
3.2.1 Allmänt.....	11
3.2.2 Modellstruktur.....	12
3.2.3 Modellparametrar.....	14
3.3 KALIBRERINGSMETODIK	16
3.4 KÄNSLIGHETSANALYS	17
3.4.1 Numeriskt känslighetskriterium.....	17
3.4.2 Enskilda parametrars känslighet	18
3.4.3 Slutsatser kring parametrar	20
4. TILLRINNINGSBERÄKNING OCH KALIBRERINGSRESULTAT	21
4.1 INDATA	21
4.1.1 Potentiell avdunstning.....	21
4.1.2 Inventering av nederbördstationer.....	21
4.1.3 Strategi för val av nederbördstationer.....	23
4.1.4 Medelnederbörd för avrinningsområdet	23
4.2 FLÖDESBERÄKNINGAR	24
4.3 BESTÄMNING AV TILLRINNINGSHYDROGRAFER	27
4.4 FELKÄLLOR OCH DERAS INVERKAN PÅ RESULTATET	33
5. REGLERING	36
5.1 MILJÖHÄNSYN	36
5.1.1 Föroreningar.....	36
5.2 SAMMANSTÄLLNING AV REGLERINGSFÖRESKRIFTER.....	38
5.3 KONFLIKT MILJÖ-REGLERING	40
5.4 FÖRSLAG TILL REGLERING.....	42
6. SLUTSATSER.....	47
6.1 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE.....	47
REFERENSER	
APPENDIX A, B.	

1. Inledning

Det finns ett flertal hydrologiska modeller som används för att utgående från bl.a. nederbördsdata beräkna avrinningen i såväl dagvattensystem som i vattendrag. I det senare fallet används modellerna för att förutsäga och ge prognoser för tillrinning till vattenkraftsmagasin så att man kan optimera driften men också för att kunna prognosticera höga flöden och översvämningsrisker.

En modell, NAM, har använts för små naturliga avrinningsområden. Det är intressant att prova den på lite större sjömagasin, och här är det aktuellt med Landvettersjön-Stensjöns avrinningsområden. Vet man i förväg tillflödet kan man använda magasinet i Landvettersjön så att högvattenflöden minskar och därmed översvämningsrisken i Mölnlycke. NAM-modellen ingår i ett större modelleringssystem kallat MIKE 11, som tagits fram av Dansk Hydrologisk Institut.

1.1 Syfte

Uppgiften består i att kalibrera modeller för avrinningsområdet och göra känslighetsanalyser samt sätta in modellen i ett system där man vid risk för översvämning kör modellen mot data från väderleksprognoser och med hjälp av de tillrinningsdata detta ger kan sköta tappningen från sjön.

1.2 Omfattning

Kalibreringen gjordes för perioden 1985-1990, då tillgången på mätdata under denna tid var mycket god jämfört med det som finns att tillgå från de senare åren på 90-talet, då ett flertal nederbördsstationer i området rationaliserats bort samt att nivåregistreringen av Landvettersjön minskat från 12 gånger per dygn till en gång varje vardag. Tillgången på mätdata under denna period möjliggjorde en noggrann känslighetsanalys, vilken senare har varit till god hjälp vid utformningen av den slutliga modellen över Landvettersjön-Stensjön för vilka aktuella indata är mycket knappa. En stor del av arbetet har lagts ned på att skapa en representativ modell men som kräver få och lättillgängliga mätdata. Lättillgängliga data är väsentligt för att kunna hålla modellen kontinuerligt uppdaterad, och därigenom använda den för att underlätta regleringsarbetet.

Arbetet med att ta fram representativa tillrinningshydrografer har skett i programmet NAM, vilket beskrivs utförligare längre fram i kapitel 3. För att kunna modellera sjösystemet och hur det reagerar på olika tillrinningar kopplas dessa hydrografer sedan som indata till MIKE 11:s River modelling funktion. Här kan man lätt studera tillrinningens och regleringens effekt på sjösystemet. Fältmätningar har utförts för att bestämma rinntider mellan olika sjömagasin samt kontrollera givna flödesdata.

Då HD-modellen kräver omfattande indata av hög kvalitet, har jag bedömt att en praktisk användning baserad på modellen ej är realistisk. Istället presenteras ett enklare regleringsschema byggd direkt på resultaten från NAM-modellen.

2. Mölndalsån

I detta kapitel ges en allmän orientering om Mölndalsån. Kapitlet innehåller en översiktlig geografisk beskrivning över Mölndalsåns avvattningsområde samt en ingående studie av alla större sjöar inom systemet och deras vattendomar samt övrig intressant karakteristik. Regleringsrätten utövas av sammanslutningen Mölndals Kvarnby vars funktion och organisation nedan belyses.

2.1 Geografisk beskrivning

Området som har studerats ingår i Mölndalsåns avvattningsområde. Mölndalsån rinner upp vid Östra och Västra Nedsjöarna i trakten av Hindås. Under dess lopp västerut mottager den vatten från Sturva-, Här- och Hornasjöarna. Den fortsätter därefter sin meandrande vandring genom landskapet tills den når Landvettersjön som även omnämns med namnet Gröen men i fortsättningen av rapporten håller vi oss till benämningen Landvettersjön. Längre nedströms passerar ån Rådasjön och Stensjön. Vid Stensjöns utlopp finns en regleringsdamm liksom vid Västra Nedsjön och Landvettersjöns utlopp. Strax efter Stensjöns utlopp faller ån kraftigt genom Mölndals Kvarnby med en fallhöjd på totalt 47,7 m på 1,6 km, ned till Forsåker. I denna punkt ansluter Äva- och Balltorpsbäckarna och ån ändrar kraftigt riktning emot nordnordväst och fortsätter fram till Dämmet genom bitvis kulverterade avsnitt. Efter Dämmet rinner Mölndalsån in i Gullbergsån som även den har kulverterade avsnitt innan den slutligen byter namn till Säveån ca 300 meter från dess utlopp i Göta Älv.

Mölndalsån drabbas på flera sträckor hårt av översvämningar. Översvämningarna beror på att de nedre sjöarna i systemet har små regleringsmagasin i förhållande till storleken på eget oreglerat avrinningsområde. Vid praktiskt taget alla översvämningstillfällen har avbördningen från de övre magasinen t. ex Nedsjöarna, legat nära gränsen för minimitappning.

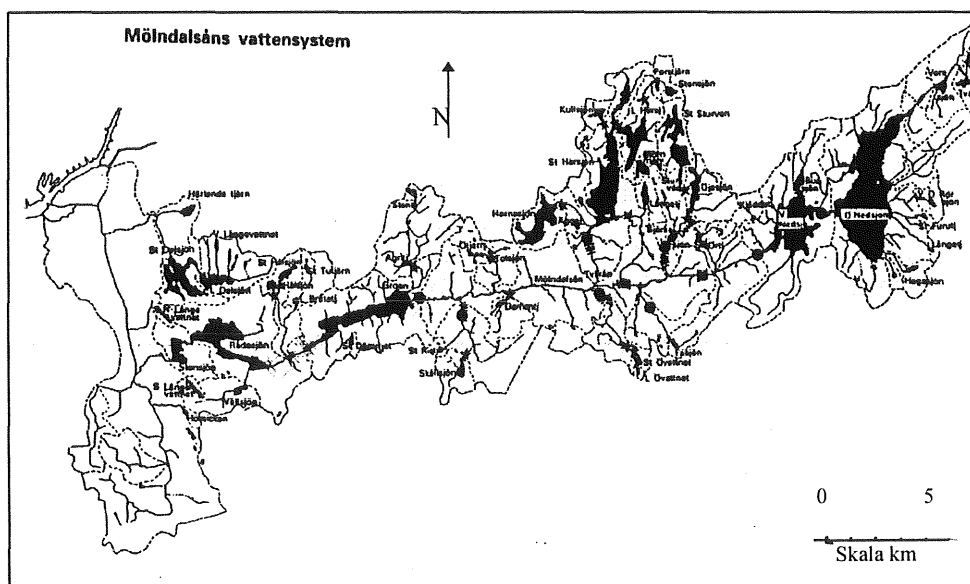


Fig 2.1 Karta Mölndalsåns avrinningsområde. Se större karta i Appendix B.

2.2 Sjöar och avrinningsområden

Mölnbaldsåns totala avrinningsområde är 268 km² och sjöprocenten uppgår till 10 %. Vid Stensjöns utlopp är avrinningsområdets storlek 210,3 km² och sjöprocenten ca 12%. En förteckning över sjöarna i området med dess tillrinningsområden följer i nedanstående tabell:

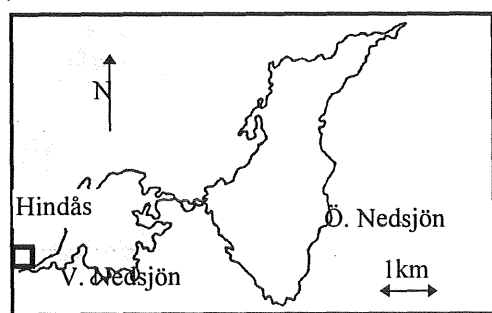
	Sjöyta [km ²]	h.ö.h [m]	Avrinningsomr. eget [km ²]	Avrinningsomr. tot [km ²]
Ö.+ V. Nedsjön	10,4	120,4	62,6	62,6
Sturvensjöarna	1,1	105	3,8	3,8
Vällsjön	0,3	103	2,8	2,8
Hornasjön	1,1	102,3	3,5	3,5
Lilla Härsjön	1,0	93	7,5	7,5
Stora Härsjön	2,7	89	12,9	12,9
Öjesjön	0,4	102,5		
Landvettersjön	2,50	54,5	91,9	185,0
Rådasjön	2,10	49,4	25,3	210,3
Stensjön	0,45	49,3	inkl	

Tabell 2.1 Förteckning över sjöar inom området. Höjdangivelser enligt rikets nollplan.

2.3 Beskrivning av reglerade sjöar:

Sjöarna beskrivs i ordningsfölj från öster till väster, d v s efter samma ordning som deras vattenmassor når eller genomströmmar Mölnbaldså. Alla höjdangivelser är baserade på Göteborgs lokala höjdsystem, d v s +10,14 m motsvarar rikets nollplan.

2.3.1 Nedsjöarna



Östra och Västra Nedsjöarna är Mölnbaldsåns källsjöar och är belägna i trakten av Hindås. Sjöarna är förenade genom ett sund Enligt utslag meddelat av Askims, Västra och Östra Hisings samt

Fig 2.2 Östra och Västra Nedsjön.

Sävedalens häradsrätt den 30/7 1910 erhöU Mölnbalds Kvarnby rätt att innehåUa vatten i sjöarna till en höjd av 3,15 m över grundstocken i dammbyggnaden.

Denna rätt bekräftades av Västerbygdens Vattendomstol genom dom meddelad den 17/12 1921 varigenom denna dämningssgräns av +3,15 m fastställdes. Dessutom bestämdes sänkningsgränsen till + 0,30 m över tidigare angiven grundstock. Enligt samma dom skall minimitappning uppgå till 0,40 m³/s utom vid de tillfällen då magasinet är tomt. Vid vattenståndet 3,15 m och högre ska alla luckor vara öppna. I Nedsjöarna finns det ojämförligt största vattenmagasinet, 30,8 milj m³, och avrinningsområdets sjöprocent vid Västra Nedsjöns utlopp är 19,3 %.

Data:	Sjöareal	Östra Nedsjön	7,6 km ²
		Västra Nedsjön	3,2 km ²
		Avrinningsområde (totalt)	62,2 km ²

2.3.2 Sturvensjöarna

Stora Sturven avrinner genom ett sund till Lilla Sturven, som i sin tur avrinner genom en bäck till Öjesjön. Genom en uppreisning av sundet mellan Sturvasjöarna år 1930 betraktas sjöarna som ett magasin.

Enligt vattendom den 15/2 1929 är regleringsamplituden 2,20 m, vilket ger ett vattenmagasin på 2,4 milj m³. Maximal tappning så länge sjöytan är under dämningssgränsen är 0,3 m³/s.

Data:	Sjöareal	Sturvensjöarna	1,1 km ²
		Avrinningsområde	3,8 km ²

2.3.3 Öjesjön

Sturvensjöarna avvattnas genom Öjesjön.

Enligt vattendom av 15/2 1929 äger Kvarnbyn och Mölnlyckebolet rätt att framsläppa det vatten, som avtappas från Sturvensjöarna. Öjesjön regleras enligt hävd och för tillfället är sjön oreglerad.

Data:	Sjöareal	Öjesjön	0,4 km ²
-------	----------	---------	---------------------

2.3.4 Vällsjön

Vällsjön avvattnas till Stora Härsjön och är den minsta reglerade sjön i Mölndalsåns avrinningsområde.

Vällsjön regleras enligt dom av den 15/12 1931. Domen medger en amplitud på 2,91 m, vilket medför ett regleringsmagasin av 0,9 milj m³. Maximal tappning är 0,34 m³/s, utom då vattnet stiger till dämningssgränsen, då utskovet skall öppnas helt.

Data:	Sjöareal	Vällsjön	0,3 km ²
		Avrinningsområde	2,8 km ²

2.3.5 Lilla Härsjön

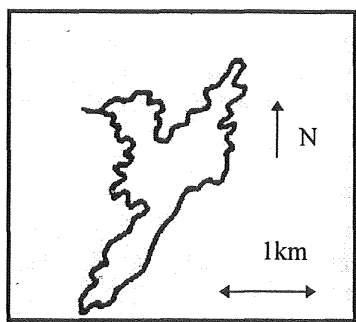


Fig 2.3 Lilla Härsjön

Lilla Härsjön avvattnas till Stora Härsjön.

Enligt vattendom den 30/11 1933 äger man rätt att reglera Lilla Härsjön med en amplitud av 3,01, vilket ger ett regleringsmagasin av 3,0 milj m^3 . Reglering sker dock med en amplitud av endast 1,5 m. Maximal avtappning under dämningssgränsen är 0,9 m^3/s .

Data:	Sjöareal	Lilla Härsjön	1,0 km^2
		Avrinningsområde	7,5 km^2

2.3.6 Hornasjön

Hornasjön, även kallad Homasjön, avvattnas genom Hornabäcken till Stora Härsjön.

Dämningshöjden är fastställd till +113.83 m och regleringsamplituden till 2,39 m enligt dom av den 15/2 1929. Detta innebär att regleringsmagasinet uppgår till 2,63 milj m^3 . Den maximala avtappningen från sjön är 0,3 m^3/s .

Data:	Sjöareal	Hornasjön	1,1 km^2
		Avrinningsområde	3,5 km^2

2.3.7 Stora Härsjön

Som framgått av ovan mottager Stora Härsjön vatten från Lilla Härsjön, Vällsjön och Hornasjön. Vattnet avleds sedan genom Tvärån till Mölndalsån. Stora Härsjön är den djupaste sjön i systemet. Sjön har lodats för Mölndals Kvarnbys räkning. Det största uppmätta djupet var 101 m. Runt Stora Härsjön ligger ett mycket populärt strövområde i vacker natur kallat Härskogen.

Dom att reglera Stora Härsjön med amplituden 2,20 m meddelades Mölndals Kvarnby med flera den 15/2 1929. Enligt denna dom gäller att den genomsnittliga minimitappningen per vecka får uppgå till 0,3 m^3/s . Vid varje tillfälle skall det från Hornasjön, Vällsjön och Lilla Härsjön avtappade vattnet framläppas genom dammen.

Regleringssamfälligheten utgörs här av Kvarnbyn, Mölnlycke AB och HARRYDA Elektriska Andelsförening. Skötseln av damm och tubintag åligger Andelsföreningen, dock med undantag för att Kvarnbyn får bestämma dammluckornas inställning. Andelsföreningen skall hålla Kvarnbys vattenkontrollant informerad om vattenstånd i och avrinning från Stora Härsjön genom att, om Kvarnbyn så kräver, avläsa skala uppströms dammen 1 gång/dag och nedströms dammen (flöde) 3 gånger/dag.

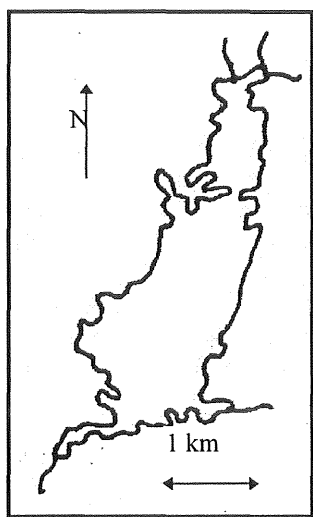


Fig 2.4 Stora Härsjön

Om vattenytan i Stora Härsjön skulle understiga:

+110,00 m under 1 januari - 31 mars

+110,50 m under 1 april - 31 juli

+109,50 m under 1 augusti - 31 december

äger Kvarnbyn icke rätt att framsläppa vatten om ej kraftverket är i drift.

Kraftverket används inte numera varför dessa sänkningsgränser gäller.

Dämningsgräns +111,45 m

Data:	Sjöareal	Stora Härsjön	2,7 km ²
		Avrinningsområde (eget)	12,9 km ²
		Avrinningsområde (totalt)	26,7 km ²

2.3.8 Landvettersjön

Landvettersjön eller Gröen som den också brukar kallas har det största egna avrinningsområdet av de reglerade sjöarna inom Mölndalsåns avrinningsområde. I anslutning till dämnet vid Landvettersjöns utlopp ligger Mölnlycke Clinical Products fabriker. Sjön mynnar i en liten tjärn, Massetjärn, strax uppströms Rådasjön.

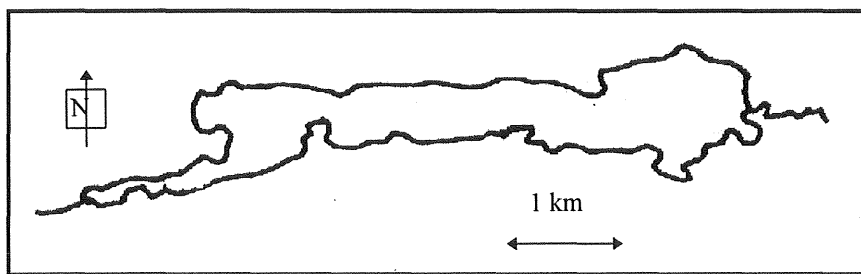


Fig 2.5 Landvettersjön

Namnet Gröen kan komma av att den gror mycket snabbt. Magasineringens volymen är liten jämfört med det stora avrinningsområdet, vilket illustreras av att 11 mm effektiv nederbörd över området räcker för att fylla sjöns magasin. Denna regleringsamplitud gäller som det heter "enligt hävd" och det är Mölnlycke Clinical Products som sköter regleringen. Av tradition har regleringen skett upp till ett dämningssmärke +64.93.

För att få fabriktionsvatten och vatten till kraftförsörjning krävdes att vattennivån hölls över +64.52, vilket alltså ger en amplitud av 41 cm. Dessa snäva gränser gör att man inte kan hålla på vatten utan man tvingas tappa i jämn ström för att undvika översvämningar inne i fabriken. Detta gör att det inte finns någon motsättning mellan Kvarnbyn och Mölnlycke industrier. Man har därför inte ansökt om någon vattendom då samarbetet mellan parterna är gott. Det kan nämnas att regleringsamplituden tidigare i praktiken endast varit 21 cm p g a att man hade lagt vattenintaget till fabriken sprinklersystem väldigt ytligt. Dess läge är nu justerat och den verkliga magasineringsamplituden är nu åter 41 cm.

Data:	Sjöarea	Landvettersjön	2,5 km ²
		Avrinningsområde eget	91,9 km ²
		Avrinningsområde totalt	185,0 km ²

2.3.9 Rådasjön-Stensjön

Stensjön och Rådasjön är de längst ner liggande sjöarna inom Mölndalsåns avrinningsområde uppströms Mölndal. De är förenade genom ett smalt sund, Ståloppet. De kan genom sin nära förbindelse betraktas som ett magasin.

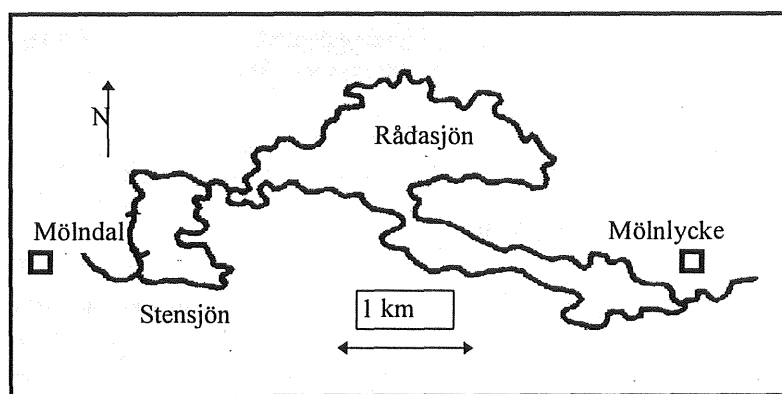


Fig 2.6 Stensjön och Rådasjön

I en vattendom från 10/2 1937 fastslogs Råda-Stensjöns dämningssgräns till +59,73 och sänkingsgränsen till +59,15.

Data:	Sjöarea	Rådasjön	2,10 km ²
		Stensjön	0,45 km ²

Avrinningsområde Rådasjön-Stensjön

Eget	25,3 km ²
Totalt	210,3 km ²

2.4 Mölndals Kvarnby

Strax efter Stensjöns utlopp finns ett vattenfall benämnt Kvarnbyfallen med en fallhöjd på ca 47 meter. Kraften kom att utnyttjas tidigt och därför växte snabbt en liten by upp kring fallet. På samma sätt som alla civilisationer vuxit fram under historien var det behovet av en gemensam reglering av vattenmassorna som gjorde att människorna såg ett behov av att organisera sig. Förmodligen har fallen drivit kvarnar för malning av säd sedan början av 800-talet. Därav kommer troligtvis namnet Mölndal. Sedan Göteborgs stad började uppföras på allvar i början av 1600-talet har fallen spelat en viktig roll för alstrandet av kraft och energi.

Samtliga sjöar inom avrinningsområdet regleras idag av Mölndals Kvarnby som är den senaste organisationen att tillvarata fallrätten, men den har ändå mycket gamla anor. Mölndals Kvarnby är en sammanslutning av industrier, kvarnar och sågar, som utnyttjar Mölndalsån till kraftproduktion eller som processvatten. Förr hade denna sammanslutning många delägare vilkas andelar efterhand köpts upp eller övergått i takt med att industrierna och kvarnarna lagts ned till industrierna i Mölndal. Idag fördelas fallrättigheterna mellan; STORA Papyrus 73%, Soab 23% och Grevedämnet 4%.

Fram till slutet av 1800-talet använde man fallets kraftgenerering till ett flertal olika ändamål. Handpappersbruk anlades tidigt, malning av säd, spinnerier och sågverk var de största näringarna. Flera näringar kom att vara etablerade i området under lång tid, varav ett par finns kvar än idag. Soab AB härstammar från det gamla oljeslageriet som etablerades redan 1827. Papyrus, som bildades av Marcus Wallenberg år 1895, satte igång sina pappersmaskiner år 1897. Papyrus var då helt beroende av sin lokalisering vid ån, där man dels utnyttjade vattnet som energikälla, dels använde det till sin process.

Idag, då det finns säkrare distributionsnät av både vatten och energi med avseende på både kvalitet och tillförsel är det inte längre dessa faktorer som styr regleringen, utan vattnet regleras av andra orsaker. Främst vill man undvika översvämningar i Mölnlycke och Mölndal samt att man idag arbetar mer aktivt för att tillvarata miljöintressen. Från Rådasjön finns två vattenledningar, varav den ena är en så kallad katastrofledning för Göteborg kommuns räkning, medan den andra levererar vatten till Mölndals kommun.¹

Mölndals Kvarnby leds och administreras av det sk byalaget vilket består av en ålderman, fyra bisittare samt en vattenkontrollant. Vattenkontrollanten utses av byalaget och det finns ett mötesprotokoll från byastämman i Mölndals rådhus den 4 mars 1895 som anvisar vilka uppgifter han har. I byalaget finns de olika fallrättsinnehavarna (Soab, Grevedämnet och STORA Papyrus) representerade. Byalaget har tre protokollförda möten per år. På dessa möten brukar ärenden såsom investeringsbeslut, frågor om ersättningar till mätpersonal och allmänna avrapporteringar angående sjöregleringarna behandlas. Då Mölnlyckes fabriker är beroende av vattenståndet i Landvettersjön och därför själva reglerar detta är man tillfälligt biträdande i byalaget.

De investeringar som görs består främst av förbättringar och ombyggnationer av dammluckor. De större investeringarna görs med ett tidsintervall på ca tio år per dammlucka. Byalagets verksamhet finansieras genom självgenererade medel. Dessa består av den ersättning man får från Göteborgs resp Mölndals kommun för upprätthållande av katastrofledning respektive vattenleveranser. Omsättningen i Kvarnbyns icke vinstdrivande verksamhet är på ca 400 000-500 000 kronor.

¹ Det finns ett avtal att Göteborgs stad äger rätt att pumpa en vattenvolym om 5 miljoner kubikmeter vatten per månad från Rådasjön om man av någon anledning inte kan ta vatten från Göta Älv. Se vidare kapitel 5 om vattendomar

Idag föreligger inga intressekonflikter då de tre fallrättsinnehavarnas användning ej påverkar varandra. Ån används ju inte heller för energiproduktion längre. Däremot är Kvarnbyfallen med jämna mellanrum föremål för rykten om nya vattenkraftprojekt.

2.4.1 Vattenkraftprojekt

I början av 1989 kunde man i massmedia² läsa om hur CTH hade utarbetat en plan för ett vattenkraftverk i Kvarnbyfallen. Detta ledde omedelbart till massiv kritik från den lokala opinionen. Papyrus påstods i massmedia ha givit bort fallrättigheten till CTH, vilket dock var fel och projektet genomfördes aldrig.

Anledningen till att CTH ville dra igång projektet var att man skulle använda anläggningen som en forsknings- och laborationsanläggning. Med de ekonomiska vinster man skulle göra på elgenereringen hade man tänkt finansiera forskningsstudier. Med tanke på den eventuella kärnkraftsavvecklingen anses det vara viktigt att öka utbildningen och forskningen inom alternativa energikällor.

Man hade för avsikt att spränga en tunnel genom berget för att på detta sätt utnyttja fallhöjden maximalt. Tunneln skulle vara 750 meter lång, diametern var beräknad till 2,85 m och fallhöjden skulle bli 40 m. Utbyggnadsvattenföringen var satt till 4 m³/s. Alla variationer i tillrinningen skulle registreras av datorer som även skulle reglera dammluckorna automatiskt. I anläggningen skulle två huvudturbiner med en effekt på mellan 0,5 och 2 MW (beroende på årstid) installeras, jämte tre mindre på 15, 60 och 240 kW, vilka endast skulle användas i forskningssyfte. Totalkostnaden var beräknad till 30 Mkr. Men liksom det tidigare projektet kallat Papyrus övre genomfördes aldrig planerna.

Papyrus övre var ett projekt som initierades efter oljekrisen i samband med kärnkraftsomröstningen. Näringslivet oroade sig för att energipriserna skulle skjuta i höjden på lite längre sikt och staten understödde projekt som syftade att verka för en säker alternativ energiförsörjning. Projektet som Papyrus själva undersökte förutsättningarna för beräknades kosta 8 Mkr varav statliga bidrag skulle täcka 2,5 miljoner kronor.

För att kunna ta ut maximal fallhöjd krävdes att man fick köpa Soabs fallrättighet. Det visade sig bli mer komplicerat än vad Papyrus räknat med. Soab bytte under denna tid verkställande direktör vid ett flertal tillfällen. Ingen av dessa ville fatta något beslut om försäljning av fallrättigheten. På grund av detta fick Papyrus aldrig byggt något kraftverk innan vattendomen gick ut i maj 1980. Domen blev sedan förlängd till 1990. Under de kommande åren sjönk priset på el och man hade ej något motiv att genomföra projektet.

I samband med den nyligen genomförda avregleringen på elmarknaden har frågan återigen aktualiserats vilket bl a hittills resulterat i en C-uppsats på Handelshögskolans Företagsekonomiska Institution. Uppsatsen tar upp lönsamheten för olika alternativ att återuppta energiutvinningen ur Mölndalsån. Den är ett led i en större serie av uppsatser och rapporter som behandlar Mölndals Kvarnby ur olika aspekter.

² Göteborgs-Posten 890201, Mölndals-Posten 890104, 890111, 890215, 890308, 890315, 890426, Arbetet 890127, 890222

Simulering av tillrinning till reglerade sjömagasin med NAM-modellen

3. Modellering av sjösystemet

I kapitlet beskrivs hur NAM-modellen är uppbyggd, vilka parametrar som används till indata och förfarande vid kalibrering. Vid kalibreringen har man möjlighet att ändra ett femtontal variabler, som indirekt kan sägas representera olika fysikaliska processer, för att på så sätt uppnå bästa möjliga överrenstämelse med de mätdata man kalibrerar mot. En analys av olika parametrars inbördes betydelse finns också med i slutet. Om säkra data på tillrinning finnes är det möjligt att direkt koppla de erhållna hydrograferna till en hydrodynamisk modell för simulering av nivåförändringar och tappningar. Denna modell benämns HD-modellen. Försök att koppla hydrograferna till modellen har gjorts, men med dålig noggrannhet i förhållande till arbetsinsatsen och mängden erforderliga indata, för att vara intressant för praktisk användning. En annan regleringstrategi föreslås i kapitel 5.

3.1 Olika modellansatser

Modelleringsproblematiken kan generellt angripas utgående från två principiellt skilda synsätt. För att beskriva dessa används benämningarna black box och white box där den sistnämnda fått sitt namn genom att systemet uppfattas som ett avgränsat område (box), där de ingående fysikaliska processerna är fullt upplysta. Detta innebär att även studier av förändringar i systemet kan göras. En sådan modell är MIKE SHE skapad av DHI som teoretiskt är att föredra då den ger mycket detaljerade kunskaper. De högt ställda kraven på kvalitet och kvantitet av indata gör dock att modellerna inte alltid är ändamålsenliga. Man skjuter mygg med kanoner.

De svarta modellerna ger i motsats till de vita ingen information om orsaken till beräknade resultat. En viss indataparameter ger ett visst resultat genom att ett matematiskt samband mellan in- och utdata skapats. Syftet med en modell är ofta att bestämma effekter av framtida åtgärder eller händelser vilket inte kan göras med dessa svarta lådor. Ett exempel på en svart modell är den sk Enhetshydrografmetoden beskriven av bl a Wilson (ref [23]).

Mellan de båda ytterligheterna hittar vi de gråa modellerna. En sådan är den sk NAM-modellen utgiven av DHI där de matematiska ekvationerna inte direkt motsvaras av naturliga fysikaliska parametrar men där ändå relationer kan spåras dememellan.

3.2 MIKE11 NAM-modellen

3.2.1 Allmänt

NAM-modellen beskriver vattnets kretslopp i marken genom ett antal kopplade matematiska ekvationer, som ger en möjlighet att bestämma tillrinningen som följer på regn under olika årstider, och under olika hydrologiska betingelser. Med NAM-modellen kan en beskrivning göras av tillrinningen till en viss punkt genom att storleken och karaktären på fyra, olika djupt förlagda magasin beskrivs. Genom hela beräkningsprocessen tar modellen hänsyn till vatteninnehållet i de fyra olika ömsesidigt beroende magasinerna vilka representerar fysikaliska element av avrinningsområdet. Modellen kalibreras mot flödesstatistik där en så god överensstämmelse som möjligt mellan uppmätt och beräknat flöde eftersträvas.

Indata till modellen är nederbörd, potentiell avdunstning och temperatur. Dessa tidsserier ger sedan möjlighet att beräkna bl a avrinning, grundvattennivåer, relativ markvattenhalt och grundvattenflöde.

NAM-modellen beskriver inte hydrauliska förhållanden uppströms mätpunkten, utan skapar bara en tillrinnings-hydrograf fram till punkten. Således kan ett helt avrinningsområde hanteras med ett geografiskt NAM-område, där parametrarna och variablerna representerar medelvärden för hela delområdet.

3.2.2 Modellstruktur

NAM är baserad på dels fysikaliska, dels erfarenhetsmässiga ekvationer, se ref. [4]. Vissa av parametrarna kan uppskattas från fysiska områdesdata, men den slutliga uppskattningen måste göras genom kalibrering av simulerade värden mot verkliga händelser. Vid beskrivningen av modellstrukturen används NAMs egna beteckningar, vilka förklaras i nästkommande stycke.

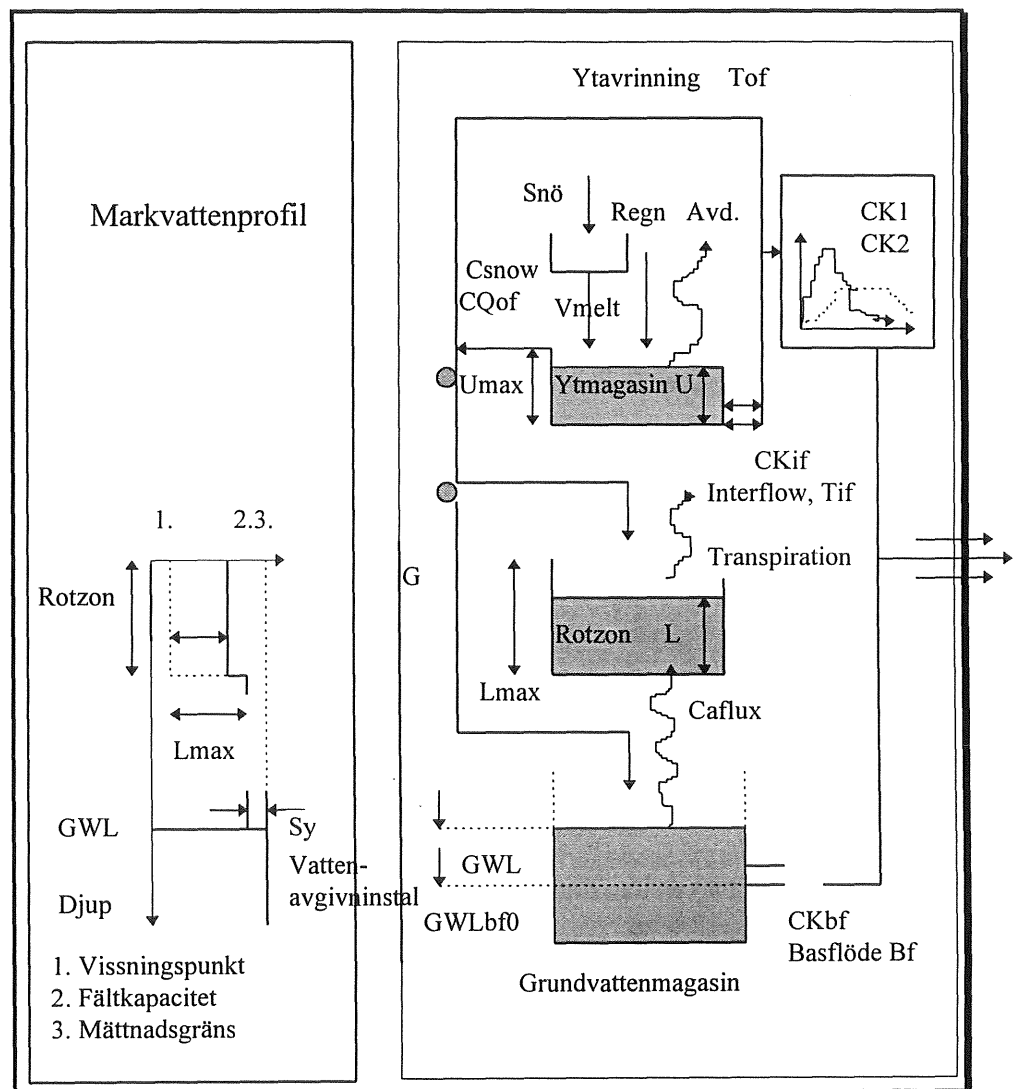


Fig 3.1 Modellstruktur för NAM-modellen.

Simulering av tillrinning till reglerade sjömagasin med NAM-modellen

Modellstrukturen, som är en förenklad beskrivning av vattnets kretslopp i marken, består av fyra magasin:

- Snömagasinet
- Ytmagasinet
- Rotzonsmagasinet
- Grundvattenmagasinet

Den nederbörd som faller vid minusgrader lagras som snö i ett temperaturberoende magasin som avger vatten när temperaturen sedan stiger.

Vatten i håligheter på markytan och i det översta jordlagret samt fukt på vegetationen är beskrivet som ett ytmagasin. U_{max} anger det maximala vatteninnehållet i detta magasin. När ytmagasinet är fullt kommer en viss del av det överflödiga vattnet, P_n , att avrinna via sk **Overland flow**, medan resten infiltrerar till rotzonsmagasinet respektive perkolorerar till det djupare förlagda grundvattenmagasinet. Mängden **overland flow**, OF , beräknas enligt:

$$OF = ((U/U_{max} - T_{of}) / (1 - T_{of})) \cdot CQ_{of} \cdot P_n \quad \text{för } U/U_{max} > T_{of}$$

$$OF = 0 \quad \text{för } U/U_{max} \leq T_{of}$$

där CQ_{of} = Ytavrinningskoefficient (mellan 0 och 1).
 T_{of} = Tröskelvärde för overland flow (mellan 0 och 1)

Markvattenhalten i rotzonen, ett marklager nedanför markytan från vilket vegetationen kan suga vatten för transpiration, är beskrivet som ett magasin i en nedre markzon, rotzonsmagasinet.

Vattenmängden i ytmagasinet avtar kontinuerligt dels genom avdunstning, dels genom horisontell vattenströmning i det översta marklagret sk **interflow**. När ytmagasinet är fullt kommer en viss del av det överflödiga vattnet att avrinna via ytavrinning och resten via infiltration till rotzonsmagasinet och grundvattenmagasinet. Mängden **interflow**, IF , beräknas enligt:

$$IF = ((L/L_{max} - T_{if}) / (1 - T_{if})) \cdot U / CK_{if} \quad \text{för } L/L_{max} > T_{if}$$

$$IF = 0 \quad \text{för } L/L_{max} \leq T_{if}$$

där CK_{if} = Tidskonstant för interflow
 T_{if} = Tröskelvärde för interflow (mellan 0 och 1).

För att bestämma transporten av **interflow** är CK_{if} den klart dominerande tidskonstanten.

Mängden vatten i rotzonsmagasinet avtar genom rotsugning till transpiration. L_{max} anger det maximala vatteninnehållet i detta magasin. Mängden vatten i rotzonsmagasinet, L , avtar med E_t . Denna process startar först då ytmagasinet är tomt och beräknas då som:

$$E_t = E_p \cdot L / L_{max}$$

där E_p = Potentiell avdunstning (indata)

Det relativa vatteninnehållet i rotzonsmagasinet styr mängden vatten som förs vidare till grundvattenmagasinet. Ekvationen som indikerar andelen perkolerat vatten är uppbyggd enligt samma system som de övriga magasinerna med motsvarande parameteruppställning.

3.2.3 Modellparametrar

Nedan följer en kort beskrivning av de viktigaste modellparametrarna och deras fysikaliska tolkning. Se vidare ref. [4].

Avrinningsområde

- A [km^2] Storleken på det område som avleder vatten till den punkt där flödet skall simuleras.

Graddagskoefficient

- C_{snow} [$\text{mm}/^\circ\text{C}/\text{d}$] Parametern styr tömning av snömagasinet. Högre värde ger snabbare tömning. Tömning sker när temperaturen överstiger noll grader Celsius.

Magasineringskapacitet

- $U_{\text{max}}, L_{\text{max}}$ [mm] Definierar det maximala vatteninnehållet i yt- och rotzonsmagasin.

Värdet på U_{max} skall åskådliggöra att ytmagasinet representerar magasinet för nederbörd som fastnar i vegetationen, håligheter i markytan och de översta centimetrarna av marken.

L_{max} kan tolkas som den maximala markvattenhalten i rotzonen som är tillgänglig för rotsugning till vegetationens transpiration (avdunstning från inre ytor i vegetationen). L_{max} kan i renodlade områden, uppskattas genom att multiplicera skillnaden mellan fältkapacitet och vissningspunkt för den aktuella jordtypen med det effektiva rotdjupet. L_{max} representerar dock medelvärden för hela avrinningsområdet och kan därför i praktiken inte uppskattas från fältdata. Ett förväntat intervall kan dock uppskattas.

Overlandflowkoefficient

- C_{Qof} [1] C_{Qof} bestämmer hur stor del av avrinningen (efter att ytmagasinet är fullt) som skall avrinna som overlandflow eller infiltrera.

En förenklad fysikalisk tolkning är att parametern skall åskådliggöra infiltrationen inom ett område. Större värden på C_{Qof} kan förväntas för områden med lågpermeabel jord, såsom lera etc, samt områden med mycket tunt jordlager, såsom berg i dagen etc. Mindre värden kan förväntas för flacka områden med grovsandiga jordar och en stor omättad zon.

Tidskonstanter för overlandflow

- $CK1, CK2$ [h] Tidskonstanterna bestämmer hur snabbt flödet reagerar vid nederbörd, overlandflow.

Tidskonstant för interflow

- CKif [h] Tidskonstanten bestämmer tillsammans med U_{max} mängden interflow. Denna tidskonstant dominerar påverkan av flödet från interflow då CKif i normala fall är mycket större än CK1 och CK2.

Tidskonstant för baseflow

- CKbf [h] Tidskonstanten bestämmer flödets avklingning under torrperioder.

Tröskelvärden

- Tof, Tif, Tg [%] Påverkar avrinningen så att det inte genereras overlandflow, interflow respektive påfyllning av grundvattenmagasinet förrän det relativa vatteninnehållet i rotzonen, L/L_{max} , överstiger Tof, Tif respektive Tg.

Markens vattenavgivningstal

- Sy Sy styr höjningen av vattennivån i grundvattenmagasinet för ett visst flödestillskott. Därmed kan Sy användas för att kalibrera in nivån i grundvattenmagasinet mot observationer av grundvattennivån.

Maximal grundvattennivå

- GWLbf0 [m] Parametern påverkar endast referensvärdet kring vilket grundvattennivån fluktuerar, ej dess storlek och anger för vilket djup basflödet är noll.

Kapillär enhetsströmning

- GWLfl1 [m] Parametern anger den grundvattennivå som orsakar en kapillär strömning på 1 mm/d från grundvattenmagasinet till rotzonsmagasinet när detta är helt tomt.

Minsta grundvattennivå

- GWLmin [m] Anger den grundvattennivå som motsvarar att grundvattenytan når ytmagasinet (markytan) och därmed förhindrar fortsatt infiltration.

Grund- och ytvattendelarförhållande

- Carea Parametern anger förhållandet mellan arean inom grundvattendelaren och arean inom ytvattendelaren. I Sverige är detta förhållande så gott som alltid lika med ett.

3.3 Kalibreringsmetodik

Det rekommenderas att man bortser från den första delen av kalibreringsperioden för att eliminera inverkan av felaktiga startbetingelser. I idealfallet görs kalibreringen mot en längre period om ca tre år med dygnsvärden för att uppnå vattenbalans och mot minst en kortare period med tätare flödesmätningar för finjusteringar. Den kortare perioden bör vara nederbördsrik. Givetvis uppnås bättre noggrannhet ju mer varierade väderförhållanden perioderna innehåller. En modell kalibrerad enbart för vinterförhållanden kan exempelvis inte förväntas ge tillförlitliga resultat en torr sommar. Indata i modellen är nederbörd och potentiell avdunstning samt uppmätta flödesserier att kalibrera mot. Följande schema för kalibrering har följts:

Målsättningen vid en NAM-kalibrering är att uppnå vattenbalans i systemet, dvs överensstämmelse mellan simulerad och uppmätt (här beräknad) total volym under hela den studerade perioden. Följande checklista används lämpigen:

1. Först ställs ytavrinningskoefficienten, **CQof**, in så att fördelningen av volym mellan ytavrinning (flödestoppar) och basflöde blir korrekt. Detta görs efter blötperioder samt helst under en period med låg avdunstning. En minskning av **CQof** ger minskad ytavrinning och ökad infiltration vilket därmed också medför ett ökat basflöde.
2. **CKbf** justeras mot responsen på basflödet, dvs uppbyggnad samt avklingning av basflödet görs under och efter blötperiod med låg avdunstning. Justering mot avklingningen görs i början av torrperioder med hög avdunstning, helst då flödet endast utgörs av basflöde. En justering av **CKbf** påverkar inte avrinningsvolymens storlek sett under en längre period, däremot förskjuts volymerna i tiden.
3. **CKof** justeras mot responsen, formen på flödestopparna. Detta görs under perioder med kraftig nederbörd, helst efter en blötperiod.
4. En minskning av **Umax** ger en minskad avdunstning vilket resulterar i en ökad avrinning under perioder med hög avdunstning. Effekten blir störst under perioder som föregåtts av en blötperiod. Dels erhålls en ökad ytavrinning, dels förs mer vatten till grundvattenmagasinet vilket resulterar i ett ökat basflöde, dock med viss fördröjning på grund av basflödets långa responstid.
5. **CKif** justeras av responsen av interflowflödet under perioder med låg avdunstning. En minskning av värdet ger en viss ökning av volymen under dessa perioder.
6. Det relativa vatteninnehållet i rotzonen, L/L_{max} , styr flera av de olika vattentransporterna i NAM-modellen. Då magasinskapaciteten, **Lmax**, påverkar hastigheten i stigningen av L mot L_{max} justeras L_{max} mot perioder med kraftig uppfyllnad av rotzonsmagasinet. Detta inträffar oftast under perioder med låg avdunstning, helst kombinerat med en blötperiod. En minskning av L_{max} ger ökad avrinning, dock kan avrinningen minska något under perioder med mycket hög avdunstning.
7. Tröskelvärdena, **Tof**, **Tif** och **Tg** anger över vilket relativt vatteninnehåll i rotzonsmagasinet, L/L_{max} , som ytavrinning, interflow respektive basflöde kommer att genereras. Därmed kan tröskelvärden uppskattas utifrån den tidpunkt i uppfyllnaden av rotzonsmagasinet där respektive flödeskomponent börjar avrinna.

Det bör noteras att tröskelvärdena inte har någon betydelse under de perioder då rotzonsmagasinet är nära fullt, $L = L_{max}$. Ett ökat tröskelvärde minskar avrinningen under torrperioder och i början av blötperioder, d v s perioder med lågt relativt vatteninnehåll i rotzonsmagasinet.

Tg justeras under perioder med kraftig påfyllnad i rotzonsmagasinet, helst kombinerat med låg avdunstning samt föregånget av en torrperiod. Tg är viktig för grundvattennivåns höjning i början av blötperioder.

Tof justeras efter en torrperiod vid tillfällena med kraftig påfyllnad av rotzonsmagasinet.

Tif justeras efter en torrperiod vid uppfyllnad av rotzonsmagasinet, helst kombinerat med låg avdunstning. Tif är dock en av de minst viktiga parametrarna.

9. Graddagskoefficienten, **Csnow**, kan uppskattas genom att studera sambandet mellan temperatur, vatteninnehållet i snömagasinet samt uppmätt avrinning. Vid negativ temperatur lagras nederbörden i snömagasinet. Vid positiv temperatur töms snömagasinets innehåll till ytmagasinet, där hastigheten på tömningen styrs av **Csnow**. En höjning av **Csnow** medför snabbare avtömning.

3.4 Känslighetsanalys

Nära kopplat till kalibreringsmetodiken är känslighetsanalysen. Hur stor påverkan på resultatet har en parameter? Hur mycket behöver den ökas alternativt minskas för att hydrografens volymer skall bli rätt? Ref [9] ger en mycket ingående beskrivning av parametrars betydelse och inbördes förhållande, varför den intresserade kan vända sig dit för mer information. Nedan ges en kort belysning över de kriterier som används för att studera effekten av förändringar på parametervärdena.

3.4.1 Numeriskt känslighetskriterium

För att kunna göra en känslighetsanalys krävs fungerande kriterier som beskriver skillnaden eller överrensstämmelsen mellan två hydrografer. Grafiska kriterier ger ofta mer information än numeriska, medan de senare möjliggör en mer objektiv analys. Följande kriterier har valts för att representera parametrars känslighet för olika situationer.

- Generell överrensstämmelse - σ_{rel}

Ett ofta använt kriterium är summan över hela perioden av differenserna i kvadrat enligt:

$$F^2 = \sum_i (Q_{simi} - Q_{refi})^2$$

där Q_{simi} = simulerat flöde i varje tidssteg, i
 Q_{refi} = uppmätt flöde i varje tidssteg, i

Detta kriterium kan även uttryckas som ett medelfel över hela perioden. Genom att normera detta kriterium mot uppmätta hydrografens medelflöde erhålls ett kriterium som är oberoende av referensområdets storlek, nämligen:

$$\sigma = (F^2 / n)^{1/2}$$
$$\sigma_{rel} = \sigma / Q_{mv}$$

där n = antalet tidssteg över hela perioden.
 Q_{rm} = referenshydrografens medelflöde

σ_{rel} ger en god bild av överrenstämmelse mellan två hydrografer men är känslig för förskjutningar i tiden, och kan ge kraftiga fel även om hydrograferna är aldrig så lika i utseende

- Toppflöden - σ_{prel}

• Då modellering av höga flöden är speciellt intressant kan ovan nämnda kriterium användas för att illustrera toppflödenas påverkan. Flödestopparna valdes ut som maxtoppen för varje kvartal för att hela spektrat av hydrologiska situationer skall komma med. Eliminering av tidsfelet är gjort genom att maxflödet söks i ett intervall på 5 dygn, och σ_{prel} erhålles genom följande ekvation:

$$\sigma_{prel} = (F_p^2 / n_p)^{1/2} / Q_{pmv}$$

där beteckningarna helt har sin motsvarighet hos den generella överrensstämmelsen, men nu bara representerar perioder med toppflöden.

- Total volym - dV_{rel}

För att beskriva parametrarnas känslighet med avseende på avrunnen volym kan den totala volymsdifferensen under hela perioden beräknas, detta tredje och sista kriterium benämns dV .

$$dV = \sum_i (Q_{simi} - Q_{refi}) \cdot dt$$

där Q_{simi} = simulerat flöde i varje tidssteg, i
 Q_{refi} = referensflöde i varje tidssteg, i
 dt = längd på tidssteget

Detta kriterium normeras mot simulerade hydrografens totala volym för att göras oberoende av referensområdets storlek, genom följande operation:

$$dV_{rel} = dV / V_{ref}$$

där V_{ref} = referenshydrografens totala volym

3.4.2 Enskilda parametrars känslighet

I tabellerna nedan redovisas i tur och ordning σ_{rel} , σ_{prel} respektive dV_{rel} för $\pm 10\%$ av referensvärdena. För parametrarna T_{of} , T_{if} och T_g redovisas dock kriterierna för tröskelvärden på 10 respektive 20 % (referensvärdet är 15 %). Parametrarna är sorterade efter känslighetsgrad.

Tabellerna visar på generella regler baserade på normalvärden från tidigare studier. Där framgår att parametrarnas känslighet är större vid minskning av parametervärdena än vid ökning. Detta gäller dock inte tröskelvärdena där en motsatt effekt erhålls. Tabellerna talar tydligt för sig själva och är en utomordentlig hjälp att göra rätt ansatser vid kalibreringsfasen.

- 10 %		+ 10 %	
CKof	3,15	CQof	2,89
CQof	2,92	CKof	2,79
CKbf	2,40	CKbf	2,07
Umax	1,93	Umax	1,76
Lmax	1,66	Lmax	1,45
CKif	1,29	Tof	1,09
Tof	0,98	CKif	1,07
Tg	0,97	Tg	1,01
Tif	0,39	Tif	0,43

Tabell 3.1 Värden för σ_{rel} i procent vid justering av respektive parameter med $\pm 10\%$ av referensvärdena. Tröskelvärdena är dock satta till 10 resp 20 %.

- 10 %		+ 10 %	
CQof	5,29	CQof	5,25
CKof	5,06	CKof	4,36
Lmax	1,83	Tof	1,75
Tof	1,57	Lmax	1,54
CKbf	1,16	Tg	1,11
Umax	1,11	Umax	1,04
Tg	1,06	CKbf	0,99
CKif	0,45	CKif	0,34
Tif	0,12	Tif	0,12

Tabell 3.2 Värden för σ_{rel} i procent vid justering av respektive parameter med $\pm 10\%$ av referensvärdena. Tröskelvärdena är dock satta till 10 resp 20 %.

- 10 %		+ 10 %	
Umax	1,01	Umax	- 0,86
Lmax	0,83	Lmax	- 0,72
Tg	0,52	Tg	- 0,54
CKif	0,26	CKif	- 0,22
CKbf	- 0,17	CKbf	0,16
CQof	- 0,08	CQof	0,09
Tif	0,08	Tif	- 0,09
Tof	0,02	Tof	- 0,02
CKof	- 0,01	CKof	0,01

Tabell 3.3 Procentuell förändring av totalt avrunnen volym, dV_{rel} , vid justering av respektive parameter med $\pm 10\%$ av referensvärdena. Tröskelvärdena är dock satta till 10 resp 20 %.

Parametern C_{snow} är inte medtagen i den här sammanställningen då den endast påverkar vintervärden. I kapitel 4 visas dock effekten av att låta snöparametern utebli.

3.4.3 Slutsatser kring parametrar

Störst påverkan på totalt avrunnen volym fås vid ändring av parametrarna **Lmax** och **Umax** som båda ger ökad avrinning för minskade värden. Även **TG** ger en liknande effekt. Minst känsliga med avseende på totalt avrunnen volym är parametrarna **CK**, **CKbf** och **TOF**, där de två förstnämnda ej påverkar totalt avrunnen volym under en längre hydrologisk period.

Parametrarna **CK**, **CKbf**, **Umax**, **Lmax** och **CKif** uppvisar alla större känslighet för minskande parametervärden. Tröskelvärdena **TOF**, **TG** och **TIF** uppvisar alla större känslighet för ökande parametervärden. **CQof** är lika känslig för ökande som för minskande värden.

Olika parametrar har olika betydelse för vissa sorters hydrologiska perioder. Nedan följer en kort genomgång:

- **CQof, CK** Ger kraftig påverkan vid varje nederbördstillfälle. CQof påverkas dock även under mellanliggande torrperioder.
- **CKbf** Ger störst påverkan under kraftiga blöt- och torrperioder.
- **CKif** Inverkar mest under perioder med låg avdunstning.
- **Lmax** Påverkar mest under nederbördsrika perioder.
- **Umax** Påverkar mest under perioder med hög avdunstning.
- **TG, TOF** Påverkar mest under perioder med kraftig påfyllning av rotzonsmagasinet (höst).
- **TIF** Påverkar mest vid kraftiga nederbördstillfällen under perioder med hög avdunstning (sommar).

Sammanställning över modellparametrars betydelse

Stor betydelse	Ibland av betydelse	Ringa betydelse
Umax	CKif	Sy
CQof	Tof	GWLbf0
CK1=CK2=CKif	Tg	GWLfl1
Lmax	Tif	GWLmin
CKbf		
Csnow		

Tabell 3.4 Sammanställning över NAM-modellens parametrar

4. Tillrinningsberäkning och kalibreringsresultat

Här ges förutsättningarna för tillgången till och behandlingen av erforderliga indata som använts för kalibrering och validering av NAM-modellen. Framförallt beskrivs den komplicerade hydrauliken vid Landvettersjöns dämme som måste användas för att beräkna tillrinningen till sjömagasinet, och en diskussion kring tillgängliga nederbördsdata. Strategin för att lösa uppgiften redovisas liksom en presentation av resultaten, med en grundlig känslighetsanalys.

4.1 Indata

NAM-modellen har använts för att simulera tillrinning till floder där man kalibrerat mot direkt uppmätta flöden, och har där gett väldigt tillförlitliga resultat. De senaste åren har den kopplats till ett program för att kunna simulera även tillrinningen av dagvatten i urban miljö, kallat MOUSE-NAM.

I det här arbetet har jag använt vattenböcker där tappningen och nivån för reglerade sjöar i systemet framgår. Genom att på detta sätt räkna fram tillrinning med hjälp av mätdata med relativt låg noggrannhet, har jag försökt att skapa en modell för ett reglerat sjösystem, för att se om NAM även lämpar sig för ett sådant förfarande

4.1.1 Potentiell avdunstning

Indata till NAM-modellen är potentiell avdunstning, dvs möjlig avdunstning från vatten- eller markyta. SMHI har tagit fram karakteristiska månadsvärden i [mm] för olika regioner i Sverige. I tabellen nedan listas aktuella värden för Göteborgsregionen (Torslanda):

Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
7	12	31	63	108	135	132	104	63	29	12	6

Tabell 4.1 Potentiell avdunstning i mm.

4.1.2 Inventering av nederbördstationer

I examensarbetet "Mölnålsån. En hydrologisk - regleringsteknisk studie"(se ref [13]) framgår att fram till 1972 täcktes avrinningsområdet av ett helt nät av nederbördsstationer.

Nederbördsmätarna består av en aluminiumkanna vars öppning har en uppsamlingsyta av 200 cm^2 . Ett avdunstningsskydd i form av en tratt sätts i mätaren under sommarhalvåret för att förhindra avdunstning. En vindskärm skyddar mot större mätfel i samband med snö och hård vind. Nederbördsmätaren placeras på väl vindskyddad plats, dock skall mätarens avstånd till närmaste byggnad, träd eller andra mer betydande hinder vara minst lika stort som föremålets höjd. Mätarens övre kant skall vara 150 cm över markytan. I snörika trakter ökas höjden för att drivsnö inte skall blåsa in i mätaren. Flera mätare använder en värmelampa för att direkt smälta snön för att kunna registrera nederbörden.

Hur dessa mätare varit fördelade över området och vilka serier som finns tillgängliga framgår i kartskissen (fig 4.1) med tillhörande tabell 4.2.

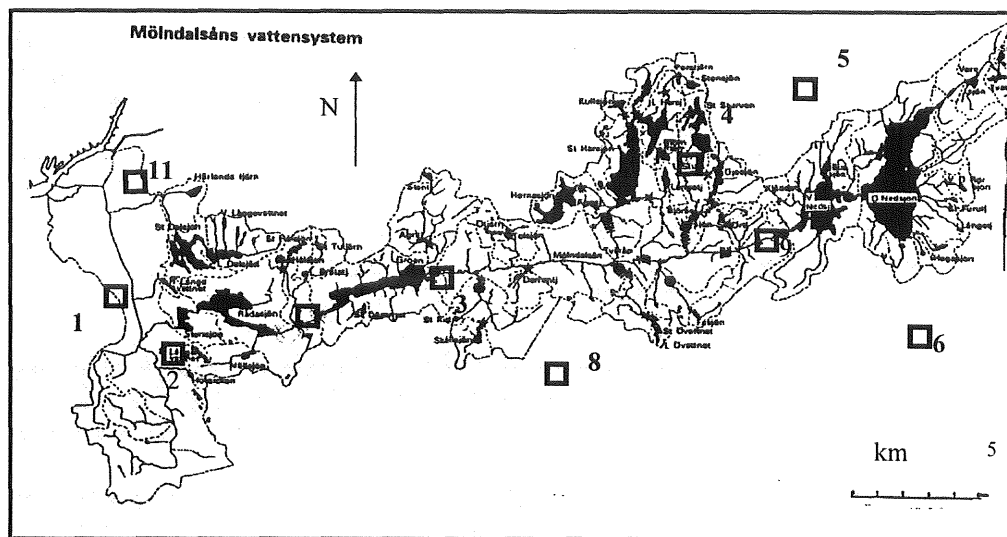


Fig 4.1 Placering Nederbördsstationer. Stationerna 201 och 103 befinner sig i kartans periferi och har endast använts för att förbättra tidsupplösningen på tillgängliga nederbördsvolymen.

Mätstationer på kartan	Status	Tidpunkt för registrering
1. Mölndal 7239 (SMHI)	Mätningar upphört from - 95	07,00 och 19,00
2. Stensjöns utlopp		Daglig
3. Landvetter 7241 (SMHI)	Mätningar upphört from - 88	07,00 och 19,00
4. Härsjönäs	Mätningar upphört	Daglig
5. Fågelnäs	Mätningar upphört	Daglig
6. Bollebygd		Daglig
7. Mölnlycke AB		08,00
8. Landv. flyg 7242(SMHI)	Mätningar upphört 1/7 -95	07,00 och 19,00
9. Hindås		07,00
10. Bergsjön 201 (VA-verket)		Kontinuerlig registrering
11. Torpag. 106 (VA-verket)		Kontinuerlig registrering
12. Chalmers 103 (VA-verket)		Kontinuerlig registrering

Tabell.4.2 Inventering av nederbördsstationer i avrinningsområdet fr o m 1951.

Vid överföringen till tidseriedatabasen i NAM måste nederbördsvolymen korrigeras för olika felkällor. De viktigaste felkällorna är:

- Vinddeficit; som orsakas av att nederbördsmätaren själv påverkar nederbördspartiklarnas fallbana. Resultatet blir att för lite nederbörd uppfångas av mätaren.
- Avdunstning; från nederbördsmätaren innan nederbördsmängden mäts.
- Vätfelet; som orsakas av att en del nederbörd häftar vid innerväggarna på mätaren.

Den korrigerade nederbörden skall normalt vara mellan 10-40 % högre än den uppmätta enligt -”Preliminär handledning för korrektion av nederbörds mängder” (SMHI, 1989). Ofta används en schablonmässig korrektion med 20 %.

För nederbörden på Landvetter flyg används korrektionsfaktorn 1,17.
Övriga nederbördsvolymerna korrigeras med faktorn 1,10.

4.1.3 Strategi för val av nederbördstationer

Genom rationaliseringar har de flesta av stationerna dragits in. Idag mäter Kvarnbyn nederbörden i Hindås och dessutom mäter Mölnlycke nederbörden vid Landvettersjöns dämme. För att få noggrannare tidsfördelning på uppmätta volymer har jag använt en av VA-verkets kontinuerligt registrerande nederbörds mätare, -CTH för tidsupplösningen. Regnen på VA-verkets mättrullar kan spåras på två minuter när. En sådan noggrannhet är dock inte nödvändig.

Under kalibreringsperioden 1985-90 mättes fortfarande nederbörden två gånger per dygn vid Landvetter flyg av SMHI, vars nederbörds mätare är de mest pålitliga. Andra serier innehåller ofta oklara mätningar och luckor, vilket försvårar kalibreringen.

Utgående från de säkra värdena gjordes en kalibrering mot Landvetter (SMHI), Mölnlycke och Hindås vilket gav väl underbyggda resultat att bygga vidare på.

För att kunna använda modellen idag gjordes ytterligare en kalibrering med de nederbördsserier som finns lätt tillgängliga idag för Kvarnbyn. Den uppvisar ingen avgörande skillnad i de installerade parametrar jämfört med den förstnämnda. Nederbördsdata från Hindås och Mölnlycke används här tillsammans med tidsfördelning enligt CTHs mättrullar. Denna serie användes också för valideringsperioden. Erfarenheterna visar att ju fler regnserier desto bättre resultat uppnås.

4.1.4 Medelnederbörd för avrinningsområdet

Årsmedelnederbörden för stationerna ovan framgår av nedanstående tabell. Man ser att nederbörden varierar en del över området och med ledning av nedanstående medelvärden torde en mätare placerad i närheten av Hindås på ca 70 m höjd ge det mest representativa värdet för nederbörden över hela området. Området medelårsnederbörd för hela perioden 1951-1970 blir framräknat som ett medelvärde med Thiessens metod: - 926 mm (ref 23). Tabellen visar också på behovet av flera mätare i området.

Station	Delarea [km ²]	Vikt faktor [%]	Medelnederbörd 51-70 [mm]	Höjd [m]
1	5,06	0,024	848	61
2	17,71	0,084	894	50
3	63,37	0,301	978	60
4	47,88	0,228	891	100
5	45,25	0,215	892	110
6	31,03	0,148	958	75
Totalt	210,3	1,000	Pmed = 926	

Tabell 4.3 Analys av medelnederbörd (Pmed) över avrinningsområdet.

4.2 Flödesberäkningar

4.2.1.1 Landvettersjön

Flödet genom luckorna beror dels av lucköppningen, dels av vattennivån uppströms. I examensarbetet "Landvettersjön. Tillrinningen analyserad med hjälp av enhetshydrografmetoden" (ref [14]) finns utarbetade diagram som ger utflödet om man känner lucköppning och vattennivå.

Landvettersjöns nivå avläses av dammvakten vid pegel 2. Detta är emellertid en olycklig placering av pegeln då det går en tillloppskanal mellan själva sjön och pegeln. Nivån i kanalen fluktuerar upp och ner till följd av virvelbildningar, varför man får intrycket att tillrinningen varierar med små intervall. För att vattnet skall rinna genom kanalen krävs att vattenytan lutar, vilket är speciellt märkbart vid höga flöden. Då kan vattennivån vid pegeln vara 10-20 cm lägre än i sjön.

Detta förhållande har ofta lett till att man stängt luckorna i tron att vattennivån legat nära sänkingsgränsen. När man väl stängt luckorna stiger nivån vid pegeln och visar att Landvettersjöns magasin varit mer välfyllt än vad man trott. Detta försvårar naturligtvis dammvaktens arbete, liksom möjligheten att beräkna sjöns verkliga nivå.

För att korrekt bestämma vattennivån i Landvettersjön krävs att man känner förhållandet mellan vattennivåerna vid pegel 2 respektive pegel R2 för olika tappningar. Då inte dammvakten nedtecknar lucköppningarna, utan direkt för in tappningen i vattenboken finns ingen möjlighet att räkna ut tappningen i efterhand. Återstår att genom hydrauliska beräkningar ta fram ett förhållande mellan differensen för peglarna och aktuell tappning genom dämnet. Följande diagram ger detta förhållande med beteckningar enligt nedanstående figur:

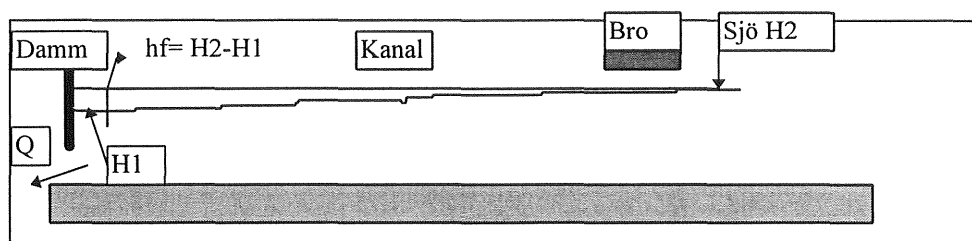


Fig 4.3 Sektion Tillloppskanal.

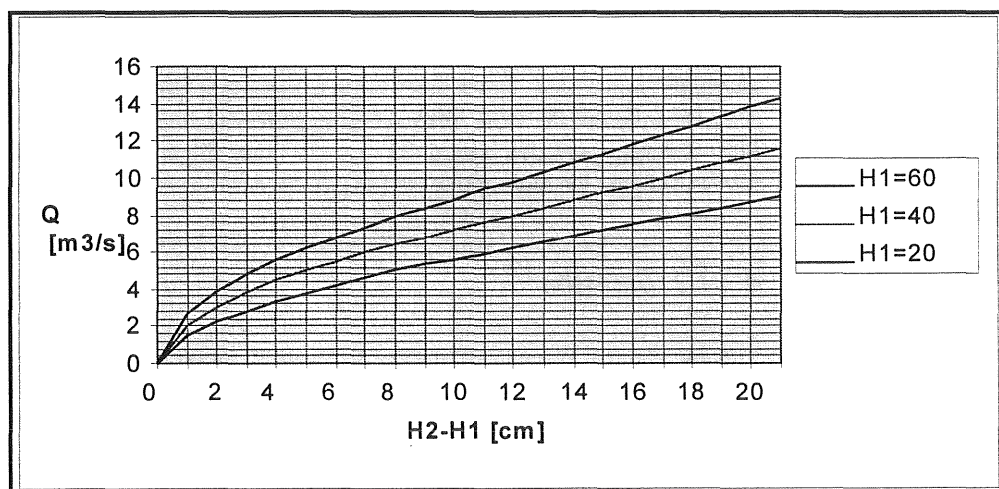


Fig 4.4 Diagram för bestämning av nivåskillnad mellan Landvettersjön och pegel vid damm.

Exempel:

Dammvakten har registrerat pegelnivå $H_1 = 40$ cm och flödet $6 m^3/s$ vilket i diagrammet ger en friktionsförlust på 7 cm. Nivån i Landvettersjön blir därför lika med 47 cm $= H_2$.

Tillrinning till Landvettersjön

Tillrinningen från sjöns specifika avrinningsområde kan beräknas, om man känner utflödet ur sjön, magasinförändringen, avdunstningen och eventuellt reglerat tillflöde från sjöar utanför det aktuella avrinningsområdet enligt följande formel:

$$Q_{\text{till}} = Q_{\text{ut}} + Q_s + A - Q_{\text{in}} - P \quad (1)$$

Q_{till}	är naturlig tillrinning [m^3/s]
Q_{ut}	är utflöde [m^3/s]
Q_s	är magasinförändringen [m^3/s]
A	är avdunstningen uttryckt i ekvivalent flöde [m^3/s]
Q_{in}	är den sammanlagda tappningen från de övre liggande sjöarna Stora Härsjön och Nedsjöarna dagen innan avläsningarna görs av Mölnlycke [m^3/s]
P	är större regnvolymen som faller direkt på sjöns yta. (NAM kan inte separera direkt volymen från avrinningen.)

Flödet i NAM-modellen matas in som tillrinning sedan senaste inmatning. Detta måste man givetvis ta hänsyn till liksom rinntider i systemet innan man beräknar den tillrinning som används för respektive kalibrering- och valideringsperiod.

Rinntiden från Nedsjöarna ligger på lite drygt 24 timmar vid höga flöden, och för lägre flöden upp till nära två dygn. Vid perioder med låga tillflöden till Nedsjöarna och Stora Härsjön tappar man ett konstant lågt flöde varför skillnaden blir försumbar om man antar en eller två dagar för flödet, då ingen förändring sker. Därför används genomgående rinntiden 24 timmar i beräkningarna. På sommaren ger detta ett för stort värde på inflödet till Landvettersjön då för denna volym ej tas någon hänsyn till avdunstning.

På detta sätt har tillrinningen bestämts åren -88 och -89, vilket representerar den långa kalibreringsperioden som syftar att ge vattenbalans i systemet. För finjusteringen av parametrarna under karakteristiska korta perioder (se följande stycke) har flödet avjämnats då en ändring av luckhöjd icke ändrar utflödet momentant utan ger en kontinuerlig ökning alternativt minskning. Dessa mer exakta tillrinningar har tagits fram grafiskt, och även med olika tidsintervall för att se vilka avläsningsintervall som ger tillräcklig noggrannhet. För valideringsperioden hösten -83 resp -84 fanns tillgång till noga förda regleringsdata från ett tidigare examensarbete ref [14]. Även dessa hydrografer grafiskt framställda.

4.2.1.2 Stensjön

Tillrinningen till Stensjön-Rådasjön beräknas på motsvarande sätt som för Landvettersjön, men då endast endygnsvärden över regleringen finns tillgängliga blir noggrannheten inte heller här tillfredställande för en NAM-kalibrering. För motsvarande kalibreringsperiod 85-90 finns avläsningar för Landvettersjön med en frekvens på varannan timme dygnet runt. Detta har givit möjlighet till en så exakt bestämning av tillrinningen som metoden tillåter, och många av erfarenheterna från parameterbestämningen har använts för att även ge en beskrivning av Stensjön. Hänsyn har dock speciellt fått tas till avrinningsområdenas olika geografiska utbredning.

Övriga skillnader mot Landvettersjön är att:

- Q_{in} byts från tappning S. Härsjön och Nedsjöarna dagen innan till tappning Landvettersjön samma dag.

- Hydrauliken vid Stensjöns utlopp är inte lika komplicerad som vid Landvettersjöns pegel utan avlästa nivåer kan användas direkt för att beräkna magasinsförändringen.
- Under de perioder som Göteborgs VA-verk utnyttjat Rådasjön som reservvattentäkt har detta tillfogats till kontinuitetsekvationen.
- Det förtjänar även att påpekas att nivåskillnaden mellan sjöarna Stensjön-Rådasjön är försumbar, och att de kan betraktas som ett magasin.
- Rinntiden från Nedsjöarna ner till Stensjöns dämme är ca 48 timmar. Rinntiden Landvettersjön-Rådasjön är dryga timmen, och från dämme till dämme ca 12 timmar.
- Den naturliga tillrinningen utgör inte lika stor andel av tillrinningen som för Landvettersjön varför den inte behöver tillmätas lika stor betydelse.

4.3 Bestämning av tillrinningshydrografer

4.3.1.1 Landvettersjön

En mer fullständig resultatpresentation återfinner läsaren i Appendix A. Nedanstående hydrograf representerar kalibreringsperioden 1985-1990 och man kan lägga märke till hur basflödet varierar under året. De första tre åren har nederbördsserier matats in för att säkerställa att systemets vattenbalans är uppnådd då kalibreringen börjar under 1989 som var ett torrår, och under kortare blötperioder för finjustering under 1988.

Resultaten från torrårskalibreringen visar på dålig överrenstämelse med beräknade värden under sommaren. Det rör sig om små volymer, och säkert är att de beräknade värdena är i underkant varför modellen säkert skulle kunna användas även för sommarbruk om en noggrann studie över flödesförhållandena under sommaren först gjordes. Syftet med studien var dock att fokusera på de nederbördsrika perioderna, med risk för översvämning.

Som tredje punkt förevisas betydelsen av att snöparametern används för vinterperioden. Om ingen temperatur inmatas låter NAM även nyfallen snö avrinna direkt, medan en negativ temperatur låser nederbörden tills töväder inträder. Det finns en senare version av NAM som har en exaktare funktion för snösmältningsfenomen än den vilken jag arbetat med varför möjligheten till bättre resultat finns.

Under 1984 genomfördes ett examensarbete om Landvettersjön då man förde noggranna noteringar om tappningen. Då det är viktigt att kunna validera den färdiga modellen mot en av kalibreringen helt oberoende period användes värdena från detta arbete. På så sätt minimeras risken för ackumulerade fel i själva kalibreringsfasen. För perioden oktober -84 blev överrenstämelsen relativt dålig, mycket dock beroende på att ett stort regn slog ut två nederbördsräknare varför hydrografen svarar mot endast en mätare. Den andra höstperioden oktober till december -83 visade på mycket god överrenstämelse. Den finns att studera på de följande sidorna tillsammans med ovan beskrivna resultat.

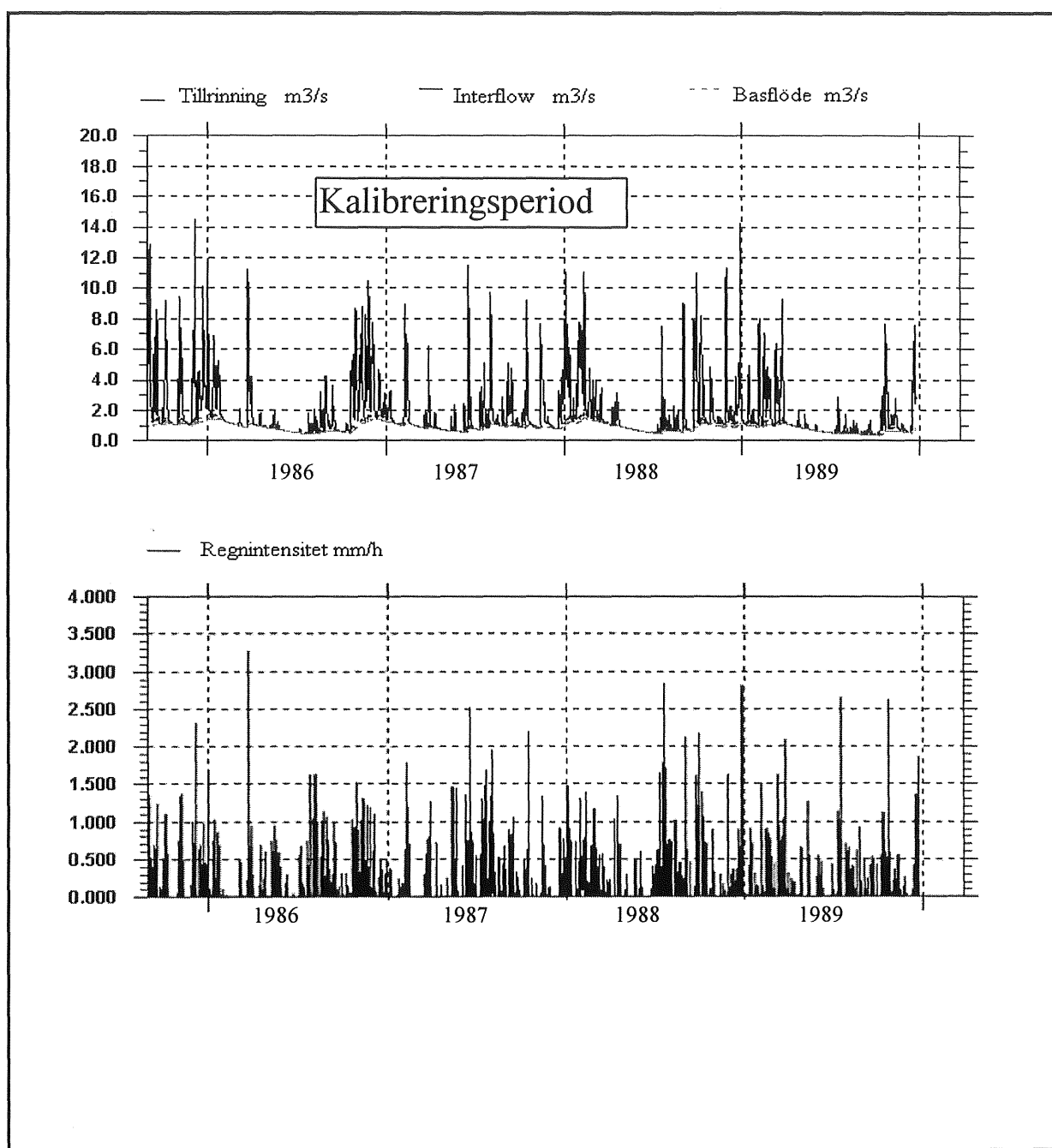


Fig 4.5 Kalibreringsperiod 1985-1990.

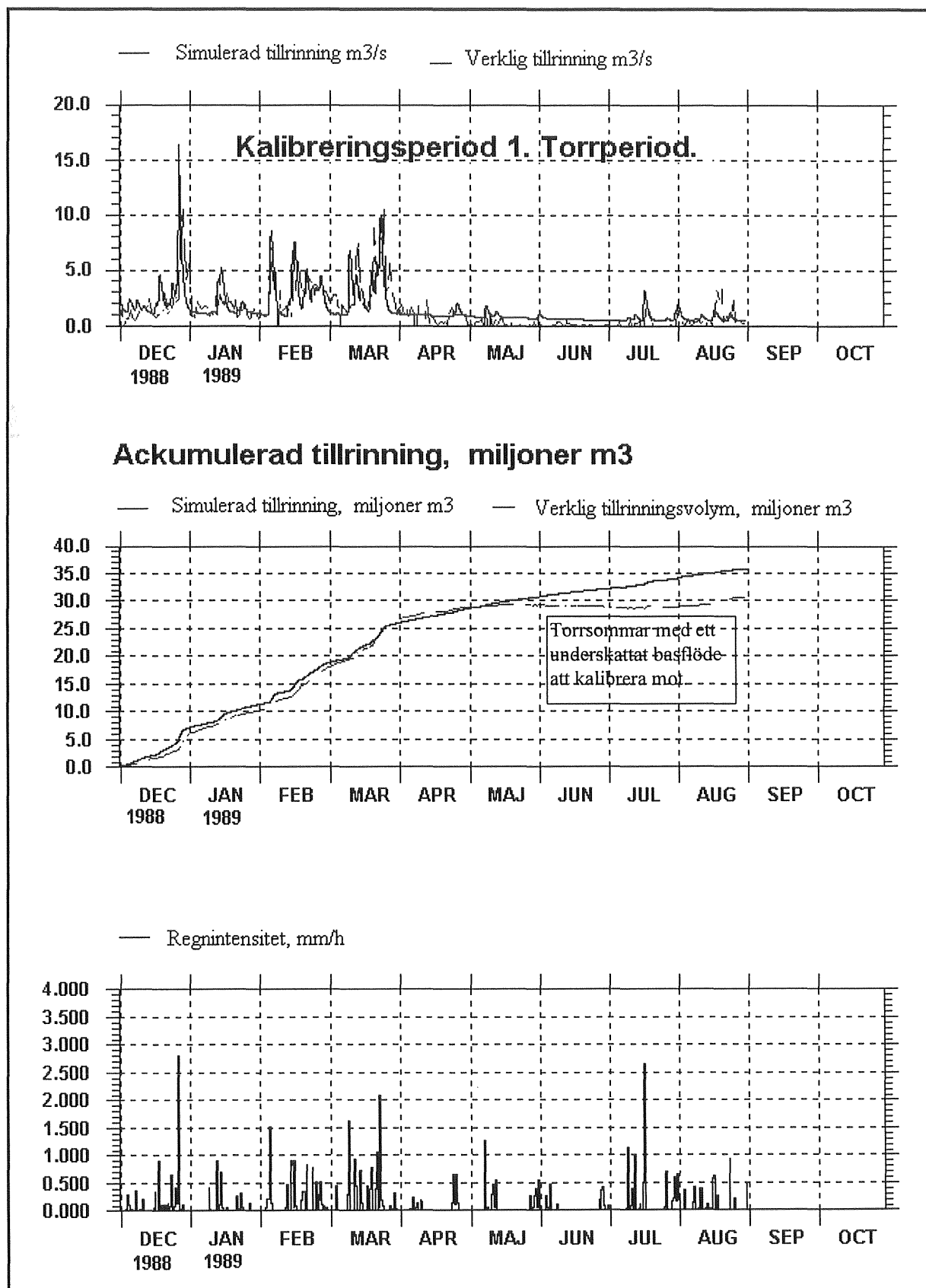


Fig 4.6 Kalibreringsperiod 1. Torrperiod 1989.

Simulering av tillrinning till reglerade sjömagasin med NAM-modellen

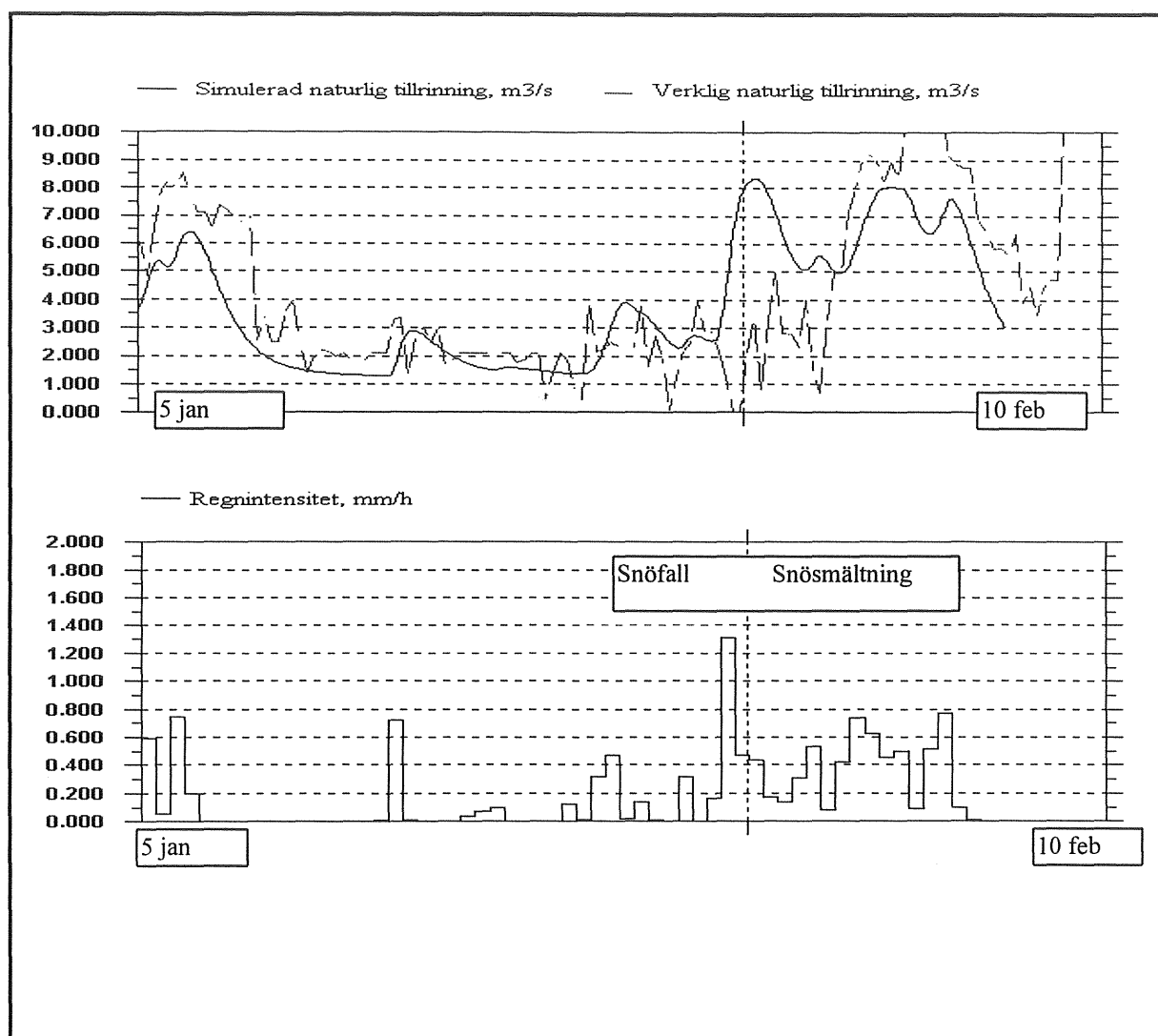


Fig 4.7 Resultat utan snöparametern.

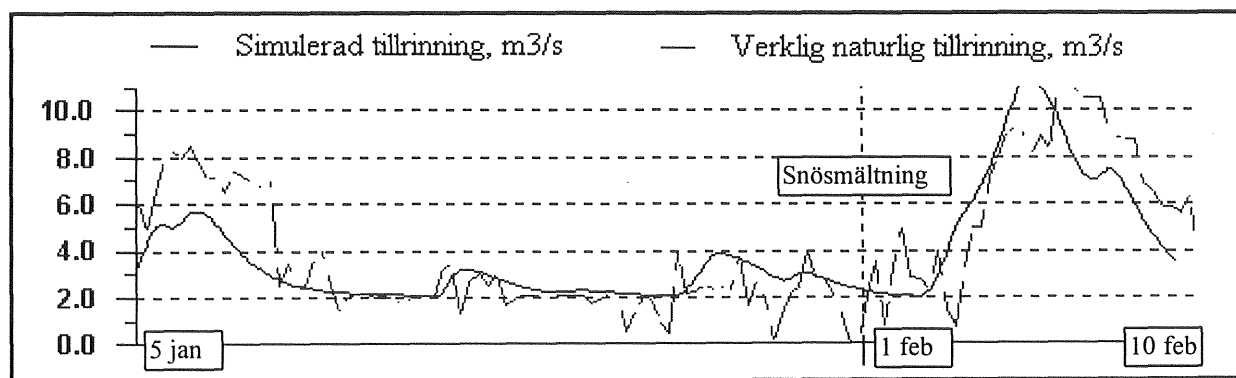


Fig 4.8 Resultat med snöparametern.

Simulering av tillrinning till reglerade sjömagasin med NAM-modellen

Valideringsperiod 1

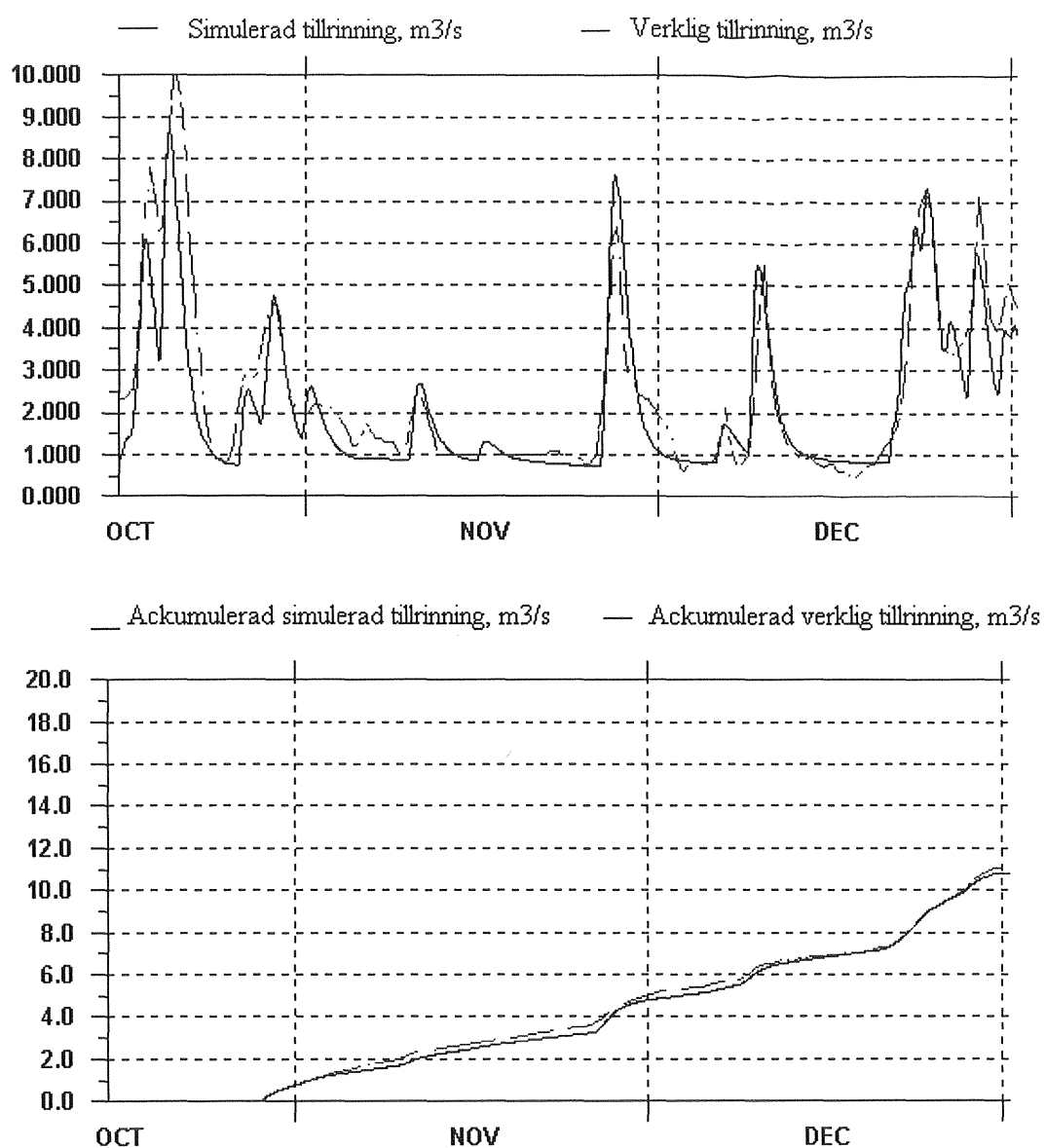


Fig 4.9 Validering höst 1983. Tillgång till mätdata från fyra regnstationer samt noggranna tappningsdata.

4.3.1.2 Stensjön

Stensjön är inte lika känslig för den naturliga tillrinningen som Landvettersjön då avrinningsområdet är mycket mindre. Regleringen sker inte med en sådan frekvens att det är möjligt att separera den naturliga avrinningen ur total tillrinning, varför hydrografen för området bygger på Landvettersjöns hydrograf. Korrektion för avrinningsområde och andra rinntider har gjorts jämfört med den förra och det får anses ge en representativ bild även för Råda-Stensjön. Storleksordningen på basflöde och tillrinning kan studeras nedan.

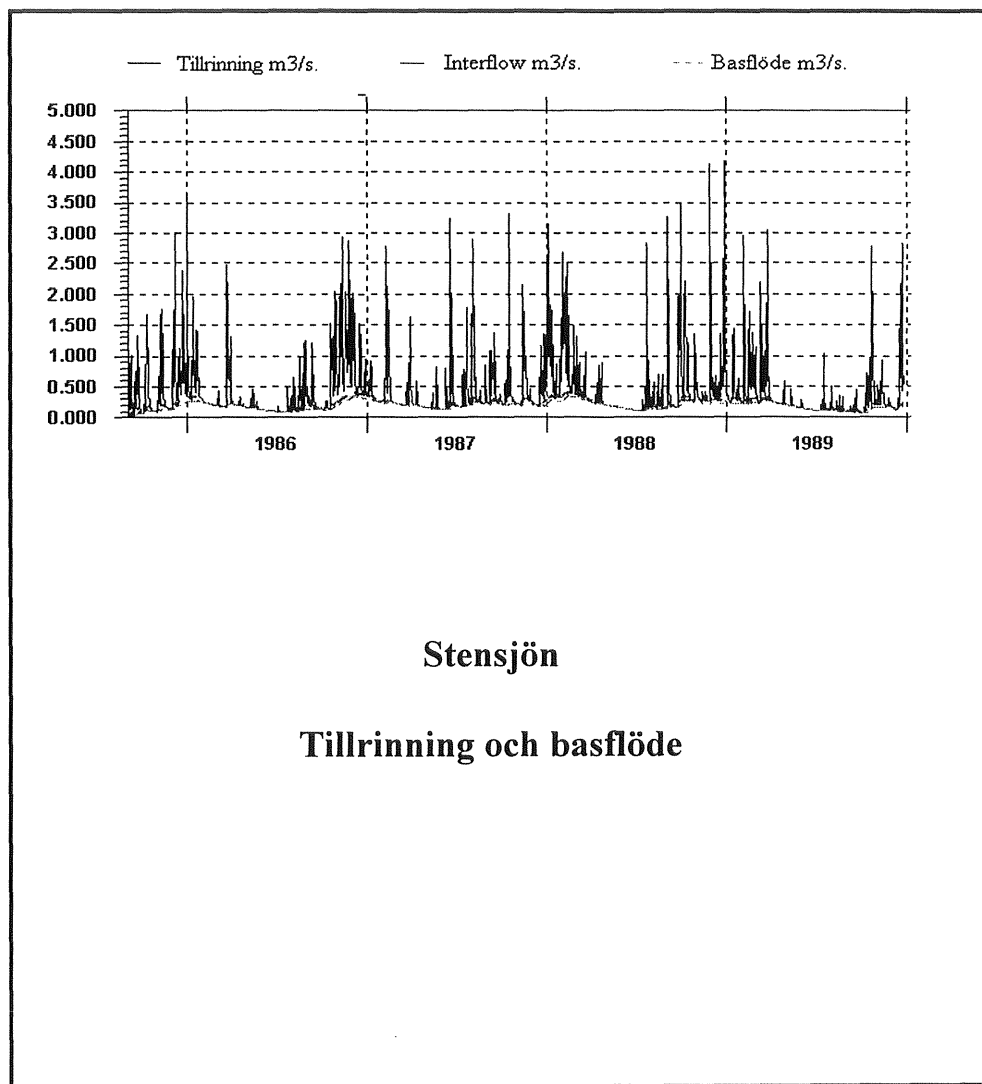


Fig 4.10 Tillrinning och basflöde Stensjön under 1985-1990.

4.4 Felkällor och deras inverkan på resultatet

Efter att ha studerat resultaten ovan frågar man sig: -Hur noggrann är modellen? Det är givetvis mycket viktigt att förstå begränsningarna inom vilka modellen jobbar och därmed hur mycket respektive parameter påverkar slutresultatet? Vad krävs för noggrannhet i indata och vilka kan följdfelet annars bli? Metoden att räkna fram tillrinningen med tillgång till tappningsdata gör att de data man kalibrerar NAM-modellens 15 parametrar mot nästan innehåller lika många variabler själv. Det visar sig dessutom att dessa är mycket känsligare än NAM-parametrarna för ändringar. Tidigare jämförbara (till storlek, topografi, vegetation och geologi) områden som simulerats med NAM har gett närliggande resultat på parametrarna, vilket ändå talar för mina resultat.

4.4.1.1 Nederbörd

Eftersom tillrinningshydrograferna är direkt beroende av nederbörden följer här en analys över tre av VA-verkets mätare som är placerade på ungefär samma höjd (60-70 m), och placerade över en mindre ytan än Mölndalsåns avrinningsområde.

En sammanställning av månadsvärden på nederbörden över de tre stationerna (Chalmers nr 103, Torpagatans brandstation nr 106 och Bergsjön nr 201), visar på att en enskild mätare under sommarmånaderna kan ge mycket orepresentativa värde. Sommarregnens intensitet är ofta högre och uppvisar större lokal variation. Det är därför olämpligt att välja denna period för kalibrering. I nedanstående diagram jämförs respektive stations månadsavvikelse tillsammans med medelavvikelsen över året för samtliga stationer. Detta ger naturligtvis ingen klar bild över de verkliga förhållandena, men visar på mätarnas enskilda relativa precision under året.

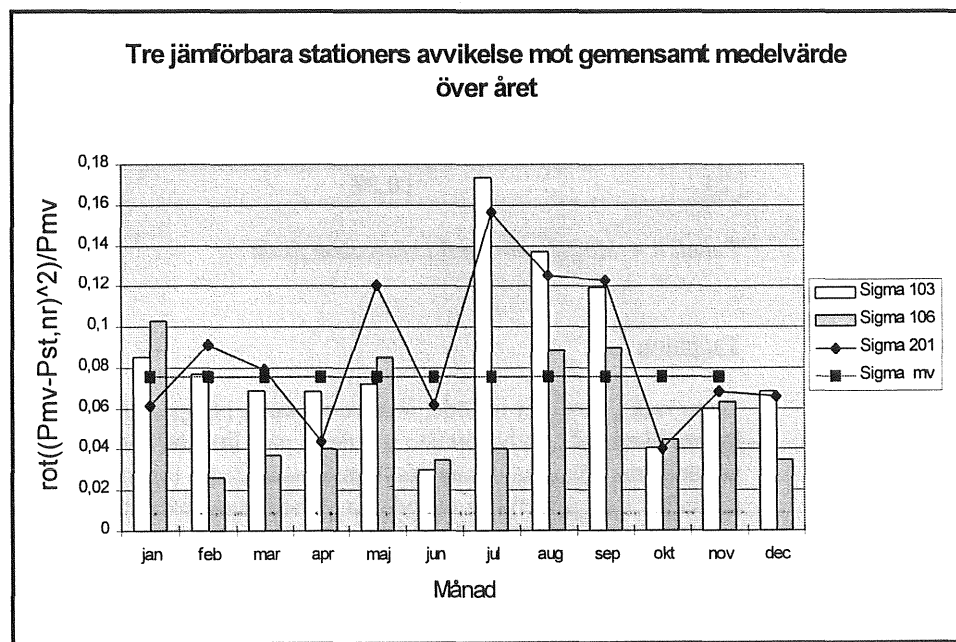


Fig 4.11 Avvikelse för Chalmers, 103 Torpagatans brandstation, 106 och Bergsjön, 201 jämfört med deras medelvärde åren 1986-1996. Avvikelsen enl: $\text{rot}((P_{mv}-P_{st,nr})^2)/P_{mv}$.

4.4.1.2 Flödesberäkningen

I NAM-handledningen föreskrivs att modellen skall kalibreras mot noggrant uppmätta flöden. En flödesmätning blir alltid behäftat med fel, såsom avläsningsfel, mätfel, avrundningsfel, beräkningsfel, etc.

Magasinsförändring

För att beräkna magasinsförändringarna måste vi känna arean på sjöarna. Den har framtagits med planimitrering av kartor, vilket givit följande värden:

Landvettersjön: 250 [ha]
Råda-Stensjön: 255 [ha]

Ett mätfel på upptill 5 ha (2 %) för lite eller för mycket får antas vara möjligt, samtidigt som man i detta inkluderar approximationen med vertikala strandkanter som givetvis också medverkar till ett sämre värde på flödet. 5 ha motsvarar en avvikelse på 500 m³ per centimeter förändring av sjömagasinet. Ökar nivån 20 cm på 12 timmar vilket inte är ovanligt motsvarar detta ett fel på 0,25 m³ /s.

Avläsningarna på peglarna görs med centimeternoggrannhet, vilket ger följande maximalt möjliga ekvivalenta flöde som fel:

Avläsning varje dygn: $(0,01 \cdot 2\,500\,000) / (24 \cdot 3600) = 0,29 \text{ [m}^3/\text{s]}$

Mätintervall	[h]	Landvettersjön	[m ³ /s]	Råda-Stensjön	[m ³ /s]
2		3,47		3,54	
4		1,74		1,77	
6		1,16		1,18	
12		0,58		0,59	
24		0,29		0,295	

Tabell 4.4 Mätfel omräknat i ekvivalent flöde

Tappning

Dammvakten avläser utflödet med en decimals noggrannhet. Den komplicerade hydrauliken vid Landvettersjön gör dessa data lite mer osäkra då dessutom flera skattningar måste göras i diagram innan det framräknade flödet förs in i vattenboken. Dessutom finns redan här inbyggda fel då metoderna att bestämma avbördningskurvorna i sig inte är helt exakta. Ett fel om nära 0,5 m³ / s kan inte uteslutas för vardera sjöarna under kalibreringsperioden. För Stensjön finns sedan 12 januari 1996 en noggran avbördningsstabell för det nya dämnet där en större tillförlitlighet kan förväntas.

Avdunstning

Metoderna för att mäta avdunstning är mycket osäkra, och särskilt under de varma sommarmånaderna är det en stor osäkerhetsfaktor. Felet en mycket varm sommardag skulle kunna ligga runt ett ekvivalentflöde kring $0,15 \text{ m}^3 / \text{s}$ från de medelmånadsvärde som SMHI föreskriver.

Totalfel vid tillrinningsberäkning

Summerar man ovan nämnda felkällor erhålls ett värsta möjliga fel uttryckt i ekvivalentflöde per avläsning som:

$$0,25 + 0,29 + 0,59 + 0,50 + 0,15 \approx 1,80 \text{ m}^3 / \text{s}.$$

I procent av medelvattenföringen är detta fel oerhört stort, över 50 %. Detta är givetvis oacceptabelt för en optimal verifiering. Maximala felet uppstår dock inte vid medelflödet.

5. Reglering

I följande kapitel ges en relativt djup bakgrund till de olika faktorer som man tar hänsyn till vid vattenregleringen. Därefter förklaras tappningsreglerna för de mer betydande och känsliga sjöarna i systemet. Till sist beskrivs strategin för regleringen för olika förekommande situationer och avslutas med några egna synpunkter.

5.1 Miljöhänsyn

Mölnsdalsåns vattensystem utgör ur fiskeribiologisk synpunkt ett av de mest intressanta i landet. Det ursprungliga rödingbeståndet i Östra Nedsjön är klassat som riksintresse. I vattensystemet finns förutom röding även insjööring, gös och flodkräfta samt rikliga bestånd av t ex gädda och abborre. Nedströms Kråkanfallet i Mölnsdal finns lax.

Reglering av vattensystemet sker främst för att förhindra översvämningar i Mölnsdal och Härrydas kommuner. Speciellt hårt har regleringen drabbat Nedsjöarna, där grunda stränder tidvis blottläggs. Detta har för rödingen inneburit att lekbottnarna i sjön minskat med hälften sedan sekelskiftet. Miljöproblemen har på senare år aktualiserats i vårt samhälle, och Mölnsdalsån utgör inget undantag, varför en studie över vilka miljöintressen som påverkas av regleringen gjorts för att kunna minimera dess skadeverkningar. Kontakter med olika instanser (se "muntliga källor" i eftertexten och ref. [2],[11] och [12] ligger till grund för miljöinventeringen.

5.1.1 Föroreningar

5.1.1.1 Mölnsdalsån nedströms Stensjön

Den första förorenaren av betydelse var antagligen Korndals pappersbruk, som låg vid Kvarnbyn och senare fick namnet Papyrus. Här introducerades den första pappersmaskinen 1850. Maskinutrustningen utökades snabbt så att anläggningen år 1855 var det största pappersbruket i Sverige. Utvecklingen tvingade fram en stängning av badplatsen vid Liseberg 1865.

Snart framställde man massa ur träflis på kemisk väg. Man tycks ha varit övertygad om att sulfittluten snabbt skulle försvinna i de strida forsarna. Det kunde dock ta över ett dygn innan utsläppet nådde Gårda Dämme. Industrier växte upp i snabb takt längs med ån då den erbjöd processvatten och samtidigt på ett smidigt sätt löste avloppsproblemen. 1875 fick industrierna klagomål från kommunstyrelsen rörande skum och fradga i hamnkanalerna. Vattenanalyser gjorda under mitten av 1880-talet visade bl a att mängden organisk substans uttryckt som kaliumpermanganatförbrukning ofta översteg 100 mg/l avatten mot ca 10-20 mg/l i den opåverkade Stensjön.

1906 sattes omfattande undersökningar igång av vattnet. Permanganatförbrukningen uppmättes vid upprepade tillfällen till över 300 mg/l. Ibland var värdena nästan normala (30-40 mg/l). De uppvisade en karakteristisk variation under dygnet, som kunde härledas till fabrikernas arbetsrutiner. Åvattnets syremättnad sjönk successivt från Kvarnbyn till Gårda Dämme, där den sommartid var endast 15-30 %. Total syrebrist uppstod ofta i samband med utsläpp av sulfittlut från Papyrus, vilket skedde 1-2 gånger per dygn.

Mölnåls kommun började bygga ett kommunalt avloppsnät, som man anslöt till Mölnålsån. 1936 stod ett enklare mekaniskt reningsverk klart, men industrierna fortsatte att släppa ut orenat vatten till ån. Vid Papyrus gjordes 1918 och 1934 stora investeringar i vattenreningsverk för det ingående processvattnet. Utsläppen av slambildande ämnen, huvudsakligen fibrer, växte i takt med produktionen. Mängderna kan uppskattas till storleksordningen 50 ton per dygn vid slutet av 40-talet. När Mölnåls hälsovårdsnämnd år 1948 krävde en förklaring från bolaget fick man till svar att slamavlagringarna i ån mest bestod av smutsvattensvamp och att andra industrier, särskilt jästfabriken skulle lastas här för. Från 1950 reducerades fiberutsläppen i flera omgångar, bl a i samband med införandet av kartongtillverkning. Färgbadsutsläppen blev emellertid en allt mer uppmärksam företeelse. Hälsovårdsnämnden i Göteborg fick under 50- och 60-talen åtskilliga klagomål över att ån var alldeles röd, blå, gul eller grön.

Först på 1970-talet har Mölnålsån på allvar börjat avlastas från föroreningsutsläpp. Vid Papyrus har man byggt en stor sedimenteringsbassäng med kemisk flockning av fiberhaltigt avloppsvatten, vilket lett till en minskning av suspenderat material från ca 15 ton per dygn till mellan ett och två ton per dygn 1975.

Vidare anslöts Mölnåls, Kållereds och Mölnlyckes avloppsnät 1972 via en tunnel till Ryaverket. Därvid minskades belastningen av kommunalt avloppsvatten i mycket hög grad. Under 80-talet anslöt sig Papyrus till Ryaverkets avloppsnät, och de senaste årens arbete med vattenkvaliteten i Kålleredsbäcken tillsammans med bräddningsvattnet har lett till att Mölnålsåns vatten nu är tillräckligt rent för att hysa en egen laxpopulation nedanför Stensjön.

Dagens miljöarbete kan studeras i Göta Älvs vattenvårdsförbunds rapport över vattendragskontroll. Förbundet är en frivillig sammanslutning av intressenter som påverkar eller påverkas av Göta Älv och dess biflöden. Analyserna är utförda vid VA-verkets laboratorium. Där sammanfattas situationen enligt följande:

pH-värdet har under det senaste året legat stabilt kring 7 eller närmast under. Detta får ses som ett resultat av omfattande kalkinsatser som gjorts genom Göteborgsregionens kommunalförbund.

Konduktiviteten ligger även den på i stort oförändrad nivå.

Alkaliniteten är på gränsen till svag i åns övre lopp men kan betraktas som god i åns nedre lopp. Kalkningen ger en positiv effekt i övre loppet.

Syrehalten är tillfredställande i åns övre lopp men i den nedre går halterna ofta ned till otillfredställande nivå under sommaren.

5.1.1.2 Mölnålsån uppströms Stensjön

Redan i slutet av 60-talet uppmärksammades förurningsproblemet såväl i Härskogsområdet som i de övre delarna av Mölnålsåns vattensystem. Många sjöar i Mölnålsåns tillrinningsområde hade pH-värden runt 4,5 och effekterna kunde spåras ända ner till Landvettersjön med ett pH på 5,5 i ytvattnet. Framförallt hotet mot Östra Nedsjöns unika rödingbestånd fick snabbt fart på motåtgärder, och kalkinsatser sattes igång redan -71. Nästa omgång genomfördes 82-87 och den senaste påbörjades -89 och var ett 4-årsprojekt. Merparten av denna kalk har spridits direkt i sjöarna, antingen mitt i eller i strandzonen. Tidigare experiment med kalkningar på

Simulering av tillrinning till reglerade sjömagasin med NAM-modellen

torrmark eller i bäckraviner har helt upphört.

Det finns två anledningar till att Mölndalsåns vattensystem drabbats hårt av föroreningen. Den ena är att belastningen av sura ämnen är exceptionellt stor i denna del av Sverige. I länsstyrelsens miljöanalys 1989, framgår att inget område vare sig i Göteborg och Bohus län eller i Älvsborgs län är hårdare belastat. Detta visar sig förutom i lågt pH och låg alkalinitet, också i höga sulfathalter. Möjligheten att buffra det sura nedfallet är dessutom mycket små eftersom huvuddelen av marken i nederbördsområdet är tunn och mager. Endast i området kring huvudfåran finns marina avlagringar med bättre buffringsförmåga.

Det är troligt att den framtida kalkningen alltmer kommer att inriktas på våtmarker. De har visat ge en längre effekt av kalkningen och fungerar dessutom som "metallfälla" för t ex aluminium och kvicksilver. Den hotfulla situation som förelåg i slutet av 1970-talet, med lågt pH och tidvis nästan avsaknad av alkalinitet även i åns nedre delar, har nu förändrats till det bättre. Utförda undersökningar pekar dock på att upprepade kalkningar är absolut nödvändiga annars sker snabbt en återförorening. Under 1993 stoppades dock den utökade kalkningsambitionen p g a bristande kommunala resurser.

5.2 Sammanställning av regleringsföreskrifter

Nuvarande tappningar sker i enlighet med vattendom. Regleringsföreskrifter är listade tidigare i kapitel 2.3. Här skall de aktuella grundprinciperna för regleringen förklaras.

Regleringsföreskrifter för Nedsjöarna

1. Dämningsgränsen skall vara +3,15 m och sänkningsgränsen +0,30 m.
2. Tappningen skall vara minst 0,4 m³/s, dock får tappningen helt avstängas under nätter och helger.
3. Tappningen vid Nedsjö os får inte ökas med mer än 0,5 m³/s och dygn.

- Från romläggning 15/10-15/11, och fram till romkläckningen omkring 1/5 bör vattenståndet ej understiga det vattenstånd som rådde under romläggningsperioden.

- Vattenståndet bör ligga nära det vattenstånd som rådde i sjön innan regleringen infördes. Enligt uppgift i äldre vattendom var lågvattenståndet innan regleringen infördes +2,55 m., vilket gav rödingen idealiska romläggningsplatser i de flacka strandkanterna.

Det säkraste sättet att gardera sig mot att rommen torrläggs under vinterperioden är att göra en avsänkning av vattenståndet strax före romläggningen och att behålla lågvattennivån under hela romläggningsperioden samt att återta en normal vattennivå kort därefter. Enligt VBB:s undersökning avseende åren 1967-84, skulle en tillfällig avsänkning på 0,2 m räcka för att vattenståndet under vintern ej sjunker under nivån för romläggning (ca 0,1 m).

Med anledning av ovanstående gäller följande stolpar för reglering av Nedsjöarnas magasin:

- Då vattenståndet i Nedsjöarna är lika med eller lägre än +2,20 m tappas 0,4 m³/s.
- Under romläggningen hålls vattenytan avsänkt på ca + 2,0 m.
- Då vattenståndet i Nedsjöarna är högre än +2,20 m sker regleringen så att översvämningar i Mölndalsån om möjligt dämpas.
- Då VA-verket så fordrar tappas vid varje vattenstånd vattenmängder enligt särskilt avtal (se längre fram).

Regleringsföreskrifter Landvettersjön och Stensjön

Ur magasineringssynpunkt kan Gröen och Stensjön betraktas som ett enda samlat magasin. Tappningen från det samlade magasinet bestäms i princip av tappningen från Stensjön. Uppfyllning eller tappning av Gröen relativt Stensjön innebär bara en omfördelning av den magasinerade vattenvolymen mellan sjöarna. Från Mölnlycke fabrikers sida finns inte något önskemål om extra magasinering i Landvettersjön sedan kraftverket i fabriken lades ner. Tvärtom är det primära intresset att undvika översvämning i fabriken samt i möjligaste mån minimera översvämningar upp- och nedströms fabriken vid högvattenflöden. Vattendomarna som kan studeras i kap 2.3 ligger till grund för följande grundstrategi för reglering som föreslagits av VBB-Viak (ref nr [22]):

Tappningen bör ske så att Stensjön och Landvettersjön får samma specifika magasineringsförmåga, d v s förmåga att magasinera tillrinning till följd av kraftig nederbörd från eget reglerat nederbördsområde. Detta utgör $91,9 \text{ km}^2$ och 25 km^2 för Gröen resp Stensjön.

- Eftersom båda sjöarna är lika stora är Stensjöns magasineringskapacitet $91,9/25,0 = 3,5$ ggr så stor som Landvettersjöns. Vid vattenstånd under dämningssgränsen bör således avståndet till dg vara ca 3 ggr så stort i Landvettersjön som i Stensjön för att få ett ungefär samtidigt överskridande av dämningssgränsen i de båda sjöarna vid kraftig nederbörd.
- När dämningssgränsen överskrids bör samma stigning eftersträvas i båda sjöarna upp till 30 cm över dg.
- Vid nivån dg +30 cm är Stensjöns avbördningskapacitet (fullt öppna luckor) $17,8 \text{ m}^3/\text{s}$ och marginalen mot översvämning i Mölndalsåns nedre lopp genom Mölndal och Göteborg liten. (Maxkapacitet 19-21 m^3/s innan översvämningar inträffar för det samlade flödet från Stensjön samt från Kållereds- och Balltorpsbäckarna). Därför bör Landvettersjön återigen få stiga snabbare än Stensjön vid nivåer över dg +30 cm. En hög vattenståndsnivå i Stensjön/Rådasjön i kombination med stor tappning från Landvettersjön orsakar betydande översvämningar längs ån genom Mölnlycke tätort
- Vid riktigt kraftiga överdämningar av naturkatastrofkaraktär bör uppfyllningen i sjöarna åter ske i samma takt.
- Under avtappningsskedet efter kraftig överdämning kan vattenstånden lämpligen hållas på samma nivå relativt dämningssgränsen ner till nivån dg +30 cm. Därunder avtappas Landvettersjön snabbare för att så snabbt som möjligt skapa marginaler mot nya översvämningar.

Vatten till VA-verket Göteborg

Utöver miljöhänsyn och undvikande av översvämningar har helt nyligen ytterligare ett intresse tillkommit för reglering. I oktober 1992 meddelades nya vattendomar för VA-verken i Mölndal och Göteborg att utnyttja Rådasjön för bortledning av dricksvatten.

Mölndal har sedan länge kontinuerligt pumpat ca 4 000 000 m^3 per år. Domen fastställer rätt att avleda 6 000 000 m^3 per år, dock högst 20 000 m^3 per dygn och 125 000 m^3 per vecka. Kommunen och Kvarnbyn är ense om att vid bristsituationer skall Mölndals Kvarnbys behov av fabrikationsvatten ges företräde framför kommunens uttag.

Samma dag beslutades att även Göteborg får möjlighet att avleda vatten från Rådasjön till sitt magasin i Delsjön som reserv. Bakgrunden var följande:

Vattenförsörjningen inom kommunen baseras på uttag ur Göta älv. Från intaget vid Lärjeholmen förs vattnet med självfall till en hävertstation vid vattenverket på Alelyckan. I stationen fördelas vattnet så att en del rinner till Alelyckeverket och en del till en pumpstation vid Härlanda tjärn, varifrån det uppföras till Lilla Delsjön. Från Delsjöarna - som inrymmer ett regleringsmagasin om ca 4 000 000 m³ - leds vattnet till vattenverket vid Lackarebäck. Uttagspunkten är belägen vid Stora Delsjön. Vid de tillfällen då vattnet i älven är olämpligt som råvatten, kan intaget stängas och vatten ledas från Stora Delsjön även till Alelyckeverket. Magasinet i Delsjöarna är tillräckligt för att klara råvattenförsörjningen under ca 5 veckor.

Domen fastställer rätt att vid varje tillfälle då behov av reservråvatten uppkommer leda bort en vattenmängd av högst 5 000 000 m³ från Rådasjön, dock högst 207 000 m³ per dygn. Uttag får inte ske i större omfattning än att delägarna i Mölndals Kvarnby tillförsäkras erforderligt fabriktionsvatten om 0,3 m³/s. Uttaget får inte heller inkräkta på Mölndals kommuns möjlighet att avleda vatten från Rådasjön.

Ett exempel på när den här rättigheten utnyttjades var i februari -96 då ett tankfartyg släppte ut xylen i Göta älv vid Nol. Då försåg Rådasjön hela Göteborg med dricksvatten under två veckor medan sanering pågick. Ett flertal tillfällen senare har reservråvatten använts bl a i samband med höga bakteriehalter i Göta Älv. Det finns även intresse från VA-verket i Göteborg att använda Rådasjöns kallare vatten i augusti när Delsjöarnas håller +20 grader p g a sitt ytligt belägna råvattenintag.

5.3 Konflikt miljö-reglering

- **Naturlig vattenföring i systemet.**

Kalkningens effekt motverkas av regleringen av sjöarna. Vattendomar tillåter att man håller inne med kalkat vatten i sjön efter håftiga regn för att förhindra översvämningar och huvudfåran får då direkt motta surt tillrinnande vatten. Detta kallas surstöt och orsakar skador på det biologiska livet. Det räcker med en stöt för att förstöra ett annars aldrig så väl fungerande system. En så naturlig vattenföring som möjligt är önskvärd, men människans bebyggelse kring ån har lett till att reglering för att undvika översvämningar och andra skador idag är oundviklig.

- **Normal lägsta lågvattenföring**

Förr gjorde kraftintressen att man fick en väldigt ojämn vattenföring i ån, vilket skadade lekbottnar och gav upphov till störningar i vattentemperatur under sommaren. Nedan följer några viktiga gränser för Mölndalsåns fiskearter:

>20-23 grader Celsius dör fisken
>18 grader Celsius tappar Öringen i vikt
6-16 grader är optimum

Lägre flöden ger fisken mindre rörelseutrymme i å-fåran och minskad syrgashalt. Vissa perioder under sommaren har det bildats svavelväten. Lekbottnar riskerar att frysa in under vintern.

Positiva effekter vid låga flöden är bl a klarare vatten p g a grundvatteninströmning och

Simulering av tillrinning till reglerade sjömagasin med NAM-modellen

mindre risk för pH-stötar.

Högre flöden ger lägre temperatur på sommaren men medför samtidigt ökad risk för surstötar.

- **Jämnare nivåer i sjömagasin**

Största problemen med regleringen har uppstått i Nedsjöarna. Speciellt V Nedsjön med sina grunda stränder är hårt drabbad. En avtappning av sjön verkar förfulande av den för turistsektorn så viktiga landskapsbilden. Boende runt sjön får sina bryggor på torra land och vintertid blir isarna förrådiska att gå på. Hårdast har dock regleringen slagit mot rödingbeståndet. Genom regleringarna har lekbottnarna i V Nedsjön minskat med hälften. Rommen slås ut om vattenståndet under vintern underskrider nivån vid leken på hösten. Avkastningen av ett friskt rödingbestånd har värderats till ett värde på 500 000 kronor om året.

Vattennivån i Ö Nedsjön bör hållas så nära +2,5 m som möjligt från 15 oktober tills rommen kläcks i april enligt arbetsgruppen för Mölndalsåns fiskevårdsplan. Övriga insjöfiskar (gädda, abborre, mört och elritsa) leker i april och rommen kläcks sedan redan i maj. Ur fiske och strandlivsintresse bör därför en någorlunda jämn vattenyta hållas från mitten av oktober till maj.

I följande tabell kan vattenståndet i Östra Nedsjön från -85 och -96 studeras:

Vinter	Nivå 15 oktober [m]	Nivå 1 maj [m]	Vinterns lägsta notering [m] [Datum]	
1985-86	2,50	2,90	2,32	21/3
1986-87	1,48	2,72	1,44	21/10 (2)
1987-88	2,38	2,70	2,32	30/11 (1)
1988-89	2,54	2,68	2,48	28/11 (1)
1989-90	1,92	2,80	1,92	15/10 (2)
1990-91	2,36	2,60	2,04	06/12
1991-92	2,12	2,54	2,06	30/10 (2)
1992-93	2,06	2,28	2,06	15/10 (2)
1993-94	1,78	2,62	2,06	15/10 (2)
1994-95	2,44	2,38	2,42	06/2 (1)
1995-96	1,94	1,76	1,60	25/1
1996	1,64		1,64	

Tabell 5.1 Vattennivån under vintrarna i Nedsjön.

- Villkoret på jämn nivå kring 2,5 m uppnås 3 vintrar. (1)
- Villkoret på lika eller högre nivå i maj än vid romläggning uppnås. (2) Krav på max 10 cm sänkning.
- Två vintrar 90-91 och 95-96 ligger man klart under en acceptabel vattennivå vid kläckning jämfört med läggning.

Alla vintrar utom de tre markerade med en etta har inneburit stora amplitudförändringar under perioden, och ser man till hela året varierar nivån i Nedsjöarna mycket kraftigt. Detta är inte populärt bland sommargäster och året runt boende, samtidigt som det försvårar reproduktionen i sjön. Man kan dock konstatera att Nedsjöarnas nivå upprätthålls relativt

väl under den kritiska perioden oktober-maj. Det vill säga så till vida att några drastiska avsänkningar som skulle blottlägga rommen, eller att den förstörs av isen ej inträffar. Det vore ur biologisk synvinkel önskvärt att undvika även kraftiga nivåökningar då rommen kräver de ljus och temperaturförhållanden som råder på den nivå de läggs (kring 0,5).

5.4 Förslag till reglering

Det finns tre intressen att bevaka vad gäller reglering:

- Förhindra översvämningar vid häftig nederbörd.
- Bevara förutsättningar för djurlivet i Mölndalsåns vattensystem.
- Tillgodose olika vattenrättsinnehavares anspråk på avledning av vatten.

För att dessa tre ibland motsatta intressen skall kunna lösas så bra som möjligt är det viktigt att regleringen går lätt att övervaka, ändra och följa. Problem med regleringen m h a vattenståndsavläsningar vid Mölnlycke fabriker har redan nämnts. Ett utmärkt hjälpmedel vid regleringen är en vattenföringsmodell kopplad direkt till nederbördsmätningar. MIKE11-systemet möjliggör både simulering av tillrinning efter stora regn, eller ger prognoser för vad framtida ingrepp i regleringen har för effekter på nivåer och magasin. Volymen av tillrunnet surt regn kan även de snabbt avläsas och skulle kunna kopplas till kalkningsprogrammet.

Att använda MIKE11-modellen fullt ut skulle kräva att man installerade flera nederbördsräknare i området då en säker volymmätning är mycket viktig och SMHI i praktiken slutat med mätningar i avrinningsområdet. Att med dagens teknik som förvisso är känslig är det ändå ganska enkelt att ha åtminstone en kontinuerlig mätare inkopplad online. Tekniken finns och används idag vid exempelvis Rya-verket och Barlastplatsen, men är fortfarande något dyr. Om man för framtiden återupptar planerna på kraftutvinning ur Mölndalsån har man i NAM-modellen ett utmärkt verktyg för att beräkna möjlig tillrinning till kraftverket.

5.4.1.1 Förslag till regleringsstrategi baserad på NAM-modellen

Mitt förslag är baserat på att det skall vara ändamålsenligt, och enkelt att sköta. Då samma mängd nederbörd ger upphov till mycket varierad tillrinning beroende på årstid kan man använda NAM för att förutspå risker. Det sammanfattas i följande fyra punkter:

Möjlig ökad tillrinning för olika regnintensiteter vid känsliga lägen enligt:

Med nederbörd (Mölnlycke var 12:e timme och Hindås som dagsvärde) och temperatur på vintern som enda indata till modellen kan man genom att hålla den uppdaterad göra riskanalyser efter eller vid kritiska lägen. Detta visas med ett exempel på följande sida där förloppet under översvämningen i Mölnlycke i juni -87 visas. Det är mycket troligt att denna situation kunnat undvikas om man direkt börjat tappningen efter uppmätt nederbörd istället för när vattnet redan stigit i sjön. Med bättre framförhållning i regleringen minskas dessutom Stensjöns dämmande effekt på vattenföringen nedströms Mölnlycke fabriker.:

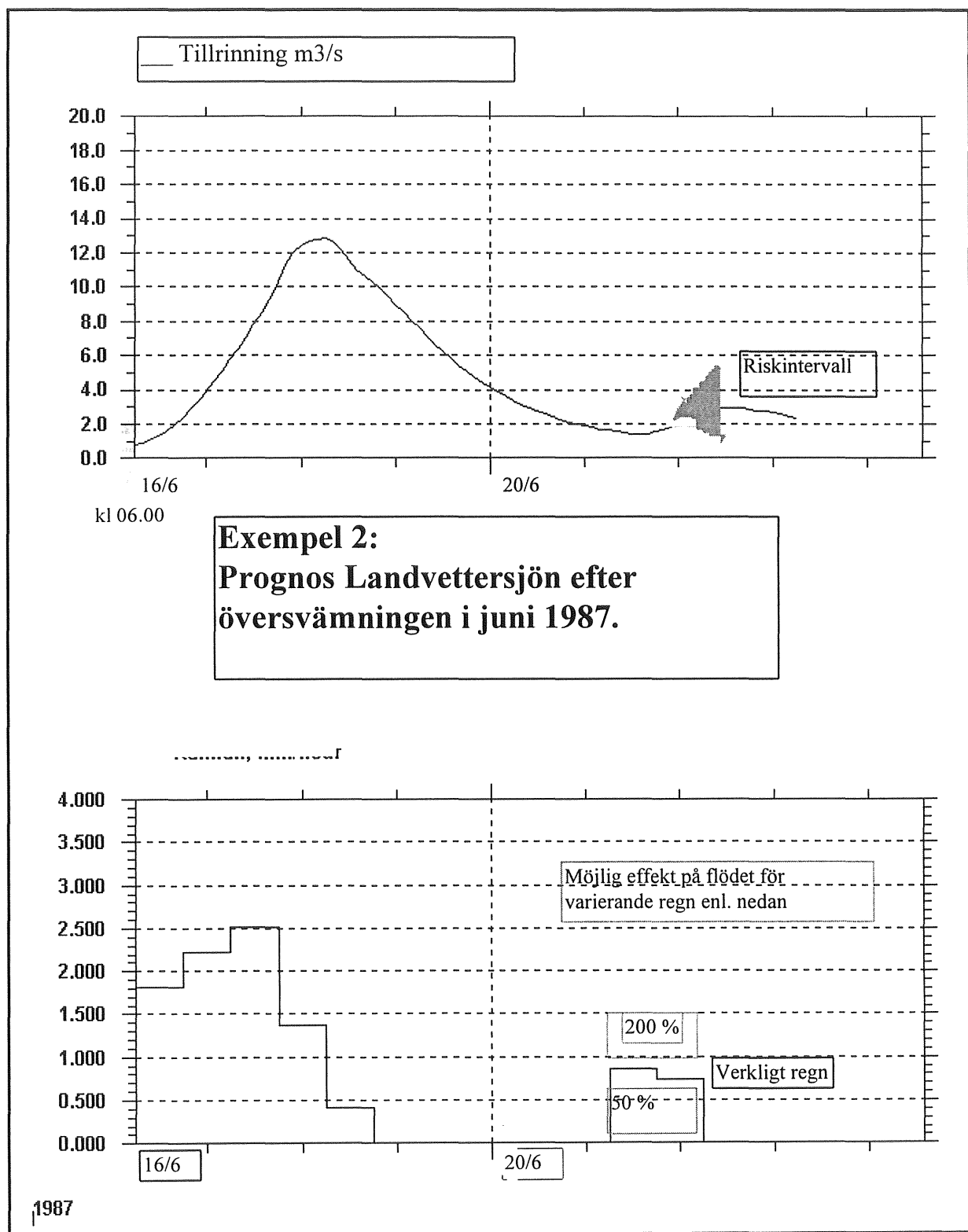
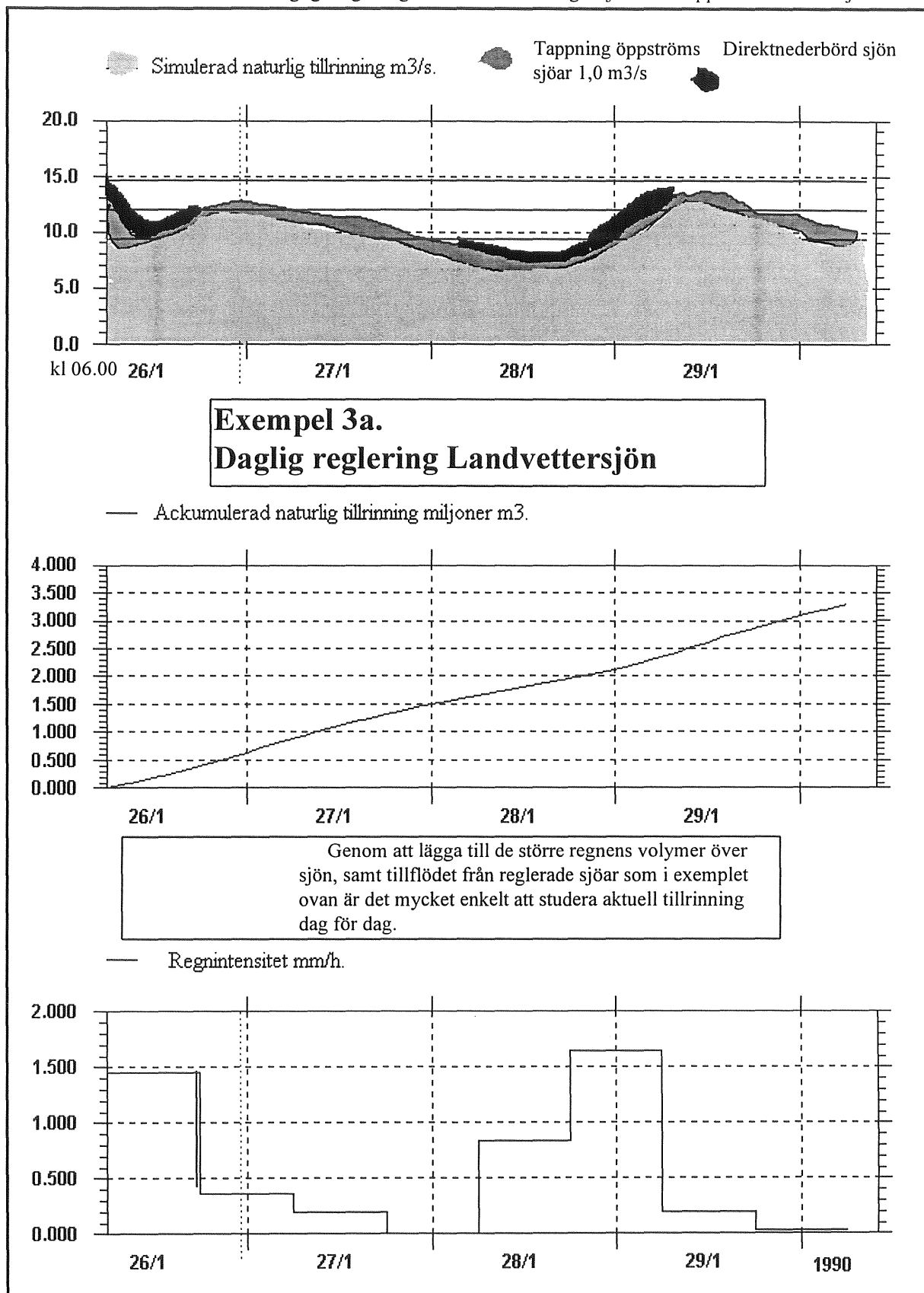


Fig 4.6 Exempel på flödesprognos.

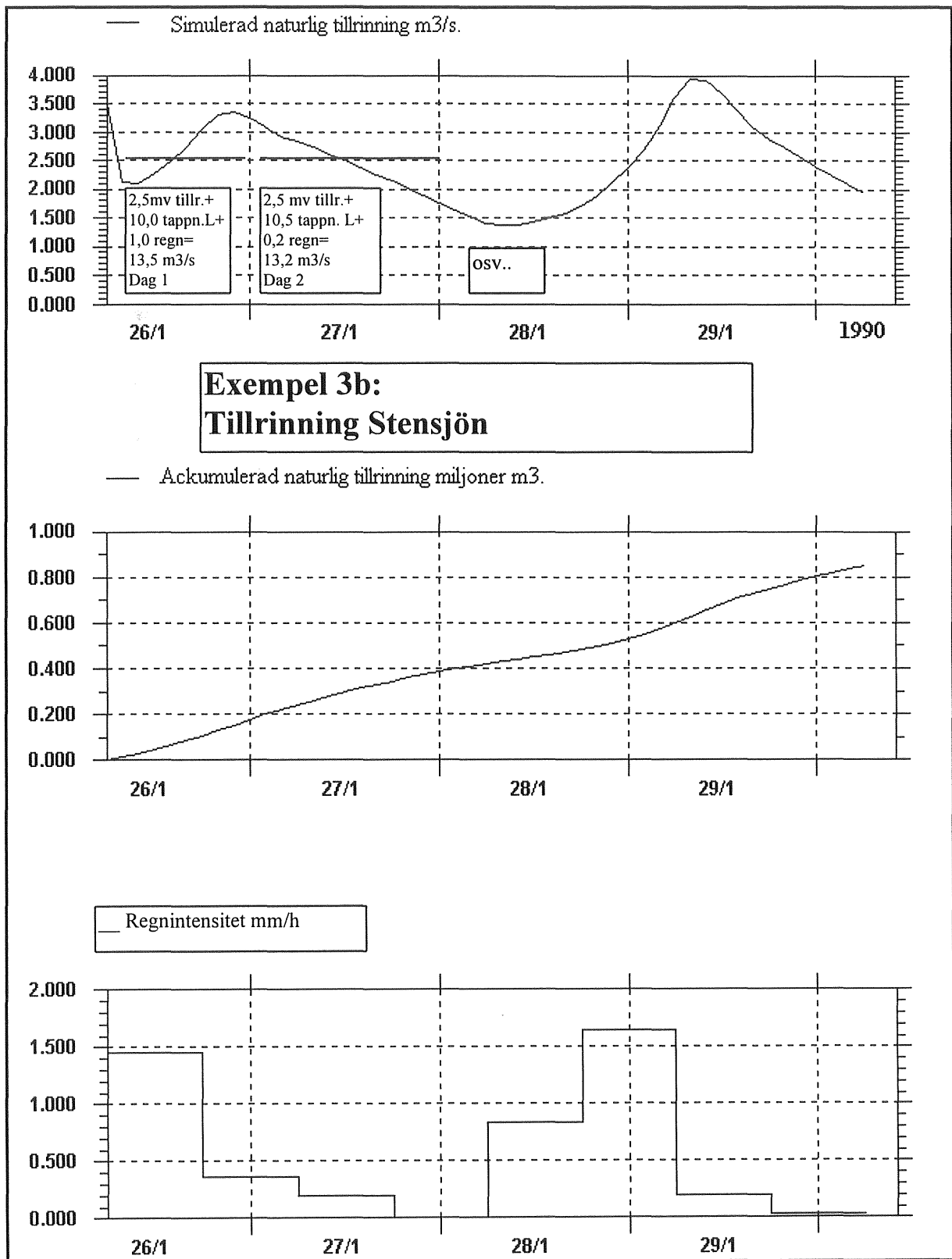
Exempel 1: Efter kraftiga regn som lett till översvämning kan man mata in olika regn för riskbedömning för att på så sätt skapa en säker avreglering av vattenmassorna. Ovan nämnda tillrinningshydrograf är från perioden 870616 t o m 870623.

Jämn vattenföring i systemet

För den vardagliga regleringen kan man tänka sig följande förlopp för Landvettersjön:



För Stensjön kan vi nu göra motsvarande simulering under samma period men då med tillflödet från Landvettersjön. Graferna blir som följer efter vattenböcker från 26 -30 januari 1990.



Simulering av tillrinning till reglerade sjömagasin med NAM-modellen

Då tillrinningen framträder tydligt i graferna utgör NAM ett snabbt och enkelt sätt att kontrollera flödena. För en säker överrenstämelse krävs dock ett tätare nät av nederbördstationer över området.

Avsänkning på 0,2 m av Nedsjön strax innan romläggningen i oktober för att ge säkerhet mot regleringsrelaterade skador på rödingen.

Dessutom får inte denna nivå (ca + 2,00 m) underskridas förrän i skiftet april-maj. Det bör eftersträvas att ligga så högt som + 2,40 m året om.

Slutligen det fjärde exemplet.

Avleda vatten till Delsjöarna vid högvattenföring.

Då magasinskapaciteten för avrinningsområdena till Stensjön och Landvettersjön är så små att man oftast bara släpper förbi för att undvika översvämningar vore det bra om man utnyttjade just dessa tillfällen att avleda vatten till Delsjöarna. Riktlinjerna är följande:

Effekterna av större nederbördshändelser kan prognosticeras för ca fem dagar framåt. Om exempelvis Stensjön då har en tillrinning på i snitt $6 \text{ m}^3/\text{s}$ i fem dagar kan exempelvis Delsjön motta $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ av dessa vilket motsvarar pumpmax. Eftersom intresse finns för Rådasjöns klara vatten från VA-verket vore det ju bra att passa på vid sådana här tillfällen så att man slipper tulla på Nedsjöarnas magasin i onödan med allt vad det innebär av ekologiska störningar vid sänkningar av vattennivån. Vattendomen tillåter max 5 000 000 m^3 per månad.

Genom att registrera nederbörden var tolfte timma kan VA-verket underrättas mellan 12 och 24 timmar innan en möjlig pumpning skulle sättas igång. Detta torde vara tillräckligt varsel.

Med dessa fyra enkla huvudregler tillgodoses de flesta kraven på reglering, förutom möjligen surstötsproblemet. Men denna problematik kan inte lösas i själva vattensystemet. När 14 m^3 vatten tillrinner å-fåran är en försvinnande liten del buffrande sjövattnet, och surstöten redan ett faktum oavsett insats. Dessa bör istället sättas in tidigare i bäckar, våtmarker o dy.

Slutligen konstaterar vi att NAM kan användas höst, vinter (med dagsmedeltemperaturen som tilläggsdata) och vår, medan det i den här studien inte varit möjligt att styrka dess riktighet under sommaren. Under denna period är emellertid risken för översvämning minimal och regleringen kan ske efter vattennivåer som idag utan problem.

6. Slutsatser

Studien har visat på vikten av noggranna flödesserier för att kalibrera NAM-modellen. Genom att separera den nederbörd som faller över sjön direkt och övrigt regn över avrinningsområdet kan dock reglerade sjöar beskrivas med gott resultat. Detta gäller om sjön är liten i förhållande till avrinningsområdet.

Att kontinuerligt uppdatera modellen med nederbördsdata skulle ge en bättre överblick över aktuella flödesförlopp i systemet, och ge bättre framförhållning mot översvämningar eller avsänkningar. Att koppla modellen till en kontinuerlig mätare med avläsning minst två gånger per dygn i Mölnlycke torde ge bäst effekt, då sjöarna där är de mest känsliga. Vidare har mätaren i Hindås god överrenstämelse med medelårsnederbörden över området varför den är viktig för att justera volymerna. För att ge noggranna värden på enskilda nederbördshändelser är det dock inte tillräckligt att basera tillrinningshydrografer från så stora områden på endast två lokala mätare. För prognosticering och riskanalyser är det dock tillräckligt.

Det står också helt klart att miljöarbetet de senaste 20 åren har gett effekt, och det är viktigt att värna om ån fortsättningsvis också. Miljön i och runt Mölndalsån spelar en allt större roll i och med att förut stora intressen såsom vattenkraft och processvatten har avtagit. Vattenmiljön får därmed också ökad ekonomisk betydelse, och kan den förbättras genom att rätt åtgärder sätts in utan stora kostnader är mycket vunnet.

6.1 Förslag till fortsatt arbete

Med större resurser skulle man kunna göra riktiga tillrinningsmätningar i exempelvis Landvettersjöns inlopp under en 2-månaders period ett blötår. Detta skulle möjliggöra en noggrannare inställning av modellens parametrar.

Vidare måste ytterligare nederbördsdata tas i bruk. Alternativt skulle man för åren 1951-70 jämföra de nio mätare som då fanns med de som fortfarande står på andra håll runt Göteborg, och räkna fram en relation mellan ännu kvarvarande och de som mätte nederbörden i området runt Mölndalsån.

Rinntiden från Nedsjöarna och Stora Härsjön borde bestämmas bättre.

Avläsningarna i Landvettersjöns nivå borde göras på pegeln ute i sjön istället för vid dämnet för att ge korrekta resultat.

Referenser och övrig litteratur

- [1] Appelgren, C., Kullman, M., (1991): **Den hydrologiska modellen NAM. Sensitivitetsanalys av modellparametrar.** Examensarbete nr 1991:4, Institutionen för Vattenbyggnad, CTH, Göteborg.
- [2] Arbetsgruppen för Mölndalsåns fiskevårdsplan., (1990): **Fiskevårdsplan för Mölndalsån.** Arbetsgrupp för Mölndalsåns fiskevårdsplan, Göteborg.
- [3] DHI, (1988): **Calibration Technique - With Particular Reference to Rainfall Runoff Models.** Dansk Hydraulisk Institut, Hørsholm, Danmark.
- [4] DHI, (1990): **NAM. Documentation and User's guide.** Dansk Hydraulisk Institut, Hørsholm, Danmark.
- [5] DHI, (1989): **MIKE11. Technical Reference and User's guide.** Dansk Hydraulisk Institut, Hørsholm, Danmark.
- [6] Erikson, B., (1981): **Den potentiella evapotranspirationen i Sverige.** RMK 28, RHO27, SMHI, Norrköping.
- [7] Erikson, B., (1983): **Data rörande Sveriges nederbördsklimat. Normalvärden för perioden 1951-80.** Rapport 1983:28, SMHI, Norrköping.
- [8] Gustafsson, A.M., (1992): **Den hydrologiska modellen NAM. Kalibreringsperiodens inverkan på modellparametrar och verifieringsresultat.** Examensarbete nr 1992:4, Institutionen för Vattenbyggnad, CTH, Göteborg.
- [9] Gustafsson, L.G., Olsson, R., (1991): **Indirekt nederbördspåverkan i duplikata spillvattensystem. Metodik för flödessimulering.** R69:1991, Byggeforskningsrådet, Stockholm.
- [10] Gustafsson, L.G., (1995): **Utveckling och tillämpning av en konceptuell avrinningsmodell för urban hydrologi.** Licentiatavhandling 1995 A:25, Institutionen för Vattenbyggnad, CTH, Göteborg.
- [11] Göta Älvs Vattenvårdsförbund, (1996): **Rapport avseende vattendragskontroll 1995.** Göta Älvs Vattenvårdsförbund, Göteborg.
- [12] Hasselrot, B., Carlstrand, H., (1994): **Kalkningsrapport Mölndalsån. Lägesrapport 1994.** Melica miljökonserter, Göteborg.
- [13] Hermansson, L.E., Petersson, S-E., Tolstoj, N., (1972): **Mölndalsån. En hydrologisk - regleringsteknisk studie.** Examensarbete nr 1972:9, Institutionen för Vattenbyggnad, CTH, Göteborg.
- [14] Hilmeresson, P., Lerjefors, P., (1985): **Landvettersjön. Tillrinningen analyserad med hjälp av enhetshydrografmetoden.** Examensarbete nr 1984:4, Institutionen för Vattenbyggnad, CTH, Göteborg.
- [15] Häggström, S., (1988): **Hydraulik för V-teknologer.** Upplaga 2, Institutionen för Vattenbyggnad, CTH, Göteborg.
- [16] Johansson, B., (1993): **Modelling the effects of wetland drainage on high flows.** RH No. 8, Maj 1993, SMHI, Norrköping.

- [17] Kraamer, H., Reidén, J., (1995): **Energiuttag ur Mölndalsån**. C-uppsats för Thomas Polesie, Företagsekonomiska Institutionen, Avd för Redovisning och Finansiering, Handelshögskolan, GU, Göteborg.
- [18] Norén konsulterande ingenjörbyrå AB, (1986): **Förslag till modifierad vattenreglering i Östra och Västra Nedsjöarna i Borås och Härryda kommuner**. Länstyrelsen i Göteborgs och Bohus län.
- [19] VA-verket i Göteborg, (1980-1996): **Nederbörden i Göteborg. 1979-1995**. Göteborg.
- [20] Vattendomstolen Vänersborgs Tingsrätt,
Dom 1992-10-15, Dom nr DVA 47,
Dom 1992-10-15, Dom nr DVA 48.
- [21] Vattenkontrollant Mölndals Kvarnby, (1983-1996): **Vattenböcker**. Göteborg.
- [22] VBB Viak, (1982, 1987, 1990, 1991): **Diskussionsunderlag avseende tappningsregler för Gröen. "Stolpar" angående Mölndalsåsystemets nuvarande och framtida kapacitet. Sammanställning av regleringsbestämmelser för mindre sjöar i Mölndalsåns avrinningsområde. PM angående möjligheten att avleda vatten från Mölndalsån**. Projektrapporter, Göteborg.
- [23] Wilson, E.M., (1990): **Engineering Hydrology**. 4th edition, Macmillan Education Ltd, London, Storbritannien.

Artiklar

- Göteborgs-Posten 890201
- Arbetet 890127, 890222
- Mölndals-Posten 890104, 890111, 890215, 890308, 890315, 890426

Muntliga källor

- Bergqvist, Björn, Fiskeriverket Stockholm.
- Bogelius, Anders, Fiskeriverket Göteborg.
- Hasselroth, Bengt, Melica Miljökonsult Mölndal.
- Höglind, Kaj, Fiske-avdelningen Länstyrelsen Göteborg.
- Johansson, Inge, Mölndals kommun.
- Johansson, Runo, Mölnlycke Clinical Products AB, Göteborg.
- Kahlstrand, Håkan, Sportfiskarna, Göteborg.
- Munck, Viola, VA-veket, Göteborg.
- Patriksson, Valter, Mölndals VA-verk.
- Rhenberg, Christina, Kommunalförbundet, Mölndal.
- Sjöstrand, Per, Fiskeriverket Göteborg.
- Sletteng, Willy, Vattenkontrollant, STORA Mölndal AB, Mölndal.

Appendix A

Grafer

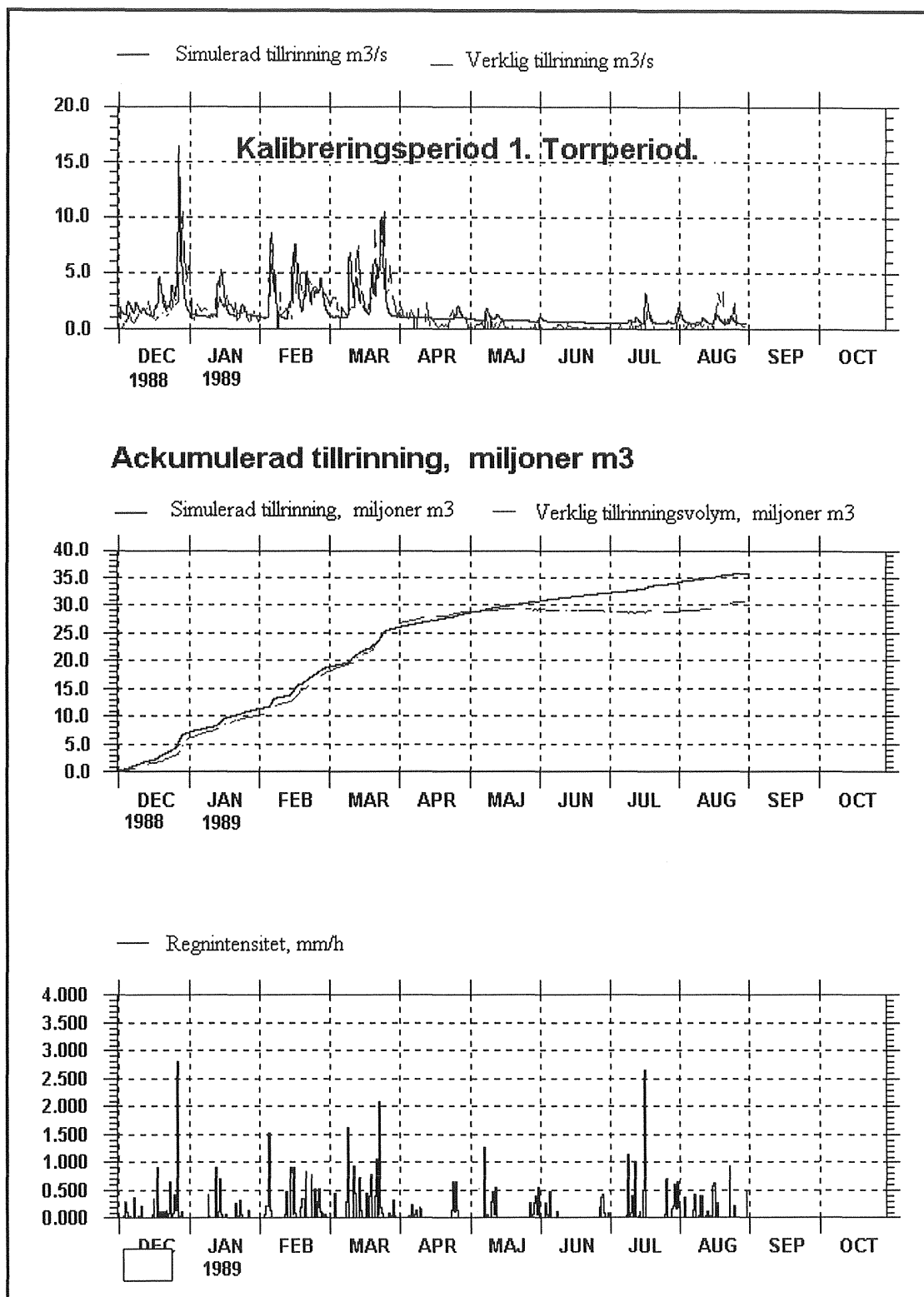


Fig 1. Kalibreringsperiod 1. Torrperiod.

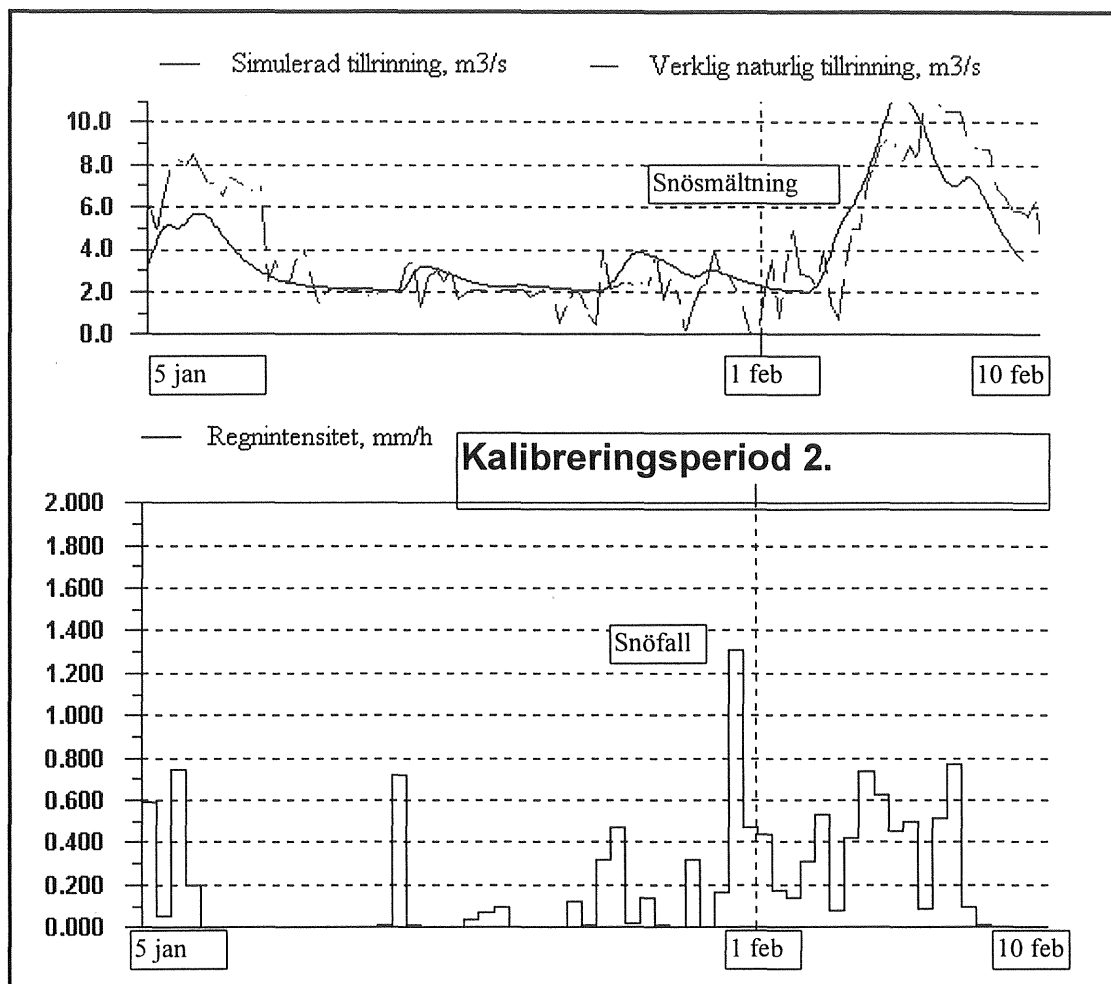


Fig 2. Kalibreringsperiod 2. Blötperiod med snösmältning jan -feb -88.

Valideringsperiod 1

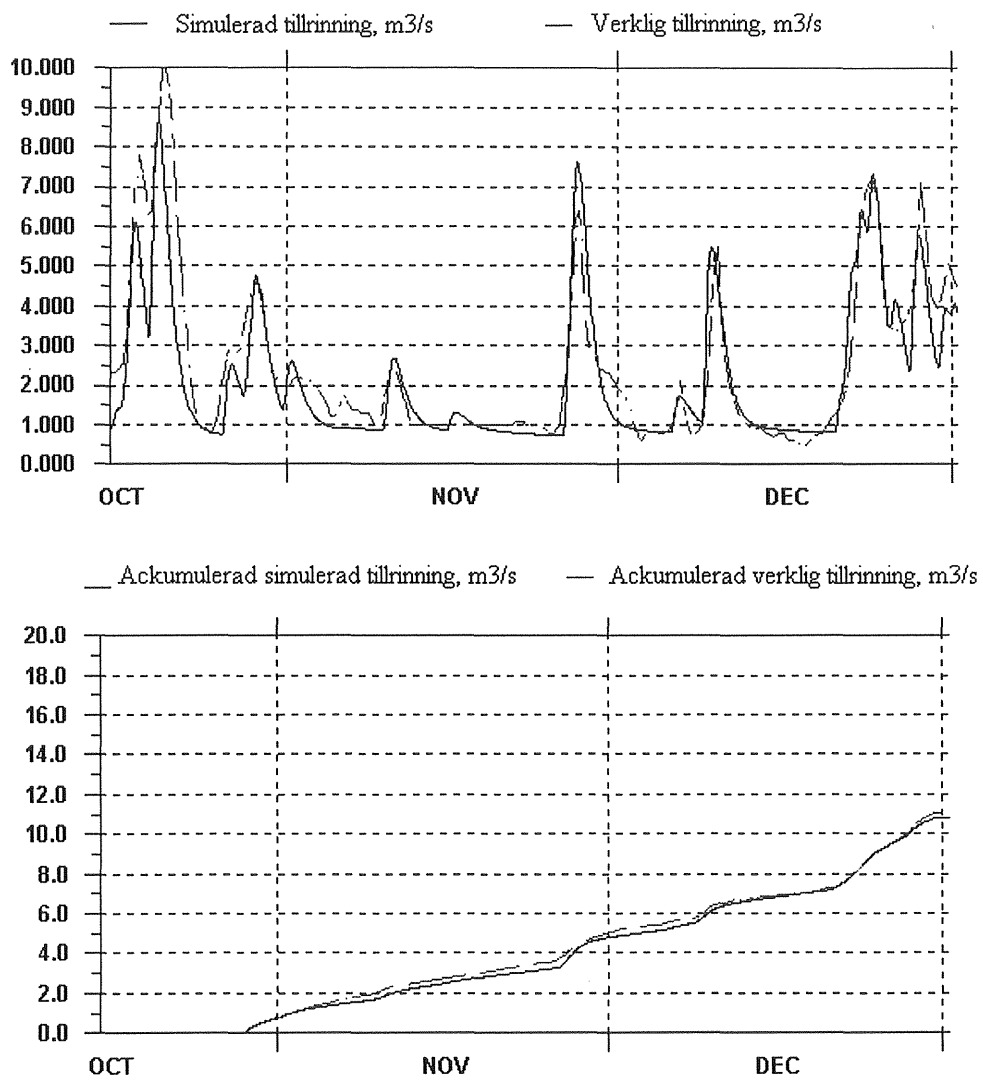


Fig 3. Valideringsperiod 1. Hösten 1983. Tillgång till data från tre mätstationer.

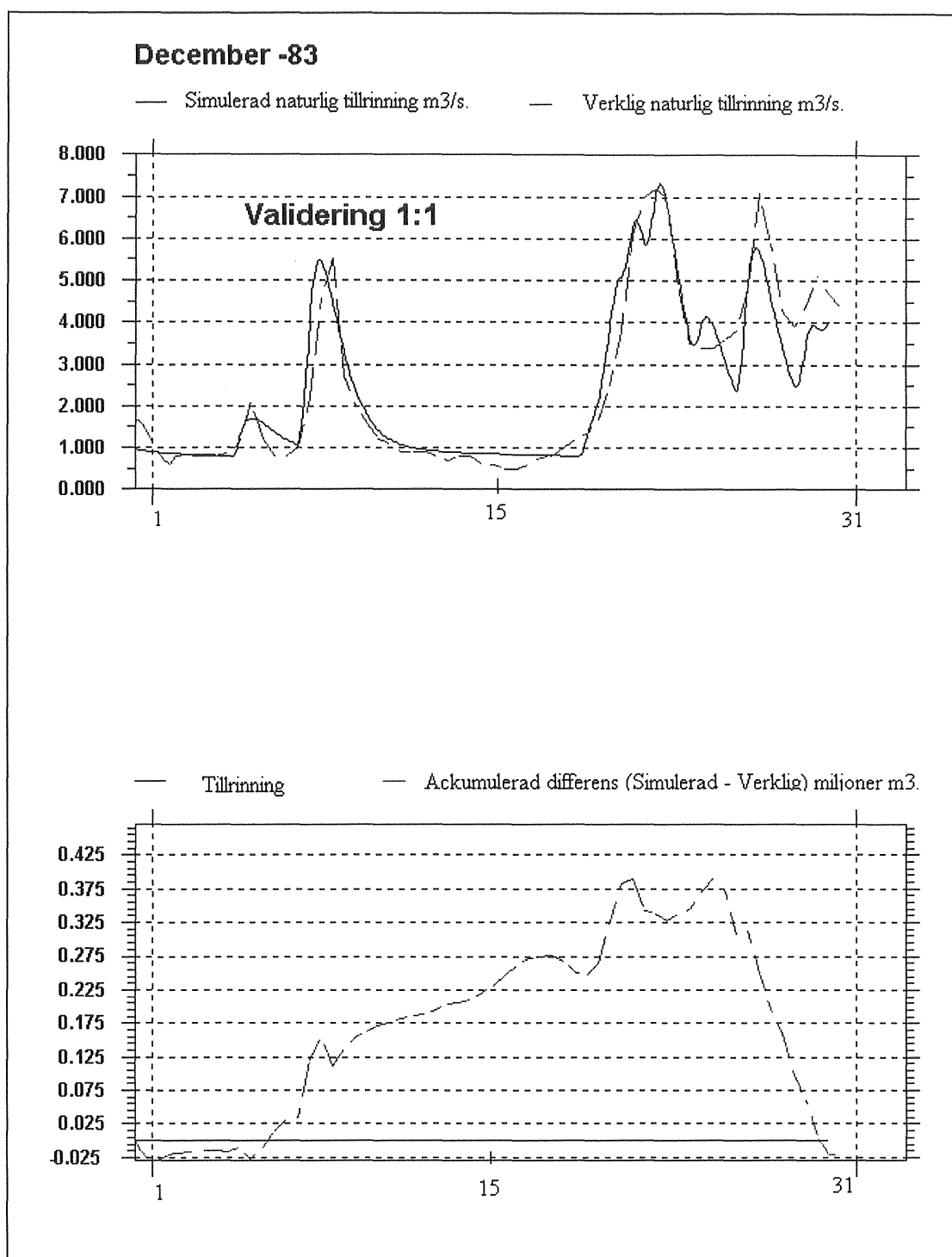


Fig 4. Valideringsperiod 1.1. Del av period 1 men med tydligare upplösning avseende tidsförloppet.

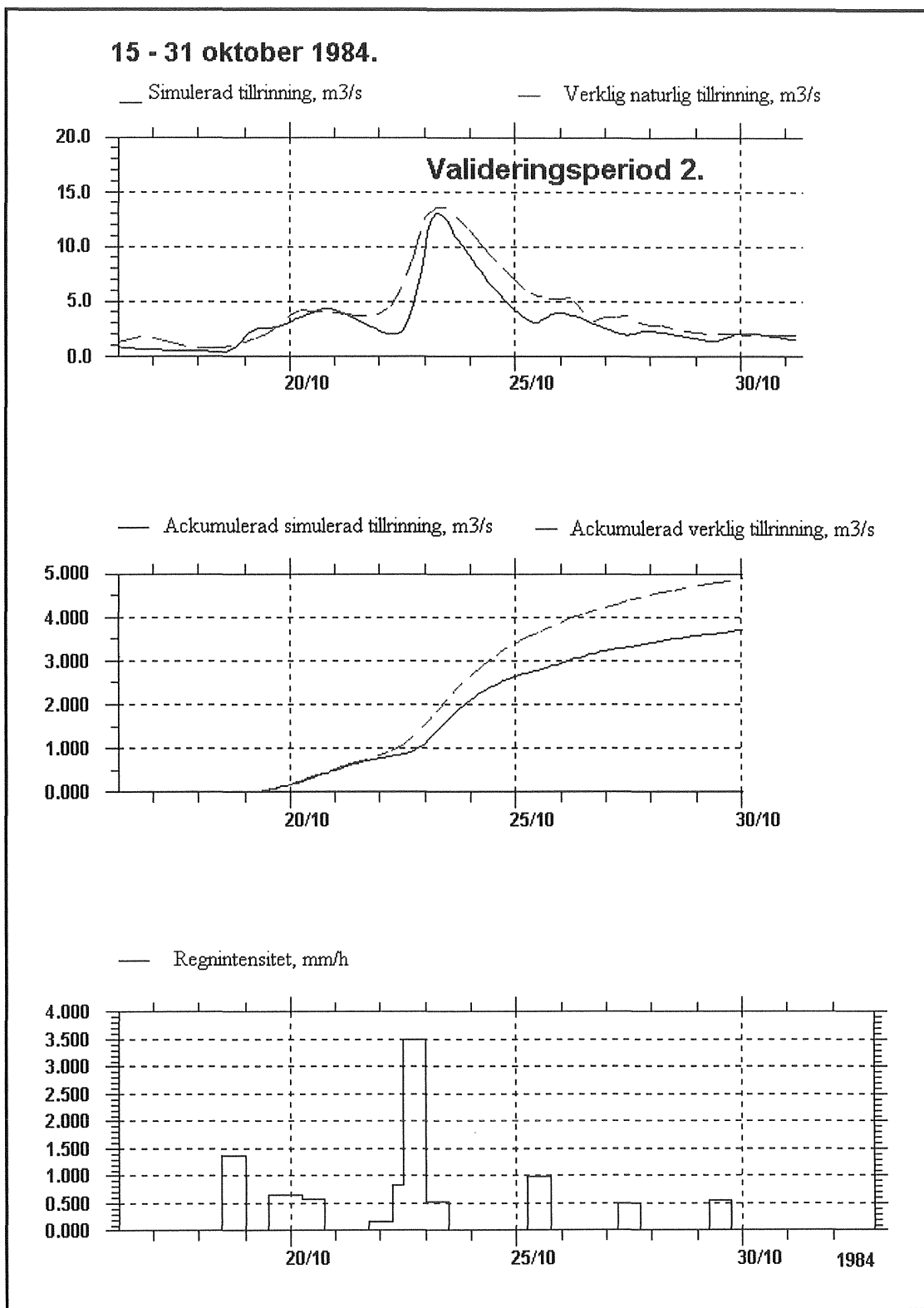
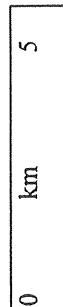


Fig 5. Valideringsperiod 2. Oktober -84. Endast en mätning tillgänglig för regnet den 22 oktober.

Appendix B

Karta

[illegible]

Publications of the Dept. of Hydraulics, Chalmers

A. Doctoral dissertations

- 1 **Moberg, G.:** Wave Forces on a Vertical Slender Cylinder. 1988. Report A:16
- 2 **Nilsdal, J-A:** Bedömning av översvämningsrisken i dagvatten-system. Kontrollberäkning med typregn. 1988. Report A:18
- 3 **Johansson, M.:** Barrier-type Breakwaters. Transmissions, Reflection and Forces. 1989. Report A:19
- 4 **Perrusquía, G.:** Bedload Transport in Storm Sewers. Stream Traction in Pipe Channels. 1991. Report A:22
- 5 **Lei, A., X.:** Dynamic Characteristics of Floating Breakwaters. 1996. Report A:26

B. Licentiate essays

- 1 **Johansson, M.:** Transient Motions of Large Floating Structures. 1986. Report A:14
- 2 **Mårtensson, N., Bergdahl, :** On the Wave Climate of the Southern Baltic. 1987. Report A:15
- 3 **Perrusquía, G.:** Part-full Flow in Pipes with a Sediment Bed. Part one: Bedform dimensions. Part two: Flow resistance. 1988. Report A:17
- 4 **Rankka, W.:** Estimating the Time to Fatigue Failure of Mooring Cables. 1989. Report A:20
- 5 **Olsson, G.:** Hybridelementmetoden, en metod för beräkning av ett flytande föremåls rörelser. 1990. Report A:21
- 6 **Berggren, Larry:** Energy Take-out from a Wave Energy Device. A Theoretical Study of the Hydrodynamics of a Two Body Problem Consisting of a Buoy and a Submerged Plate. 1992. Report A:23
- 7 **Forsberg, Jan:** Strömning i ett styrbart sidoöverfall, 1995. Report A:24
- 8 **Gustafsson, L-G:** Utveckling och tillämpning av en konceptuell

avrinningsmodell för urban hydrologi. 1995. Report A:25

- 9 **Sharif, N.:** Seepage through Earth-fill Dams and Stability Analysis of Downstream Embankment. 1997. Report A:26.

C. Papers to International Scientific Journals

- 1 **Berggren, L & Johansson, M.:** Hydrodynamic coefficients of a wave energy device consisting of a buoy and a submerged plate. Applied Ocean Research, Vol. 14, No 1, 1992.
- 2 **Lyngfelt, S.:** Base catchment modelling in urban runoff simulation. Nordic Hydrology, Vol. 22, No. 3, 1992.
- 3 **Lyngfelt, S.:** An improved rational method in urban runoff application. Nordic Hydrology, Vol. 22, No. 3, 1992.
- 4 **Sulisz, W. & Johansson, M.:** Second-order wave diffraction of a surface-piercing horizontal cylinder of substantial draught. Applied Ocean Research, Vol. 14, No. 6, 1992.
- 5 **Björkenstam, U & Lei, X.:** Wave loading on multiple floating bodies. International Shipbuilding Progress, 38, No. 416, pp. 361-391, 1992.
Perrusquía, G.: An experimental study on the transport of sediment in sewer pipes with a permanent deposit. Water Science and Technology, IAWPRC, Vol. 25, No. 8, 1992.
- 6 **Berggren, L., & Sjöström, B-O.:** Energy from ocean waves: a review. In Power Generation Technology. The International Review of Primary Power Production. (Ed. David A Jones), Sterling Publ. Ltd., 1994
- 7 **Sulisz, W.:** Stability analysis for multilayered rubble bases. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 120, No. 3, May June 1994.
- 8 **Perrusquía, G.:** Influence of sewer sediments on flow friction and bed shear stress distribution", Water Science and Technology, IAWQ, London, England. (In print.)
- 9 **Perrusquía, G.:** Hydraulic resistance in part-full pipes with a composite

roughness" (Submitted for review and possible publication to Journal of Hydraulic Engineering, ASCE)

- 10 **Perrusquía, G., & Mark, O.** Predictions of locations with sediment deposits in sewers, Water Science and Technology, IAWQ, U.K. (in print) 1995,
- 11 **Perrusquía, G., & Nalluri, C.** Modelling of sediment transport in pipe channels. Journal of Hydrology and Hydromechanics, Czech Republic, (in print) 1995.
- 12 **Liu, Y., Bergdahl, L.** Frequency domain dynamic analysis of cables. Journal of Engineering Structures, Vol. 19, No. 6, pp 499-506, 1997.

D. Papers at international conferences and workshops

- 1 **Berggren, L. & Bergdahl, L.:** Forces on a wave energy module. The third symposium on ocean wave energy utilisation, Tokyo, Japan, 1991.
- 2 **Häggström, S.:** Project oriented and "traditional" education at the School of Civil Engineering at Chalmers University of Technology. Presented at Transfer of Technologies 2000, Prague, Czechoslovakia, Sept. 1991.
- 3 **Perrusquía, G.:** Bedload transport in storm sewers. First International Workshop on Sewer Sediments, Brussels, Belgium, 4-6 Sept. 1991.
- 4 **Perrusquía, G.:** Sediment transport in sewer pipes in stream traction. Study Day on Sediment Transport, Katholieke Universiteit, Leuven, Belgium, 3 March, 1992.
- 5 **Perrusquía, G.:** Physical modelling of sand transport in sewers. International Workshop on Environmental Hydraulics and Sediment Transport. Aalborg University, Denmark, 10 April, 1992.
- 6 **Lei, X. & Bergdahl, L.:** Hydrodynamic properties of multiple floating and submerged bodies analysed by a panel method. Boundary Elements in Fluid Dynamics, Southampton, U.K., 29-30 April, 1992.
- 7 **Bergdahl, L.:** Review of research in Sweden. In Energy. Wave Energy R & D. Proceedings of a workshop held at Cork, 1 and 2 October 1992. (Eds. G. Caratti, A T Lewis, D. Howett).(CEC DGXII.E.3)
- 8 **Sulisz, W.:** Numerical modelling of the stability of rubble bases. Proceedings, 23rd Coastal Engineering Conference, ASCE, New York, pp 1798-1803, 1992.
- 9 **Häggström, S. & Johansson, G.:** Recent changes in civil engineering education at Chalmers University of Technology. Proceedings of the Conference: Innovation and Change in Civil Engineering Education, Belfast, Northern Ireland, 19-21 April, 1993.
- 10 **Lei, X., & Bergdahl, L.:** Dynamic response of linked, moored, floating structures. The Eighth International Workshop on Water Waves and Floating Bodies. St. John's, Newfoundland, 23-26 May 1993.
- 11 **Perrusquía, G.:** "Sediment transport in storm sewers with a permanent deposit", Proceedings, Sixth International Conference on Urban Storm Drainage, Niagara Falls, Canada, 12-17 September 1993.
- 12 **Sjöström, B-O:** Technocean AB. The past, present and future of hose-pump wave energy converter. Proceedings. 1993 European Wave Energy Symposium. Edinburgh, Scotland, 21-24 July 1993.
- 13 **Perrusquía, G.:** "Influence of sewer sediments on flow friction and bed shear distribution", specialized International Conference "The Sewer as a Physical, Chemical and Biological Reactor", Aalborg, Denmark, 15-18 May 1994.
- 14 **Gustafsson, L-G.** Using a 3-D distributed physically based model in urban hydrology. Submitted to WEFTEC'95, 68th Annual Conference & Exposition, Miami Beach, USA, October 21-25. 1995.
- 15 **Perrusquía, G. & Nalluri, C.** Modelling of bedload transport in pipe channels, Proceedings, 8th International Conference on Transport and Sedimentation of Solids, Prague, Czech Republic, Jan. 1995.
- 16 **Bergdahl, L., & Mårtensson, N.** Certification of wave-energy plants - Discussion of existing guidelines, especially for mooring design, Second

- European Wave Power Conference, 8-10 Nov., 1995, Lisbon, Portugal.
- 17 **Nielsen, K., Holmes, B., & Berggren, L.** On the tank testing of off-shore wave power converters. Second European Wave Power Conference, 8-10 Nov., 1995. Lisbon, Portugal.
 - 18 **Berggren, L., & Bergdahl, L.** Time-domain simulation of a single wave-energy converter. Second European Wave Power Conference, 8-10 Nov., 1995, Lisbon, Portugal.
 - 19 **Liu, Y., & Bergdahl, L.** Study of Current and Seabed Friction Effect on Mooring Cable Response. First Asia-Pacific Conference on Offshore Systems: Mobile & Floating Structures, 10-11 Dec. 1996. Kuala Lumpur, Malaysia.

E. Other reports from the Department of Hydraulics

Report Series B

- B:53 **Lyngfelt, S.:** Simulering av ytavrinning i dagvattensystem. 1991.
- B:54 **Lyngfelt, S.** Two papers on Urban Runoff Modelling. Base catchment modelling in urban runoff simulation and An improved rational method for urban runoff application. 1991.
- B:55 **Perrusquía, G.:** Sediment transport in pipe channels. Postdoctoral experimental studies. December 1991 - April 1992.
- B:56 Nordisk möte om bølgeenergi, Hanstholm, 8-9 maj, 1992.
- B:57 **Perrusquía, G.:** "An experimental study from flume to stream traction in pipe channels", 1993.
- B:58 Activity Report 1992
- B:59 Activity Report 1994
- B:60 **Asztély, M.:** Literature review of energy losses in manholes. 1995.
- B:61 **Lindvall, G.:** Energy losses at manholes. Lab. measurements at non-stationary flow. 1996.
- B:62 **Bergdahl, L.** MODEX User's Manual. Version 3. 1996

Report Series C

- C:35 **Johansson, M.:** RECT - A radiation diffraction program for the analysis of floating breakwaters with rectangular cross-section. Göteborg, 1991.
- C:36 **Johansson, M.:** SHELF - A diffraction program for the analysis of a barrier-type breakwater with rectangular cross-section and a protruding shelf facing the incident waves. Göteborg, 1991.
- C:37 **Johansson, M.:** HYB2D - A radiation diffraction program for the analysis of floating breakwaters. Göteborg, 1991.
- C:38 **Perrusquía, G.:** Sediment in sewers - 1. Flow capacity of sewers with a sediment bed. 2. Flow resistance in storm sewers. Göteborg, 1991.
- C:39 **Lyngfelt, S.:** BASIC-program för beräkning av geometriska parametrar i ledningstvärnsnittet med och utan sediment. Göteborg, 1991.

Other Reports:

- Rylander, A., & Sjöström, B-O.:** Bestämning av motståndskoefficienterna c_d och medsväng-ande vattenmassa för dämpskivor till slangpumpkraftverk (modellförsök i dyktanken UT/CTH), Technocean, Rapport nr 9102.
- Claesson, L. & Sjöström, B-O.:** Optimal wave power plant spacing in the tropical North Pacific Ocean. Oceans' 91. Hawaii, USA. Technocean, Rapporter, 9106.
- Forsberg, J. & Sjöström, B-O:** Överföring av slangpumpens ekvationer till frekvensplanet. Technocean, Rapport 9105.
- Sjöström, B.O.:** Vågenergiforskningen i världen 1990-1991. En lägesrapport. Technocean, Rapport 9105.
- Lindvall, G.:** Energiförluster i ledningsbrunnar. Laboratoriemätningar vid icke-stationär strömning. Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 94, 1993.

Bergdahl, L. Dynamics of mooring cables, Svensk sjöfartstidning, nr. 40, 7 okt., 1994 (STU8901511)

International User-Group Meeting on Computer Aided Analysis and Operation in Sewage Transport and Treatment Technology (IUGM),. Proceedings. Geohydrological Research Group. Chalmers University of Technology, Göteborg 13-15 June, 1994.

Uppsatser från ledningstekniska forsknings-gruppen, Chalmers tekniska högskola 1995. Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola, Meddelande nr 96, Göteborg, 1995.

Diploma Theses (Master of Science Programme)

1991:1 Granstedt, P.: Framtida reparations- och ombyggnadsbehov av våra damm- och kraftanläggningar.

1991:2 Lundén, M.: working conditions of the CONE-SEAL. Experimental investigations.

1991:3 Hellström, I.: Effekter i Göteborgs centrum av en vattenståndshöjning i havet.

1991:4 Appelgren, C., Kullman, M.: Den hydrologiska modellen NAM.

Sensitivitetsanalys av modellparametrar.

1991:5 Jansson, E.; Sicard, T.: Recharge of groundwater from percolation ponds in South India. Study based on the modelling approach.

1991:6 Lundberg, M., Ekstedt, C.: Kvävefälla i Veselången - teknisk utformning.

1991:7 Herrera, F.: Grafisk presentation av utdata av datorprogrammet MODEX.

1992:1 Andersson, J., Wahlström, R.: A study of water supply at Nkinga Hospital and three villages in Igunga District, Tanzania.

1992:2 Högberg, R.: Att använda randelementprogrammet WAMIT för analys av vågskydd till småbåtshamnar.

1992:3 Nylander, L.: Datorprogram som hjälpmedel vid hamnprojektering.

1992:4 Gustafsson, A-M.: Den hydrologiska modellen NAM. Kali-

brerings-periodens inverkan på modellparametrar och verifieringsresultat.

1993:1 Hafsteinn Halldórsson, B.: Natural convection, numerical approach.

1993:2 Bähr, T.: Vågdämpnings-förmåga hos flytande rektangulära vågbrytare.

1994:1 Adamsson, Å, Eriksson K.: Optimisation of the energy take-out from a floating wave energy device, the Mighty Whale. - An experimental study.

1994:2 Bågenholm, C.: Refined spillway design - Flood routing.

1995:1 Eriksson P.: Rörelser hos Safe Gothia.

1995:2 Bryngelsson, A., & Tenstam, A.: Numeriska beräkningar av hydrodynamiska koefficienter för en två-dimensionell platta utsatt för harmoniskt oscillerande tvärströmning.

1995:3 Halldin, A., Arfvidsson, M. Experimental and theoretical study of a wave-energy device.

1995:4 Karlsson, R.I., Nilsson, M.G.: Local scour in front of coastal structures.

1995:5 Tagliaretti, L. (ej godkänt som svenskt exjobb) Wave diffraction in harbours. Validation of a simulation model.

1995:6 Berg, J., Holmqvist, C.: Hydrodynamiska laster på flexibla konstruktioner. En jämförelse av snittkrafter i en fiskodlingsanläggning för tre olika beräkningsmetoder.

1996:1 Malo, M., Styrenius, O.: Studies of the Hydrodynamic Properties in a Stirred Benthic Chamber. I: Development of low pressure sensors.

1996:2 Ekström, P.: Tryckslag i tappvattensystem.

1996:3 Ljungberg, F., Nilsson, J.: The Mighty Whale Airchamber. Experimental and Numerical Study.

1996:4 Johansson, A., Sundberg, F. Three aspects of modern sewer design.

1997:1 Andrén, J. Simulering av tillrinning till reglerade sjömagasin med NAM-modellen.

Diploma Theses (Applied Civil Engineering Programme)

1991:1 Abrahamsson, S.: Analys av vattenledningsnätet i stadsdelen Backa, Göteborg.

1991:2 Grann, M.: Analys av vattenledningsnätet i högzonen kring stadsdelen Slottskogen, Göteborg.

1993:1 Björklund, A.: Flödet och vattenkvalitetens beroende av råvattnets fördelning på produktionslinjer vid Alelyckans vattenverk, Göteborg.

1993:2 Backlund, M.: Undersökning av effektiviteten av luftreningssystemet för Ryaverkets biologiska steg.

1993:3 Johannisson, P.: Datoranalys av problem med flödeskapacitet i avloppsnätet i området Krokängsparken, Göteborg.

1994:1 Schele, K.F.: Flotationsförsök i en pilotanläggning vid Lackarebäcks vattenverk.

1994:2 Bergström, M.: Renovering av läckande avloppssystem - undersökning av ett problemområde i Långedrag.

1995:1 Enebrand, P., & Pohorela, B.: Undersökning av flockningskammare vid Göteborgs vattenverk

Claesson, A-S., & Rosenqvist, S.: Björkdalen . då avfallsdeponi, idag rekreatiomsområde.

Astgård, J., & Lundqvist, J.: Datoranalys av Sannegårdens avloppsvattennät med programmet MOUSE.

Current Textbooks

Häggström, S. Hydraulik för V-teknologer. Undervisningsskrift 1988:8, Andra upplagan, 1992

Häggström, S. Uppgifter till Hydraulik för V-teknologer. Undervisningsskrift 1990:5, Tredje upplagan. 1992.

Lyngfelt, S. Kompendium och kursmaterial för kursen Vattenförsörjnings- och avloppsteknik. Undervisnings-skrift 1992:3

Lyngfelt, S. Hydrologi och miljöteknik. 1992.

