

Mätning i avloppsnät och verifiering av MOUSE-modell - praktikfall Ekängen, Eskilstuna

Bakgrunden till den genomförda mätinsatsen och modelluppbyggnaden för Ekängen var återkommande källaröversvämningar orsakade av det kombinerade nätet. Ledningsnätet var underdimensionerat, sedan de inledda dupliceringsinsatserna ej fullföljts på 1970-talet. Husen i området har dessutom sjunkit ett antal decimetrar sedan byggnationen på 50-talet, vilket gör dem än mer utsatta för uppdämningar i ledningsnätet.

I augusti 1996 regnade det osedvanligt kraftigt och ihållande i Eskilstuna (totalt 131 mm på 39 timmar), med ett 25-årsregn som intensivaste regnskur, och 37 källare i Ekängen blev översvämmade. Utbetalda skadeersättningar, inklusive regresser från försäkringsbolag, har summerats till omkring 1 Mkr. Beslut togs om att åtgärda problemen och höja säkerheten mot källaröversvämningar för att minst klara de juridiskt uppställda kraven. Utredningen inleddes i januari 1997 och flödesmätningarna pågick sommaren och hösten 1997. MOUSE-simuleringar har utförts i omgångar under 97-99. Insatserna i ledningsnätet har utförts i april 1999.

Erfarenheter från mätning

Tre stycken mätare av modell Detflow, DETEC 3010, har använts. Mätarna inköptes 1997. Två mätare var stationärt installerade i sina respektive mätpunkter under nästan fyra månader (juli-oktober), medan den tredje flyttades mellan tre olika mätpunkter.

Val av mätpunkt visade sig vara avgörande för om det gick att mäta flöde eller inte. Emellanåt var det svårt att klara mätområdena för både nivå och hastighet. En för stor ledningslutning innebar för låg nivå och för hög hastighet. Å andra sidan var både nivå och hastighet ofta för låga i stora kombinerade ledningar vid torrväder, med risk för igenslamning och bortfall av mätdata, särskilt nattetid. Försök till dämning kan göras i båda fallen, men dämningen för med sig risker för avsättning av större och mindre partiklar på mätgivaren, med bortfall av hastighetsmätning som följd.

Beroende på nätets utseende finns det inte alltid lämpliga mätpunkter som både uppfyller krav på utformning och strategisk placering, vilket kan ställa till med problem senare vid utvärdering av mätdata och verifiering av modell.

Att flödesmäta med vår utrustning i ledningar med dimension 225 mm misslyckades oftare än det lyckades. För en lyckad mätning måste fall och flöde vara tillräckligt stora för att få både hastighet och nivå inom mätarens mätområde. Vid några tillfällen har försök gjorts med att montera in någon typ av överfall för att dämna ledningen, men det har hitintills bara fungerat vid en mätning av renat spillvatten.

Erfarenheter från analys av mätdata

Mätaren registrerar inte negativa flöden, varför bakåtriktade flöden inte kan konstateras, enbart misstänkas. I vårt praktikfall inträffade det att hastighetsdata föll bort under flödestoppar i samband med regn och det antogs att det berodde på ett

bakåtriktat flöde p.g.a. uppdämning nedströms, samtidigt som avtappning skedde via bräddutlopp uppströms mätpunkten.

Det största problemet med analysen var bristerna i regnmätningen. Nederbörds-mätaren var placerad på en pumpstation ca 5 km söder om Ekängen. Data slogs ihop och lagrades enbart som timvärden, vilket gjorde det nödvändigt att uppskatta en fördelning av regnintensitet under timmen.

Bas- och spillflöden, samt variationen hos spillvattenflödet gick bra att få fram ur flödesdata från fältmätningarna.

Analys av mätdata av flöde och regn gjordes i MS Excel. Data lästes in till Excel i form av textfiler.

Erfarenheter från modellverifieringen av mätdata

Ledningssystemet visade sig vara komplext och det hade behövts många mätserier från olika årstider, grundvattensituationer mm för att kunna få en heltäckande bild av funktionen hos nätet vid olika förhållanden. Eftersom källaröversvämningarna företrädesvis hade inträffat i samband med häftiga sommarregn, prioriterades verifieringar mot sådana regn. Mätperioden förlades också till sommar och höst.

Belastningen av anslutna hårdgjorda ytor visade sig vara mindre utifrån flödesmätningarna än vad den inledande teoretiska beräkningen givit.

Bristerna i regndata gjorde dock modellverifieringen med avseende på nederbördspåverkan osäker. Uppskattningar av regnintensitetens variation under en timme fick göras, delvis utgående från iakttagelser från personal boende eller i tjänst i området.

Uppmätta nivåer i vissa brunnar vid torr- och regnväderssituationer har använts för att få en uppfattning om modellens överensstämmelse med verkligheten. Pumpdata nedströms problemområdet har också utnyttjats för att verifiera modellen med avseende på flöde.

Bräddning har kontrollerats mot händelseregistrering i bräddutloppen.

Flödena har varit lättare att få att stämma än nivåerna i vissa punkter. Omfattande undersökningar av ledningssystemet har genomförts för att försöka hitta orsaker till uppdämningar som inte stöds av modellbeskrivningen. Vissa fel på ledningen har hittats, men egentligen inte tillräckliga för att förklara de noterade förhållandena.

Olika grundvattensituationer under året har visat sig påverka systemet. Flödesmätningarna pågick (naturligtvis) en sommar och höst med ovanligt låga grundvattennivåer. Vårar med hög grundvattennivå innebär en större känslighet för långvarig uppdämning vid lågintensiva regn. Modellen har på försök belastats med ett uppskattat flöde av läck- och dräneringsvatten för att återskapa vårsituationen, men någon verifiering mot flödesmätningar har inte gjorts i detta fall.

Vald lösning

Systemet visade sig vara överbelastat både lokalt och nedströms problemområdet. Grundläggningsförhållandena i Ekängen är svåra med varierande mäktighet av lerlager på berg alternativt morän och med mycket sättningsskänsliga byggnader, vilket påverkat val av lösning mot så små ingrepp som möjligt. Den provisoriska lösningen med sex stycken bräddutlopp till en dagvattenledning, har hållit källarna torra under utredningstiden, men de bräddmängder som den lösningen innebär är inte acceptabla ur miljösynpunkt. Dagvattenledningen är p.g.a. den avstannade dupliceringen inte mycket belastad, varför kapaciteten för bräddning är stor och risken för bakbräddning liten. Backventiler har ändå installerats i bräddutloppen.

De åtgärder som genomförts i Ekängen består dels av en kampanj för att avlasta det kombinerade nätet från regnvatten från fastigheterna, dels en bruten förbindelse mot systemet nedströms, vilket innebär att spillvattnet nu helt pumpas från Ekängen. Att isolera Ekängen genom att proppa en ledningssträcka, har den fördelen att spillvatten nedströms ifrån inte kan strömma bakåt och bidra till bräddvolymerna från Ekängens bräddutlopp. Bräddutloppen är kvar och syftet med lösningen är att klara ett 20-årsregn utan källaröversvämningar med minimala bräddningar. Bräddning sker med start vid ett 3-årsregn, till skillnad från den tidigare provisoriska lösningen med bräddning ca fyra gånger årligen.

Slutsats

Uppbyggnaden av MOUSE-modellen har gett möjlighet till att ta fram ett beslutsunderlag med effekterna av varje åtgärdsförslag analyserade. Hur olika åtgärdsförslag skulle uppfylla villkoren, i fråga om frekvens av källaröversvämningar och bräddningar, hade varit svårt att testa utan modellen.

Arbetet med flödesmätningar, övriga undersökningar på nätet och modelluppbyggnaden har ökat vår förståelse av problemen på ledningsnätet, men även för vilket arbete och utrustning som krävs för att få ett tillförlitligt underlag. Den största lärdomen att ta med från arbetet med Ekängen till nästa liknande projekt, är att ha en regnmätare närmare mätområdet, med en tidsupplösning av registervärden på minutnivå. Vidare kan sägas att problembilden växte under utredningstiden. Från att ha varit ett lokalt problem, visade Ekängen sig bara vara den svagaste länken i ett stort system med funktionsproblem. Erfarenheten av det skulle kunna vara att lägga upp en utredning så att den utvecklingsmöjligheten beaktas i högre grad. Med facit i hand kan sägas att flödesmätningarna skulle ha varit mer omfattande och täckt in större delar av systemet. För att samla in mer flödesdata skulle fältmätningarna ha återupptagits våren året efter den aktuella mätperioden. Nu gjordes istället avgränsningen att problemen skulle lösas lokalt för Ekängen, mest beroende på tidsbegränsningar.

Mätningar i avloppsnätet samt principer för verifiering av MOUSE-modeller i Laholms kommun

Kontaktperson: Jan-Herman Cleyndert
Tekniska kontoret
Laholms kommun

Bakgrund till utförda modellprojekt

Modellberäkningar med MOUSE-systemet har utförts för avloppssystemen till två avloppsverk i Laholms kommun, Hedhusets ARV och Ängstorps ARV. Till Hedhuset avleds avloppsvatten från kustområdet med badorterna Mellbystrand och Skummeslövstrand samt även från Båstad (egen kommun). Ängstorps ARV behandlar vatten från Laholm med omnejd, se karta.



Projektets tillkomst var beroende av att Länsstyrelsen i Halland för tillståndsprövning i samband med utbyggnad för kväverening bland annat krävde saneringsplaner för avlopp till de båda verken när det gällde bräddningar och mängden ovidkommande vatten som belastade till dessa. Vidare fanns politiska krav att bräddning av orenat avloppsvatten inte skulle förekomma vid kusten. Med modeller som verktyg avsågs att dels kunna ge en bild av funktionen hos dagens system men även att testa vilken effekt olika åtgärdsförslag skulle kunna innebära för bräddsituationen, översvämningsrisker och flöden till reningsverken.

Mättnings- och verifieringsarbetena är utförda under perioderna:

1. Slutet av 1991 fram till 1993 för systemet inom Laholm till Ängstorps ARV.
2. December 1993 till September 1994 för systemet inom Skummeslöv/Mellbystrand till Hedhusets ARV.
3. Mars 1995 till Maj 1995 för uppföljning och utvärdering av utförda åtgärder

Utförda mätningar

De utförda mättningsarbetena krävde ett noggrant val av mätmetoder och mätpunkter för flödes- och regnmätning vilket visade sig vara ett ganska svårt arbete och inte utan problem. Flödesmätning på näten har huvudsakligen skett med v/h-mätare av flera fabrikat. I några pumpstationer har pumploggrar registrerat pumparnas start- och stopptider. Vid bräddavloppen registrerades antal bräddningar och summa tid i batteridrivna mätinstrument med vippor som nivågivare.

Det visade sig att det tillgängliga kartmaterialet många gånger lämnade mycket i övrigt att önska vilket bl a gjorde att de mätpunkter i avloppsnätet som valts utifrån kartan oftast inte var så lämpliga och alternativa brunnar fick inventeras i fält. Det krävs god framförhållning när det gäller personalresurser i de stora mätkampanjerna.

Analys av mätdata

Vid analys av nederbördspåverkan utifrån registrerade värden på nederbörd och flöde konstaterades i Laholm att den beräknade fiktivt hårdgjorda ytan blev avsevärt större än vad som kunde förklaras med kända ytor. Senare kontroller på nätet visade att Lagan vid nivåökning i samband med regn ledde in åvatten bakvägen till spillvattennätet via bräddavlopp. När detta fel åtgärdats minskade den snabba nederbördspåverkan (och därmed den fiktivt hårdgjorda ytan) kraftigt.

Flödesmättrännen vid Hedhusets ARV visade sig vid kontroll inte vara utformad enligt normerna. För att kontrollera att fördelningen mellan avloppsmängderna från Laholms respektive Båstads kommuner var rimlig installerades induktiva flödesmätare på de två inloppen mot verket. Flera flödeskontroller har sedan gjorts även med två typer av v/h-mätare och en erfarenhet av detta är att det är svårt att utvärdera vilken mätare som egentligen visar det sannaste värdet. Avvikelse på i storleksordningen 10 % får anses ingå i den normala felmarginalen vid flödesmätningar i avloppsledningar.

Åtgärder och utvärdering

Åtgärdsförslagen efter de första modellberäkningarna var av skiftande slag såsom bortkoppling av takytor, relining av ledningar och fogtätning av brunnar och ledningar.

Fogtätning och relining gav god effekt för minskad läck- och dränvattenpåverkan på nätet, bl a på sträckor där grundvattnet påverkades av nivån i Lagan.

Kalibrering och verifiering av mätdata under 1995 och uppföljningen av effekten av utförda åtgärder blev svårare än vad som var väntat. Gamla parametrar som använts i modellerna gav inte riktigt överensstämmelse mellan mätning och modellberäkningar. Annan mätutrustning och delvis andra mätplatser användes än vid de första mätningarna och kalibrerings- och verifieringsarbetet blev betydligt mer omfattande än förväntat. De modeller som konstruerades 1991-1993 innehöll heller ingen hydrologisk avrinningsberäkning (MouseNAM) utan beräknade endast avrinning från fiktivt hårdgjorda ytor och hade ingen snösmältningsberäkning.

Av de inventerade anslutna ytorna visade sig ca 40 % ligga på privat mark och kommunen har försökt få dessa ytor bortkopplade i möjlig utsträckning.

Vid Laholms största bräddpunkt kunde bräddningarna nästan helt elimineras efter åtgärderna. Detta eftersom en konstruerad strypning kunde tas bort och hela flödet släppas vidare till systemet nedströms som inte längre riskerade översvämningsproblem då toppflödesbelastningen minskats kraftigt.

I kustområdet vid Skummeslöv innebar perioder med högt grundvatten att många fastigheter fick problem med vatten mot husgrunden. Detta gav även höga flöden i spillvattennätet dit dräneringarna kopplades. För att åtgärda detta anlades dämnda dräneringsstråk vid husen som har fungerat bra och håller nere de högsta grundvattennivåerna.

Erfarenheter från Örnsköldsviks kommun av mätningar i avloppsnätet.

Kontaktperson: Jens Östlund
Tekniska kontoret
Örnsköldsviks kommun

Fakta om Knorthems ledningsnät

- Längd spillvatten : 57 km
- Längd dagvatten : 48 km
- Längd tryckledning : 4 km
- Bräddpunkter : 20 st
- Pumpstationer : 11 st
- Anslutna pe : 15900 st
- Anslutna hårdgjorda ytor : 10 ha (in-
venterat)
- Bruttoarea : 1000 ha

Bakgrund till projektet

Villkoren för reningsverket i centrala Örnsköldsvik kallat Knorthem skulle omprövas för nya krav på fosfor och BOD. Vi insåg ganska snart att de nya kraven som skulle komma att gälla var svåra att klara utan att göra ombyggnader i reningsverket eller minska mängden vatten till reningsverket.

En diskussion inleddes med tillsynsmyndigheten om alternativa lösningar, som resulterade i att kommunen under en dispensperiod på 5 år fick bedriva rening av avloppsvatten efter de tidigare kraven på fosfor och BOD och samtidigt göra åtgärder på det tillhörande ledningsnätet utifrån en utredning som tidigare hade utförts på ledningsnätet. Åtgärder skulle göras för 2,4 milj. kr/år under dispensperioden.

Syften med modellarbetet

Syftet med modellarbetet var i första hand att få svar på frågan: Arbetar vi efter rätt åtgärdsstrategi? Syftet var också att få ett underlag till den pågående åtgärdsplaneringen och att vi skulle få ökad kunskap om metoder att identifiera problem och bedöma effekter av planerade åtgärder.

Efter att ha arbetat fram en mousemodell för Knorthems avloppsledningsnät med tillhörande pumpstationer och bräddpunkter kunde vi konstatera att de syften vi hade med modellarbetet hade uppfyllts. Vi arbetade efter rätt strategi, åtgärdsförslag på ledningsnätet hade framkommit och vi hade betydligt större kunskap om hur man kunde identifiera problem på ledningsnätet.

Med facit i hand kan man ställas inför frågan om det var modellen som sådan som bidragit till att syftet uppnåts eller om det var själva processen i arbetet och sättet man blir tvungen att arbeta på för att åstadkomma en trovärdig modell som gett oss större kunskap om ledningsnätet och flödesförhållandet, idéer om åtgärdsförslag och utifrån praktiskt handhavande skaffat oss kunskaper om metoder att identifiera problem på ledningsnätet.

Utförda mätningar

Mätningar i avloppsledningar och pumpstationer genomfördes under månaderna maj till oktober, även regnmätare placerades ut och mer noggrann loggning av flödet i reningsverket utfördes.

Bräddmätare var sedan tidigare utplacerade i de kända bräddpunkterna och lästes av vid varje tömning av flödesmätarna. I några bräddpunkter sattes extra mätare ut som kunde mäta högsta dämningnivån sk ”HydroMax” mätare. Två av bräddpunkterna sammanföll med flödesmätpunkter så vi kunde utnyttja nivåmätaren i flödesmätaren till att registrera bräddningar.

Planeringen av mätkampanjen startades med att dela in hela tillrinningsområdet i mindre delområden och sedan dela in dessa delområden i mer detaljerade mätområden som hade en naturlig samlingspunkt via en pumpstation eller annan avgreningspunkt (se bifogade översikter).

Utifrån mätområdesindelningen fastlades hur många pumpstationsloggrar respektive flödesmätare för öppna avloppsledningar som skulle appliceras ute på ledningsnätet. Resultatet blev 5 st pumpstationsloggrar och 6 st flödesmätare för öppna avloppsledningar. Mätkampanjen kompletterades med nattmätningar för att fastställa basflödet i olika delområden.

Vad fungerade bra ?

- Varje delområde lades in i debiteringssystemet för vatten som förenklade utsökningen av vattenförbrukningen. Det underlättar även nu när vi gör uppföljning av nycketal för olika ändamål.
- Utformning av rutiner och blanketter för tömning och analys av mätdata utformades för att säkerställa kvaliteten på mätningarna.
- Nattmätningar utfördes för att kolla upp basflöden i olika delområden med hjälp av en speciell flödesmätare. Mätaren appliceras i ledningen utan att man behöver gå ner i brunnen och momentanflödet läses av direkt och dokumenteras på ett nattflödesprotokoll (se bifogat protokoll).
- Okulär kontroll av bräddningar och flöden i mätpunkter i samband med nederbörd av mycket engagerad personal.

Vad fungerade mindre bra ?

- Problem att mäta med v/h mätare i delområden med stora flödesvariationer under dygnet, eftersom mätsonden kräver att en viss vätskenivå måste finnas i röret för att flödet skall kunna mätas.
- Problem med v/h mätare i ledningar som har dålig självrensning, eftersom mätsonden slammar igen och tappar hastighetsmätningen.
- Svårigheter att hitta bra mätpunkter med lämplig lutning och utformning p.g.a. väldigt stora lutningar uppströms i delområdena och väldigt små lutningar närmare reningsverket.
- Att handha flera flödesmätarfabrikat eftersom varje fabrikat har sitt eget unika sätt att tömma data på, kalibreras och presentera mätresultat.

Analys av mätdata

De dataprogram som användes för analys av mätdata var Autograf, Veagraf och Nyckel som bifogades med VA-FORSK rapporten

”Bedömningsgrunder för ovidkommande vatten i avloppsnät”.

De svårigheter som uppstod var bl.a. att få en regnserie under mätperioden som kunde användas för att beräkna nyckeltal och analysera nederbördspåverkan. Regnen får inte vara för små så flödespåverkan blir för liten. Regnen ska heller inte vara för stora så att man tappar flöden via bräddpunkter eller att pumpstationerna går kontinuerligt under längre perioder, samtidigt bör heller inte regnen komma för tätt efter varandra beroende på vilka parametrar man ska analysera.

Kalibrering och verifiering

Det vi främst ville verifiera var storleken på anslutna hårdgjorda ytor och till vilka ledningssträckor största delen ytor var anslutna. Vi ville även få svar på var de s.k. flaskhalsarna i ledningsnätet fanns.

Efter att vi utfört stuprörsinventeringar och uppmätningar av ytorna i avrinningsområdet kunde vi konstatera att det stämde bra överens mellan modell och inventering utifrån vilka ledningssträckor som hade största delen hårdgjorda ytor anslutna. Det som stämde mindre bra var storleken på anslutna ytor eftersom det visade sig att inventerade ytor var betydligt större än de beräknade.

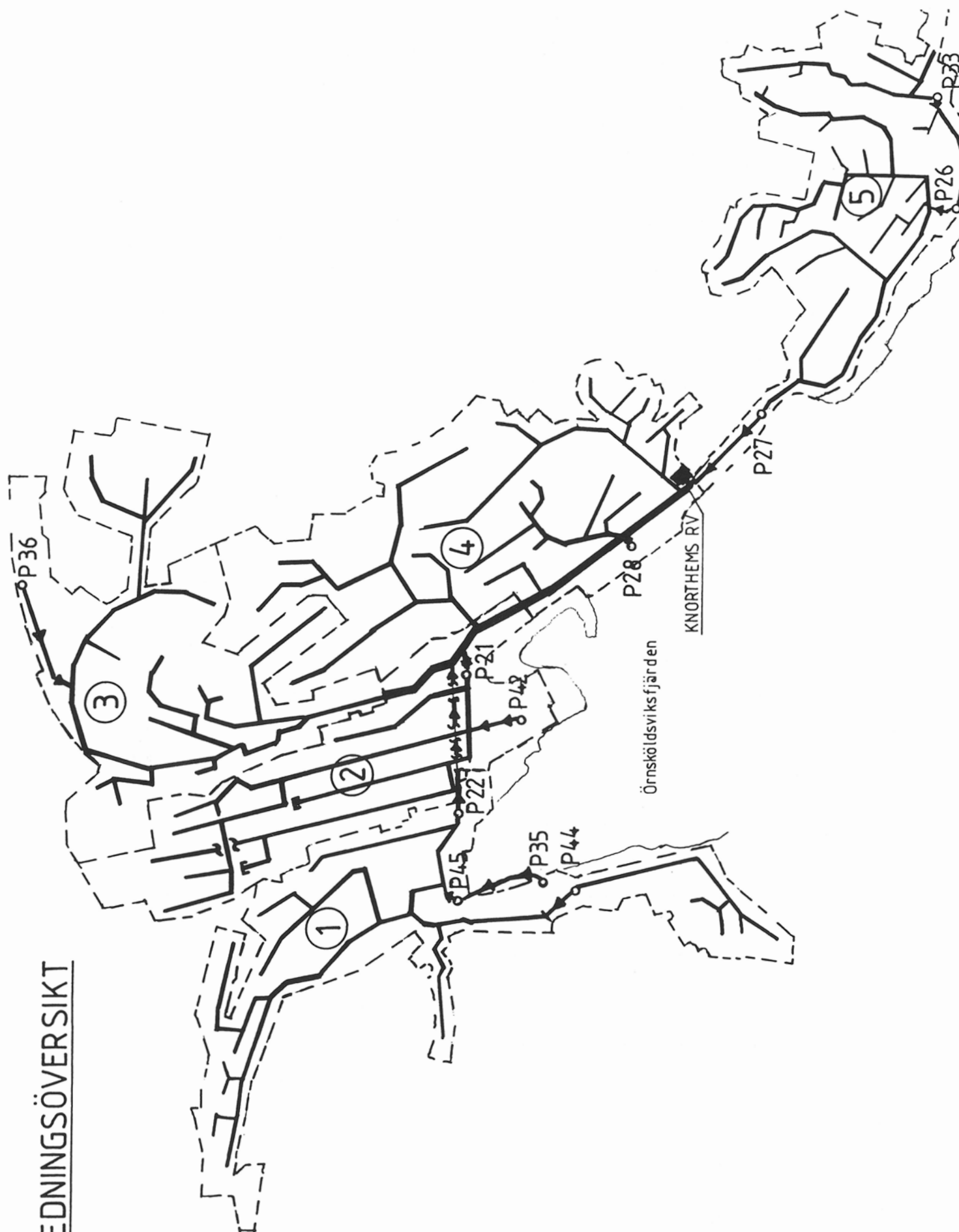
De hydrauliska beräkningar som utfördes i modellen stämde ganska bra jämfört med bräddmätningar och nivåmätningar som gjordes i praktiken.

Åtgärdsförslag efter modellberäkning

De åtgärdsförslag som kom fram efter modellarbetet var:

- Lägga dagvattenledning uppströms Verkstadsgatan och i Villagatan för att separera dagvattnet från avloppet.
- Dimensionsökning av avloppsledning uppströms P22 för att minska bräddningen.
- Kapacitetsöka pumpstation P22 dels för att minska bräddningen uppströms men även för att hålla självrensning av den överdimensionerande tryckledningen.
- Ombyggnad av en bräddpunkt vid P22 för att stoppa bakvatten.
- Proppning av en befintlig bräddpunkt vid reningsverket.
- Ombyggnad av inkommande ledning till P21 för att få bort baklut.

LEDNINGSÖVERSIKT



PUMPSTATIONSOMRÅDE P**OMRÅDESDATA:**Vattenförbrukning m³/år

Spillvattenledning lm

MÄTPERIOD:Vattenförbrukning: m³Tillrinning m³

Nederbörd mm

NYCKELTAL

Basflöde l/s

Inläckage/meter ledning l/m,d

Ansluten hårdgjord yta ha

NYCKELTAL	MEDEL	MAX	MIN
Utspädningsgrad, USG			
Ovidkommande flöde per ledn.längd LDM (l/d,m)			
Total drän.area per ledn.längd TDA (m ² /m)			
Bidragande nederb.area per ledn.längd BNA (m ² /m)			
BNA - dygn 1 (m ² /m)			
BNA - dygn 2 (m ² /m)			
BNA - dygn 3 (m ² /m)			
BNA - dygn 4 (m ² /m)			

DETFLOW

Platsdata:

ADRESS: _____

KARTBLAD: _____

BRUNN: _____

DIAMETER: _____

STARTDATUM: _____

STOPPDATUM: _____

BESÖKSDATUM

[illegible]

Förslag till checklista vid planering och genomförande av mätprojekt i samband med utredningar om avloppssystem

1 Inledning

Detta dokument är avsett att användas vid planering och/eller upphandling av mätprojekt i samband med utredningar om avloppssystem. Dokumentet innehåller förslag till krav som bör ställas på mätdatainsamlingen och vad som bör framgå/klargöras i samband med planering och upphandling. Vid framtagning av programhandling eller anbudsunderlag inför upphandling av mättjänster kan dokumentet nyttjas som checklista.

2 Definitioner

I detta dokument gäller följande definitioner:

<i>Rådata</i>	Ursprungliga, okorrigerade, data i den form som de ser ut vid tömning av mätutrustning/logger
<i>Primärdata</i>	Kvalitetskontrollerade rådata som eventuellt genomgått filtrering eller korrigering och därefter kan användas till att beräkna slutdata
<i>Slutdata</i>	Beräknade data, t ex flöde beräknat ur nivå- och hastighetsdata

3 Mätuppdragets bakgrund, huvudsakliga syften och omfattning

Bakgrunden till mätuppdraget och dess huvudsakliga syften beskrivs. Beskrivningen bör vara så tydlig att den som ska utföra uppdraget kan avgöra vad som är speciellt viktigt, t ex att utifrån mätdata kunna beräkna storleken på snabba avrinningsytor inom vissa delområden etc.

Uppdragets omfattning och avgränsning anges. Det ska framgå under vilken tidsperiod mätningarna primärt ska utföras och om mätperioden kan bli längre (eller kortare), t ex beroende på när speciella flödessituationer inträffar eller att mätperioden bör innehålla minst ett visst antal regnhändelser som uppfyller vissa krav.

Vid momentan mätning (t ex nattmätning) anges vid vilken klimatsituation och tid på dygnet som mätning ska utföras.

4 Mätplatser och mätmetoder/mätutrustning

Primärt förslag till mätplatser anges på översiktligt kartmaterial där föreslagna mätmetod på respektive plats redovisas. Speciella syften med enskilda mätplatser anges för att underlätta val av alternativ för de mätpunkter som vid mätplatskontroll visar sig dåliga/oanvändbara. Helst anges även förslag på reservpunkter. Om krav ställs på utrustning av speciell typ eller fabrikat ska detta anges.

5 Kvalitetskrav

Alla levererade mätdata ska vara kvalitetskontrollerade. Kontrollen bör utföras löpande under mätperioden så att eventuella fel kan upptäckas och åtgärdas tidigt. Ev kan krav ställas på minst x % kontinuerliga mätserier (utan avbrott).

6 Tillsyn, skötsel och datatömning

Ansvar och rutinerna för tillsyn, skötsel och datatömning av registrerande mätare klargörs. Checklista/journalblad bör föras för varje mätare där noteringar om t ex batteristatus, återstående loggerminne, kalibreringsuppgifter, problem och utförda åtgärder noteras vid varje tillsyn.

Ansvar för att driftpersonalen informeras klargörs. Alla installationer i ledningar och pumpstationer ska vara kända av driftpersonalen, bl a för att undvika skador på utrustningen (t ex vid ledningsrensning) och att pumparnas till-/frågnivåer ej ändras utan att detta noteras vid pumpstationsmätning.

Protokoll eller anteckningar skall upprättas för varje mätpunkt med uppgifter som är väsentliga för mätningarnas tillförlitlighet och för beräkning av rådata till slutdata (t ex sedimentnivå i ledning). En kartsnitt över varje mätpunkts utformning.

7 Rutiner och ansvar för löpande kontroll av mätdata

Insamlade mätdata bör löpande kontrolleras under mätperioden, kontrollen avser både mätarens tillgänglighet (att värden lagras) och rimlighetsbedömning av registrerade värden. Rutiner för hur detta ska ske upprättas.

8 Behov av övriga uppgifter

Behovet och ansvaret för framtagning av eventuella övriga data för utvärdering och nyckeltalsberäkningar (t ex områdesvisa uppgifter på ledningslängd, spillvattenmängd, anslutna p.e. etc) anges.

9 Dokumentation och redovisning av mätprojekt

Redovisningen av mätprojektet innefattar beskrivning av mätmetoder och mätplatser, hanteringen av mätdata samt redovisning av mätdata. I redovisningen av mätprojekt bör alltid framgå:

9.1 *Bakgrund och syfte*

Bakgrunden till mätuppdraget och dess huvudsakliga syften beskrivs. Uppdragets omfattning och avgränsning anges.

9.2 *Mätmetoder och mätplatser*

En översiktskarta med läget för och benämningen på samtliga mätpunkter.

Beskrivning av använda mätmetoder och typ/fabrikat på utrustningen samt vid vilken mätplats som respektive mätartyp använts.

Uppgifter som behövs för att beräkna slutdata utifrån registrerade rådata eller primärdata, t ex ledningsdimension, pumpsumpsvolym etc.

Detaljkartor eller skisser över varje mätpunkts utformning. Noteringar om iakttagelser av vikt för bedömningen av mätresultaten vid respektive mätpunkt.

Redovisning av eventuella basfakta som sammanställts i projektet om delområden i avloppssystemet, t ex spillvattenmängd (debiterad vattenmängd), antal meter ledning eller antal p.e. uppströms mätpunkterna.

9.3 *Kvalitetskontroll och kalibrering*

Beskrivning av hur kvalitets-/rimlighetskontroll av mätdata gjorts, t ex med hänvisning till checklistor som bifogas.

9.4 *Korrekationer och perioder med mätdatabortfall*

Datum anges för mätperiod(er) vid respektive mätplats och perioder då mätresultat saknas/inte uppfyller ställda krav.

Korrekationer som utförts för att kompensera för ofullständiga/felaktiga rådata ska anges med tidsintervall, typ av korrektion samt använda konstanter (t ex vid beräkning med Mannings formel då hastighetssignalen fallit bort vid v/h-mätning).

9.5 Redovisning av primärdata och slutdata

Redovisning av alla primärdata och slutdata. Dessa ska primärt tillhandahållas som textfiler på överenskommet media (diskett, CD-ROM etc). I övrigt kan redovisning ske på annat dataformat enligt överenskommelse.

Diagram med mätresultat (tex flödeshydrografer och nederbördsdiagram) redovisas för respektive mätpunkt för hela eller intressanta delar av mätperioden.

9.6 Övriga iakttagelser och driftproblem

Noteringar om iakttagelser av vikt för bedömningen av mätresultaten och för driften av avloppssystemet. T ex noteras kapacitetsnedsättning i ledning eller pumpstation, felkopplingar, driftfel i pumpstation etc.

Perioder med manuell drift av pumpar anges (vid pumpstationsmätning).

Handläggare
Sonja Larsson-McCann

Nederbörd och nederbördsmätning

Allmänt nederbörd

Nederbörd bildas genom att små vattendroppar eller iskristaller växer till i moln, där de nederbördsutlösande processerna är verksamma. Nederbörd bildas och förekommer i samband med fronter, dvs i gränzonen mellan kall- och varmluftsmassor, samt i samband med konvektion, dvs då marken uppvärms och luften hävs till en sådan höjd att kondensation inträffar. Den effektivaste nederbördsbildande processen är knuten till konvektion, dvs den cirkulation som är kopplad till uppvärmning.

Som nederbörd räknas förutom regn och snö även isnålar och hagel i olika form. Dagg, rimfrost, dimfrost mm räknas däremot inte som nederbörd. Nederbördsmängden uttrycks i millimeter (mm). Därmed avses tjockleken av det vattenskikt som nederbörden skulle bildat på en horisontell yta. En millimeter nederbörd motsvarar en liter vatten per kvadratmeter.

Nysnö som faller vid en temperatur av en eller ett par minusgrader och som bildar ett snötäcke med en centimeters tjocklek motsvarar oftast av en nederbördsmängd på ca 1 mm i smält form. Nederbörd i fast form kan dock ha mycket varierande vattenhalt, beroende bl a på den rådande temperaturen.

Mätstationens representativitet för aktuellt område

Nederbörden är en av de meteorologiska parameter som varierar mest även över korta avstånd. Den rumsliga variationen i nederbördsintensitet och mängd blir naturligtvis större under kortvariga, konvektiva regn än vid frontnederbörd. I vårt land är det nästan uteslutande konvektiva regn som är dimensionerande för exempelvis dagvattensystem.

Behovet av areellt nederbördsvärde kan tillfredsställs enkelt genom antagande att en nederbördsmätare "representerar" ett större omkringliggande område. Genast uppstår då frågan: "hur stort område representerar en nederbördsmätare, och är denna storlek konstant eller variabel?"

Glest placerade nederbördsmätare ger naturligtvis bättre arealvärde för nederbörd med bred och jämn utbredning av frontaltyp än för exempelvis åsk- och skurregn. Teoretiskt är nederbördsvärdena som uppmäts i en mätare endast giltiga för en area som är lika med mätarens uppfångningsyta. Om dessa värden används för ett större område uppstår alltid fel.

Frågan om nederbördsjäätarens representativitet måste därför omformuleras till följande: "Hur tätät skall määtarna stå för att felet skall minska till ett för olika problemställningar acceptabelt värde?". Svaret blir givetvis olika för olika problemområden beroende på dess tidskala. Årsnederbördsvärdet beror främst på de globala och regionala faktorer som hänger ihop med klimat, topografi, etc. Däremot beror ett minutintensitetsvärde främst på den lokala situationen och regn- eller åskcellernas utbredning.

I naturliga områden där intressanta tidsskalor rör sig från dagar till år behövs det kanske 1 nederbördsjäätare på 20-100 km² för en acceptabel nivå på felet.

I tätorter, där snabba avrinningsförlöpp kräver observationstider på storleksordningen 1-10 minuter behövs väsentligt fler. Kanske 10-100 gånger tätare nät för att hålla felet på samma nivå.

Kriterier för val av bra mätpunkter

Vid val av plats för määtning av nederbörd måste man ta hänsyn till en mängd olika faktorer.

Lämplig placering för nederbördsjäätaren är på plan och vindskyddad plats. Nederbörden skall obehindrat kunna falla i määtaren från alla håll. Mitt på en större gårdsplan, en öppen plats i en trädgård, park eller skog är exempel på lämpliga placeringar. Määtarens avstånd till närmaste hus, träd eller buske skall vara minst lika stort som föremålets höjd, samtidigt bör den inte stå helt fritt, utan någon som helst inramning. Välj gärna en plats där snötäcket av erfarenhet ligger jämt.

I bebyggda områden är det i allmänhet inte möjligt att uppfylla dessa krav. Här är problemet snarast att undvika direkt olämpliga placeringar. Exempelvis får määtaren inte stå för nära byggnader. Määtningen kan i sådana fall bli helt missvisande i vissa situationer. Vidare kan omgivningen påverka luftströmningen och därmed också den uppmäta nederbördsjäätngen. I regel medför ökande vindhastighet även ökad förlust av uppfångad nederbördsjäätng. Detta innebär att en vindskyddad uppställning bör eftersträvas. Undvik områden där snödrivor bildas eller där snön blåser bort. Uppställning på hustak etc. är inte att rekommendera.

SMHI:s nederbördsjäätare placeras så att höjden från marken till nederbördsjäätlets övre kant blir ca 1,5 m. I snörika trakter ökas höjden tillräckligt så att drivsnö inte kan blåsa in i määtaren. På SMHI arkiveras information om placeringar av de officiella nederbördsstationerna som finns i landet. Denna dokumentation innehåller bl a fotografier tagna med s k fish-eye-optik. Från dessa bilder kan höjdvinkeln till omgivande föremål bestämmas.

Uppmäätning av nederbörd

Uppmäätning av nederbörd sker antingen genom en manuell avläsning eller med hjälp av automatik.

Automatstationer för mätning av nederbörd infördes i större skala i samband med en omfattande omläggning av SMHIs stationsnät 1995/1996. De bemannade realtidsrapporterande stationerna, s k SYNOP-stationer, minskade i antal till förmån för ett stort antal automatiska stationer. Det automatiska nederbördsregistrerande instrument som SMHI nu använder är av märket Geonor, en norsktillverkad mätare. De värden som registreras och lagras vid SMHI från dessa mätningar är nederbörd under 15 minuter, 1 timma, 6 och 12 timmar samt nederbörd under 24 timmar.

Vid SMHIs klimatstationer och bemannade synoptiska stationer görs manuell avläsning av nederbörden. Som instrument används en svensk standardnederbördsmätare av typ SMHI. Denna mätare består av ett uppsamlingskärl av aluminium med ett avdunstningsskydd i form av en tratt. Kannan fångar upp nederbörden på en yta av 200 cm². Samtliga nederbördsmätare av typ SMHI är försedda med en vindskärm, vars övre kant når upp i jämnhöjd med uppsamlingskärllets öppning. Denna skärm dämpar turbulensen i luften omkring uppsamlingskärllet och medverkar till att så mycket som möjligt av snönederbörden hamnar i kärlet. Utan skärmen skulle stora fel uppstå i mätresultaten vid hård vind och snönederbörd. Nederbörd i form av snö, snöblandat regn och hagel måste smältas innan den mäts. I standardutrustningen ingår därför två mätkärl, som vintertid används växelvis. Då mätningen skall ske byts uppsamlingskärlen och det som innehåller nederbörd tas in i ett varmt rum, där snö och isen får smälta.

Systematiska fel vid nederbördsmätning

Vid nederbördsmätning förekommer olika typer av systematiska fel. I en SMHI-rapport, Data rörande Sveriges nederbörds klimat, Normalvärden för perioden 1951-80, beskrivs systematiska fel. Grovt sett ligger den sanna nederbörden runt 10% högre än den uppmätta på bra skyddade mätplatser som i skogsbygder och samhällen, men i riktigt blåsiga miljöer som i havsbandet och på fjället ligger den betydligt högre.

De tre viktigaste systematiska felen är förluster förorsakade av avdunstning, adhesion och vindens turbulens kring mätaren (det aerodynamiska felet). Av dessa tre är det aerodynamiska felet det mest betydelsefulla, men samtidigt det svåraste att bestämma storleken på. I en av WMO (Världsmeteorologorganisationen) utgiven rapport om korrekationer för systematiska fel av nederbörd anges följande värden:

Vindfältsdeformation (aerodynamiska felet):	2-10 % vid flytande nederbörd 10-50 % vid fast nederbörd
Adhesion (vätning av kärlväggar):	2-10 %
Avdunstning:	0-4 %
Stänk (i och ur):	1-2 %
Drivande snö:	okänt

Den stora variansen av främst det aerodynamiska felet beror bl a på nederbördsjäkmätarens, speciellt vindskärmens utförande. Därför är det svårt att generalisera resultat från olika länder och från olika typer av mätare.

Vad gäller vindförlusterna (det aerodynamiska felet) är det inte möjligt att ange generella korrekationer, därför att dessa är instrumentberoende. Vindfelet är också beroende av vilken klimatzon som avses eftersom dessa fel beror på regndroppsspektrum, nederbördens fallhastighet förutom av kärlets och vindskyddets aerodynamiska utformning.

Avdunstningsförlusterna under den varma årstiden har enligt flera försök uppskattats till 1.5 mm/månad för dem månader där månadsmedeltemperaturen överstiger 0°C för den SMHIs lättmetallmätare. Då förutsätts att avdunstningssträtt används. Högre värden på avdunstningen kan sannolikt förekomma, exempelvis om mätaren inte nämnvärt är skyddad av träd och föremål och därför kan bli upphettad under dagar med växlande molnighet och enstaka regnskurar.

Vättningsförlusterna, dvs den mängd vatten som fastnar på tratt, kärlets botten och väggar är i princip lätta att fastställa i laboratorieförsök genom att väga ett torrt kärl och sedan samma kärl efter att en viss mängd vatten tömts i och sedan ur. Sådana försök har gett till resultat att i medeltal fastnar 0,25 mm per mätning. Vättningsförlustens storlek har för Sveriges del beräknats till mellan 30 och 40 mm per år.

SMHIs mätstationer

I SMHIs arkiv finns en stor mängd rapporter med dagliga nederbördsjäkmätningar. Antalet platser i Sverige, där nederbördsjäkmätningar utförts under kortare eller längre tidsperioder, är minst ett par tusen. Dessa observationer finns lagrade i SMHI arkiv i Norrköping. Data från 1961 och till dags dato finns också lagrade i en databas vid SMHI och är därigenom lättillgänglig. Data lagras löpande i denna databas. Förutom dygnsvärden finns även månadssummor lagrade. För ett urval av stationer finns även 12-timmarsvärden. Från 1995 började SMHIs nya observationssystem, OBS2000, att implementeras. För automatstationerna finns nu även 1-timmarsvärden lagrade och lättillgängliga. Även ackumulerad nederbörd för 15-minuter finns för automatstationerna. Lagringsättet i dagläget gör att de är svåra att plocka fram, men möjligheten finns.

Stationsnätet förändras hela tiden. Stationer läggs ned och nya tillkommer. I bilagda karta visas aktuellt stationsnät 1999-0?-?? för olika stationstyper. I tabell nedan ges en kortfattad beskrivning av vilka data dessa stationer ger.

	Antal obsar per dygn	Nederbörd	Temperatur	Snödjup	Övrigt, ex vind, fukt, väder
Manuell väderstation	8	Ja	Ja	Ja	Ja
Automatisk väderstation	24	Ja	Ja		Ja
Enkel automatstation	24		Ja		Ev. vind
Realtidsrapp. Klimatstation	2-3	Ja	Ja		
Temp- och nederbördsstation	2-3	Ja	Ja		
Nederbördsstation	1	Ja			

Andra typer av nederbördsinformation

Väderradar

Väderradar finns numer så att de täcker in större delen av landet. Radarbilden visar förekomst och även intensiteten av nederbörd. Varje radar bevakar ett område med 240 km radie. Nya radarbilder produceras varje kvart. Man kan alltså ständigt följa nederbördens läge, intensitet och utveckling. SMHI kan leverera dessa bilder till kunder i stort sett i realtid. Bilderna lagras också i SMHIs databaser och kan plocka ut för användning vid senare tillfälle.

Mesan

SMHIs observationssystem har, som tidigare nämnt, förändrats markant. Radarnätet har byggts ut till att täcka en stor del av landet och nya metoder för tolkning av satellitdata har tagits fram. Inte minst har det synoptiska nätet i Sverige ändrats. Från att i stort sett ha bestått av manuellt utförda observationer är det numera mer eller mindre automatiserat. Detta ger nya förutsättningar för objektiva analyser, t ex har fjärranalysdata inte tidigare utnyttjats i någon större utsträckning.

Analyser ger en möjlighet att på ett konsistent sätt och så optimalt som möjligt kombinera information från ett antal olika observationssystem som satellit, radar, automatstationer, klimatstationer samt att samtidigt tillgodogöra sig den fysikaliskt konsistenta information som prognosmodeller producerar.

MESAN var ett projekt för att ta fram en metod för analyser av olika element (MESAN, Mesoskalig analys, Lars Häggmark och Karl-Ivar Ivarsson). Dessa analyser görs nu rutinmässigt sedan 1997 och ger värden även på platser där observationer saknas och värdena avser medelvärden över områden på omkring 10 x 10 km.

Analyserna i MESAN bygger på optimal interpolation, eller som den också kallas, statistisk interpolation. Metoden används mycket i meteorologiska sammanhang, bl a för att skapa initialfält för numeriska prognosmodeller. Metoden innebär att en sk första gissning, ofta en prognos, modifieras med hjälp av olika observationer. Den vikt olika data därvid får beror på deras informationsinnehåll och för observationer blir vikten en funktion av mätnoggrannhet, observationens representativitet och tillgången till annan data. Den kommer också att bero på kvalitén på utgångsfältet, den sk första gissningen. Optimal interpolation har stora likheter med andra statistiska metoder som t ex regressionsanalys. Matematiskt kan analysen beskrivas som en linjärkombination av ett första gissningsvärde i en gridpunkt och observationernas avvikelse från värdet vid observationsplatserna.

Nederbördsanalyser görs för ett stort antal olika integrationstider och med ett dataunderlag vars egenskaper och omfattning varierar starkt. Även analys av snöfall görs. Som första gissning används Hirlam, SMHI:s prognosmodell. Observationer från ett antal olika observationsnät används, radardata, automatstationer, synoptiska stationer (manuella mätningar), klimatstationer (manuella mätningar), Vägverkets VViS-stationer.

Följande nederbörds- och snöparametrar lagras rutinmässigt från MESAN-analyser:

Ackumulerad nederbörd under	1 timme	beräknas och lagras varje timme
”	3 timmar	beräknas och lagras varje timme
”	12 timmar	beräknas och lagras två gånger per dygn
Ackumulerad nysnö under	1 timme	beräknas och lagras varje timme
”	3 timmar	Beräknas och lagras varje timme

Referenser

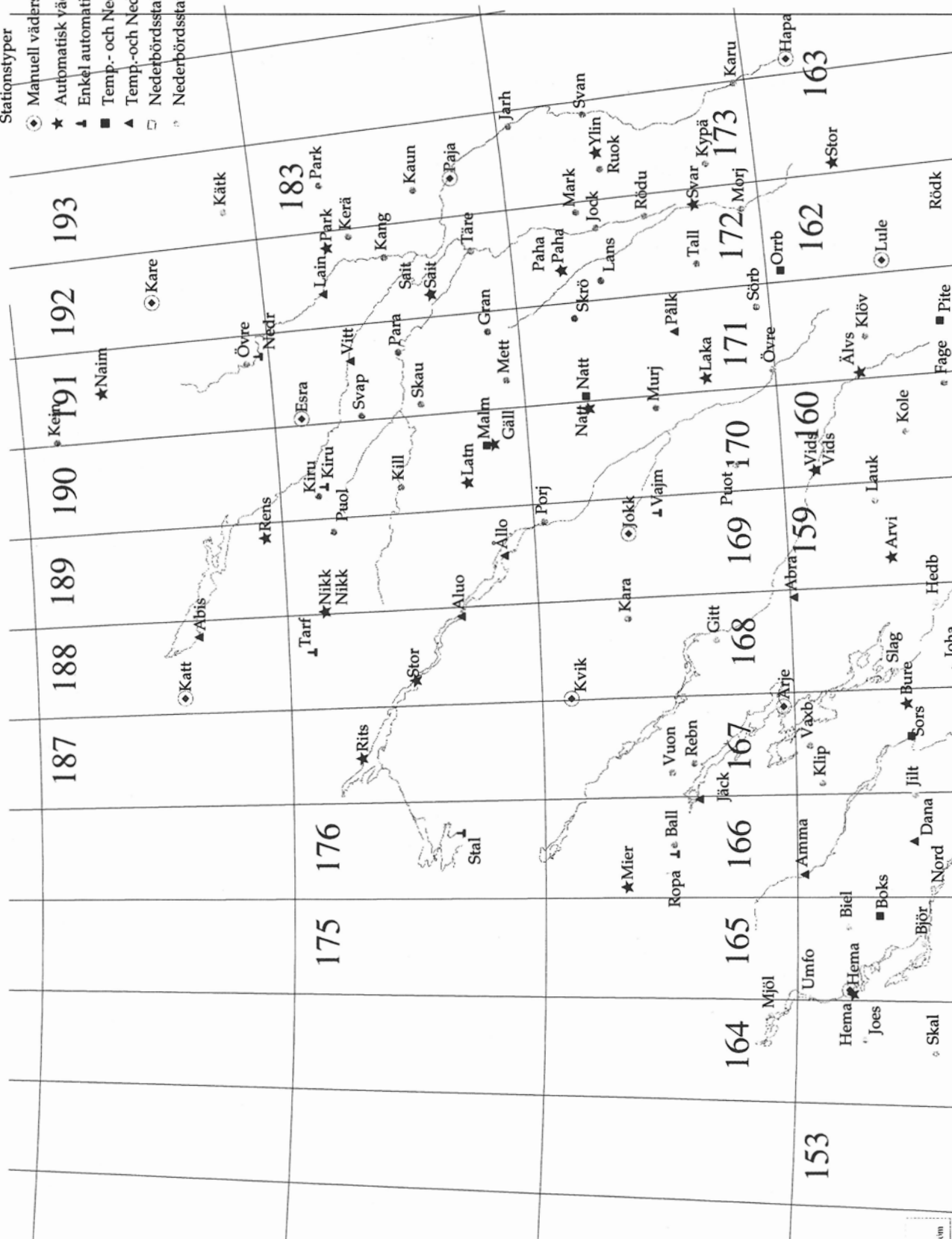
SMHI RMK Nr 75 1977, MESAN, Mesoskalig analys, Lars Häggmark och Karl-Ivar Ivarsson.

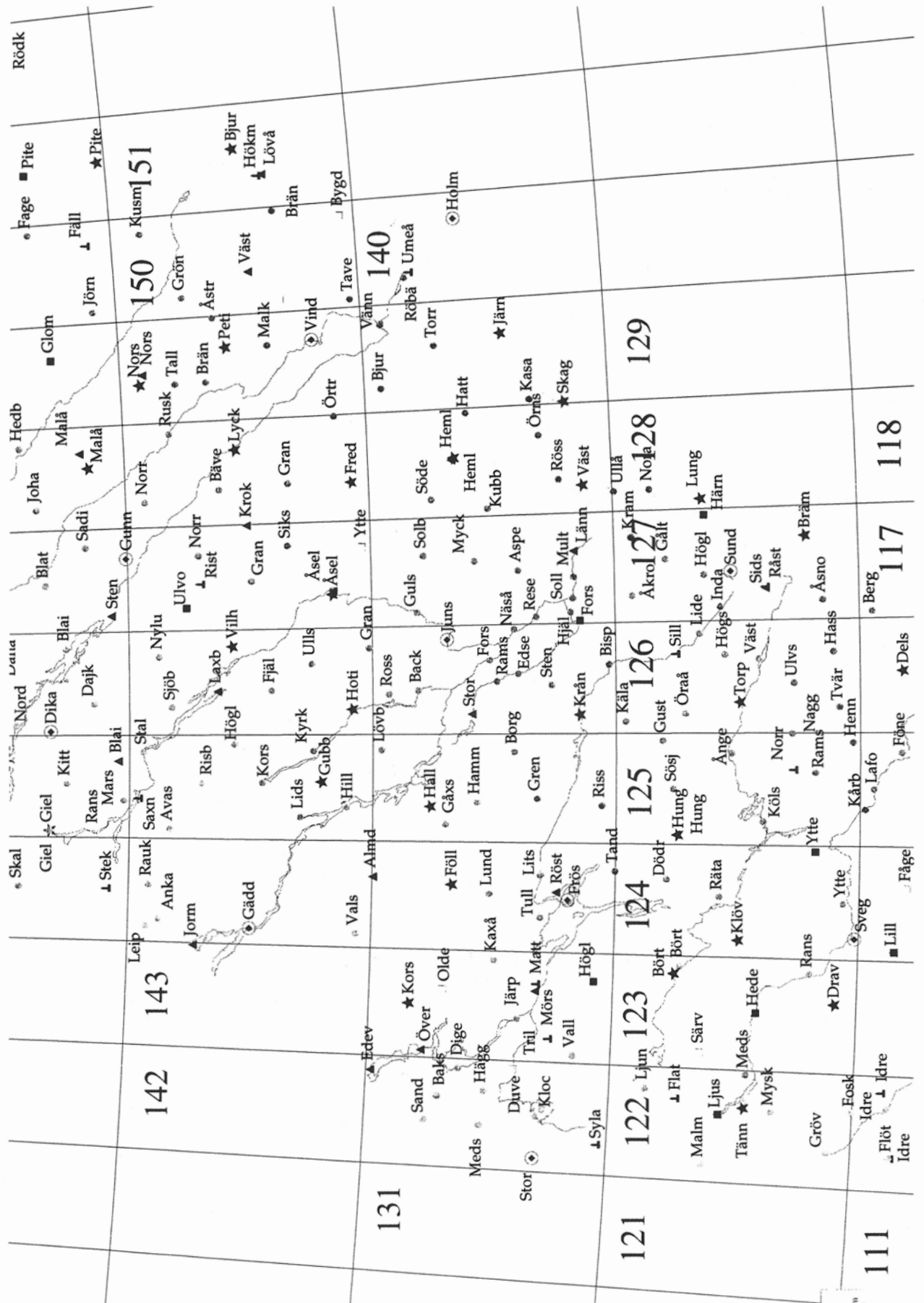
SMHI-rapport 1983, Data rörande Sveriges nederbörds klimat, Normalvärden för perioden 1951-80, Bertil Eriksson.

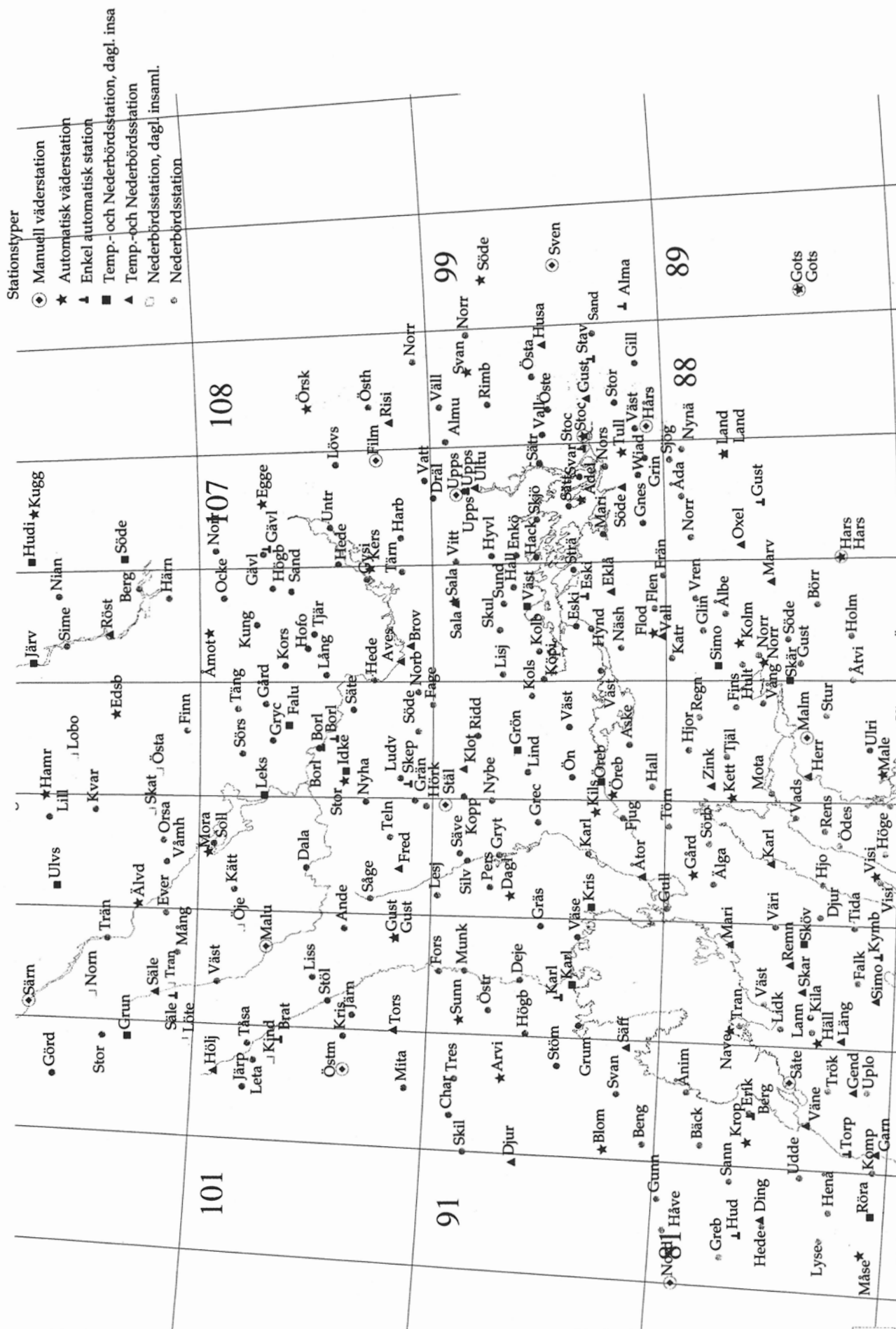
WMO, Operational Hydrology Reports No 21, Methods of correction for systematic error in point precipitation measurement for operational use. WMO Nr 589, 1982.

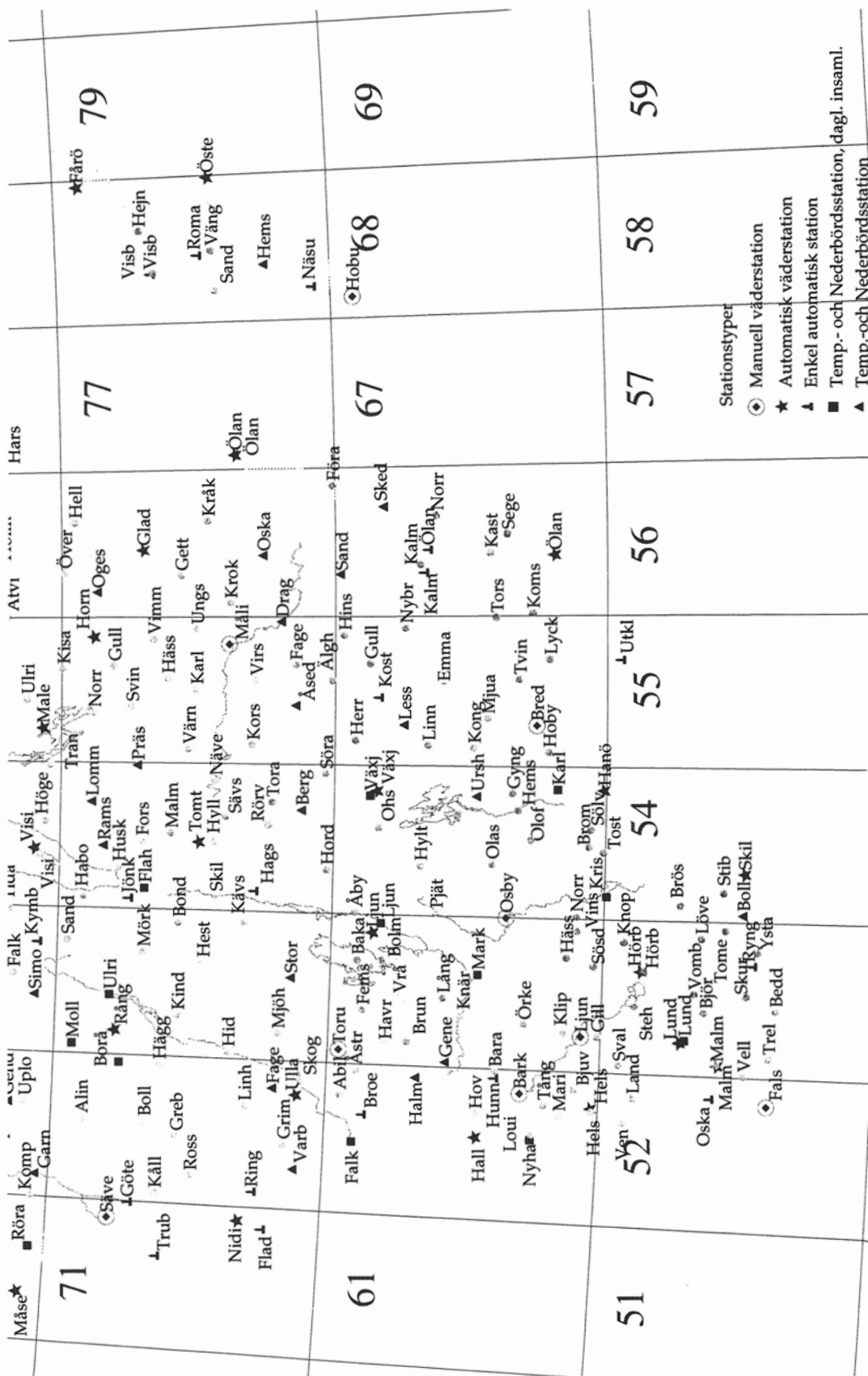
SMHI, Instruktion för nederbörds mätning

- Stationstyper
- Manuell väderstation
 - ★ Automatisk väderstation
 - ▲ Enkel automatisk station
 - Temp.- och Nederbördsstation, dagl. ir
 - ▲ Temp.-och Nederbördsstation
 - Nederbördsstation, dagl. insaml.
 - Nederbördsstation









SMIII
S
Carta Legationis Kartstation

Beskrivning av arbetsgången vid verifiering av en avloppsmodell i MOUSE-systemet

Innehåll Sid

1	Kalibrering	4:1
1.1	Metodik	4:1
1.2	Kalibrering av HD-modulen	4:3
1.3	Kalibrering av NAM-modellen	4:12
1.4	Krav på kalibreringen	4:13
1.5	Exempel på kalibreringsresultat.....	4:14
2	Validering.....	4:16
3	Krav på verifieringsdata och mätpunkter.....	4:17
3.1	Placering av mätpunkter på ledningsnätet.....	4:17
3.2	Krav på nederbördsmätning.....	4:19
3.3	Val av mätmetod	4:20
3.4	Val av mätperiod	4:21

1 Kalibrering

I detta avsnitt kommer kalibrering av MOUSE-modeller att mer noggrannt gås igenom. Det skall dock inte ses som en fullständig handbok i MOUSE-kalibrering utan syftar till att ge insikt i krav, möjligheter och svårigheter vid kalibreringen och på vilket sätt detta påverkar ett MOUSE-projekt samt därmed förknippade mätinsatser. Vi kommer också att skilja på kalibrering av modeller för typstudie A, C, D (kalibrering av HD-modulen) samt för typstudie B (kalibrering av NAM-modulen). Kalibrering av NAM-modulen vilken används i den sistnämnda typen är väsensskilt från kalibrering av den mer fysiskt baserade HD-modulen. En metodik för NAM-kalibrering har också beskrivits i VA-Forskrappport 1993-04.

1.1 Metodik

I de i denna rapport berörda typstudierna är det i princip endast två resultattyper som beräknas och studeras i MOUSE-modellen, och som i grund och botten utgör det samlade beräkningsresultatet, nämligen vattennivå och flöde. Från dessa storheter kan även andra resultat beräknas, såsom medelvattenhastighet och volym i eller transporterad genom systemet. Flöde och nivå kan också mätas direkt eller indirekt i systemet, varför en jämförelse mellan beräknade och uppmätta värden kan låta sig göras.

Vilket är viktigast - nivå eller flöde? Det beror naturligtvis på problemet som studeras. I typstudie A (hydraulisk kapacitet) är det ofta källaröversvämningsproblem som står i fokus - här blir alltså vattennivån i systemet av stor vikt. Den hydrauliska belastningen, dvs flödet, som genererar uppdämning och eventuellt översvämnung måste dock ändå beskrivas väl i modellen, för att ett trovärdigt förhållande mellan belastning och uppdämning skall föreligga i modellen. I fallet med typstudie B (NAM/hydrologi) är vattennivån i systemet i det närmaste ointressant - nivåer kan överhuvudtaget inte beräknas med NAM-modellen.

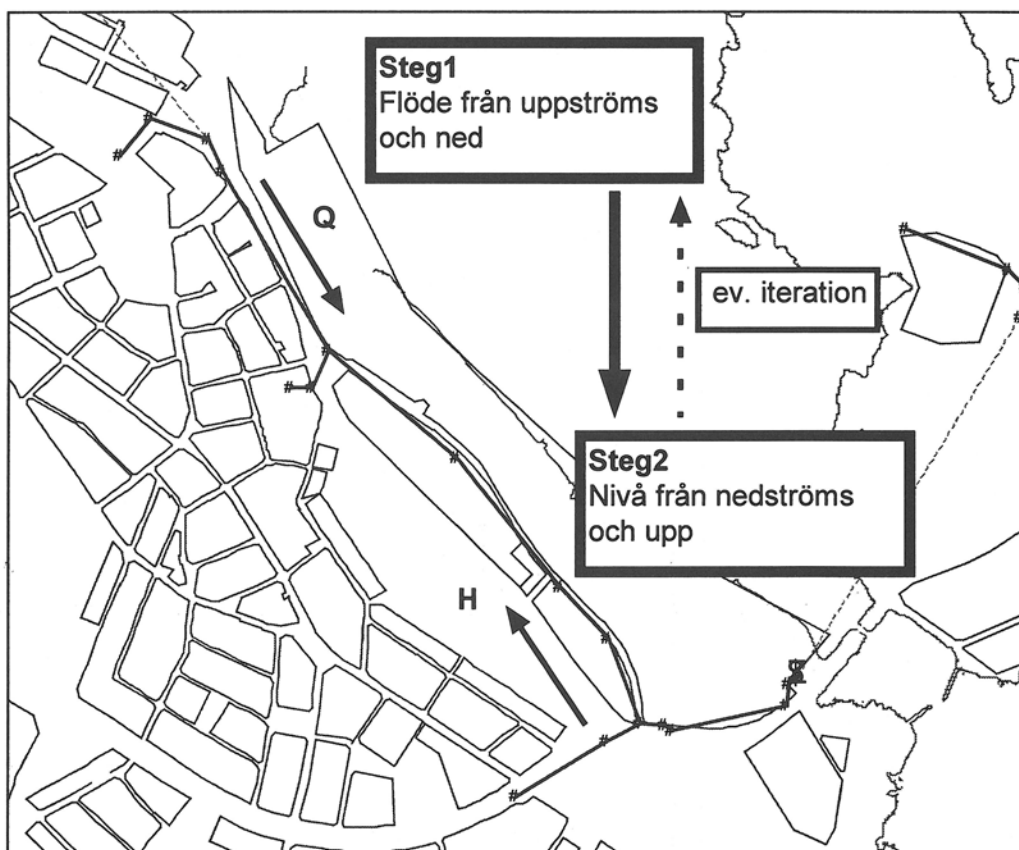
De två storheterna beror ju också av varandra, så att en ändring av modellens parametrar för att kalibrera in t ex flödet också påverkar vattennivån i modellen och vice versa. De justeringar av modellparametrar som görs vid kalibrering av flödet (framförallt ansluten area och koncentrationstid) ger i allmänhet en tydlig påverkan på nivån. De justeringar av modellparametrar som görs vid kalibrering av nivån (framförallt ledningsråhet och brunnsförluster) ger i allmänhet en liten eller obefintlig påverkan på flödet. Koncentrationstiden är den parameter som i störst utsträckning påverkar både nivå och flöde.

En god tumregel är att först försöka göra en första inkalibrering av flödet i systemet, därefter att kalibrera nivåerna i de delar av systemet där det är

viktigt för systemfunktionens skull. Med detta menas nivån i de punkter som kraftigt kan påverka flödesbilden i systemet - t ex vid bräddavlopp, överkopplingar till dagvattensystem, magasin etc. En justering av flödeskalibreringen får därefter göras på nytt, så att kalibreringsprocessen blir iterativ (se figur 1).

Justeringar av modellens parametrar påverkar heller inte enbart lokalt där justeringen sker, utan påverkar även andra delar av systemet i modellen. En ökad nederbördspåverkan i en knutpunkt kommer naturligtvis även påverka hela systemet nedströms om denna punkt. En ökning av strömningsmotståndet lokalt i en ledning kan även medföra höjda dämningarnivåer långt uppströms i systemet. Det är därför lämpligt att gå metodiskt till väga då man skall kalibrera flera punkter i systemet.

Ett förslag till en enkel arbetsmetodik för att minimera ovanstående problem är: vid kalibrering av flöden - börja i uppströmsänden och gå nedströms, vid kalibrering av nivåer - börja i nedströmsänden och gå uppströms i systemet (se figur 1).



Figur 1. Förslag till övergripande metodik i kalibreringsarbete

I system med låg till måttlig nederbördspåverkan blir flödesökning vid mindre regn ofta av samma storleksordning som skillnaden i torrvädersflöde mellan dag och natt. För att dessa regn skall kunna utnyttjas vid kalibreringen är det nödvändigt att basflödet och spillvattenflödet före, under och efter regnet är korrekt beskrivet (se figur 2 nedan). För att erhålla detta krävs dels att

spillvattnet beskrivs med dygnsvariation, dels att det övriga basflödet antingen beskrivs med en kalibrerad MouseNAM-modell eller att storleken på basflödet bestäms och läggs in individuellt för varje regn som skall användas vid kalibreringen.

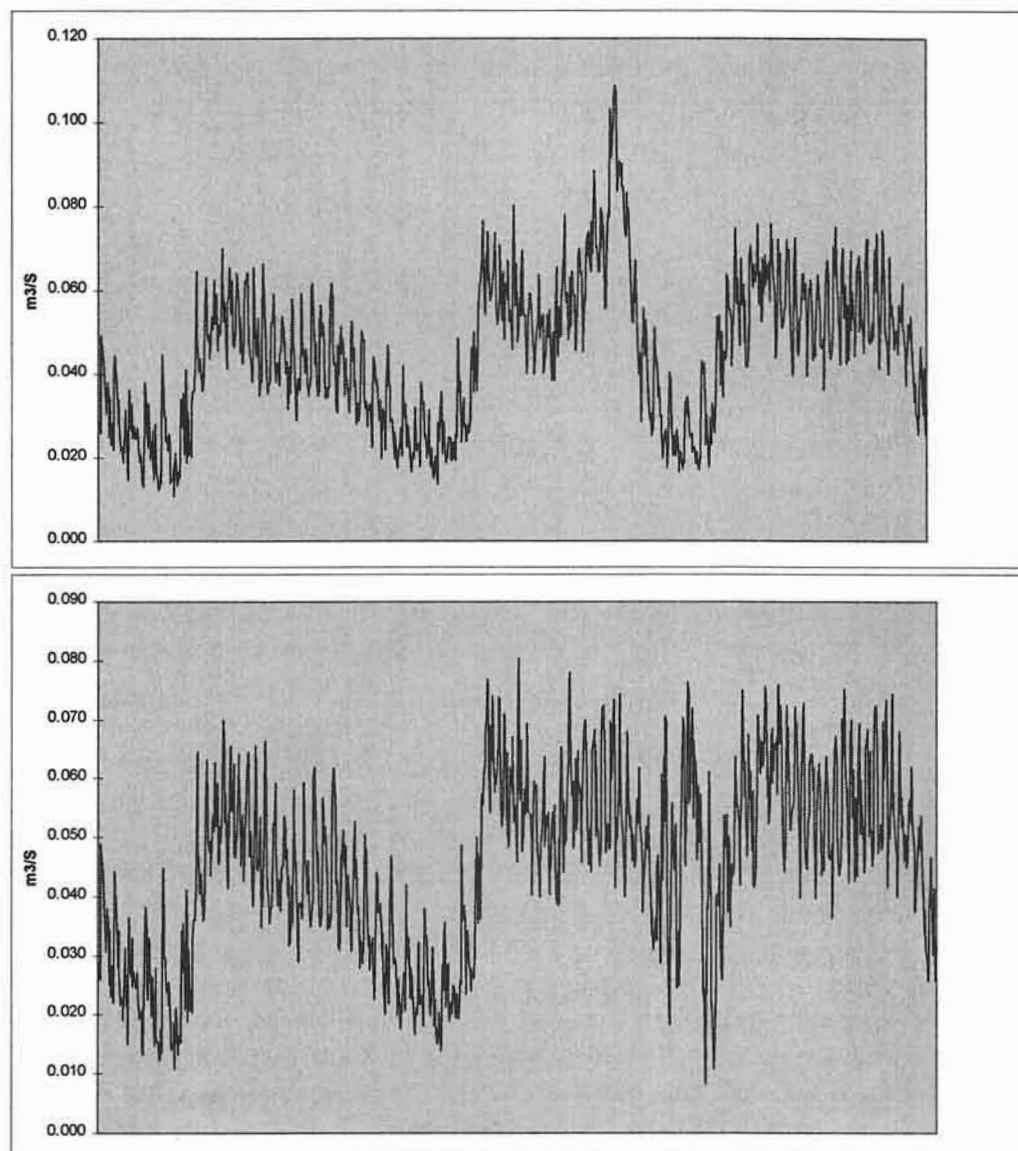


Fig 2. Nederbördstillskottet kan döljas i spillvattenflödets dygnsvariation vid måttlig nederbördspåverkan. I det undre diagrammet har regntillskottet förskjutits så att det infaller när spillvattenflödets dygnsvariation når minimum. En korrekt dygnsvariation i modellen blir här mycket viktig för kalibreringsresultatet.

1.2 Kalibrering av HD-modulen

I typstudie A, C och D är det HD-modulen i MOUSE-systemet som utgör den centrala delen av modellbeskrivningen och som därför behöver kalibreras. Stegen i kalibreringsförfarandet är därför till största delen desamma.

I tabell 1 nedan redovisas de viktigaste momenten och de därtill hörande kalibreringsparametrarna vid kalibrering av HD-modulen. Det uppställda schemat i tabellen kan också utgöra en arbetsgång i kalibreringsproceduren. Observera att inte alla momenten är relevanta vid varje kalibrering - det beror på vilka egenskaper hos modellen man anser vara viktiga att beskriva och studera. I tabellen redovisas även behovet av uppmätta data att kalibrera modellen emot. Det skall påpekas att det här rör sig om ett absolut minsta behov för att kunna göra en kalibrering för modellegenskapen ifråga.

Tabell 1. Viktiga moment i kalibrering av HD-modulen.

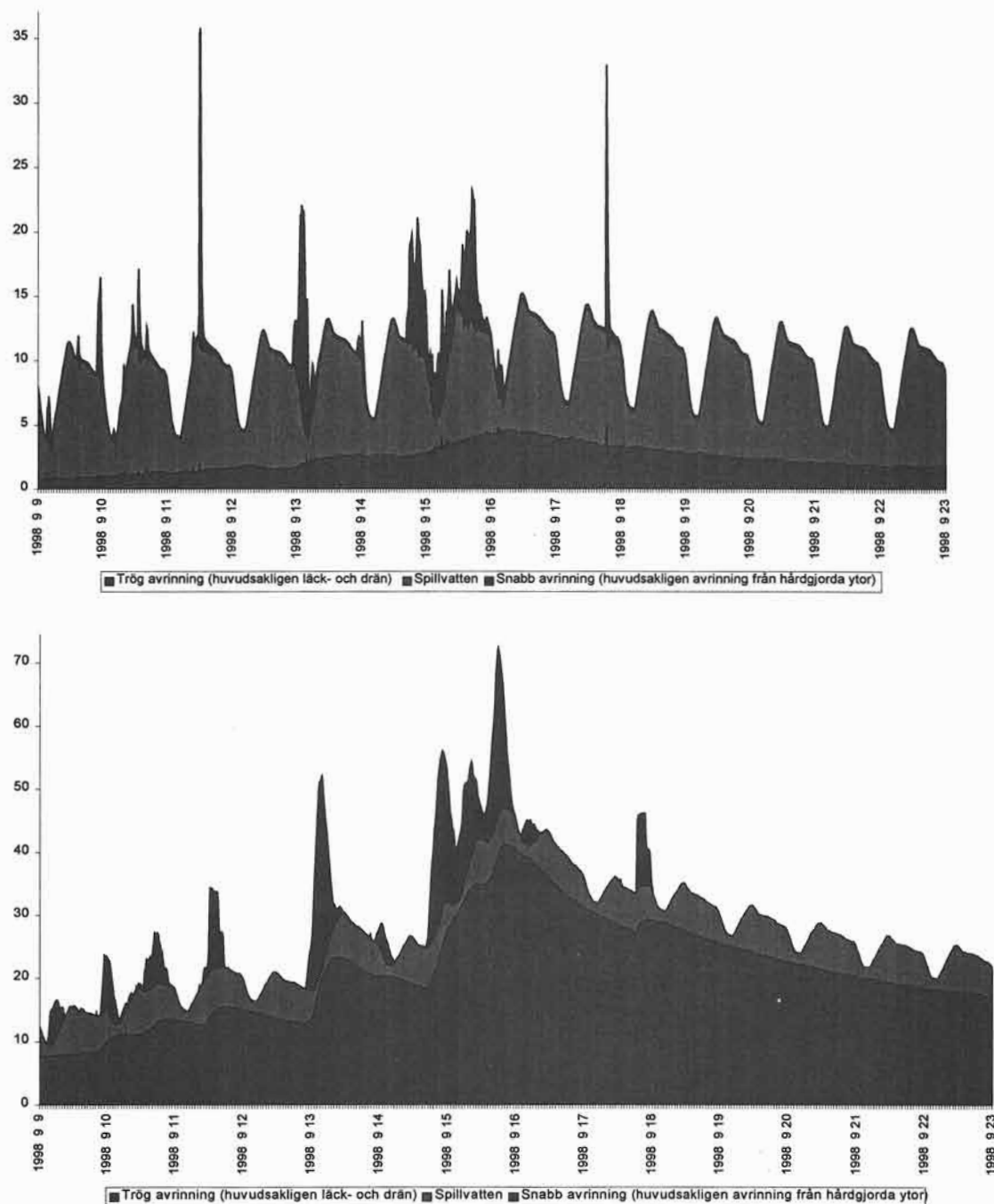
Moment	Modellegenskap	Kalibreringsdata (mätdata)	Modellparameter
1	Bas- och spillvattenflöde - medelflöde vid torrväderssituation	Flöde under torrvädersperiod. Dygnsmedelvärden under 1 representativ vecka	Randvillkor för hydraulisk belastning vid torrväder (inflöde i l/s eller pe)
2	Spillvattenflöde - variation över dygnet	Flöde under torrvädersdygn. Timmedelvärden under ett representativt dygn.	Relativ spillvattenvariation över dygnet
3	Nederbördspåverkan	Flöde under regnhändelser. Kontinuerlig nederbörds-mätning. Rek. tidsupplösning minst 5 minuter. Helst 5 större regn.	Ansluten area; • effektiv storlek • läge (rinntid i systemet) • ytans utbredning (koncentrationstid) • vätning av ytan
4	Friktionsmotstånd i ledning	Tidsserier med flöde och nivå på samma punkt i systemet. Tidsupplösning beror på graden av variation av flöde/nivå. Helst 5 större regn.	Friktionskoefficienter; • Mannings tal • Tilläggsförluster
5	Bräddning	Mätdata enligt fallande lämplighet: • kontinuerlig bräddflödesmätning • kontinuerlig nivåmätning vid brädd • registrerad tid för bräddning • registrerad maxnivå för bräddning • registrerad bräddhändelse Dessutom: nivå på recipient.	Friktions- och förlustkoefficienter i ledningar och magasin. Avbördrningstabell. Effektiv överfallslängd på skibord.

Moment 1 - Bas- och spillvattenflöde

I detta moment skall i modellen upprättas en tillräckligt god beskrivning av storlek och fördelning av basflöden och spillvattenflöden. Med basflöden menas här flödet i ledningarna som förekommer vid torrväder, minus

uppskattat spillvattenflöde. Basflödet kan ha sitt ursprung i indirekt nederbördspåverkan eller läck- och dräneringsvatten och utgör alltså ett sk tillskottsvatten. Basflödet kan variera kraftigt över året och mellan enskilda dygn beroende på "det hydrologiska minnet" - dvs om det regnat under den föregående perioden. I basflödet kan också avrinning från snösmältning ingå.

Basflödet kan läggas in i modellen som konstanta tillskott i HD-modulen. I system med låg till måttlig nederbördspåverkan, t ex där det finns dagvattenledningar men där dräneringsledningar och vissa takytor är anslutna till spillvattenledningen i äldre områden, kan basflödets ökning under ett regntillfälle dock vara så stor att det blir svårt att kalibrera modellen utan att denna ökning beskrivs. Ofta blir det då nödvändigt att beskriva basflödet med hjälp av NAM-modellen. Se exempel i figur 3 nedan. Det kan ibland också vara möjligt att beskriva basflödesökningen med hjälp av en avrinningsyta med lång koncentrationstid.



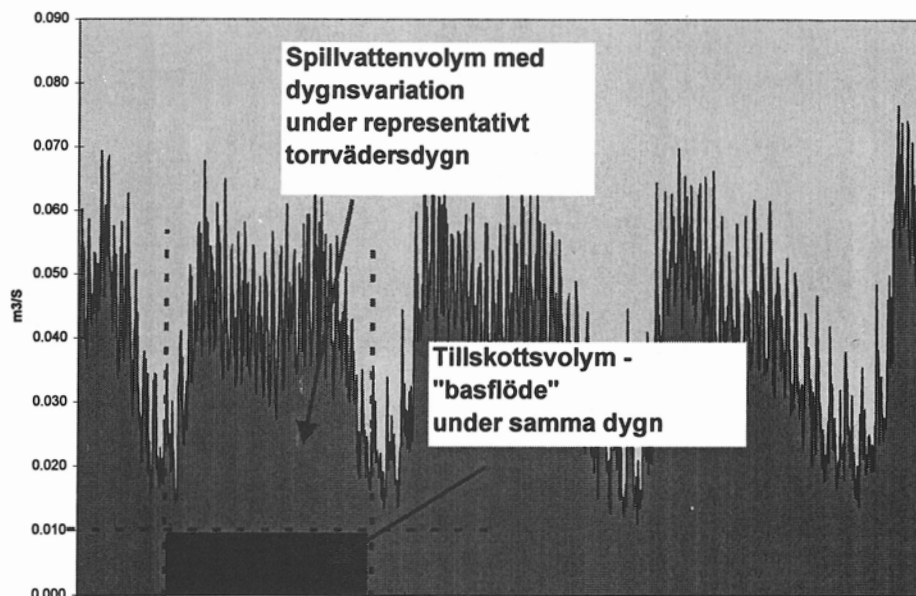
Figur 3. Exemplet visar flödesvariationer i samband med den nederbördsrika perioden 1998-09-09 till 1998-09-23 vid två olika punkter på ett spillvattennät i Lidköping. I den ena punkten (övre bilden) är basflödets variationer måttliga medan basflödet vid den andra punkten ökar avsevärt efter nederbörd. En modellbeskrivning som ska kunna efterlikna förloppet i ett sådant system bra vad gäller såväl flödestoppar/maxnivåer som dygnsvolymen måste därför kunna hantera den stora hydrologiska påverkan som finns i systemet.

Spillvattenflödet varierar av förståeliga skäl på samma sätt som vattenförbrukningen. Att bedöma spillvattenflödets storlek är dock inte alltid enkelt. Den kan ofta uppskattas med hjälp av uppgifter om debiterad vattenmängd. Denna kan eventuellt vara lägre än den faktiska vattenförbrukningen på grund av osäkerheter i mätning eller att viss förbrukning inte mäts. Allt förbrukat vatten blir dock inte spillvatten, exempelvis vid industrier med egen avloppsanläggning och den debiterade mängden används därför ofta som uppskattning på spillvattenmängden. Analys av mätdata kan ge mer information om spillvattenflödet, se nedan.

Moment 2 - Spillvattenflödets variation

Genom att mäta flödet med minst timsupplösning kan man analysera dygnsvariationen av spillvattenflödet. Denna variation kan beskrivas i MOUSE. I områden med enbart bostadsbebyggelse kan antagandet om att vattenförbrukningen är i det närmaste noll under några timmar på natten under vardagar vara godtagbar. Därmed kan också en kontroll av uppskattningen av spillvattenflödet göras, se exempel i figur 4 nedan.

Man bör komma ihåg att vattenförbrukningen och därmed spillvattenflödet varierar mellan olika veckodagar. I områden med mycket semesterbostäder finns också en kraftig säsongsvariation. Detta bör man uppmärksamma i sin mätdataanalys och i sin modellbeskrivning så att en anpassad modellbeskrivning görs.



Figur 4. Exempel på uppskattning av spillvattenflöde utifrån flödesmätning i utpräglat bostadsområde.

I VA-FORSK 1994-05 finns en sammanställning av vattenförbrukningens dygnsvariation i ett antal områden av olika storlek och med olika typer av verksamheter, från utpräglade bostadsområden till områden med större inslag av industrier och övriga arbetsplatser. Rapporten har tagits fram för att

användas vid upprättande av vattennätsmodeller, men kan med fördel även användas till avloppsnätsmodeller. För avloppsnätsmodeller gäller dock att under tiden som vattnet transporteras i ledningsnätet sker en viss utjämning och fördröjning av flödet.

Moment 3 - Nederbördspåverkan

Modellbeskrivningen syftar här till att i rörmodellen generera en avrinning som vid ett givet regn svarar mot det verkliga tillskottet till ledningssystemet. Man talar här om en direkt nederbördspåverkan som i dessa sammanhang ofta benämns ytavrinning. Upphovet till denna avrinning kommer i första hand från anslutna hårdgjorda ytor men kan även ha andra ursprung (felkopplingar, överkopplingar, icke hårdgjorda ytor etc).

Vid flödesmätning och samtidig nederbördsmätning ges möjligheten att beräkna en bidragande yta för varje nederbördstillfälle. För att kunna utvärdera storleken på dessa "fiktivt anslutna ytor" bör man ha tillgång till ett bearbetningsprogram där flödesdata lätt kan massberäknas, se figuren nedan.

Figur 5. Massberäkning av flödesökning för bearbetning av nederbördspåverkan uttryckt som "fiktivt ansluten yta". Ur VA-FORSK 1993-08

Principen för arbetsgången är enligt följande:

1. Uppskatta den längsta rinntiden för nederbörd inom mätområdet till mätpunkten, den sk koncentrationstiden K_c . Beräkningen utförs för perioden från regnets starttid till dess ytavrinningen klingat av (regnets sluttid + K_c).

2. Dra ifrån torrvädersflödet (läck- och dränvattenflödet + spillvattenflödet) genom att subtrahera flödet vid ett föregående torrvädersdygn under motsvarande tidsperiod som beräkningsperioden från flödet under beräkningsperioden.
3. Massberäkna den volymökning som skett till följd av ett visst nederbördstillfälle.
4. Dividera volymen av den snabba nederbördspåverkan (snabb-NBP) med den aktuella nederbörden uttryckt i meter:

$$600 \text{ m}^3 / 0.010 \text{ m} = 60\,000 \text{ m}^2 = 6.0 \text{ ha}$$

Som figuren visar ger ett regn i många fall även upphov till ökad läck- och dränvattenavrinning (LÄC). I MOUSE-systemet hanteras denna hydrologiska flödeskomponent i NAM-modellen, se vidare under punkt 1.3 i denna bilaga.

Den beräknade bidragande ytan är den fiktivt anslutna yta som bidrager uppströms mätpunkten. Denna yta består ju i verkligheten oftast av summaflödet från ett antal mindre ytor inom avrinningsområdet. Man kan därför välja att beskriva denna yta med varierande detaljeringsgrad, alltifrån en grov ihopklumpad beskrivning - en sk boxmodell eller "lumped model" - till en helt distribuerad (finfördelad) ytavrinningsmodell. En distribuerad ytavrinningsmodell kan göras utifrån inventeringar eller bedömningar av ansluten hårdgjord yta till respektive knutpunkt i modellen baserad på kart- och ritningsmaterial eller fältinventering. Ytavrinningsmodellen kan byggas upp antingen i HD-modulen eller i NAM-modellen (endast FRC-yta). Att utgå från noggranna inventeringar och kartdata i första hand är vanligt i andra länder, t ex England, då det också är mer ovanligt att verifiering mot mätdata görs.

I de fall man studerar kombinerade eller delvis duplikata ledningsnät där spill- och dagvattennäten kommunicerar måste man ge särskild akt på att systemets funktion och den bidragande hårdgjorda ytan kan variera kraftigt mellan stora och små regnbelastningar pga bräddningar mellan systemen vid stor belastning.

Vid utfördelning i en distribuerad ytavrinningsmodell bör man ta hänsyn till att rinntider och magasineringseffekter i ledningsnätet inom avrinningsområdet också påverkar flödeshydrografens utseende. Vatten kan också brädda bort på vägen vid höga belastningar. Den sammanlagda ytan i en distribuerad modell kan därför ibland behöva vara något större än i en boxmodell för att uppnå samma summaflöde vid mätpunkten. Detta kan särskilt vara fallet då box-modellen kalibrerats med inriktning på flödestoppar och flödet under den tid ytavrinning pågår. Om box-modellen dessutom kalibrerats med inriktning på avrunnen volym under hela kalibreringsperioden kan man undvika detta.

Erfarenhetsmässigt ger fältinventeringar och bedömningar från kartmaterial en överskattning av den anslutna bidragande arealen inom områden med helt

kombinerade avloppssystem, men kan ofta underskattas i områden med ingen eller liten andel kombinerade system.

Vid kalibrering bör man jämföra det beräknade flödet med det uppmätta flödet vid mätpunkten för flera regn - helst minst fem tillfällen - med olika intensitet och varaktighet. Man kan knappast räkna med att få en exakt överensstämmelse vid varje tillfälle varför det alltid är bra att ha många tillfällen att jämföra med. Ibland tvingas man som modellör välja mellan bättre överensstämmelse vid höga intensiteter eller låga - det är då lämpligt att anpassa modellen till den situation man är mest intresserad av att studera.

Det är viktigt att alltid hantera nederbördsdata på ett enhetligt sätt. Om man vid dataanalys av hårdgjord areal och vid kalibrering använt en nederbörd som korrigerats på ett eller annat sätt skall nederbörden korrigeras på motsvarande vis vid andra beräkningar. Korrigeringsrutiner skall anges i dokumentationen.

Moment 4 - Energiförlust i brunnar och ledningar

Efter det att flödet i modellen är beskrivet och kalibrerat kan modellen kalibreras med avseende på vattennivåer i systemet. I första hand rör det sig om att justera friktionsmotståndet i ledningarna i modellen så att en korrekt vattennivå erhålls jämfört med mätpunkterna. Tilläggsförluster som strömningsförluster i brunnar, in- och utströmningsförluster i magasin, regleringar och strypningar är också betydelsefulla för modellens egenskaper beträffande vattennivåer.

Normalvärden på råheter kan fås från litteratur som en första ansats. Värden på Mannings tal, M, mellan 50 och 80 är normala för ledningar i svenska avloppsledningsnät.

Det kan vara svårt att ansätta värden på strömningsförluster i de enskilda brunnarna utan att ha kunskap om varje brunns utseende. Ett vanligt tillvägagångssätt är att välja samma typ av förlust i alla brunnar och sedan kalibrera in nivån i systemet med hjälp av Mannings tal.

Andra faktorer som kan vara avgörande för de verkliga, uppmätta vattennivåerna i ledningarna är ledningens status med avseende på rotinträngning, sediment i ledningen och andra lokala hinder. Kunskap om ledningsnätets status och eventuella driftsstörningar samt tv-inspektionsresultat mm är till stor nytta vid bedömning av ledningsnätets strömningsmotstånd.

Moment 5 - Bräddning

Metoderna för att utföra kontroll och mätning av bräddning på avloppsledningsnätet finns beskrivna t ex i VA-FORSK 1994-10. Det kan röra

sig om allt ifrån kontinuerlig flödesmätning till enkla bräddregistreringsanordningar för indikation av att bräddning skett som kräver manuell avläsning och återställande av indikationsutrustningen mellan tillfällena.

För en trovärdig beräkning av bräddade mängder med hjälp av MOUSE bör någon form av kalibreringsdata rörande bräddning finnas. Om endast enklare bräddregistrering finns, ställer det högre krav på att jämförelser av registrerad bräddning och beräknad bräddning kan ske under en längre period. Perioden skall då innehålla regntillfällen som både ger bräddning och ej ger upphov till bräddning - modellen skall då anpassas så att bräddning sker endast vid "rätt" regn.

En rekommenderad lägsta nivå på kalibreringsdata för bräddning är att tiden för bräddhändelserna mäts och registreras - både när den inträffar och varaktigheten på bräddningen. Ännu bättre är det naturligtvis om det i bräddbrunnen finns en kontinuerligt registrerande nivåmätare. Då kan även strömningsförluster i brunnen kalibreras och uppdämningen i brunnen blir korrekt. Förutsatt att belastningen från avrinningsmodellen är riktigt beskriven bör därmed också de beräknade bräddade volymerna kunna betraktas som rimliga.

Man bör i detta sammanhang nämna vikten av att känna till avbördningsförhållandena även "på andra sidan" bräddavloppet, dvs utloppsanordningen från bräddavloppsbrunnen. Om utloppsledningen har begränsad kapacitet eller om nivån i recipienten är mycket hög förändras naturligtvis förutsättningarna för bräddningsberäkningen. Vid en del bräddavlopp kan istället ett inflöde ske periodvis beroende på höga nivåer i recipienten. Vissa delvis duplicerade ledningssystem är också beskaffade så att bräddning sker från "spilledningen" till en dagvattenledning, vilken själv naturligtvis kan gå full vid regntillfällen. I MOUSE går det utmärkt att beskriva dessa mer komplexa förhållanden men det kräver förstås en utökad modellbeskrivning samt kännedom om övriga recipient- och avbördningsförhållanden.

1.3 Kalibrering av NAM-modellen

En noggrann genomgång av metodiken och arbetsgången vid kalibrering av MOUSE NAM-modellen görs i VA-FORSK 1993-04 varför endast en kort genomgång av de viktigaste momenten görs i detta avsnitt och deras betydelse för mätning på avloppsnätet.

Med hjälp av NAM-modellen kan såväl snabb som långsam avrinning (basflöde) modelleras. Den snabba avrinningen och den därmed förknippade ytan benämns FRC (Fast Runoff Component) resp FRC-yta och den långsamma SRC (Slow Runoff Component) resp SRC-yta. Även avdunstning hanteras i NAM, samt snö och snösmältning varför, förutom nederbörden, även potentiell avdunstning och temperatur ingår som indata till modellen. I modellen finns - liksom i verkligheten - vattenmagasin i marken och

grundvattnet som medför att den hydrologiska situationen under en föregående period påverkar avrinningen i varje ögonblick - man talar om ett hydrologiskt minne. Det är därför nödvändigt att kalibrera modellen mot data för en relativt lång period - 3 till 5 år anses som tillräckligt för att erhålla en väl kalibrerad modell. Perioden bör innehålla ett "blött" och ett "torrt" år.

NAM-modellen kalibreras först och främst in vad avser övergripande hydrologi; variationen av flöde över året, respons på större nederbördshändelser eller avsmältningsförlopp, lägsta basflöde under torrperioder och total vattenbalans. I modellen justeras ett antal responsfunktioner och magasinparametrar så att det simulerade avrinningsförloppet får samma utseende och storlek som det observerade, samt att vattenbalansen stämmer för varje "hydrologiskt år". Ett hydrologiskt år utgörs i denna mening av en cykel från det att vattenmagasinens innehåll når sitt minimum (normalt under sensommar eller tidig höst), över uppfyllnad, maximum, avsänkning och åter till ett minimum. I detta kalibreringsarbete används lämpligen data med en upplösning på 12-24 timmar. Det är ofta svårt att finna data från flera år med högre upplösning - finns det går det naturligtvis att använda data med högre upplösning. För att beskriva variationen av basflödet under året är dock data med dygnsupplösning tillräckligt. Data från SMHI:s mätstationer kan fås med 12- eller 24-timmarsvärden och kan alltså användas för detta syfte. Detta är en fördel då mätserier från dessa stationer ofta kan fås för långa historiska perioder. SMHI:s mätserier kan också anses vara mer tillförlitliga än data från temporära nederbördsräknare.

Beskrivning av snabb avrinning i MOUSE NAM-modellen kräver data med högre upplösning än dygnsvärden. Här gäller samma riktlinjer som för ytavrinningsmodellen i MOUSE, se ovan. I MOUSE NAM kan olika nederbördsserier utnyttjas simultant för de snabba och de långsamma ytor.

På samma sätt som i den enklare ytavrinningsmodellen i MOUSE kan man i MOUSE NAM välja att fördela den inkalibrerade modellen (ytan) i en mer distribuerad modell utifrån kartmaterial, inventeringar, mätningar eller andra bedömningar. En viss försiktighet bör iakttas vid utfördelning av snabba ytor inom avrinningsområdet från en MOUSE NAM box-modell. Det finns risk att den snabba ytan underskattas inom en box-modell om det avrinningsområde som betraktas är mycket stort. Magasinering i ledningsnätet och bräddningar på ledningsnätet kan medföra att flödestopparna långt ned i systemet blir relativt sett mindre än långt upp i systemet. Bräddningar på nätet och begränsningar i hydraulisk kapacitet påverkar också. Då MOUSE NAM-modeller ofta kalibreras mot flödesdata från t ex reningsverk är risken för underskattning av snabb yta inom detta område uppenbar. I de fall man använder data med dygnsupplösning för MOUSE NAM-kalibrering bör man också vara medveten om bristerna i beskrivningen av snabba ytor.

1.4 Krav på kalibreringen

Det är svårt att definiera när en modell kan anses färdigkalibrerad. Självklart går det att mäta avvikelsen mellan de beräknade och observerade värdena

och sätta upp ett kriterium för maximalt tillåten avvikelse. Detta kan dock bli ett ganska stelbent instrument att följa och kan leda till att orealistiska parameteruppsättningar används för att "tvinga" modellen att återskapa vissa värden.

Vi föreslår att kraven på kalibreringen ställs utifrån följande värderingsgrunder:

- Kvaliteten på mätdata - dvs trovärdighet och representativitet hos kalibreringsdata
- Vilka förenklingar och antaganden görs i modellbeskrivningen
- Vilka osäkerheter finns i fysiska indata (ledningsdata) till modellen
- Vad är rimliga värden på modellens parametrar
- Vilket / vilka problem vill jag att modellen bäst skall kunna beskriva - dvs vad är nödvändigt för syftet

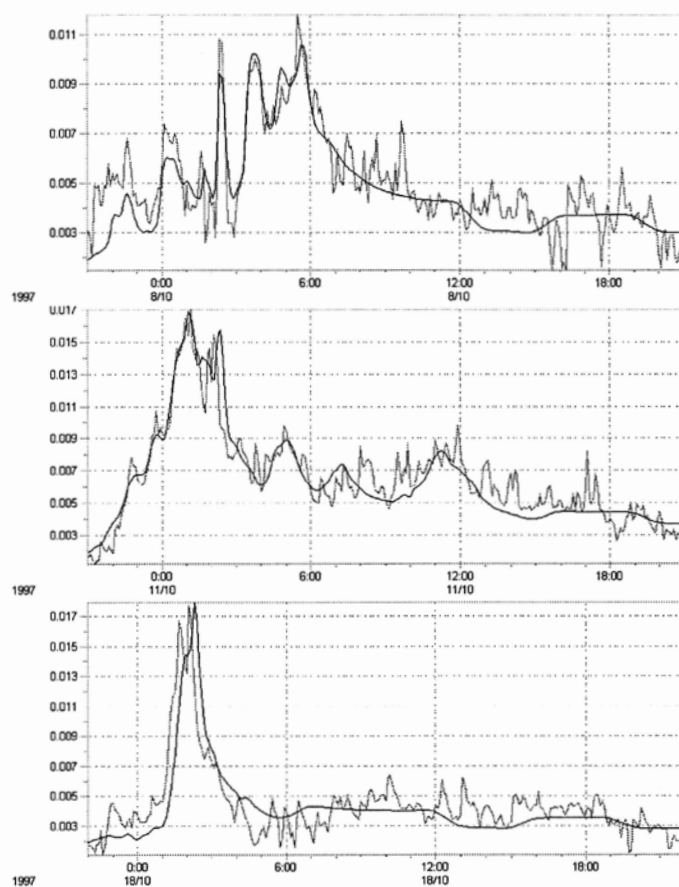
Det finns ingen anledning att fortsätta kalibreringsarbetet då en ändring av modellparametrar, inom vad som kan anses vara rimliga gränser, inte ger mer än en marginell förbättring eller då en ändring av modellparametrarna ger förbättringar i vissa punkter eller under vissa perioder men försämringar i andra punkter eller under andra perioder.

Utifrån detta måste en värdering göras mellan *vilken noggrannhet man kan förvänta sig av modellen* och *vilken noggrannhet man behöver för studiens syfte*. Detta hänger också ihop med kraven på noggrannhet på mätningen. I och med denna svårighet att definiera och ställa krav på kalibreringen ökar istället betydelsen av att noga redovisa kalibreringsresultaten.

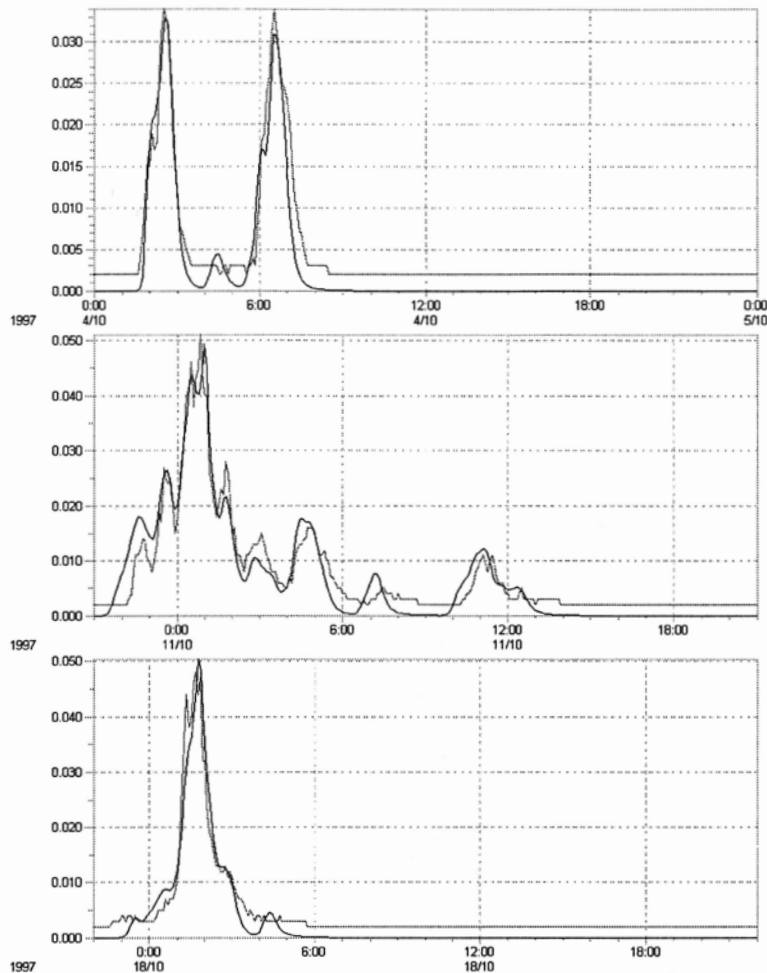
Till syvende och sist blir resultatet från valideringen den slutliga kontrollen på modellens trovärdighet.

1.5 Exempel på kalibreringsresultat

Nedan redovisas ett antal exempel på goda kalibreringsresultat för MOUSE HD kopplat till NAM-modulen:



Figur 6. Exempel på kalibreringsresultat med MOUSE NAM-modellen av flöde i ett spillvattennät i Östra Husby, Norrköping. Den tjockare linjen visar beräknade flöden och den tunnare avser uppmätta flöden.



Figur 7. Exempel på kalibreringsresultat i MOUSE NAM-modellen av flöde i ett dagvattennät i Östra Husby, Norrköping. Den tjockare linjen visar beräknade flöden och den tunnare avser uppmätta flöden.

2 Validering

Validering görs genom jämförelse av beräknade och uppmätta data för en uppsättning data som ej använts för kalibrering. Syftet är alltså att belägga att modellen är trovärdig för en godtycklig uppsättning av indata.

Genom att "spara" mätdata för en period kan alltså en validering göras. Självklart finns risken att valideringsperioden innehåller data som är på ett eller annat sätt extrema - dvs representerar en situation som ej tidigare beskrivits under kalibreringen. Därmed riskerar man att modellen ej kan valideras utan att modellens parametrar kraftigt förändras. Då är också tanken med valideringen förfelad - meningen är ju att belägga trovärdigheten i den kalibrerade modellen.

Det är därför lämpligt att i kalibreringen försöka täcka in alla extrema situationer och som kalibreringsdata välja data som kan förväntas ligga inom intervallet av de extrema situationer som studerats i kalibreringen.

I valideringen görs som nämnts inga förändringar av modellens parametrar utan endast en jämförelse av beräknade och uppmätta värden. Vid alltför stora avvikelser - avsevärt större än under kalibreringen - måste man dock återvända till kalibreringsfasen.

3 Krav på verifieringsdata och mätpunkter

I ett visst skede blir det nödvändigt att i ett MOUSE-projekt definiera vilka data som skall samlas in för verifieringsproceduren. Mängden möjlig information att samla in för verifiering är i det närmaste obegränsad - det viktiga är att samla in tillräcklig information för ändamålet, samt att väga kostnad mot nytta. Följande faktorer bör avgöra valet av mätdata och mätpunkter;

- Problemets natur; mätning av *för modellbeskrivningen relevanta data*. Om studien t ex innefattar effekten av uppdämning inom systemet (översvämnings- eller bräddningsberäkning, utnyttjande av magasin etc) måste nivån mätas på några lämpliga punkter för möjlighet till verifiering.
- Krav på modellen; hur väl vill man att modellen skall vara verifierad? Om modellens syfte är av mer pedagogisk art eller syftar till att ge en grov bild av systemets funktion, kan lägre krav ställas på verifiering och därmed på mängden insamlad verifieringsdata.
- Mätpunktens lämplighet ur mätningssynpunkt.
- Befintliga data; kan redan tillgängliga data användas eller måste nya samlas in? Om befintliga data används är det viktigt att kunna värdera tillförlitligheten hos denna mätdata.
- Modellens totala osäkerhet; leder insamlandet av valda data till mindre osäkerhet eller är den ökade förklaringsgraden försumbar jämfört med den totala osäkerheten i modellbeskrivningen?

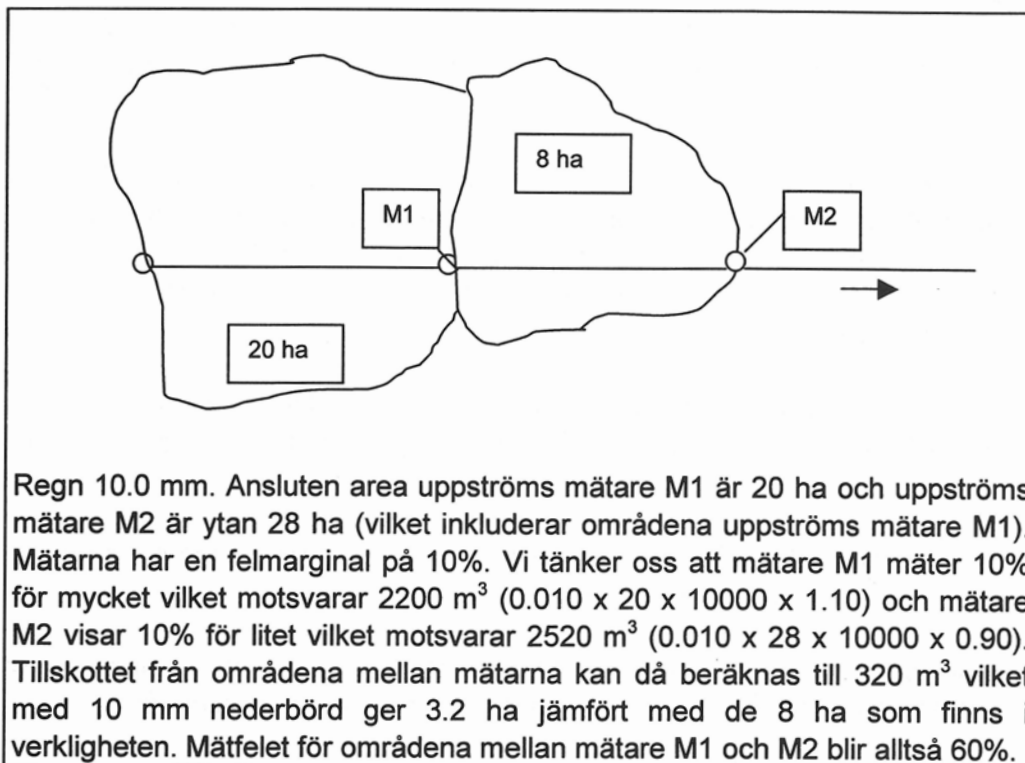
Det är alltid svårt att i förväg bedöma vad som är "rätt" ambitionsnivå beträffande mätdatainsamling. En alltför låg ambitionsnivå kan dock leda till att mätdata blir svårtolkade och otillförlitliga samt även att modellarbetet ej uppfyller sitt syfte.

3.1 Placering av mätpunkter på ledningsnätet

Angående val av placering och antalet mätpunkter ur modellörens perspektiv kan följande urval och/eller prioritering användas;

- mätning av randvillkor runt det område som skall studeras i modellen. Exempel på randvillkor är flödesbelastning från uppströms liggande områden, vattennivåer i recipienter som står i förbindelse med systemet, nederbörd, samt kapacitet på pumpar inom och omedelbart nedströms området.
- utflödet *från* delområdet. Skall bidraget från ett avgränsat område mätas är det nödvändigt att placera mätaren så att den mäter flödet från det aktuella området. Att placera två mätare i serie och sedan uppskatta bidraget från de områden som tillkommer mellan mätarna kan ge stora fel vilket exemplet nedan visar.
- mätning av belastningar (flöden) *inom* modellområdet i punkter som man kan förvänta sig representera skillnader inom området (t ex bebyggelseform, andel hårdgjord yta etc).
- mätningar i för flödesfunktionen kritiska punkter inom området (uppdämning, bräddning etc).
- om det är av stor vikt att studera dämningarnivån inom ett delområde bör mätning av nivå ske i någon eller några punkter inom detta område.
- det är av största vikt att placeringen av mätpunkter sker utifrån en bedömning av lämpligheten för mätning med hänsyn till förhållandena på platsen. Valet av mätplats blir ofta en kompromiss mellan modellörens önskemål och platsernas lämplighet ur mätsynpunkt.

Ibland nyttjas resultat från två mätare längs samma ledningsstråk för att beräkna flödestillskott och fiktiva ytor i området mellan mätarna. Exemplet nedan illustrerar hur felmarginalen i två olika mätresultat då kan samverka till en stor feluppskattning i beräkningen.

Exempel på feluppskattning av flödesbidrag:

Man kan ibland nöja sig med ett lägre antal mätare som man flyttar under mätperiodens gång. Fördelen med detta är att en längre period kan täckas in till en given kostnad. Å andra sidan kan man inte få en heltäckande bild av systemets samlade funktion vid ett och samma tillfälle. I komplexa system där delområdena och deras funktion är sammanlänkade sinsemellan är en etappvis mätning alltså inte lämpligt. Det blir också enklare att bedöma enskilda mätares trovärdighet ju fler samtidiga mätpunkter man har.

3.2 Krav på nederbörds-mätning

De kommunala förvaltningarna har många gånger egna fasta nederbörds-mätare utplacerade. Dessa är ibland - av praktiska skäl - placerade så att de ej ger den mest representativa bilden av nederbörden i området. Dessutom kan man ofta förvänta sig stora men helt naturliga lokala variationer av nederbörden inom ett avloppsnäts avrinningsområde. Det är därför ofta nödvändigt att komplettera befintliga högupplösande nederbörds-mätare med temporära mätpunkter.

Då det gäller studier av direkt nederbördspåverkan och snabb avrinning från hårdgjorda ytor är det nödvändigt att ha nederbördsdata med tillräckligt hög tidsupplösning för att kunna beskriva avrinningsförloppet i modellen. Vippskålmätare med datalagring i minutupplösning är därför oftast nödvändigt för denna typ av studier.

Vid studier av högintensiva men korta nederbördsbelastningar är det särskilt viktigt att ha flera nederbörds-mätare utplacerade om det rör sig om ett större

område (5-10 km i utsträckning eller större). Många högintensiva regn kan vara mycket lokala och vid användning av endast en nederbördsräknare kan situationen bli värre i modellen än i verkligheten beroende på att det häftiga regnet drabbar hela systemet samtidigt i modellen. Det kan också bli mycket svårt att dra några slutsatser om fiktivt ansluten hårdgjord yta trots flödesmätningar av god kvalitet från ett flertal punkter. Den fiktivt hårdgjorda ytan kan ju beräknas som avrunnen volym dividerad med nederbördsmängden. Om den eller de regnmätare som finns tillgängliga inte är representativa för hela avrinningsområdet blir det en stor osäkerhet i uppskattning av fiktivt hårdgjord yta. Det kan också bli problem att få kalibreringsresultaten att stämma tidsmässigt. Det kan vara värt att beakta att kostnaden för en regnmätare ofta är betydligt lägre än kostnaden för flödesräknare. Att då spara in på förhållandevis "billiga" regnmätare kan medföra att informationen från de dyrare flödesmätningarna inte kan utnyttjas optimalt.

Att välja en lämplig placering på tillfälliga nederbördsräknare kräver god kunskap om den lokala meteorologin. Här kan SMHI:s eller flygväpnets meteorologer vara till hjälp för en bedömning av lämplig mätpunkt. I annat fall bör man kritiskt jämföra mätresultaten från olika mätare med varandra och med referensräknare (t ex SMHI:s stationsnät) om sådan finns (se **bilaga 3**).

Det är viktigt för trovärdigheten av beräkningsresultat att en modell som kalibrerats med nederbördsdata från en viss uppsättning av mätstationer vid beräkningar alltid belastas med uppmätta data från samma stationer. Detta kan även gälla för statistiska regn, vilka ju baserats på SMHI:s historiska mätserier. Om en modell kalibrerats mot egna nederbördsmätningar (som ofta har lägre nederbördsmängd än SMHI:s observationer) kan situationen överskattas i modellen vid belastning med SMHI:s historiska eller statistiska regn.

3.3 Val av mätmetod

Det är svårt att ange vilken mätmetod som generellt sett är mest lämplig för olika studier. Olika metoder är förknippade med olika mätnoggrannhet. Lämplig metod bestäms av vilken mätnoggrannhet som är:

- tekniskt och praktiskt möjlig
- rimlig med avseende på krav på kalibreringen (och ytterst av studiens syfte)
- rimlig med avseende på ekonomi och andra resurser

Olika mätutrustning uppges av leverantörer av tjänster och utrustning kunna leverera data med viss noggrannhet. Man bör hålla i minnet att dessa värden normalt sett härrör från tester utförda under "idealiska" förhållanden. Mätnoggrannheten kan därför vara lägre när mätningarna utförs under verkliga förhållanden.

Man bör också ställa krav på mätdatas kvalitet i fråga om databortfall och "tveksamma värden". Ur modellörens perspektiv kan en jämn kvalitet på mätdata vara nästan lika viktig som en hög noggrannhet - det är nämligen alltid svårt att bedöma trovärdigheten hos data med en ojämn kvalitet och därmed också svårt att verifiera modellen.

Som beställare bör man kunna ställa krav på leverantören av mätdata om ett högsta databortfall under perioden. Detta är särskilt viktigt då mätning i många punkter samtidigt är nödvändigt för förståelse och kalibrering av inbördes samverkande system. Det går att uppnå ett högsta bortfall om 10% förutsatt att mätinsatsen utförs korrekt och tillräcklig tillsyn och datatömning görs. Tolkning, värdering och kvalitetssäkring av rådata och primärdata är också viktigt för den totala kvaliteten på mätningen. Att ha för låg ambitionsnivå i detta led kan förstöra en i övrigt väl genomförd mätinsats också med de finaste mätinstrument.

3.4 Val av mätperiod

Man skiljer normalt på långtidsmätning (varaktighet ett eller flera år) och korttidsmätning - sk kampanjmätning (ca 1-3 mån). För kampanjmätning är det långt ifrån alltid man har möjlighet att själv bestämma mätperiod - det blir ofta praktiska kompromisser. En god tumregel är dock att i system där det finns en ansevärd direkt nederbördspåverkan bör man genomföra flödesmätningarna under juni till september om möjligt, då dessa månader normalt sett är nederbördsrika och att de högintensiva regnen är vanligast under denna period. Denna typ av mätning är vanlig i typstudie A, men används också som kalibreringsunderlag i övriga studier.

Längden på en kampanjmätning styrs förstås av vädrets makter. Mätningen bör pågå så länge att erforderliga data hinner samlas in och att t ex ett tillräckligt antal regntillfällen registreras (se tabell 1 på s 4:5)

För typstudie B, C och D krävs i regel någon form av långtidsmätning. För att kunna beskriva hydrologiska förlopp med årscykler bör man som nämnts kalibrera NAM-modellen mot flera års flödesdata. För att det skall vara möjligt att fördela den SRC-yta som kalibrerats mot flera års flödesvärden i en punkt, t ex reningsverket, på flera områden i en distribuerad modell bör mätningar genomföras under perioder då det är möjligt att avgöra basflödets relativa omfattning i dessa områden. Den ökning av basflödet som sker under hösten och som är ett viktigt underlag för att fördela SRC-ytan sker ofta i september eller oktober, ibland i augusti.

Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien fr o m 1995

- 1995-01 Ringar på vattnet – VA-verken och Agenda 21, *Anna Helmrot, Gunnel Jonsson, Örjan Eriksson*
- 1995-02 Transport av föroreningar i avloppssystem. Beräkningsmöjligheter med MouseTRAP, *Clæs Hernebring, Cecilia Appelgren*
- 1995-03 Alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Delrapport från ECO-GUIDE-projektet, *Per-Arne Malmqvist, Hans Björkman, Majlis Stenberg, Ann-Carin Andersson, Anne-Marie Tillman, Erik Kärrman*
- 1995-04 Utvärdering av biologisk fosforavskiljning vid Öresundsverket i Helsingborg – Processtekniska och mikrobiologiska aspekter, *Magnus Christensson, Karin Jönsson, Natuschka Lee, Ewa Lie, Per Johansson, Thomas Welanders, Kjetill Østgaard*
- 1995-05 Internkontroll vid VA-verk. Arbetsbok för upprättande och genomförande av internkontrollprogram för arbetsmiljön vid va-verk, *Ingvar Borgström, Anders Karlsson*
- 1995-06 Regional VA-samverkan – Potential och principer, *Lennart Hansson, Ola Mattisson*
- 1995-07 Hårdhetshöjning av dricksvatten med krita-kolsyra, ett alternativ till kalk-kolsyra – Fullskaleförsök vid Öxsjöverket Lerum, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
- 1995-08 Våtmarksrening vid Landsbro ARV, *Leif Lorentzon, Göran Nilsson, Yvonne Gunnevik, Carl Odelberg, Thomas Svensson*
- 1995-09 Tvättmedel – Effekter på reningsverk och miljö, *Cajsa Wahlberg*
- 1995-10 Utvärdering av VAVs läckagestatistik, *Ann-Christin Sundahl, Åse Hasselkvist*
- 1995-11 Trädrötter och avloppsledningar. En fördjupad undersökning av rotproblem i nya avloppsledningar, *Örjan Stål, Jörgen Rosenlöf*
- 1995-12 Renovering av vattenledningar. Riktlinjer för metodval, dimensionering och utförande, *Thomas Johansson, Per Romdal, Øistein Torgersen*
- 1995-13 Nya kemikalier – En utmaning för kommunala reningsverk. Förstudie, *Björn Frostell, Bengt Hultman, Jonas Röttorp, Peter Solyom*
- 1995-14 CD-ROM inom VA, *Leif W Linde, Gunnar Petersson*
- 1995-15 Kvalitetssäkerhet och leveranssäkerhet i distributionssystem för dricksvatten, *Bengt Zagerholm, Rolf Bergström*
- 1995-16 Försöksrapport från biologisk fosforavskiljning vid Jämshögs reningsverk, Olofströms kommun, *Carl-Johan Legeth*
- 1996-01 Organiskt avfall som växtnäringsresurs. Potential och förslag till forsknings- och utvecklingsinsatser, *H B Wittgren*
- 1996-02 Rotinträngning i avloppsledningar. En undersökning av omfattning och kostnader i Sveriges kommuner, *Örjan Stål*
- 1996-03 Källsorterad humanurin i kretslopp – Förstudie i tre delar, *Håkan Jönsson, Anna Olsson, Thor Axel Stenström, Gunnel Dalhammar*
- 1996-04 VA sett på nytt sätt – Driftentreprenader i några kommuner, *Gösta Fredriksson, Bo Lannblad, Bengt Larsson, Åke Mattsson*
- 1996-05 Avrinningsområdesbaserade organisationer som aktiva planeringsaktörer, *Jan-Erik Gustafsson*
- 1996-06 Bedömningsgrunder för ovidkommande vatten i avloppsnät. Metodikmanual, *Ann-Marie Gustafsson, Gilbert Svensson*
- 1996-07 Snösmältningspåverkan på avloppssystem inom urbana områden, *Clæs Hemebring*
- 1996-08 Rening av avloppsslam från tungmetaller och organiska miljöfarliga ämnen, *Erik Levlin, Lars Westlund, Bengt Hultman*
- 1996-09 Kemikaliers effekter i VA-sammanhang. En datasammanställning, *Ingemar Dellien*
- 1996-10 Syrgas i kombination med luftinblåsning vid pilotförsök med kväverening vid Västerås reningsverk, *Hermann Wiklund, Kjell-Ivar Dahlqvist, Bernt Ericsson*
- 1996-11 Export av svenskt kommunalt VA-kunnande, *Gösta W Fredriksson, Åke Mattsson*
- 1996-12 Litteraturlöslös för grundvattnet i urban miljö på Internet, *Chester Svensson*
- 1996-13 Konkurrensutsättning av VA-verksamheten, *Stig Tunestål*
- 1997-01 Utvärdering av VA-lösningar i ekobyar, *J-E Haglund, B Olofsson*
- 1997-02 Aktivt stöd till fastighetsägare vid nybyggnad av VA-nät, *Roland Strandberg, Mårten Wärnö*
- 1997-03 Dosering av biokultur i en igensatt infiltrationsanläggning – En utvärdering, *Jenny Holmgren*
- 1997-04 Biogasanläggningar i Sverige, *Anna Lindberg*
- 1997-05 VA-försörjning i ny skepnad – Om konkurrens och strukturomvandling i Vaxholm, *Ola Mattisson*
- 1997-06 Fosfors växttillgänglighet i olika typer av slam, handelsgödsel samt aska, *Kersti Linderholm*
- 1997-07 Dricksvatten och korrosion – En handbok för vattenverken, *Bo Berghult, Ann Elfström Broo, Torsten Hedberg*
- 1997-08 Alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Sammanfattande slutrapport från ECO-GUIDE-projektet, *Per-Arne Malmqvist, Majlis Stenberg*
- 1997-09 Analys av avloppssystem med datormodeller. Tillämpningsexempel med MOUSE-systemet, *Bo Granlund, Mats Andréasson*
- 1997-10 Läcksökning med hjälp av tryckslagsmätningar – Transientmetoden, *Lennart Jönsson, Anders Svensson*
- 1997-11 Modellering av ekologisk dagvattenhantering, *Cecilia Wennberg*
- 1997-12 Avvattningslaguner för slam från enskilda brunnar, *Erik Brydolf, Eric Rönnols*
- 1997-13 Sambandet mellan kostnader och avgifter inom kommunal VA-verksamhet, *Torbjörn Tagesson*
- 1997-14 Kundorienterad kvalitetsutveckling i VA-verksamhet – Rapport från en förstudie, *Patrik Larsson, Saara Isaksson*
- 1997-15 Läck- och dräneringsvatten i spillvattensystem, *Hans Bäckman, Bengt Göran Hellström, Anders Jaryd, Åke Jonsson*
- 1997-16 Avvattningslaguner för slam från enskilda brunnar, *Erik Brydolf, Eric Rönnols*
- 1998-01 Tryckslag i vattenledningsnät – några exempel, *Johan Spännare*
- 1998-02 Tryckslags inverkan på vattenledningsnät, *Jakob Büchert, Anders Svensson*
- 1998-03 Analys av redovisade kostnader enligt DRIVA Kostnadsjämförelser för åren 1993-1995, *Gilbert Svensson, Annika Malm*
- 1998-04 Långsamfilters reningspotential, *Essie Andersson*
- 1998-05 Kontaktfiltrering av ytvatten – en teknik på frammarsch, *Maria Byström*
- 1998-06 Utvärdering av WEFs CD kurs "Operations Training – Wastewater Treatment Course" *José-Ignacio Ramírez*
- 1998-07 Nordisk konferens om kväverening och biologisk fosforering – 1997, *Bengt Göran Hellström, Anders Finnson*
- 1998-08 Toluen i avloppsslam – En studie av Lingsheds reningsverk, *Thomas Hellström, Hans Hedvall*
- 1998-09 Långtidseffekter av storskalig avloppsinfiltration – Erfarenheter från Berlin-Brandenburg, *Per-Arne Malmqvist, Viveka Ramstedt, Hans Björkman*
- 1998-10 Struktur för ledningssystem VA, *Gunnar Mellström, Jan Adamsson*
- 1998-11 Ozonbehandling följt av långsamfiltrering vid dricksvattenframställning, *Anette Seger*
- 1998-12 Nitrifikationshämning i svenska kommunala avloppsvatten – Undersökningar med screeningmetoden och renkulturer av nitrifikationsbakterier, *Karin Jönsson, Camilla Grunditz*
- 1998-13 Katjoniska polyakrylamider – Inverkan på markens mikrobiologi, *Mats Johansson, Nicklas Paxéus, Cajsa Wahlberg, Lennart Torstensson*
- 1998-14 Miljöledningssystem för avloppssystem – En handledning, *Ann-Carin Andersson, Ann-Charlotte Bauer*
- 1998-15 Dricksvattensituationen i Sverige, *Anders Hult*
- 1998-16 Systemanalys VA – Hygienstudie, *Ann Albihi, Thor Axel Stenström*
- 1998-17 Hur tolkas en LCA-rapport? *Göran Svensson*

Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien

- 1999-0 VA-FORSK-rapporter 1992–1998
- 1999-01 Internationell sammanställning av erfarenheter med ekologisk dagvattenhantering, *Janusz Niemczynowicz*
- 1999-02 Miljöföreningar i dricksvatten, *Olof Bergstedt, Nicklas Paxéus, Henrik Rydberg*
- 1999-03 Processmodell för vattenverk – Tillämpning av Weasel på sju svenska vattenverk, *Claes Hernebring, Bengt Zagerholm*
- 1999-04 Kundenkäter inom VA – handledning och förslag till frågeformulär, *Jan Lille*
- 1999-05 Bevattnings av energiskog med biologiskt behandlat avloppsvatten, *Kenth Hasselgren*
- 1999-06 Kartläggning av retention av fosfor och metaller i kommunala slamdeponier – modellområde Avan i Gävle, *Emil Rydin, Kristian Persson, Curt Forsberg*
- 1999-07 Utveckling av en biosensor för denitrifikationshämning, *Lena Gumaelius, Gunnel Dalhammar*
- 1999-08 VA-försörjning och avfallshantering i lokal Agenda 21 i Skåne – erfarenheter från 20 kommuner, *Peder Hjorth*
- 1999-09 Köksavfallskvarnar – effekter på avloppsreningsverk. En studie från Surahammar, *Tina Karlberg, Erik Norin*
- 1999-10 Kompletterande avloppslösningar i flerfamiljshus och offentliga lokaler, *Jan-Erik Haglund, Birgitta Olofsson, Maria Rydén, Henrik Tideström*
- 1999-11 Slamförbränning, *Katarina Starberg, Jan-Erik Haglund, Jan Hultgren*
- 1999-12 Organiska för(ör)eningar i avloppsvatten från kommunala reningsverk, *Nicklas Paxéus*
- 1999-13 Tillämpning av hydrologiska modeller i vattenplanering, *Lars Kylefors, Thomas Gumbricht, Lars-Göran Gustafsson*
- 1999-14 Spårämnesförsök som undersökningsmetodik vid konstgjord grundvattenbildning, *Lena Tilly, Lena Maxe, P-O Johansson*
- 1999-15 Miljösystemanalys av hushållens avlopp och organiska avfall – syntes av hanteringssystem undersökta inom FoU-programmet "Organiskt avfall som växtnärsresurs", *Erik Kärrman, Håkan Jönsson, Christopher Gruvberger, Magnus Dalemo, Ulf Sonesson, Thor Axel Stenström*
- 1999-16 Kadmium – spårning och analys, *Marie Hägglund, Christina Rydh, Birgitta Strandberg*
- 1999-17 Optimering av långsamfilter, *Husam S. Jabur, Jonas Mårtensson*
- 1999-18 Konstgjord grundvattenbildning – avskiljning av organiskt material i den omättade zonen, *Johanna Blomberg, Redaktör*
- 1999-19 Hårdgörning av dricksvatten med krita i torr form och kolsyra – fullskaleförsök vid Öxsjöverket i Lerum, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
- 1999-20 Servisavloppsledningar – erfarenheter och råd vid schaktfri renovering, *Thomas Johansson*
- 1999-21 Hydraulisk modellering av vattenledningsnät i realtid, *Lennart Andersson*
- 1999-22 Slamspridning på åkermark. Fältförsök med kommunalt avloppsslam från Malmö och Lund under åren 1981–1997, *Per-Göran Andersson, Peter Nilsson*
- 2000-01 Källsorterad humanurin i kretslopp, *Håkan Jönsson, Björn Vinnerås, Caroline Höglund, Thor Axel Stenström, Gunnel Dalhammar, Holger Kirchmann*
- 2000-02 Användningsmöjligheter för avloppsslam, *Henrik Tideström, Katarina Starberg, Thord Ohlsson, Per-Axel Camper, Peter Ek*
- 2000-03 Hantering av svartvatten från Tegelviken skola – kretsloppssystem med våtkompostering, *Erik Norin, Christopher Gruvberger, Per-Ola Nilsson*
- 2000-04 Redovisning av kostnader inom VA-försörjningen, *Gunnar Mellström*
- 2000-05 Konstgjord grundvattenbildning, 100-årig teknik inom svensk dricksvattenförsörjning, *Göran Hanson*
- 2000-06 Reglering av avloppsreningsverk, *Bengt Carlsson, Sara Hallin*
- 2000-07 Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller, *Bo Granlund, David Nilsson*