

Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller

**Bo Granlund
David Nilsson**



00 - 7

Utgiven av VAV AB

**VA-FORSK
RAPPORT
2000 • 7**

 **VA-FORSK**

VAV

VA-FORSK

VA-FORSK är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande 1,05 kronor per kommuninnevånare och år. Avgiften är frivillig och intresset från kommunernas sida har varit mycket stort. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

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

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

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

Ola Burström, ordförande
Peter Balmér
Roger Bergström
Bengt Göran Hellström
Pär Jönsson
Sören Larsson
Peeter Maripuu
Stefan Marklund
Åsa Möller
Peter Stahre
Jan Söderström

Skellefteå
GRYAAB, Göteborg
VAV
Stockholm Vatten AB
Östersund
Hallsberg
Lysekil
Luleå kommun
Sundsvall
VA-verket Malmö
Sv kommunförbundet

Asle Aasen, adjungerad
Maria Byström, sekreterare

NORVAR, Norge
VAV

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande VAVs ståndpunkt.

VA-FORSK
VAV AB
101 53 STOCKHOLM
Tel: 08-677 25 70
Fax: 08-677 25 75

VAV AB är servicebolag till Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen

Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller

***Bo Granlund
David Nilsson***

**VA-FORSK
RAPPORT
2000 • 7**



VAV

Rapportens titel:	Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller
Title of the report:	Field measurements in sewer systems and the principles for verification of computer models of sewer systems
Rapportens beteckning Nr i VA-FORSK-serien:	2000 • 7
ISSN-nummer:	1102-5638
ISBN-nummer:	91-89182-44-8
Författare:	Bo Granlund, VBB VIAK AB, David Nilsson, VBB VIAK AB
Utgivare:	VAV AB
VA-FORSK projekt nr:	97-135
Projektets namn:	Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av MOUSE-modeller
Projektets finansiering:	VA-FORSK
Rapporten beställs från:	AB Svensk Byggtjänst, Litteraturtjänst, 113 87, Stockholm, tfn 08-457 11 00
Rapportens omfattning Sidantal:	100
Format:	A4
Upplaga:	1200
Sökord:	Flödesmätning, nederbörds-mätning, avloppssystem, MOUSE, datormodeller, verifiering, erfarenheter
Keywords:	Flow measurement, rainfall measurement, sewer systems, MOUSE, computer models, verification, experiences
Sammandrag:	Rapporten beskriver förslag till arbetsgång vid verifiering av datormodeller för avloppssystem och vad som bör ingå i dokumentationen från ett projekt. Erfarenheter från mätning av nederbörd samt de vanligaste metoderna för registrering av flöde och nivå i avloppssystem redovisas liksom ett förslag till checklista vid planering och genomförande av mätprojekt, i samband med utredningar om avloppssystem.
Abstract:	The report describes a suggested work scheme when verifying computer models for sewer systems and lists what the documentation from a modelling project should contain. Experiences from rainfall measurement and the most common methods for flow and level registration within sewer systems are described, as well as a proposed check list for the planning and implementation of field measurement projects in connection with sewer system investigations.
Målgrupper:	Konsulter Miljövårdsmyndigheter VA-förvaltningar
Utgivningsår:	2000
Pris 2000:	275 kr, exkl moms
Omslagsbild:	Amis Halldin

Sammanfattning

I samband med funktionsanalys av avloppssystem har det blivit allt vanligare att använda datormodeller. Resultat från modellberäkningar ligger ofta till grund för åtgärdsplanering där syftet bl a är att förbättra avloppssystemets hydrauliska funktion och minimera omfattningen av översvämningar och bräddning av orenat avloppsvatten. För att uppnå en modellbeskrivning som ska kunna anses ge representativa beräkningsresultat för det aktuella systemet krävs normalt att modellen verifieras mot data från mätningar av bl a nederbörd samt flöde och nivå i ledningsnätet.

Som beställare av en sådan utredning kan det vara svårt att värdera vad som krävs för att åstadkomma en tillräckligt bra modellbeskrivning utifrån de syften man har med projektet. Likaså är det inte alltid så enkelt att utifrån en dokumentation från utförda mätningar och modellberäkningar bedöma hur trovärdiga resultaten är och avgöra vilka slutsatser man kan dra av dessa.

När man planerar att genomföra ett modellprojekt är det angeläget att inledningsvis definiera vilka huvudsakliga syften som man vill uppnå. Modellen bör konstrueras för att vara så enkel som möjligt med hänsyn till problem och mål men måste samtidigt ha tillräcklig noggrannhet för sitt syfte. Erfarenheter visar att mycket arbete kan sparas in genom att tidigt genomföra vissa grundläggande kontroller av systemets uppbyggnad och funktioner innan mer omfattande insatser läggs ned på mätningar och modellberäkningar.

Denna rapport utgör en redovisning av VA-FORSK-projektet "Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller". Innehållet baseras huvudsakligen på författarnas erfarenheter från utredningar innehållande mätning och modellering där VBB VIAK deltagit. Till VA-FORSK-projektet har även en referensgrupp knutits med deltagare från Eskilstuna Energi & Miljö AB, Laholms kommun, Örnsköldsviks kommun, VAV, VAI VA-Projekt, DHI Sverige och SMHI. De kommunala representanterna redovisar i bilaga 1 sina erfarenheter av projekt med mätningar och modellberäkningar. Bilaga 3 har utformats av SMHI och i denna beskrivs praktiska aspekter på nederbörds-mätning samt vilka nederbördsdata SMHI kan tillhandahålla.

Rapporten ger en översiktlig beskrivning av vad en modell för avloppssystem är och hur den kan vara uppbyggd. Då MOUSE-systemet är det modellprogram som huvudsakligen använts i Sverige används begrepp som i vissa fall är programspecifika för MOUSE. Den metodik som beskrivs är dock generellt tillämpbar även när andra modellprogram används. Rapporten ger förslag till arbetsgång vid verifiering av modeller och vad som bör ingå i dokumentationen från ett projekt. Erfarenheter från mätning av nederbörd samt de vanligaste metoderna för registrering av flöde och nivå i avloppssystem redovisas liksom ett förslag till checklista vid planering och genomförande av mätprojekt i samband med utredningar om avloppssystem (bilaga 2).

Summary

The use of computer modelling in connection with the functional analysis of sewer systems is becoming more frequent. Results from computer model calculations commonly form the basis for the planning of remediation measures, the purpose of which may be eg to improve the hydraulic function of the system, to minimise the extent and frequency of flooding and to reduce sewage overflow problems. In order to establish a model whose computational results can be considered to be representative for the system in question, it is normally necessary to verify the model against field measurement data, eg rainfall readings and pipe flow and water level measurements in the sewerage system.

When requesting an investigation of this kind it can be difficult to evaluate what is required in order to establish a sufficiently accurate model that will achieve the purpose of the project. Similarly it is not always a simple task to evaluate the credibility of the field data and model computations in order to determine which conclusions may be drawn from these.

In the planning of a computer modelling project it is vital to start by defining the main purpose and aims of the project. The model should be as simple as possible in relation to the problems and aims set out, but also sufficiently accurate to achieve its purpose. Experience shows that much work can be saved through the early implementation of certain basic checks on the structure and function of the system, before more extensive efforts are put into field measurement and model computations.

This report describes the VA-FORSK research project "Field measurements in sewerage systems and the principles for verification of computer models of sewerage systems". The project is mainly based on the appraisal of experiences from different investigations involving field measurements and computer modelling where VBB VIAK have participated. A reference group was created for the research project with participants from Eskilstuna Energy & Environment, Laholm District Council, Örnköldsvik District Council, The Swedish Water and Sewage Works Association (VAV), VAI VA-Projekt, DHI Sverige and the Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI). In Appendix 1 the Council representatives describe their experiences of projects involving field measurements and computer modelling. Appendix 3 has been provided by the Swedish Meteorological and Hydrological Institute and describes practical considerations regarding rainfall measurement as well as the kinds of rainfall data and information that can be supplied by SMHI.

The report describes the concept of a computer model for sewerage systems and provides an outline description of its possible structure. As the MOUSE-system is the main computer modelling program used in Sweden, terms are used which in some cases are specific to the MOUSE program. The methodology described is however generally applicable, even when other computer modelling programs are used. The report provides a suggested work scheme when verifying a model and lists what the documentation from a modelling project should contain. Experiences from rainfall measurement and the most common methods for flow and level registration within sewerage systems are described, as well as a proposed check list for the planning and implementation of field measurement projects in connection with sewerage system investigations (appendix 2).

Förord

Datormodeller används allt oftare vid funktionsanalys av avloppssystem och åtgärdsplanering. En modells trovärdighet bestäms genom jämförelser mellan beräknade och observerade data och resultat från modellberäkningar måste därför verifieras med stöd av mätningar i det aktuella avloppssystemet.

Denna rapport utgör en redovisning av VA-FORSK-projektet "Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller". Rapportens innehåll är huvudsakligen en beskrivning som grundar sig på författarnas erfarenheter från projekt genomförda av VBB VIAK. Till projektet har även en referensgrupp knutits med följande deltagare:

Eva Lehto, Eskilstuna Energi & Miljö AB, Jan-Herman Cleynert, Laholms kommun, Jens Östlund, Örnsköldsviks kommun, Jan Falk, VAV, Bertil Forsberg, VAI VA-Projekt, Hans Hammarlund och Gunnar Svensson, DHI Sverige och Sonja Larsson-McCann, SMHI. Hans Bäckman, VBB VIAK, har anlitats som bollplank och har gett värdefulla synpunkter på rapportens struktur.

Det är författarnas förhoppning att rapporten ska bidra till att öka förståelsen för vad som krävs för att, med stöd av ändamålsenliga mätinsatser, åstadkomma en modellbeskrivning som kan anses tillräckligt förtroendeingivande och noggrann för att uppnå projektets syfte. Rapporten ska således kunna användas som underlag vid planering och upphandling av tjänster som rör mätningar och modellberäkningar avseende avloppsledningssystem.

Vi riktar ett varmt tack till alla som bidragit till genomförandet av detta projekt.

Bo Granlund och David Nilsson

VBB VIAK
Sundsvall och Zimbabwe i januari 2000

Innehållsförteckning

	Sid
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund till projektet	1
1.2 Projektets syfte och genomförande	2
2 Kort om modeller och MOUSE-begrepp	3
2.1 Vad är en datormodell?	3
2.2 Grundprinciper och vanliga begrepp vid modellarbete med MOUSE-systemet	4
2.3 Grundläggande krav på modellen som planeringsverktyg	7
2.4 Grundläggande kontroller före modellberäkningar	10
3 Verifiering av modeller	12
3.1 Allmänt	12
3.2 Översikt över verifieringsproceduren	13
3.3 Redovisning och dokumentation	14
4 Mätning i avloppsnät	17
4.1 Planering av mätning i samband med modellberäkningar	17
4.2 V/h-mätning	19
4.3 Pumpstationsmätning	27
4.4 Bräddavloppskontroll	32
4.5 Flödesmätning i avloppsverk	33
4.6 Nederbörds-mätning	35
5 Referenser	39

BILAGOR

Bilaga 1:	Erfarenheter från några svenska kommuner	
	Eskilstuna	1:1
	Laholm	1:5
	Örnsköldsvik	1:9
Bilaga 2:	Förslag till checklista vid planering och genomförande av mätprojekt i samband med utredningar om avloppssystem.	2:1
Bilaga 3:	Nederbörd och nederbörds-mätning. PM från SMHI	3:1
Bilaga 4:	Beskrivning av arbetsgången vid verifiering av en avloppsmodell i MOUSE-systemet	4:1

1 Inledning

1.1 Bakgrund till projektet

Datormodeller används allt oftare vid funktionsanalys av avloppssystem och åtgärdsplanering. I Sverige har MOUSE hittills varit det mest använda modellprogrammet men det finns också andra program som används i viss omfattning. Vanliga tillämpningsområden för modellberäkningar är exempelvis utredningar i samband med översvämningsärenden eller studier kring omfattningen av bräddning från avloppssystem. Ofta används modellen också som planeringsverktyg för att bedöma effekter av planerade åtgärder och för uppföljning efter åtgärder.

När resultat från beräkningar med en datormodell utvärderas och tolkas är det viktigt att få en bild av hur väl modellen stämmer med verkligheten och vilka begränsningar den har. En avloppsmodell innebär självklart en oerhörd förenkling av verkligheten men har den fördelen att användaren kan få komplicerade förlopp åskådligt redovisade och erhålla statistik på intressanta uppgifter som underlag för funktionsanalys eller dimensionering. Det arbete som görs för att få modellens beräkningsresultat att stämma mot mätningar och andra uppgifter brukar kallas verifiering.

För att kunna modellera det hydrauliska förloppet i ett avloppsledningssystem krävs dels fysiska indata om avloppssystemets uppbyggnad (ledningsdimensioner, nivåer, pumpstationsdata etc) men också indata som beskriver egenskaper i anslutna avrinningsområden. Det kan vara uppgifter om spillvattenflödets storlek och dygnsvariation samt storleken på anslutna ytor och andra parametrar som krävs för att kunna beskriva omfattningen av snabb respektive långsam nederbördspåverkan på avrinningen till systemet.

Mätdata krävs dels i samband med uppbyggnaden av modellen och dels för att kunna verifiera att modellens beräknade flöden och nivåer överensstämmer tillräckligt bra med verkliga (uppmätta) förhållanden utifrån det aktuella syftet med beräkningarna. De typer av mätdata som krävs är främst flöden och trycknivåer i avloppssystemet, registreringar i bräddavlopp samt nederbördsdata. Kvaliteten på och omfattningen av mätdata från det aktuella avloppssystemet är av stor vikt för beräkningarnas giltighet och användbarhet. Detta gäller inte minst kvaliteten på nederbördsdata och dess representativitet för aktuellt avrinningsområde.

Mätresultaten utgör alltså en viktig grund för att modellberäkningarna ska bli

trovärdiga. Samtidigt visar erfarenheter från många projekt där avloppsmodeller använts att de mätningar som genomförs inte alltid ger de mätdata som modellören önskar. Det kan gälla såväl valet av mätpunkter och mätperiod som kvalitén på mätdata. Luckor i mätserier eller mätdata som inte ser trovärdiga ut kan många gånger medföra att arbetet med kalibrering och verifiering av en modell blir onödigt tidsödande eller att modellen inte kan verifieras mot mätdata i önskad utsträckning. Mätningarna kräver en hel del planering, kunskaper och inte minst engagemang från berörd personal för att resultaten ska bli möjliga att använda för verifiering av en modell. Vid planering och upphandling av måttjänster är det inte heller så vanligt att ändamålsenliga och tydliga krav ställs på mätningarnas utförande och på hur redovisning ska ske.

1.2 Projektets syfte och genomförande

Projektets syfte är att utforma en rapport som beskriver erfarenheter av verifiering av avloppsmodeller och vilken konsekvens olika inriktningar på modellarbetet får för mätstrategin. Vidare ska rapporten behandla erfarenheter från mätningar med vanliga mätmetoder (registrering av flöde, nivå, bräddning, nederbörd) samt redovisa ett förslag till checklista att använda i samband med planering och genomförande av mätningar. Rapporten ska således kunna användas som underlag vid planering och upphandling av tjänster som rör mätningar och modellberäkningar avseende avloppsledningssystem.

Rapportens innehåll är huvudsakligen en beskrivning som grundar sig på författarnas erfarenheter från projekt genomförda av VBB VIAK. Till projektet har även en referensgrupp knutits med representanter för kommunerna Eskilstuna, Laholm och Örnköldsvik samt företagen VAI VA-Projekt, DHI Sverige och SMHI. Dessa har beretts möjlighet att lämna synpunkter på rapportens utformning. I separata bilagor redovisar de kommunala representanterna sina erfarenheter från genomförda projekt och SMHI:s representant beskriver teknik och metodik förknippat med nederbörds-mätning.

Rapporten begränsas till erfarenheter från modellering av flöden och trycknivåer i avloppssystem. Modellering av sedimenttransport/vattenkvalitet och realtidssimulering (online-simulering) behandlas således ej. Då MOUSE-systemet är det modellverktyg som använts mest i Sverige kommer rapporten att beskriva verifieringsarbetet enligt den metodik och med de begrepp som används i MOUSE.

Det är författarnas förhoppning att rapporten ska bidra till att öka förståelsen för vad som krävs för att, med stöd av ändamålsenliga mätinsatser, åstadkomma en modellbeskrivning som kan anses tillräckligt förtroendeingivande och noggrann för att uppnå projektets syfte.

2 Kort om modeller och MOUSE-begrepp

2.1 Vad är en datormodell?

En numerisk datormodell är ett sätt att med datorns hjälp försöka beskriva den oftast komplicerade verkligheten i ett mer hanterbart format. Modellbeskrivningen kan i vissa delar baseras på fysiskt kontrollerbara data, exempelvis ledningar som beskrivs med plankoordinater, dimensioner, råhet och nivåer eller storlek på hårdgjorda ytor anslutna till systemet. Man talar här om en fysikaliskt distribuerad modell. Andra typer av modellbeskrivningar kan bestå av parametrar som enbart delvis har en fysisk innebörd och där man försöker efterlikna verkligt uppmätta förlopp genom att ställa in parametrar så att beräkningsresultatet tillräckligt väl överensstämmer med uppmätta data. I en avloppsmodell används denna typ av beskrivning för beräkning av långsammare hydrologiska förlopp som t ex avrinning från naturmark, indirekt nederbörds-påverkan eller läck- och dränvattentillskott till avloppsledningsnätet.

För att kunna simulera förlopp i avloppsledningssystem med en modell (som t ex MOUSE) krävs indata som beskriver de variabler som styr avrinningen till systemet (klimatdata, spillvattnets dygnsvariationer etc). Modellen kan givetvis inte beskriva andra förlopp än sådana som den konstruerats för och om oförutsedda källor bidrar med vatten till ett kombinerat avloppssystem (t ex bakvatten från vattendrag eller från dagvattennätet) kommer beräkningsresultaten under dessa perioder att avvika från uppmätta data. Samma gäller förstås vid t ex driftavbrott i pumpstationer eller kapacitetsnedsättningar i vissa pumpar eller ledningar.

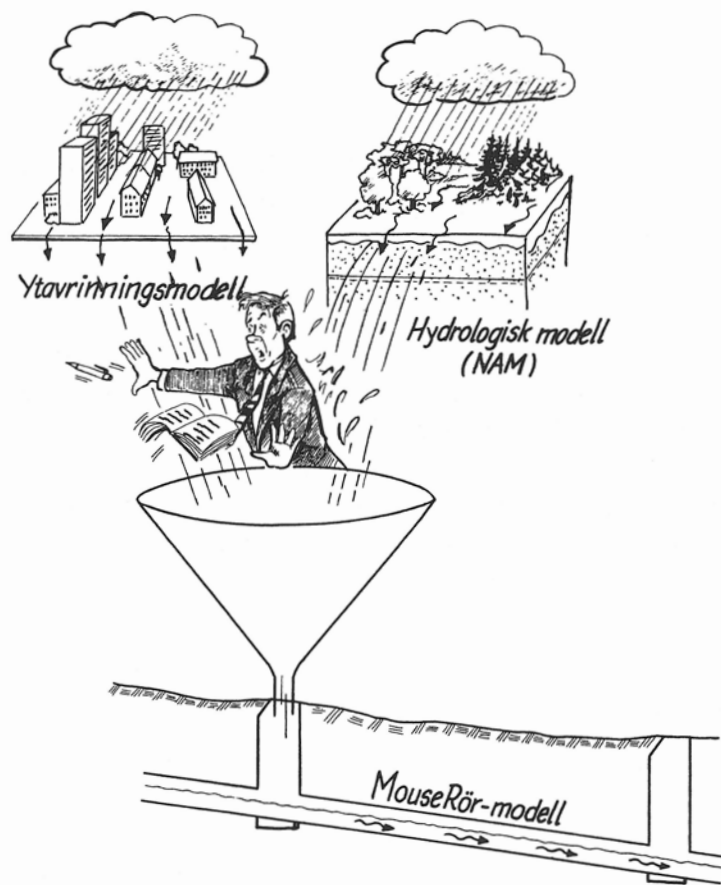
Modellen kan således aldrig ta hänsyn till alla händelser som kan inträffa i ett avloppssystem och resultaten kommer därför inte heller att kunna stämma med verkligheten i alla punkter och situationer. Det är därför viktigt när man konstruerar en modell att så långt som möjligt ta reda på vilka väsentliga faktorer som styr funktionen, speciellt i de delar av systemet där resultatet är extra betydelsefullt som t ex i partier där översvämningar har inträffat. Modellen kan då kanske konstrueras för att exempelvis ta hänsyn till bakvattenpåverkan från dagvattensystemet genom att även detta system beskrivs med förekommande bräddöverkopplingar till avloppsnätet. Många gånger upptäcks dock sådana avvikelser först i samband med analys av mätdata eller vid jämförelser mellan modellberäkningar och mätdata. Modellkonstruktionen kan då behöva kompletteras efter det att nätet kontrollerats och arbetet blir i viss mån iterativt där slutmålet är att uppnå en modell som tillräckligt väl beskriver de förlopp man vill studera utifrån kända problem och syftet med beräkningarna.

Som framgår ovan har de mätningar som görs för att ge underlag till kalibrering och kontroll av modellen en stor betydelse för arbetet och för möjligheten att kunna kvalitetssäkra beräkningarnas giltighet så att modellen inger förtroende.

Resultat från modellberäkningar kan redovisas på många olika sätt. I de tidiga modellprogrammen genererade varje beräkning förhållandevis små datamängder och utvärdering gjordes manuellt utifrån buntvis med datautskrifter. Idag kan resultaten åskådliggöras på ett helt annat sätt med statistiska uppgifter, grafiska kurvor, GIS-applikationer mm vilket underlättar utvärderingen trots att resultatfilerna ibland innehåller data från beräkningar som sträcker sig över flera års drift och att datamängderna mångdubblats.

2.2 Grundprinciper och vanliga begrepp vid modellarbete med MOUSE-systemet

För att underlätta för den oinvigde läsaren förklaras här kortfattat några begrepp som ofta används och som återkommer i rapporttexten. Nomenklaturen är inte generell för alla modellprogram utan många uttryck är speciella för MOUSE-systemet och dess olika delar. Principerna för beräkning av ytavrinning och rörströmning kan illustreras av nedanstående figur:



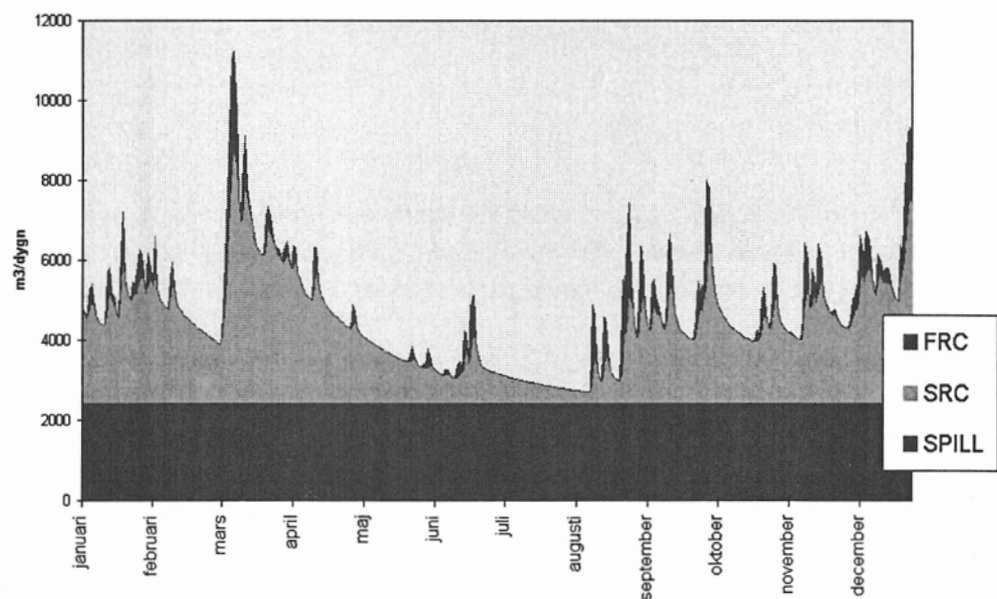
Figur 2.1 Beräkningsmetodiken i MOUSE. Bilden illustrerar behovet av att ta hänsyn till såväl snabb ytavrinning som den långsammare hydrologiska påverkan som uppstår efter regniga perioder. Från VA-FORSK 1993-07.

Som figuren visar beräknas i MOUSE först avrinningen från olika delområden till knutpunkter/brunnar på avloppsnetet och därefter görs själva rörnätsberäkningen. Normalt är det mest intressant att uppnå god överensstämmelse avseende den snabba nederbördspåverkan som uppstår via avrinning på hårdgjorda ytor (toppflödesrelaterade problem, t ex översvämning, bräddning). Den hydrologiska modellen beräknar hur bidragen från mark- och grundvattenmagasin varierar, en påverkan som sker även under perioder med uppehållsväder. Här beräknas även avrinningen under snösmältningsperioder.

MOUSE är uppbyggt i ett modulsystem med speciella beräkningsmoduler för olika ändamål, se tabell 2.1. Hjärtat i alla installationer är HD-modulen (hydrodynamisk modul) som även kallats för MouseRÖR. Denna innehåller en indatadel, avrinningsberäkning från hårdgjorda ytor, rörnätsberäkning och en presentationsdel. Beräkningarna levererar i huvudsak två resultattyper; tidsserier av flöde respektive nivå i ett stort antal punkter genom hela systemet.

För beräkning av långsammare hydrologiska förlopp som t ex avrinning från naturmark, indirekt nederbördspåverkan eller läck- och dräntillskott till avloppsledningsnätet används NAM-modulen (Nederbörds och Avrinnings-Modell). Med NAM-modellen beräknas både den snabba (FRC, Fast Runoff Component) och den tröga flödeskomponenten (SRC, Slow Runoff Component) för långa tidsperioder, se figur 2.2. Ibland väljer man att använda NAM-modellen för beräkning enbart av ytaavrinningen (FRC). Modellen fungerar då principiellt på samma sätt som ytaavrinningsmodellen i HD-modulen.

De vanligaste delkomponenterna i flödesbelastningen på ett dagvattenpåverkat spillvattenförande ledningssystem blir med denna nomenklatur: Spillvatten, FRC och SRC. Som figuren nedan illustrerar ger SRC-komponenten ofta stora volymer under ett år medan FRC-komponenten ger snabba, ofta höga flödestoppar men små årsvolymer.



Figur 2.2 Snabba (FRC) och långsamma (SRC) avrinningskomponenter vid simulering med NAM-modellen.

Långtidssimulering av avloppsledningsnätets hydraulik utförs i RTC-modulen, tidigare benämnd PILOT-modulen. RTC står för Real Time Control och som namnet antyder kan dessutom styr- och reglerstrategier för ledningsnätet simuleras (reglerbara skibord och luckor, pumpar och ventiler etc).

Presentationsdelen i MOUSE heter MikeView. I MikeView laddas resultatfilen in varefter nivåer, flöden, hastighet mm kan redovisas i plan, profil eller i diagram.

De vanligaste modulerna visas i nedanstående tabell:

Tabell 2.1 De huvudsakliga modulerna i MOUSE-systemet

MOUSE-modul		Användningsområde
HD	<i>Hydro Dynamisk</i>	Rörnätsberäkning och ytavrinning
NAM	<i>Nederbörds - Avrinningsmodell</i>	Hydrologisk modell för snabb och långsam avrinning
RTC	<i>Real Time Control</i>	Långtidsberäkning, bräddning, regleringsstrategier
MIKE View		Presentation av beräkningsdata

Det finns även moduler för beräkning av sedimenttransport, On-line beräkning i anslutning till övervakningssystem samt GIS-koppling till databaser och kartsystem, metodiken förknippad med dessa behandlas dock inte i denna rapport.

2.3 Grundläggande krav på modellen som planeringsverktyg

Man skulle kunna sammanfatta kraven på en modells viktigaste egenskaper med följande punkter. En modell ska:

- Inge förtroende
- Tydliggöra det vi vill visa
- Ha tillräcklig noggrannhet för sitt syfte
- Vara så enkel som möjligt med hänsyn till problem och mål

Det är således viktigt att ha klart för sig med vilket syfte eller vilka syften man genomför ett modelleringsprojekt. Förutom en bättre fokusering mot målen i

projektet kan man lättare avgränsa behoven av verifiering och erforderlig mätdata för detta ändamål. Ju bättre information som finns sammanställd om systemets funktion och kända problem desto lättare är det att tidigt bedöma vilka avgränsningar systembeskrivningen ska ha, i vilka punkter som modellen främst bör kunna kontrolleras mot uppmätta data och vilka indata som kommer att behövas.

De vanligaste syftena med modelleringsprojekt avseende avloppssystem kan sägas vara:

- A. Analys av hydraulisk kapacitet i kombinerade avloppssystem och dagvattnet, ofta med fokus på översvämningssammanhang och dimensioneringsutredningar
- B. Modellering av hydrologi och tillrinning till avloppsreningsverk eller punkter inom delområden av ledningsnätet, t ex pumpstationer, för att bestämma flödesnyckeltal och frekvens-varaktighetssamband mm
- C. Beräkning av bräddning på avloppsledningsnät - bräddade volymer och bräddfrequens

I många fall är syftet en blandning av de ovanstående och syftet är ofta olika i de olika delarna av avloppssystemet. Vi kommer i fortsättningen att hänvisa till dessa "typstudier".

Beroende på syftet med aktuellt projekt kommer också olika programmoduler till användning vilket ställer delvis olika krav på indata till modellarbetet, inte minst vad beträffar mätpunkter och mätdata typer. I dessa typstudier används - huvudsakligen - följande moduler i MOUSE:

Tabell 2.2 Typstudier med MOUSE-systemet.

Typstudie	Benämning	MOUSE-modul
A	Kapacitetsberäkning	HD (Hydro Dynamisk)
B	Hydrologi	NAM (Nederbörds – AvrinningsModell)
C	Bräddning	HD, NAM, RTC (Real Time Control)

Vid *typstudie A* är det systemets kapacitet i begränsande sektioner vid toppflöden som ska studeras för analys av vad som är dimensionerande belastning (återkomsttid för regn etc) eller som underlag till åtgärdsförslag. I dessa fall är det speciellt viktigt att systembeskrivningen i anslutning till kända problemområden på nätet stämmer med verkligheten och att maxkapaciteten i berörda ledningar och pumpstationer kontrolleras. Dämningsnivån i känsliga punkter bör kontrolleras i samband med några intensiva regn eftersom modellens trovärdighet främst kan bedömas utifrån överensstämmelse mellan beräknad och uppmätt trycknivå. Återkomsttider för överskridande av känsliga nivåer kan bedömas antingen efter beräkningar med olika statistiska regn eller utvärdering av resultat från beräkning med långa nederbördsserier.

Vid *typstudie B* är det inte längre trycknivån i nätet utan enbart flödet i en punkt (från ett större eller mindre avrinningsområde) som ska simuleras. I dessa fall är ledningsnätet uppströms mätpunkten inte alls beskrivet i modellen och den viktigaste informationen om vad som inträffar på nätet är om, och vid vilka flöden som det bräddar bort vatten. En kalibrerad hydrologisk avrinningsmodell (NAM) redovisar som beräkningsresultat vilka flöden som genereras inom området beroende på nederbörds- och snösmältningspåverkan men den kan inte ta hänsyn till om kapaciteten i nätet ibland överskrids. Förekomsten av bräddning uppströms mätpunkten kan främst tolkas vid jämförelse mellan uppmätt och beräknat flöde genom att det uppmätta flödet planar ut i samband med vissa flödestoppar hos modellens beräknade flöde.

När bräddssituationen vid nätets olika bräddpunkter ska analyseras avseende volym och frekvens (*typstudie C*) blir kraven på modellarbetet och systembeskrivningen ofta större än för de tidigare typfallen om överensstämmelsen med verkligheten ska bli god. De enskilda bräddavloppens hydrauliska egenskaper kan i vissa fall vara väldigt svåra att beskriva bra i en modell. En dålig beskrivning kan t ex medföra att ett bräddavlopp, som avlastar en självfallsledning vid en viss vattennivå i modellen, släpper ut alldeles för stora (eller små) mängder. Bäst noggrannhet uppnås kanske när bräddning uppstår pga dämning från en nedströms liggande pumpstation, då medför kontinuitetsvillkoret i beräkningarna att den bräddade volymen blir lika med tillrunnen volym minus pumpad volym. Systembeskrivningen blir alltså väldigt viktig för resultatens noggrannhet. Vidare är nederbördsdata och dess representativitet för berört avrinningsområde förstås viktigt, i de fall där snösmältningen ger betydande avrinning kommer också modellens hantering av detta att påverka bräddvolymerna i hög grad.

Av beskrivningarna ovan framgår att modellberäkningar för avloppssystem inte är någon exakt vetenskap och att en viss felmarginal får påräknas oavsett hur mycket ansträngning som läggs ner på arbetet. Som analys- och planerings-

verktyg har dock modeller en viktig roll, frågan är ju om det går få fram ett bättre underlag på annat sätt?

I uppräkningsen ovan förutsätts att en någorlunda klar problembild kan hittas inom det avloppssystem man avser att studera med modellen. Så är dock inte alltid fallet. Man kan ibland välja att arbeta med en datormodell mer utifrån en pedagogisk utgångspunkt där man successivt lär känna sammanhangen, den hydrauliska funktionen och eventuella problembilder genom själva modellarbetet. Ofta görs viktiga upptäckter under datainsamling och modelluppbyggnad och vid jämförelser mellan beräknade och uppmätta värden. Det kan till exempel röra bräddning i okända bräddpunkter, nedsatt ledningskapacitet, fel i pumpstationer mm. Med detta upplägg i modellarbetet kan det vara svårare att tidigt definiera kraven på modellens trovärdighet - i detta fall bör dock förr eller senare utkristalliseras ett eller flera av de ovanstående huvudsyftena.

2.4 Grundläggande kontroller före modellberäkningar

Modellen beskriver ledningsnätets funktion, baserat på uppgifter som kan fås ur kartor, ritningar, ledningsdatabaser, mätresultat och fältinventeringar. När nödvändiga indata sammanställts och matats in i modellbeskrivningen kan inledande beräkningar göras vilka kommer att visa om modellen är "körbar" eller ej, dvs om beskrivningen uppfyller de logiska villkor som modellprogrammet kräver för att kunna producera resultatfiler. Om beräkningen fungerar utan anmärkningar innebär detta dock inte att modellen fungerar på ett verklighetsliknande sätt. Modellen förutsätter t ex att pumparna i ingående pumpstationer ger de flöden som antagits och att ledningarnas transportkapacitet inte är nedsatt på grund av sediment eller rötter. Vid situationer som ger hydraulisk överbelastning i systemet är det också väsentligt att alla bräddavlopp/nödavlopp som kan avlasta systemet har lagts in och att deras hydrauliska funktion är rimligt beskriven.

Innan något mer omfattande arbete läggs ned på beräkningar bör därför vissa grundläggande kontroller av det aktuella avloppssystemet göras. Kontrollerna bör helst även göras innan några större insatser lagts ned på flödesmätningar etc eftersom mätresultaten ibland visar att nätet har grundläggande fel som måste åtgärdas varefter mätresultaten inte längre är representativa för avloppssystemet i det fortsatta arbetet. Vad som är viktigast att kontrollera måste avgöras från fall till fall men erfarenhetsmässigt kan man spara in mycket arbete om man tidigt kontrollerar bl a följande:

- *Pumpstationer:* Viktiga pumpstationer bör kontrolleras avseende driftsätt och maximal pumpkapacitet. Verklig maximal pumpkapacitet överensstämmer inte alltid med den teoretiskt antagna och en stor avvikelse kan

ge avsevärda fel i modellberäkningen vad gäller pumpade flöden, bräddvolymmer och översvämningsrisker.

- *Sediment och hinder i ledningar:* Förekomsten av större sedimentansamlingar eller andra hinder i viktiga ledningar kan leda till mångdubbelt större bräddvolymmer eller översvämningsrisker än vad som skulle vara fallet i ett rensat system.
- *Bräddavlopp:* Samtliga bräddpunkter inom modellområdet bör inventeras med avseende på funktion och de fysiska data som behövs till modellbeskrivningen. Finns alla viktiga brädd-/nödavlopp med i modellen? Det är inte ovanligt att vissa bräddpunkter inte fungerar som avsett eller att det förekommer igensättningar eller andra fel. Den fysiska utformningen av vissa bräddavlopp kan vara svår att på ett bra sätt beskriva matematiskt i en modell, i dessa fall blir den beräknade bräddvolymen och dämningnivån i anslutning till bräddavloppet osäker.

Ett nära samarbete med driftpersonalen vid diskussioner om nätets funktion kan tidigt ge indikationer på vilka grundläggande kontroller som bör genomföras. I de fall som stora avvikelser fortfarande föreligger mellan modell och verklighet efter kontrollerna uppdagas ofta sådant i samband med mätningar eller vid jämförelser mellan mätresultat och modellens beräknade resultat för nivå och flöde.

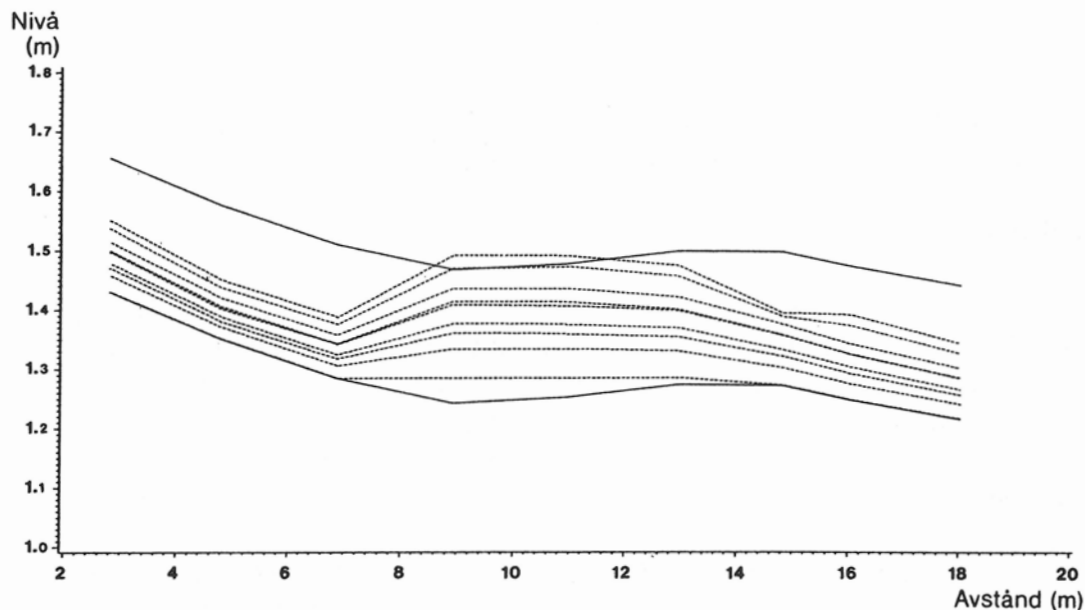
3 Verifiering av modeller

3.1 Allmänt

Som nämnts ovan så förutsätter modellen t ex att pumparna ger de flöden som antagits och att ledningarnas transportkapacitet inte är nedsatt på grund av sediment eller rötter. Mätningarna beskriver ledningsnätets verkliga funktion, under förutsättning att mätningarna är av god kvalitet. Tagna tillsammans kan modellens och mätningarnas beskrivning av ledningsnätets funktion ge mycket intressant information. Där överensstämmelsen är god går det att dra slutsatsen att modellen ger en god beskrivning av verkligheten. Där det finns avvikelser finns det anledning att gå vidare och undersöka vad dessa kan bero på. Ofta kan det vara tillräckligt att justera ytor, koncentrationstider, brunnslösluster och ledningarnas råhet. Om detta inte är tillräckligt finns det anledning att misstänka att ledningsnätets struktur, ledningsdimensioner eller vattengångsnivåer är felaktigt beskrivna i modellen. Det kan också vara frågan om sediment, rötter eller andra föremål som påverkar flöden och nivåer i ledningsnätet.

Modellen är alltså inte verkligheten. En modell skapas just för att verkligheten ofta är alltför komplex och svåröverblickbar för att vi skall ha möjlighet att greppa både detaljerna och sammanhanget. Därmed tvingas vi till förenklingar och antaganden dels om systemens utseende, dels om processerna i systemet. Antaganden och förenklingar kan också göras olika väl - den erfarna VA-teknikern och modellören gör troligen bättre antaganden än den oerfarne. Förutsättningarna är förstås bättre för den VA-förvaltare som har ett uppdaterat ledningsregister med samtliga vattengångar, markhöjder, dimensioner, pumpkapaciteter, tv-inspektionsbetyg mm än för den som har knapphändig information om sitt system.

Man måste därför inse att en modell innehåller en lång rad förenklingar och antaganden, det finns också situationer som modellen inte kan efterlikna. Exempelvis förutsätts alla ledningar ha konstant lutning mellan två brunnar. Det är naturligt att en ledning i verkligheten kan ha svackor och varierande fall mellan brunnarna. Eftersom vattendjupet vid ett visst flöde påverkas av ledningens lutning och det utbildas vattensprång i övergången från brantare till flackare partier kan alltså vattennivån över vattengången variera mellan två brunnar, se fig nedan hämtad från "Flödesmätning i avloppsnät med portabla utrustningar. Meddelande nr 69, Chalmers tekniska högskola, 1983" där hydrauliken i en 225 mm betongledning studerades i labbmiljö.



Figur 3.1 Vattenstånd vid olika flöden längs en ledningssträcka med varierad lutning mellan två brunnar. Försök med en 225 mm betongledning.

Fyllnadsgraden var vid det högsta flödet ca 60 % vid brunnarna men nivån steg över hjässan på ledningen vid det flacka partiet. Svackor på en spillvattenförande ledning kan vidare leda till sedimentation vilket i sin tur kan ge betydande reduktion på den hydrauliska kapaciteten med åtföljande dämningseffekt.

För att kunna lita till modellresultaten måste man därför verifiera modellen - dvs testa dess trovärdighet.

3.2 Översikt över verifieringsproceduren

Ett antal begrepp rörande verifiering kan ibland verka väldigt snarlika och därmed förvirrande varför det kan vara lämpligt att här definiera dessa begrepp. Det bör sägas att detta inte är vedertagen begreppspraxis inom alla områden där matematiska modeller utnyttjas. Inom hydrologi och oceanografi till exempel används normalt inte uttrycket verifiering alls. Speciellt för modeller inom VA-området i Sverige har dock utvecklats en praxis under senare år vilken kommer utnyttjas i fortsättningen.

Verifiering

En modells trovärdighet bestäms genom jämförelse mellan beräknade och observerade data. En modell kan vara olika väl verifierad - en modell som genomgått en verifieringsprocedur får därför inte automatiskt ses som "sann".

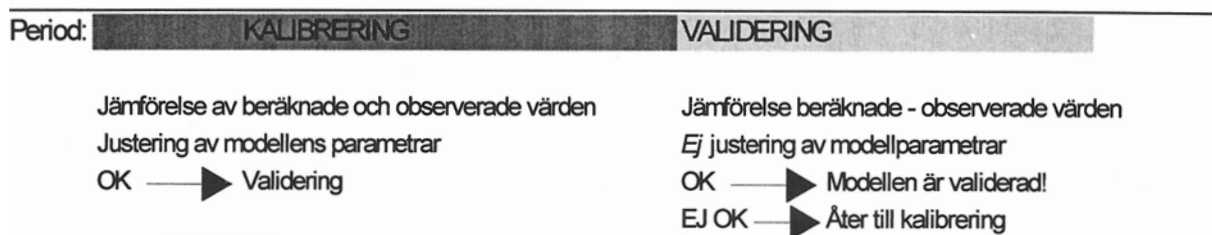
Verifieringsmetoden och verifieringsgraden bör alltid redovisas. Verifieringsproceduren kan bestå av momenten kalibrering och validering (se nedan).

Kalibrering

Anpassning av modellen till uppmätta data. Uppmätta data - oftast nivå och hastighet (varifrån flöde beräknas) - på ledningsnätet för en viss period jämförs med beräknade värden för samma period. Modellens parametrar justeras tills en så god överensstämmelse som möjligt erhålls.

Validering

Test av modellen mot uppmätta data. Uppmätta och beräknade värden jämförs för *mätdata mot vilken kalibrering ej tidigare skett*. Har modellen tidigare kalibrerats mot samma mätpunkt som validering sker skall valideringen alltså ske mot en annan mätperiod. Justering av modellens parametrar skall ej ske vid validering.



Figur 3.2 Verifiering kan utgöras av momenten kalibrering och validering

En utförligare beskrivning av arbetsgången vid verifiering av en avloppsmodell redovisas i **bilaga 4**.

3.3 Redovisning och dokumentation

Resultaten från analyser med t ex MOUSE-modeller utgör ofta beslutsunderlag för åtgärder och insatser, vilka ibland medför stora kostnader. För att minska risken för felaktiga beslut är det lämpligt att i samband med modelleringsprojekt redovisa verifieringsproceduren och -resultatet. Även i de fall modellen eller delmodellen ej är verifierad bör betydelsen av detta belysas i förhållande till resultaten från modellanalysen, genom resonemang eller känslighetsanalys.

Dokumentationen av verifieringen blir också tydligare och enklare om det finns tydliga kopplingar mellan denna och mätrapporten.

Redovisningen av verifieringen bör innehålla följande:

- modellförutsättningar
- beskrivning av verifieringsproceduren
- översikt över verifieringspunkter
- sammanställning över verifieringsperioder
- redovisning av verifieringsresultat
- värdering av verifieringen

Modellförutsättningar

Beskrivning av antaganden och indata till modellen under verifieringsperioden; vilka nederbörds- och temperaturdata som använts och eventuella korrigeringar av klimatdata.

Beskrivning av verifieringsproceduren

Översiktlig genomgång av verifieringsproceduren steg för steg.

Översikt över verifieringspunkter

Läget på verifieringspunkterna i systemet bör redovisas i kartform. I mättrapporten används ofta en annan benämning än den i modellen. Namnet på punkterna i verifieringsöversikten skall därför överensstämma både med benämningen i mättrapporten och i modellbeskrivningen för att undvika missförstånd.

Sammanställning av verifieringsperioder

Perioderna från vilka mätdata har använts för respektive mätpunkt redovisas i en sammanställning. Även här är det viktigt att en konsistent benämning används.

Redovisning av verifieringsresultat

Denna del av redovisningen är den som är svårast att göra överskådlig och objektiv, och kan också lätt bli ganska omfattande och utrymmeskrävande om man har många verifieringspunkter. Det mest rättvisande sättet att åskådliggö-

ra verifieringsgraden är grafisk redovisning av de beräknade och uppmätta resultaten för hela verifieringsperioden. Man måste också oftast "zooma in" de mest intressanta perioderna. Detta kan dock röra sig om ganska många enskilda tillfällen och alltså många grafer, vilket kan bli rörigt och oöverskådligt. Om man har många punkter och många verifieringstillfällen bör man kunna dra ned på antalet grafiska redovisningar genom ett varsamt urval. Kravet man bör ställa på denna urvalsprocess är att de utvalda verifieringsresultaten skall representera modellens funktion vid flera olika belastningssituationer (t ex små och stora regn) om modellen skall användas som ett generellt verktyg. Om modellen skall användas med ett specifikt syfte för att studera en specifik situation, kan verifieringsresultat från situationer liknande den som är avsedd att studeras prioriteras. Detta bör då poängteras i redovisningen.

Värdering av verifieringen

För en person som ej själv deltagit i verifieringsarbetet och som kanske ej ens har modellvana, är det ofta svårt att tolka och värdera verifieringsresultat. En så långt som möjligt "objektiv" värdering av verifieringsresultatet bör därför göras av modellören. I denna värdering skall framhållas modellens trovärdighet generellt sett och dess trovärdighet för studier av eventuella specifika ändamål samt en värdering av tillförlitlighet hos mätdata. Här kan det också vara på sin plats att jämföra med allmänna rimlighetsbedömningar, jämförelser med erfarenheter från andra system, uppfattningar av systemets funktion från personer med god lokalkännedom, samt eventuella kontrollräkningar "för hand".

Här skall också poängteras om det finns tänkbara situationer där modellen ej längre är trovärdig, dvs där den ej på ett riktigt sätt beskriver funktionen i systemet på grund av förenklade modellantaganden. Det kan exempelvis röra sig om antaganden i modellen om kommunikation med dagvattennät eller recipienter.

4 Mätning i avloppsnät

4.1 Planering av mätning i samband med modellberäkningar

Vid planering av mätningar i samband med modellberäkningar för avloppssystem måste man inledningsvis utgå från följande frågeställningar:

- **VARFÖR?**
Vad är modellberäkningarnas huvudsakliga syften och vid vilka punkter på systemet har vi störst behov av mätvärden på flöde och/eller nivå för att verifiera modellen?
- **NÄR?**
Vilka flödessituationer vill vi kunna verifiera, vilken säsong är lämplig och hur lång mätperiod kan behövas?
- **MÖJLIGA MÄTPUNKTER?**
Vilka brunnar, pumpstationer, bräddavlopp etc. är lämpliga för mätning?
- **BEHOV AV REGNDATA?**
På vilka platser bör vi ha nederbördsräknare med hög upplösning? Kan befintliga mätstationer nyttjas (SMHI, kommunala mätare etc.)?
- **UTFÖRANDE?**
Vilken typ av mätutrustning ska väljas? Mätning i egen regi eller ska vi köpa mättjänsten? Krav på bearbetning av mätdata och dokumentation?

Syftet med mätningar i olika punkter på nätet kan givetvis variera. I vissa punkter kan t ex huvudsyftet vara att registrera nederbördspåverkan under ett antal regntillfällen för beräkning av storleken på den fiktivt anslutna ytan vilket används som en konstant i modellens beskrivning av ytavrinningen inom delområdet. I andra punkter kan huvudsyftet vara att få underlag till verifiering av modellens beräkning av nivå och/eller flöde. I bägge fallen krävs tillgång till nederbördsdata registrerade i lokalt placerade regnmätare under samma period som flödesmätningen för att möjliggöra utvärdering av nederbördspåverkan.

Vid behov av många mätpunkter ökar kostnaden för såväl själva mätdatainsamlingen som för mätdatabearbetning och verifieringsarbete med modellen. Samtidigt ökar modellens trovärdighet ju fler mätpunkter man har där överensstämmelsen mellan uppmätta och beräknade värden är rimliga.

En frågeställning som ofta dyker upp vid planering av mätningar är om man ska mäta med ett stort antal mätinstrument samtidigt eller om man ska mäta under flera perioder och flytta runt ett färre antal mätare till olika mätplatser. Ur modellörens perspektiv är det önskvärt att mäta i alla mätpunkter som ska användas för verifiering av modellen under en och samma mätperiod. Detta ger dels möjligheter att genom jämförelse mellan olika mätpunkter hitta förklaringar till vissa händelseförlopp, dels krävs inte lika många verifieringsberäkningar med modellen.

Ibland finns det gamla mätdata att tillgå från tidigare kampanjmätningar, från övervakningssystemet eller från avloppsverkets flödesmätare. Detta kan vara av stort värde men det gäller att bedöma vilken kvalitet dessa data har, om upplösningen är tillräcklig och om de är representativa för situationen i dagens avloppssystem.

Vid kalibrering av den långsamma avrinningskomponenten i MouseNAM (flödestillskott från läck- och dräneringsvatten etc) behövs tillgång till en representativ lång tidsserie av mätdata (helst längre än 3 år) med dygnsupplösning. I dessa fall är man oftast begränsad till att använda flödet som registrerats i avloppsverket. Det förekommer även att mätdata från punkter på nätet kan användas, främst från pumpstationer. Eftersom kalibreringen görs med dygnsmedelvärden kan ofta nederbördsdata från SMHI:s stationsnät användas om en sådan finns i närheten och bedöms vara representativ för det studerade nederbördsområdet.

I detta kapitel kommer vi att beskriva erfarenheter från några vanliga mätmetoder och ge förslag till vad man bör tänka på för att undvika vanliga fel vid mätning och mätdatabearbetning. Det är mycket vanligt att resultaten efter en mätperiod med flera mätinstrument i drift innehåller kortare eller längre perioder med ej trovärdiga/ej användbara mätdata eller att mätdata helt saknas för vissa perioder. Genom att ställa upp tydliga mål och krav på mätningarnas genomförande kan många av dessa fel undvikas.

De mätprinciper som beskrivs i detta kapitel är:

- V/h-mätning (hastighet+nivå) i självfallssystem
- Pumpstationsmätning
- Nederbörds-mätning
- Bräddavloppskontroll
- Flödesmätning i avloppsverk

I de fall man avser nyttja mätdata som registrerats i ett övervakningssystem bör mätdatahanteringen för varje mätpunkt granskas. Samma förutsättningar måste givetvis vara uppfyllda som vid en kampanjmätning om de mätresultat som registreras i övervakningssystemet ska vara trovärdiga. Dessutom finns risken att noggrannheten på mätdata försämras genom hanteringen i systemet och att upplösningen med tiden försämras. T ex kan mätdata som registrerats med 10 min upplösning omräknas så att det efter en månad endast återstår dygnsmedelvärden. Det kan också vara svårt att i efterhand kontrollera och bedöma trovärdigheten hos mätdata i ett övervakningssystem då t ex rådata från en pumpstation kontinuerligt beräknats till flöde och mätförutsättningarna inte är kontrollerade under den period som ska studeras.

Ett förslag till checklista vid planering och genomförande av mätprojekt redovisas i **bilaga 2**.

4.2 V/h-mätning

Mätmetoden bygger på principen att registrera vattnets medelhastighet och nivå (eng. Velocity/Height) i en ledningssektion för att sedan med kännedom om aktuell nivå och ledningens innerdiameter beräkna vattenarean i mätsektionen och därefter flödet enligt sambandet:

$$Q=A*V$$

där: Q = flöde

A = area

V = medelhastighet

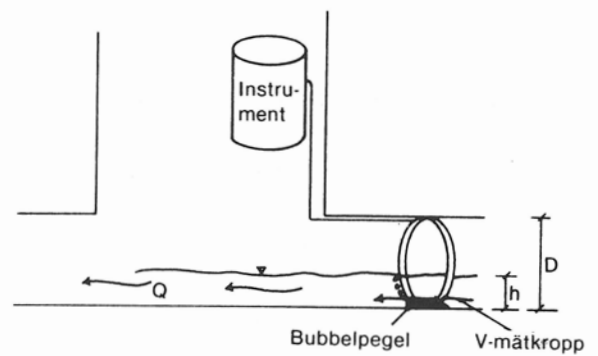
Metoden benämns ibland även A/V-mätning (Area/Velocity).

Flödesmättningsprincip :

NIVÅ-HASTIGHET

Mätning av primärvärden

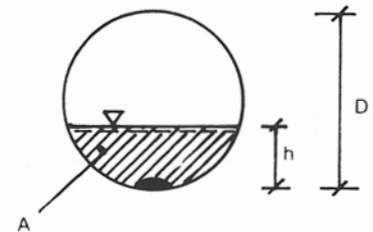
- Nivån registreras som en andel av mätområdet (D).
- Hastigheten mäts invid mätkroppen (V - mätkropp).



Omvandling till flöde

- Den våta tvärsnittsarean (A) beräknas med en trigonometrisk funktion :

$$A = f(\text{nivå}, D)$$



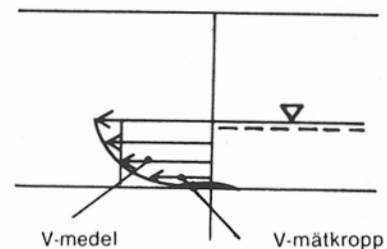
- Medelhastigheten (V - medel) beräknas med :

$$V\text{-medel} = k \cdot V\text{-mätkropp}$$

Där k är en konstant

- Flödet erhålls genom

$$Q = A \cdot V\text{-medel}$$



Figur 4.1 Principskiss för v/h-mätning där hastigheten mäts med induktiv givare.
Ur Meddelande nr 69, Chalmers tekniska högskola, 1983

Mätaren består av en eller flera givare för nivå respektive hastighet samt en programmerbar datalogger som registrerar mätvärden enligt önskade intervall. Programmering och datatömning sker normalt genom direkt kabelkommunikation mot en PC. Möjligheter finns även att kommunicera via telenät eller GSM-telefon. Vanligast är dock att mätmetoden används vid tidsbegränsade mätperioder då kommunikation sker direkt mot loggern som normalt strömförsörjs av utbytbara batterier.

Många typer av v/h-mätare är programmerade att beräkna flöde kontinuerligt utifrån registrerade indata vilket ger möjlighet att direkt avläsa aktuellt flöde och kanske även total volym som passerat mätaren under mätperioden. Eftersom nivå- respektive hastighetsdata registreras på separata kanaler finns även möjlighet att i efterhand korrigera mätdata och beräkna flödet på nytt. Om kontrollmätningar visar att nivåmätaren registrerat för låg eller för hög nivå kan justeringar göras av rådata innan slutgiltigt flöde beräknas. Ny beräkning av flödet i efterhand kan även vara nödvändigt för att ta hänsyn till sedimentnivån i ledningen (minska den våta arean) eller om en felaktig ledningsdiameter har angetts i loggern. Sådana beräkningar kan oftast göras med den programvara som hör till mätinstrumentet.

En annan vanlig beräkning är att använda Mannings formel och beräkna flöde utifrån enbart nivådata samt uppgifter på ledningens lutning, råhet och dimension. Detta är vanligt vid perioder då hastighetsdata saknas eller förefaller felaktiga, en osäker faktor vid beräkningen är dock att Mannings formel förutsätter fri strömning och att dämning inte får förekomma. En stor fördel med v/h-mätning är ju annars att perioder med dämning eller överbelastning nedströms mätsektionen lätt kan upptäckas. Hastigheten på vattnet sjunker vid dämning samtidigt som nivån stiger. Flödet beräknas i detta fall fortfarande korrekt med v/h-mätaren. Flödesberäkning med Mannings formel bör därför endast användas under kortare perioder och resultatet kontrolleras mot perioder då hastigheten fungerat. Nivån bör ligga inom det intervall som uppmätts då både hastighet och nivå registrerats. Exempelvis kan en period med dämning i systemet felaktigt tolkas som en flödestopp om bara nivåvärdet har registrerats. Vid kalibrering/verifiering av en modell kan man vid perioder med bortfall av hastighetsdata jämföra uppmätt och beräknad nivå och utelämna flödesjämförelsen.

Vanliga typer av mätgivare:

Nivå: Tryckgivare (piezoresistiv), bubbelrör, ekolod

Hastighet: Ultraljud (doppler), elektromagnetisk (induktiv)

Vid hastighetsmätning med dopplermetoden omvandlar normalt instrumentet ultraljudssignalerna direkt till värden på vattnets medelhastighet. Det förekommer även instrument som mäter maxhastigheten i tvärsnittet (peakvelocity). I detta fall måste maxhastigheten omräknas till en medelhastighet med hjälp av konstanter specifika för varje mätpunkt. Denna konstant beräknas utifrån profilkalibrering där förhållandet mellan högsta hastighet och medelhastighet manuellt mäts upp vid olika flödesnivåer.

Vid induktiv hastighetsmätning registreras hastigheten på vattnet endast närmast givarkroppen (v-mätkropp) och flödets medelhastighet beräknas genom antagandet att det råder ett konstant förhållande mellan medelhastighet och v-mätkropp över hela fyllnadshöjden. Även i detta fall bör värdet på konstanten beräknas utifrån profilkalibrering.

4.2.1 Kriterier för val av lämpliga mätpunkter

För att uppnå god mätnoggrannhet med en v/h-mätare eftersträvas en mätplats med så goda hydrauliska förhållanden som möjligt, d.v.s. att vattnet rinner med jämn strömning genom mätsektionen och att vattenytan där är horisontell i ett plan tvärs mot strömningsriktningen. Mätsektionen som används för hastighetsmätning med dopplerprincipen har en viss utbredning längs ledningen eftersom ultraljudssignalen ska reflekteras mot partiklar eller luftbubblor i vattnet i området framför mätgivaren, strömningsförhållandena bör därför vara lika inom hela mätsektionen. Vid induktiv hastighetsmätning registreras hastigheten på vattnet endast närmast givarkroppen och mätsektionens utbredning är därför mer begränsad.

I avloppsnätet bör en idealisk mätbrunn därför ligga på en raksträcka med jämn lutningsprofil både före och efter brunnen. Bästa placering av mätgivare är 0,5 - 1 m uppströms brunnen i inkommande ledning. Ledningens lutning bör helst understiga 20-30 promille. Högre lutning innebär höga hastigheter och risk för hög turbulens (ojämn hastighetsprofil och vattennivå) och att vattennivån vid låga flöden blir för låg för hastighetsgivaren. Om mer än en anslutande ledning finns i mätbrunnen kan detta ge oönskade hydrauliska störningar. Observera att hastighetsmätning (med såväl doppler som induktiv givare) kräver minst 4-6 cm vattennivå för att fungera väl, en stor mätgivare kräver högre nivå. Det är således inte lämpligt att använda v/h-mätare i ledningar där låga flöden/nivåer kan förväntas om man vill ha en sammanhängande mätserie. Den undre rekommenderade mätgränsen för hastighet är för många instrument kring 0,02 m/s. Vid mätning i mycket små ledningar kommer mätgivaren med monteringsdetaljer att ge betydande påverkan på strömningen förbi mätsektionen. Erfarenhetsmässigt kan därför sägas att v/h-mätning i 225 mm ledningar eller mindre ger sämre mätnoggrannhet avseende beräknat flöde än i större ledningar.

Vid mätning i dagvattenledningar eller bräddavloppsledningar, vilka har låg eller ingen vattennivå vid torrväder, uppstår problem med att kalibrera och kontrollera mätdata mot verkliga nivå- och hastighetsdata eftersom kontrollen då måste ske vid regn- respektive bräddtillfällen. Det finns även erfarenheter som visar på att piezoresistiva tryckgivare kan behöva en tids anpassning för att visa rätt nivå om givaren stått torr en period, det kan därför vara svårt att

uppnå samma mätnoggrannhet vid mätning i sådana ledningar som när mätning sker i sektioner där ett kontinuerligt flöde förekommer. Som alternativ kan då användas v/h-mätare som mäter nivån med ekolod eller bubbelrör.

Kravet på goda hydrauliska förhållanden innebär vidare att man inte har sten eller sediment i ledningen nära mätsektionen, att inga större fogförskjutningar el dylikt stör strömningen och att brunnsbotten är bra vallad. Ledningens sektion måste vara väl känd. Normalt mäter man i cirkulära rör men även andra typsektioner är tänkbara vid v/h-mätning (t ex äggformat rör eller rektangulär kanal). Om inte mätaren eller dess programvara kan hantera dessa förutsättningar finns möjlighet att beräkna flödet i annat program, t ex Excel.

Mätbrunnens tillgänglighet och möjligheterna att montera mätaren i brunnen måste beaktas. Då montage av mätgivare normalt kräver nedstigning i brunnen är det inte möjligt att mäta i tillsyns- eller spolbrunnar. Brunnar belägna i starkt trafikerade gator eller vägar kräver speciella arrangemang för att vara åtkomliga vid montage och tillsyn av mätare. Då varje mätare bör ha löpande tillsyn är det knappast lämpligt att mäta i brunnar som kräver omfattande avspärrningar vid varje tillsyn. Brunnar belägna i ytor där fordon kan förväntas parkera är inte heller lämpliga. Vill man ändå använda en sådan mätpunkt finns möjligheter att använda mätutrustning som kan kontrolleras och tömmas på data via GSM-telefon eller radio, detta minimerar behovet av tillsyn på plats så länge som mätvärdena ser trovärdiga ut.

Säkerheten vid arbete i avloppssystem är ytterligare en viktig aspekt. Förutom ev. avspärrningar p.g.a. trafiksituationen måste förekomsten av skadliga gaser i brunnen kontrolleras före nedstigning. Vidare ska man alltid vara minst två personer vid nedstigning i brunnar och lämplig säkerhetsutrustning användas. Utrustningen kan bestå av säkerhetssele och rep av samma typ som används vid bergsklättring.

Varje tänkt mätbrunn måste inspekteras innan det slutliga valet görs! Ofta tvingas man kompromissa och välja en annan mätpunkt än den först önskade för att kunna genomföra mätningen och uppnå tillförlitliga mätresultat. Alternativt väljs att mäta i en punkt som inte är helt lämplig och accepterar de merkostnader eller den försämrade mätnoggrannhet som detta innebär.

4.2.2 Kvalitetssäkring av mätdata vid v/h-mätning

Den mätutrustning som används måste givetvis vara avpassad för den tuffa miljö som avloppssystemet innebär med varierande temperatur, kondensbildning och fuktproblem etc. *Vilken mätutrustning som än används så är dock mätpunktens utformning, utförandet av montaget i mätsektionen, kalibrering, regelbunden tillsyn och kontroll samt engagerad och kunnig personal avgörande faktorer för vilken tillgänglighet och mätnoggrannhet som kan uppnås.*

När en lämplig mätplats valts bör vissa rutiner finnas för att kvalitetssäkra att insamlade mätdata håller så hög noggrannhet som möjligt. En journal upprättas för varje mätpunkt och noteringar görs vid varje tillsyn med angivelse av datum och klockslag (lämpligen ett besök per 1-2 veckor, ju längre intervall desto större risk för perioder med felande mätdata).

I samband med mätplatskontrollen inför mätning kontrolleras, förutom mätplatsens lämplighet, mätsektionens geometriska form och mått. En felaktigt angiven rördimension kan t ex ge stort fel på beräknat flöde.

I samband med installationen kontrolleras registrerad nivå mot manuellt uppmätt nivå (tumstock etc.). Korrigering görs vid behov. Registrerad hastighet kontrolleras med separat hastighetsmätare. Om avvikelsen är för stor bör orsaken utredas och v/h-mätaren ev bytas ut, hastigheten kan normalt ej korrigeras i fält. Mätarens inställningar och batterispänningen kontrolleras.

I samband med tillsyn kontrolleras att rimliga värden på nivå och hastighet registreras. Verklig nivå respektive registrerad nivå noteras i journal. Batterispänning och återstående minnesutrymme kontrolleras, åtgärder görs vid behov.

I samband med mätperiodens slut görs samma kontroller som vid installation.

Vid analys av beräknade flödesdata bör en rimlighetskontroll göras. Genom att jämföra flödet i en mätpunkt med närmaste mätpunkt nedströms och uppströms kan ibland fel upptäckas. Jämförelse med flöde beräknat med Mannings formel kan användas för kontroll av att registrerade hastighetsvärden är rimliga. Där felaktigheter noteras kan efterbearbetning vara möjlig och tillfälliga dataluckor åtgärdas.

En kontroll av registrerade mätdata bör alltid göras redan efter några dagars mätning för att upptäcka ev. felaktigheter på mätutrustning eller inställningar så tidigt som möjligt!

Några vanliga fällor och fel vid v/h-mätning:

Vanliga problem	Möjliga orsaker och åtgärder
Påbyggnad av trasor etc på givare eller kabel ger störd strömning i mätsektionen	Förbättra montaget
Hastighetsmätningen visar nollvärden	Givaren överlagrad av sediment: Rensa ledningen, placera givaren högre eller välj bättre mätpunkt
Hastighetssignalen försvinner helt eller vissa perioder (nattetid eller vid låga nivåer)	Dopplermätare kräver partiklar eller luftbubblor i vattnet. För mycket rent grundvatten ger problem. Vattennivån bör också vara minst 4-6 cm för att många givare ska fungera
Hastighetsvärdena är ryckiga (doppler)	Givarens grundinställning överensstämmer ej med vattnets beskaffenhet i mätpunkten. Om utrustningen tillåter - justera signalstyrkan
Hastighetsgivaren visar tillfälliga fel-signaler (doppler)	Kan bero på störande ljudsignaler (fordon etc). Om utrustningen tillåter - filtrera bort störningar
Nivåsignalen "driver", dvs registrerad nivå avviker med tiden från verklig nivå (gäller tryckgivare, ej ekolod)	Låg batterispänning, byt batteri Felande givare, byt ut denna Felande givarkabel, byt ut denna
Ekolodssignalen försvinner helt eller vissa perioder	Kondensbildning på givaren? Torka av givaren, tätare tillsyn
Ekolodssignalen uppvisar tillfälliga toppar eller nollvärden	Kan bero på störande ljudsignaler (fordon etc). Vid tillfälliga fel - radera dessa data

Vilken mätnoggrannhet på flödet kan förväntas vid v/h-mätning i avloppssystem? Detta är en vanskelig fråga eftersom flödet är en produkt av area och medelhastighet i en mätsektion och flera felkällor kan således samverka till den totala felmarginalen. Ett mätfel på 10% för antingen medelhastighet eller area (geometrisk funktion av uppmätt nivå och rördiameter) ger således en avvikelse på 10% för flödet.

Under gynnsamma omständigheter kan ett mätresultat med noggrannhet i intervallet $\pm 10\%$ uppnås. För att kunna säkerställa att en viss felmarginal innehålls krävs dock kontrollmätning mot annan mätmetod som har ännu högre mätnoggrannhet. Det kan dock vara svårt att kontrollera vilken avvikelse som registrerad hastighet eller nivå har vid t ex en extrem flödestopp.

Det finns inte någon opartisk eller vetenskaplig studie, som författarna kunnat hitta, som belyser frågor om mätnoggrannhet för olika typer av v/h-mätare under praktisk tillämpning i avloppssystem. Studier av flödesmätning med portabla utrustningar i en 225 mm:s betongledning har dock utförts i labbmiljö vid Chalmers tekniska högskola 1983, (Meddelande nr 69). V/h-mätning utfördes med induktiv hastighetsmätare och bubbelrör och med olika lutning på ledningen (3, 10, 20 och 40 promille). Det relativa mätfelet var mindre än $\pm 25\%$ inom hela mätområdet (5-60 l/s). Vid fyllnadshöjder under 50 mm kunde hastigheten inte mätas med den utrustning som användes och man konstaterade bl a att mätområdet begränsades nedåt till mellan 5 och 10 l/s beroende på lutning för en ledning med diametern 225 mm. Mättekniskt har den utrustning som används för v/h-mätning förbättrats sedan 1983, den diskussion om felkällor som redovisas i Chalmersrapporten är dock lika aktuell för dagens utrustning.

Vid idealiska förhållanden i fält kan antas att registrerad nivå ligger inom 0,5 cm från verklig nivå, det är svårt att mäta noggrannare vid den manuella kontrollen. Hastighetsvärdet ska motsvara medelhastigheten i mätsektionen vilket är svårt att kontrollera vid alla förekommande flödessituationer. En enkel känslighetsanalys visar exempelvis att vid mätning i avloppsledning, betong 225 mm, innebär det en överskattning av arean och flödet med 18 % om verklig nivå är 40 mm medan instrumentet registrerar 45 mm. Om nivå- eller hastighetsregistreringen av någon anledning under mätperioden börjar avvika mer från verkligheten kan naturligtvis mätfelet bli mycket större, i värsta fall flera hundra procent.

Normalt kan antas att det relativa mätfelet uttryckt i % minskar med ökande fyllnadsgrad i ledningen. Vid perioder då registrerad nivå överstiger ledningens hjässas baseras flödesberäkningen enbart på hastigheten och ledningens area, registrerad nivå över ledningens hjässas nyttjas då ej i beräkningen.

1.2.3 Dokumentation och redovisning

Dokumentationen från en mätkampanj med v/h-mätare i samband med modellberäkningar bör bestå av en mät rapport samt mätdata i lämplig digital form vilka kan vidarebearbetas och användas vid arbetet med verifiering av modellen. Om mättjänsten handlas upp vid sidan om modelleringsuppdraget är det

speciellt viktigt att ange i detalj hur redovisningen ska se ut och vilka bearbetningar av insamlade mätdata som ska utföras inom ramen för mätuppdraget, se förslag i **bilaga 2**.

4.3 Pumpstationsmätning

Pumpstationer på avloppssystem används ofta vid mätningar för kontroll på avloppssystem. Genom att utnyttja pumpstyrningen i en station kan man med relativt enkla medel erhålla mätdata som på olika sätt kan bearbetas och användas för flödes- och kapacitetskontroll. Beroende på förutsättningarna i pumpstationen kan mätningen arrangeras mer eller mindre enkelt och med olika grad av noggrannhet, se vidare i VAV P33 (Kontroll på avloppsnät). Även om publikationen är från 1978 så beskrivs de vanligaste mätprinciperna och deras förutsättningar tämligen väl i VAV P33, vi går därför inte in i detalj på beskrivning av mätprinciperna i föreliggande rapport.

Vad som framför allt utvecklats fram till dags dato är möjligheterna att registrera data i dataloggrar eller övervakningssystem och göra beräkningar och presentationer med PC-program vilket nu gör det möjligt att hantera stora datamängder och långa mätserier med överkomlig arbetsinsats. Det börjar även bli vanligare att permanenta (induktiva) flödesmätare finns installerade på tryckledningen i pumpstationer vilket gör det möjligt att registrera både pumpad volym och aktuell pumpkapacitet med hög noggrannhet.

I samband med modellberäkningar kan data från pumpstationer vara till stor nytta. Dels för verifiering av flöde men också för att erhålla så rimliga värden som möjligt på pumparnas verkliga pumpkapacitet. Vi kommer här att beskriva erfarenheter och praktiska tips från följande mätprinciper:

- Beräkning endast utifrån drifttider registrerade i drifttidsräkneverk
- Beräkningar utifrån händelseregistrering med logger
- Registrering av flödesmätare på tryckledning

4.3.1 Beräkning endast utifrån drifttider registrerade i drifttidsräkneverk

Drifttidsräkneverkens primära syfte är att ge underlag för underhållsplanering samt ge indikationer på felande pumpkapacitet eller pumpstyrning. Drifttiden antecknas normalt i journal vid drifttillsyn och intervallet kan vara allt ifrån några dagar till några veckor vilket alltså är den tidsupplösning man kan uppnå. Beräkning av pumpat flöde i en pumpstation utgående från summa drifttid för

varje pump och deras pumpkapacitet kan synas vara ett enkelt sätt att få långa tidsserier med flödesdata i stationen. Detta kan vara önskvärt t ex vid verifiering av hydrologin för ett delområde i MouseNAM. Man måste dock vara medveten om att denna metod i de flesta fall innebär stora osäkerheter i flödesberäkningen.

Några felkällor som kan ge stora fel:

- det är vanligt att kapaciteten för en pump varierar och alltså inte är konstant hela perioden
- osäkerhet om hur lång tid flera pumpar gått parallellt, om detta skett under längre perioder överskattas flödet
- om backventilerna inte sluter tätt rinner vatten från tryckledningen tillbaks till pumpsumpen efter pumpning och samma vatten pumpas då flera gånger
- om klockslag för drifttidsavläsning inte angetts finns osäkerhet om hur lång period som gått sedan föregående avläsning
- om en pump stått stilla en längre period p g a att överströmsskyddet löst ut kan det förekomma att räkneverket ändå gått

Vid användande av denna metod bör alltid den aktuella kapaciteten kontrolleras och drifterfarenheter från den period som ska användas sammanställas för bedömning av om stationen är lämplig.

Metoden innebär ett enkelt sätt att beräkna flöden men måste användas med stor försiktighet!

.3.2 Beräkningar utifrån händelseregistrering med logger

Genom att ansluta en händelselogger till pumpstyrningen i en pumpstation och registrera respektive pumps start- och stopptider på separata kanaler erhålls rådata av typen:

Datum, klockslag	Pump 1	Pump 2
1999.02.15 13.00.20	Till	
1999.02.15 13.05.10	Från	
1999.02.15 13.21.54		Till

etc.

Dessa data kan användas för beräkning av tillrinning genom uppfyllnadsmetoden eller beräkning av pumpad volym genom kapacitetsmetoden, se nedan. Dessutom kan pumpkapaciteten för respektive pump beräknas. Metoderna förutsätter att pumpdriften sker intermittent och de är ej tillämpbara vid varvtalsreglerade pumpar. Tidsupplösningen på beräknat flöde blir ett värde per pumpcykel och kommer alltså att variera beroende på varje stations utformning och flödesbelastning. Vill man kunna följa mycket snabba flödesförändringar (t ex vid åskregn) kan denna upplösning vara otillräcklig i många stationer.

Uppfyllnadsmetoden bygger på principen "hink och klocka", d.v.s. uppfyllnad av känd volym på känd tid. Medeltillrinningen under uppfyllnadsfasen (stilleståndsfasen) antas gälla under halva pumpfasen före respektive efter stilleståndperioden. Pumparnas kapacitet kan förändras under mätperioden utan att resultatet försämrats, bara magasinvolymen hålls konstant. Följande förutsättningar bör vara uppfyllda om metoden ska kunna tillämpas:

- Pumpmagasinets volym måste för varje driftfall vara väl definierad och konstant vid varje stilleståndperiod. Magasinerings i dämd inloppsledning försämrar mätnoggrannheten. Om återspolning av vatten från tryckledningen sker vid pumpstopp eller om ventilmanövreringarna är långsamma blir volymen också svårbestämd.
- Tillrinningen under uppfyllnadsfasen får inte systematiskt avvika från tillrinningen under pumpfasen. I fall där den aktuella pumpstationen huvudsakligen beskickas intermittent med vatten från en närliggande pumpstation ger metoden inget bra mått på medeltillrinningen. I detta fall väljs hellre kapacitetsmetoden.

Kapacitetsmetoden ger ett mått på pumpad mängd per pumpcykel enligt principen att pumpad volym = pumpkapacitet * pumptid. Pumpad volym under pumpfasen fördelas på en hel pumpcykel (halva uppfyllnadsfasen före respek-

tive efter pumpperioden) vilket ger ett medelvärde på pumpat flöde. Pumparnas kapacitet vid samtliga driftfall måste vara känd och konstant under mätperioden, detta gör att onoggrannheten kan bli hög om t ex pumpfel inträffar så att en pump går med kraftigt nedsatt kapacitet under längre mätperioder.

En kombination av dessa metoder kan tillämpas under vissa högflödesperioder då uppfyllnadsmetoden ger för lågt värde på tillrinningen när pumparna går kontinuerligt (flödestoppen underskattas). Genom att använda uppfyllnadsmetoden vid normala flöden och kapacitetsmetoden vid de perioder då pumpar går kontinuerligt längre tid än normalt kan volymen beräknas noggrannare.

Några vanliga fällor och fel vid beräkningar utifrån händelseregistrering med logger:

Vanliga problem	Möjliga orsaker och åtgärder
Felaktiga registreringar av start- och stopptider	Givarkabeln mellan pumpstyrning och logger kan påverkas av närliggande starkströmskabel - flytta givarkabeln
"Spikar" (omotiverade flödestopp-ar) syns ibland i diagram över beräknat flöde	Manuell provkörning av pumpar har gjorts vid tillsyn
Vid pumpstart/-stopp kommer flera registreringar inom någon sekund	Kontaktstudsar i pumpreläet - åtgärda reläet eller redigera logg-filen i efterhand

Genom att löpande, t ex varje minut, även registrera nivån i pumpsumpen erhålls möjligheter att förbättra mätnoggrannheten, principer för detta behandlas dock ej här.

1.3.3 Registrering av flödesmätare på tryckledning

En induktiv flödesmätare som är korrekt monterad på tryckledningen i en pumpstation ger möjlighet att registrera det pumpade flödet med hög noggrannhet oberoende av antalet pumpar samt av variation i pumparnas kapacitet, lyfthöjd eller mottryck. Med en datalogger finns normalt möjlighet att antingen registrera den analoga signalen från mätaren med visst tidsintervall (t ex momentant flöde var 5:e minut) eller händelseregistrera tidpunkten för di-

gitala pulser som motsvarar viss passerad volym (t ex 100 l/puls). Pulsräkning är att föredra i detta fall då både mätarens volymnoggrannhet och minnesutrymmet i loggern tillvaratas bättre med denna metod.

Om man ska registrera en analog mätsignal erhålls det bästa resultatet om dataloggern kan sampla eller scanna in många värden utifrån vilka ett medelvärde beräknas och lagras, t ex var 5:e minut.

4.3.4 Kvalitetssäkring av mätdata vid händelseregistrering av pumpar

Förutsättningarna för flödesberäkning kontrolleras innan mätning med logger påbörjas. Geometrisk mått, nivåer, pumpkapaciteter och annat som ska användas för beräkningen dokumenteras.

Det kan vara svårt att förutse hur lång tid en logger kan vara i drift i en pumpstation innan minnesutrymmet blir fyllt och den måste tömmas på mätdata. Antalet pumpar i stationen avgör hur många av loggers kanaler som ska användas för pumpregistrering och antalet pumptillslag per dygn varierar kraftigt mellan olika stationer. Om minnet fylls med mätdata innan loggern hinner bli tömd kommer en del av periodens mätdata att saknas. Det är således viktigt att efter en kortare tids mätning beräkna hur länge minnet kan räcka och fortsättningsvis tömma mätdata i god tid.

Med en datalogger med nivågivare under minst en vecka (helst hela mätperioden) kan tillförlitligheten i den förutsatta konstanta pumpsumpsvolymen bättre avgöras. Dock måste man använda korta registreringsintervall (1 minut) för att fånga lägsta och högsta nivå vilket ställer krav på att loggern har stort minne. Alternativt används logger som kan registrera max- och minvärden vilket medger längre registreringsintervall.

4.3.5 Dokumentation och redovisning

I redovisningen bör framgå alla uppgifter som använts vid flödesberäkningen, dvs beräkningsmetod, antal pumpar, pumpsumpsvolym för alla förekommande driftfall, pumpkapaciteter (där dessa använts i beräkningen) mm.

Mätdataredovisningen bör innehålla såväl registrerade rådata som slutdata (beräknat flöde etc). Perioder då mätdata saknas eller är mindre trovärdiga redovisas.

4.4 Bräddavloppskontroll

Kontrollen av brädd- och nödavlopp är väsentlig för att underlätta arbetet med verifiering av en avloppsmodell. Miniminivån är att kontrollen kan visa om det förekommit bräddning eller inte under den mätperiod som används för verifiering. Om det t ex varit driftfel i en större pumpstation under en period varvid tillrinningen bräddats bort kommer modellberäkningen för denna period inte att kunna verifieras mot uppmätt flöde vid punkter nedströms pumpstationen. Vet man att bräddning skett kan perioden undantas från verifieringen.

4.4.1 Kontrollmetoder

En utförlig beskrivning av mätmetoder för bräddavloppskontroll har gjorts i VA-FORSK rapport 1994-10 "Kontroll av bräddavlopp".

De vanligaste principerna för kontroll av bräddavlopp är:

1. *Indikerande mätning.* Visar om det förekommit bräddning sedan föregående tillsyn. Kan utgöras av kloss+snöre, maxnivåmätare etc.
2. *Registrering av total bräddtid och -frekvens.* Vanligtvis registreras signal från en nivåvipa placerad i nivå med bräddöverfallet.
3. *Händelseregistrering för en eller flera nivåer.* Visar datum och tid för varje bräddstart och -slut. Om flera nivåer registreras separat kan en grov flödesberäkning göras.
4. *Kontinuerlig registrering av nivåfluktuation vid bräddöverfall.* Ger möjlighet att beräkna bräddflöde.
5. *Kontinuerlig registrering av bräddflöde med v/h-mätare.*

Vid all användning av registrerande instrument (metod 2-5) kan rekommenderas att komplettera med enkel indikerande utrustning. Då kan ev felaktigheter i mätutrustningen upptäckas och det blir åtminstone säkerställt om det förekommit bräddning eller ej sedan förra tillsynstillfället.

4.4.2 Dokumentation och redovisning

Vid dokumentation av bräddkontroll i samband med modellverifiering bör framgå:

- Vilka bräddavlopp som kontrollerats
- Kontrollmetod och tillsynsfrekvens
- Kontrollresultat i tabellform
- Vid registrerande mätning med logger/övervakningssystem redovisas för varje mätpunkt nivå- och flödesdatafiler samt tidsperioder då bräddning skett

4.5 Flödesmätning i avloppsverk

I varje avloppssystem erbjuder normalt avloppsverket mätdata från en eller flera fast installerade flödesmätare. Dessa kan vara placerade i verkets inloppsdelen eller på utloppsdelen. När mätdata från ett avloppsverk ska användas för modellverifiering är det, liksom vid andra mätpunkter, lämpligt att kontrollera vilken kvalitet mätdata har och vilken tidsupplösning som kan erbjudas.

Mätarens placering bör kontrolleras, om mätaren sitter på utloppsdelen måste bräddat flöde före eller i verket adderas till mätarens flöde för att erhålla ett mått på inkommande flöde.

Mätdatas kvalitet avgörs bl a av vilken mätartyp som används, mätsektionens utformning samt hur väl mätaren kalibrerats under mätperioden. Flödesmätaren är ofta dimensionerad för ett högt maxflöde och mätnoggrannheten vid normalflöde eller låga flöden kan ibland vara betydligt sämre än förväntat.

Tidsupplösningen på mätdata är normalt 24 timmar då flödet registreras i driftjournalen. Finns registreringar i övervakningssystemet kan ibland datafiler eller flödeskurvor med högre upplösning erhållas.

De vanligaste flödesmätningssmetoderna på avloppsreningsverk är:

- Parshallränna
- Triangulärt mätöverfall
- Rektangulärt (rakt) mätöverfall
- Elektromagnetisk (induktiv) mätning i fylld sektion

För utförligare beskrivning av mätmetoder hänvisas till SNV rapport 3276 "Flödesmätning och provtagning".

En bedömning av några olika mätmetoders noggrannhet i procent vid aktuellt mätvärde för respektive 100, 30 och 10 % av mätområdet har redovisats i VAV P33, se nedan:

	PRIMÄRUTRUSTNING		GIVAREUTRUSTNING		MÄTVÄRDESMÄTLARE OCH LINEARISERINGS-UTRUSTNING		TOTAL MÄTNÖGGRANNHET ±%		
		MÄTNÖGGRANNHET ±%		MÄTNÖGGRANNHET ±%		MÄTNÖGGRANNHET ±%	100% AV MÄTOMRÅDET	30% AV MÄTOMRÅDET	10% AV MÄTOMRÅDET
ÖPPEN SEKTION	FAST MÄTRÄNNA	1-5	FLOTTOR MED LINHJUL	1-5	MEKANISK	1-3	2-8	7-30	20-80
	- " -		- " -	1-5	ELEKTRONISK	0,5-1	1,5-7	5-25	15-70
	- " -		FLOTTOR PÅ BOM	1-5	- " -	0,5-1	1,5-7	5-25	15-70
	- " -		BUBBELRÖR	0,5-2	ELEKTRONISK EL PNEUMATISK	0,5-1	1-6	3-20	10-60
	- " -		TRYCKDOSA	0,5-2	- " -	0,5-1	1-6	3-20	10-60
	- " -		EKOLOD	0,5-5	ELEKTRONISK	0,5-1	1-7	3-25	10-70
	PORTABEL MÄTRÄNNA	5-10	DOPPELEKTROD	1-5	MEKANISK	1-3	5-12	20-40	50-100
	- " -		KAPACITIV	1-10	KAPACITIV	1-2	5-14	20-50	50-100
	- " -		EKOLOD	0,5-5	ELEKTRONISK	0,5-1	5-11	20-40	50-100
	FAST SKIBORD (i utlopp)	2-10	FLOTTOR MED LINHJUL	1-5	MEKANISK	1-3	2,5-12	8-40	25-100
	- " -		- " -	1-5	ELEKTRONISK	0,5-1	2,5-11	8-40	25-100
	- " -		BUBBELRÖR	0,5-2	ELEKTRONISK EL PNEUMATISK	0,5-1	2-10	7-35	20-100
	- " -		EKOLOD	0,5-5	ELEKTRONISK	0,5-1	2-11	7-40	20-100
	PORTABELT SKIBORD	5-10	BUBBELRÖR	0,5-2	MANUELL	1-5	5-11,5	20-40	50-100
	- " -		- " -	0,5-2	ELEKTRONISK EL PNEUMATISK	0,5-1	5-10,5	20-35	50-100
	- " -		EKOLOD	0,5-5	MANUELL	1-5	5-12,5	20-40	50-100
	- " -		- " -	0,5-5	ELEKTRONISK	0,5-1	5-11	20-40	50-100
	- " -		MANUELL	1-10	MANUELL	1-5	5-15	20-50	50-100
	ENERGIFÖRLUST LÅNGS EN LEDNINGSSTRÄCKA	4-8	DOPPELEKTROD	1-5	DATORPROGRAM	0,5-1	5-10	15-35	50-100
	- " -		EKOLOD	0,5-5	- " -	0,5-1	5-10	15-35	50-100
	AVBÖRDNINGSKURVA FÖR NEDSTIGNINGSBRUNN, TEORETISK	5-11	DOPPELEKTROD	1-5	DATORPROGRAM	0,5-1	6-12	20-40	60-100
	- " -		EKOLOD	0,5-5	- " -	0,5-1	6-12	20-40	60-100
	AVBÖRDNINGSKURVA FÖR NEDSTIGNINGSBRUNN, KALIBRERAD	4-6	DOPPELEKTROD	1-5	DATORPROGRAM	0,5-1	4-8	15-25	40-80
	- " -		EKOLOD	0,5-5	- " -	0,5-1	4-8	15-25	40-80
FYLLD SEKTION	ELEKTROMAGNETISK					0,5-2	0,5-2	2-7	5-20
	AKUSTISK DOPPLER					1-3	1-3	3-10	10-30
PUMPSTATION	UPPFYLLNADSMÄTNING						TÄMLIGEN OBEROENDE AV MÄTOMRÅDET 5-15		
	PUMPDRIFT						SVÄRBERÖMPT OCH OFTA VARIABELT MED HÄNSYN TILL IGENSÄTTNING AV PUMPHJUL ETC.		
	PUMPENERGI						- " -		
	PUMPVÄRTAL						- " -		
	DOSERINGSUTRUSTNING		INBLANDNING - PROVTAGNING		ANALYS		MÄTNÖGGRANNHET ±%		
UTSPÄNNING, PLATINMETODEN	KOLVPUMP / LITIUMKLORID	2-5	(Vid liten flödesvariation)	4-15	ATOMABSORPTION	2-10	TÄMLIGEN OBEROENDE AV MÄTOMRÅDET 5-18		
	MARIOTTE'S FLASKA / LITIUMKLORID	5-8	- " -	4-15	ATOMABSORPTION	2-10	0:0	7-20	
	SYNKRONMOTORDRIVEN BYRETT / RADIOAKTIVA ISOTOPER	0,1-1	- " -	4-15	AKTIVITETSBESTÄMMNING	1-2	0:0	4-15	

Figur 4.2. Mät noggrannhet för några mätmetoder. Ur VAV P33.

Den största angivna mät noggrannheten gäller vid idealiska förhållanden beträffande utrustning och inbyggnad medan den lägsta angivna mät noggrannheten är en uppskattning av vad som i praktiken kan uppnås under ogynnsamma förhållanden.

samma förhållanden. Som framgår av tabellen är noggrannheten för aktuellt flöde vid mätning i ledningar (såväl öppen som fylld sektion) beroende av mätområdet. Om flödet är mycket lågt i förhållande till mätanordningens totala mätområde försämras mätnoggrannheten markant.

4.6 Nederbörds-mätning

4.6.1 Allmänt

Tillgång till relevanta nederbördsdata är naturligtvis en förutsättning i samband med de allra flesta projekt som rör flödesanalys och modellering av avloppssystem. Detta eftersom den nederbördspåverkade delen av systemets flödesbelastning oftast förorsakar de problem som man avser att studera och komma till rätta med, t ex översvämningar, bräddning eller försämrad funktion i avloppsverket. Nederbördsdata används för flera olika syften, t ex:

- vid beräkning av storlek på fiktivt hårdgjorda ytor (snabb nederbördspåverkan) utifrån flödeshydrografer
- som indata till modellberäkningar för verifiering av modellens beräknade flöden och trycknivåer i avloppsnätet vid regntillfällen genom jämförelser med mätresultat
- vid beräkning av flöde från den hydrologiska komponenten (SRC) i MouseNAM vilken utgörs av trög nederbördspåverkan samt läck- och dränvattenflöden

Vid modellberäkningar som kräver långa tidsserier (flera år) av nederbördsdata används oftast data från SMHI:s mätstationer. Dessa kan normalt inte erhållas med högre upplösning än 24 timmar (dygnsvärden) och är därför främst till nytta vid NAM-beräkningar. SMHI:s nya automatstationer registrerar dock timvisa observationer. Antalet sådana stationer är ca 100 och data finns från 1996. För att kunna beräkna avrinningen och studera flödets variationer under dygnet och förlopp vid maxsituationer, t ex i samband med översvämningsproblem eller bräddning, krävs nederbördsdata med högre upplösning. Dessa data måste dessutom vara representativa för det aktuella avrinningsområdet. Då används ofta lokalt utplacerade regnmätare avsedda speciellt för detta ändamål.

Nederbördens variation i tid och rum kan vara stor inom det avrinningsområde som studeras, speciellt i samband med intensiva åskregn. Data från en regnmätare representerar situationen just på den platsen men vid modellberäk-

ningar används dessa data så att de får gälla generellt över ett större eller mindre avrinningsområde. I modellprogrammet kan man välja att låta en regnserie belasta ett eller flera utvalda delområden i modellen medan data från andra mätare används till andra delområden. Det är därför viktigt att försöka bedöma vad som är en rimlig omfattning på antalet mätplatser i förhållande till projektets syfte, områdets storlek och dess lokalklimat (topografi mm). Generella riktlinjer för detta är svåra att ge men som grundregel bör alltid minst två till tre mätare placeras ut även inom små områden, detta minskar risken att helt stå utan regndata om fel uppstår hos någon mätare och det ger även en fingervisning om regnets variationer inom området.

I detta kapitel beskrivs erfarenheter från nederbörds-mätning med vippskåls-mätare i samband med avloppsprojekt. Beskrivningen behandlar endast mätning av flytande nederbörd då mätning av snö och hagel kräver mer avancerad teknik om representativa data ska uppnås. Uppgifter om snömängder hämtas därför normalt från närmaste SMHI-station.

En utförligare beskrivning av teknik och problematik förknippad med nederbörds-mätning redovisas i **bilaga 3** som är författad av Sonja Larsson McCann, SMHI Konsult Meteorologi. Där framgår även vilka nederbördsdata SMHI kan tillhandahålla.

4.6.2 Mätning med lokalt placerade nederbörds-mätare av vippskålstyp

En relativt enkel, driftsäker och billig metod att registrera nederbörd i form av regn är att använda sk vippskåls-mätare (tipping bucket) och datalogger. Metoden bygger på att regnvattnet samlas upp i en stående mätcylinder med känd diameter, det i mätaren uppsamlade vattnet leds sedan till två vippskålar placerade på en balansarm. Så fort en skål blivit full tippas balansarmen över varvid vattnet rinner ut, en elektrisk puls genereras och den andra skålen fortsätter att samla upp regnvattnet. Varje sådan puls registreras exempelvis i en datalogger tillsammans med datum och klockslag (sekundupplösning). De vanligaste typerna av vippskåls-mätare ger pulser efter varje 0,2 mm eller 0,5 mm regn.



Figur 4.3 Regnmätare av vippskålstyp

En nederbördsjätare ska placeras på en plan och vindsyddad plats där nederbörden obehindrat kan falla ner i mätaren från alla h ll. Mätarens avstånd till närmaste hus, tr d eller buske ska vara minst lika stort som föremålets höjd. Lämplig plats kan vara på en större gårdsplan eller på öppen plats i trädgård, park eller skog. I många fall kan det dock vara svårt att hitta en sådan plats inom det område man vill m ta nederbörd, risken för skadegörelse eller st ld  r dessutom stor om mätaren placeras öppet och platsen inte är inhägnad. Av dessa orsaker används ofta tak på låga byggnader som t ex pumpstationer som mätplats, detta ger även den fördelen att dataloggern som registrerar regndata kan placeras lättåtkomligt f r tömning i en l st byggnad. En sådan placering kan betraktas som en kompromiss mellan vad som  r bäst ur mätteknisk synpunkt och strävan att få en kontinuerlig mätserie utan avbrott.

Väljer man att placera mätaren på ett tak så gäller det att byggnadens läge uppfyller kraven på skyddad plats.

Om mätaren får stå ostörd så brukar erfarenheterna från regnmätning med denna metod vara goda. Händelseregistrering med regnmätare tar relativt lite minnesutrymme i en logger varför det ofta kan räcka att tömma minnet en gång per år. Vid längre mätperioder och mätning under hösten bör mätaren rensas någon gång för att undvika att löv och annat skräp hindrar vattnet att rinna genom mätaren.

4.6.3 Kvalitetssäkring vid mätning med regnmätare av vippskålstyp

Regnmätare ska kalibreras enligt fabrikantens anvisningar för att den registrerade regnvolymen vid varje vippning ska bli så noggrann som möjligt.

För att säkerställa mätningarna i fält bör följande kontroller genomföras:

I samband med installationen kontrolleras att mätaren står horisontellt och är stadigt monterad. Genom att vippta på balansarmen några gånger och därefter titta på registrerade data i loggern säkerställs att pulserna verkligen registreras. Datum och klockslag kontrolleras så att tiden är synkroniserad med övriga mätare.

I samband med tillsyn kontrolleras att mätaren inte rubbats ur läge och att den registrerat rimliga värden. Jämför värdena med övriga regnmätare som används i projektet eller med närliggande SMHI-station.

I samband med mätperiodens slut görs samma kontroller som vid installation.

5 Referenser

- CTH (1983): Flödesmätning i avloppsnät med portabla utrustningar. Meddelande nr 69, Chalmers tekniska högskola, 1983
- NIVA (1980): Overløp i avløpsnett. VA-rapport 8/80, Norsk institutt for vannforskning
- SMHI (1989): Instruksjon for nederbörds-mätning.
- SNV (1987): Flödesmätning – vatten. Rapport 3227. Statens Naturvårdsverk
- SNV (1990): Flödesmätning av avloppsvatten. Allmänna råd 90:2. Statens Naturvårdsverk
- SNV: Flödesmätning och provtagning. Rapport 3276. Statens Naturvårdsverk
- VA-FORSK (1994): Kontroll av bräddavlopp. Rapport nr 1994-10
- VA-FORSK (1992): Simulering av hydrologin inom urbana områden. Metodik-manual – MouseNAM. -kalibrering. Rapport nr 1993-04
- VA-FORSK (1993): Indirekt nederbördspåverkan i spillvattensystem. Rapport nr 1993-08
- VA-FORSK (1996): Snösmältningspåverkan på avloppssystem inom urbana områden. Rapport nr 1996-07
- VA-FORSK (1997): Analys av avloppssystem med datormodeller. Tillämpningsexempel med MOUSE-systemet. Rapport nr 1997-09
- VA-FORSK (1997): Läck- och dräneringsvatten i spillvattensystem. Rapport nr 1997-15.
- VAV P33 (1978): Kontroll på avloppsnät. Svenska vatten- och avloppsverksförbundet

