



Tillskottsvatten i avloppsledningsnät

**Ett förslag till utredningsstrategi anpassad till
dagens teknik**

2011-11-14

Tillskottsvatten i avloppsledningsnät

Ett förslag till utredningsstrategi anpassad till dagens teknik

2011-11-14

Konsult: Norconsult AB
Box 8774
402 76 Göteborg

Uppdragsledare: Bertil Forsberg

Filnamn och sökväg: u:\internt\mv\ao-möten\bertil f rapport\slutrapport\svu-slutdokument-2011-11.docx

Tryck: Norconsult AB

Innehållsförteckning

1	Inledning	11
1.1	Bakgrund	11
1.2	Syfte	12
2	Undersökningsmetodikens framväxt sedan 1970-talet.....	13
2.1	Flödesmätning med v/h-mätare, för- och nackdelar	14
2.2	Hur används resultatet från en flödesmätning idag	16
2.3	Vilka krav skall man idag ställa på mätningar i avloppsledningsnät.....	17
3	Förslag till utredningsstrategi	19
3.1	Nivåmätare istället för v/h-mätare	19
3.2	SWMM – ett program för modellering av avrinningen i avloppsledningsnät.....	20
3.3	Strategins huvuddelar	21
4	Erfarenheter av genomförda projekt	39
4.1	Flödesmätning i en pumpstation	40
4.2	Flödesmätning med v/h-mätare	41
4.3	Användning av enbart nivåmätare ute i ledningsnätet och v/h- mätare i slutpunkten – vilka begränsningar finns?	47
4.4	Utredning av läck- och dränvattentillskott med hjälp av kalibrerad modell och nivåmätare	75
4.5	En kostnadsjämförelse	80
5	Referenser.....	83

Bilagor

Bilaga 1.	En introduktion till SWMM
Bilaga 2.	Spillvattenledningsnät i del av Trollbäcken, Tyresö kommun
Bilaga 3.	Dagvattenledningsnät i Bollmora-Krusboda, Tyresö kommun
Bilaga 4.	Spillvattenledningsnät i Sturefors, Linköpings kommun

Sammanfattning

Alla svenska avloppsvattennät drabbas ibland av hydraulisk överbelastning som kan orsaka översvämningar, bräddningar eller överbelastade reningsverk. Inträffar detta i ett spillvattenledningsnät kan skadorna bli omfattande. I många kommuner arbetar man aktivt med att försöka komma tillrätta med dessa problem. Idag är den gängse metoden att använda flödesmätare ute i ledningsnäten för att lokalisera problemen och samtidigt kunna friskförklara andra områden. I detta fall sker flödesmätningen uteslutande med så kallade v/h-mätare där hastigheten mäts tillsammans med nivån i ledningen och utifrån detta beräknas flödet.

En stor olägenhet är att dessa hastighetsgivare ofta drabbas av igensättning med dåliga eller uteblivna resultat som följd – de kräver dessutom ofta tillsyn. En annan olägenhet är att kostnaden för dessa flödesmätare är relativt hög, idag kan dessa kosta mellan 50 000 – 100 000:- styck, vilket begränsar deras användning. Syftet med detta projekt har varit att testa följande hypotes/utredningsstrategi:

Är det möjligt att istället för v/h-mätare använda fler (och billigare) nivåmätare men kombinera dessa med en säker flödesmätning i en slutpunkt på undersökningsområdet om efterföljande analys sker i en datormodell?

Syftet är att möjliggöra kostnadseffektivare utredningar men även att via datormodellen kunna skapa bättre underlag för bedömning av var och hur åtgärder skall sättas in för att eliminera problemen.

I föreliggande projekt har undersökningsstrategin applicerats på ett spillvatten- och ett dagvattenledningsnät i Tyresö kommun. Dessutom har undersökningsresultat från spillvattenledningsnät i Linköpings kommun och Helsingborgs kommun använts. I det senare fallet har fältundersökningarna uteslutande utförts med hjälp av v/h-mätare, vilket möjliggjort en analys av tillförlitligheten hos denna mätartyp samt en jämförelse med att enbart använda nivåmätare.

Slutsatsen av projektet är att den föreslagna utredningsstrategin är fullt möjlig att implementera. En annan slutsats som kan dras är att om mätpunkterna väljs med omsorg och resultatet skall användas för att bedöma påverkan av regnvattentillskott kan flödena med god approximation beräknas utifrån enbart nivåvärdena, exempelvis med hjälp av Mannings formel/Bretttings delfyllnadskurva för cirkulära rör.

I rapporten beskrivs även hur en kalibrerad datormodell kan användas för bestämning flödesförloppet utifrån nivåmätvärden vid långvariga regn under höst och vår, då de största tillskotten av läck- och dräneringsvatten normalt uppträder. Första steget i detta är att skapa en avbördningskurva (nivå – flöde) för mätpunkten med hjälp av modellens beräknade flöden. I nästa skede översätts uppmätta nivåer med hjälp av mätpunktens avbördningskurva och flödesvariationen vid t.ex. snösmältning kan beräknas.

Vidare har projektet har visat att detaljerat definierade ytor i modellen ger en modellerad avrinning som överensstämmer bra med uppmätta flöden/nivåer redan vid första beräkningen. Det har även visats att det är fullt tillräckligt att enbart använda nivåmätare för att kalibrera en avrinningsmodell för ett stort dagvattenledningsnät.

Abstract

All Swedish networks for sewage and storm water are occasionally affected by hydraulic overloading, which may cause flooding, overflow or overloaded waste water treatment plants. If this occurs in sewerage, damage can be substantial. Many municipalities are working actively to overcome these problems. The traditional method today for investigations performed to locate where, when and how these problems occur, is using flow meters in the collecting system. In this case, the flow measurements exclusively are performed with flow meters where the flow is calculated from measured level and velocity of the flow.

A major disadvantage is that these speed sensors often clog with poor or non-performance as a result. Furthermore, they also require frequent maintenance. Another inconvenience is that the cost of these flow meters is relatively high. Today these units cost between SEK 50 000 – 100 000 per unit, which limits their use. This project is based on experience of numerous surveys in this field (where such flow meters have been used) to test a hypothesis or investigative strategy that may be imposed as follows:

Is it possible to use level gauges instead of flow meters, but combine them with an accurate flow measurement in the endpoint of the survey area and let the analysis be performed with a run-off model for the network?

The purpose of this is to make the survey cheaper, but also to get a better basis for the rehabilitation work by using more level gauges under a longer survey period and a computer model for the analysis. Thus, the field survey costs are reduced while more resources could be added to the analysis.

In this project, the survey approach was used for a sewer- and a storm water network in Tyresö municipality. In addition, surveys of sewerage in the municipalities of Linköping and Helsingborg are also used. In the latter case, the field surveys were carried out exclusively using flow meters, which enabled an analysis of the reliability of this type of meters, and use that for comparison with the sole use of gauging devices.

The conclusion of this project is that the proposed strategy is quite feasible to use in the studied networks. It can also be argued that if the measurement points are selected carefully and if the results will be used to assess the impact of storm water, the measured level can with good approximation be translated to flow by using Manning's formula and Brettings formula for circular pipes without using the run-off model.

The report also describes how to use a computer model calibrated only for levels can be used to determine the infiltration/inflow during periods with high precipitations. With the model's results as starting point, a runoff formula is created for a calibrated level in a certain point within the network, through which an absolute value for the flow variation during e.g. snowmelt can be calculated and hence the extra volume of infiltration.

The project has also shown that it is sufficient to use only level measurements in certain points of a storm water network for calibration of a run-off model.

Förord

Ett av problemen med dagens avloppsvattensystem är att de vid de i samband med nederbörd kan bli överbelastade, med bl.a. källaröversvämningar som följd. För att reda ut var, när och hur denna hydrauliska överbelastning sker, genomförs idag flödesmätningar i olika punkter på ledningsnätet. Vid flödesmätningar används nästan uteslutande s.k. v/h-mätare. Mätmetoden blev tillgänglig i mitten av 1980-talet och används idag på samma sätt som då. Visserligen har själva mätarna förfinats men arbetstiden i fält är ungefär densamma. En orsak till omfattande fältarbetstid är att hastighetsgivaren ofta sätts igen, med bristfälligt resultat som följd.

Utifrån upplevda erfarenheter av denna problematik och svårigheterna med att hantera dåliga mätresultat, föddes tanken på att förändra mätmetodiken till något enklare – skulle det inte vara möjligt att, istället för v/h-mätare, bara använda nivåmätare och samtidigt utnyttja en datormodell för att verifiera resultatet?

Fördelen med att använda nivåmätare med GSM/GPRS-tekniken skulle vara uppenbara. Tillsynsfrekvensen i fält minimeras, samtidigt som kostnaden för en nivålogger med GSM/GPRS uppgår till omkring 1/3 – 1/4 av kostnaden för motsvarande v/h-mätare, vilket sammantaget skulle leda till att mer resurser kan läggas på själva analysarbetet men även på längre mätperioder. Det senare kan anses vara en stor brist i dagens metodik, eftersom underlaget riskerar bli för dåligt för en grundlig orsaksanalys – analysen kan tvingas baseras på fel regnsituationer.

En annan anledning till att implementera detta koncept är att datormodellering idag kan bli varje VA-teknikers möjlighet, via det lättillgängliga programmet SWMM som idag kan laddas ner gratis via en webbsida.

Föreliggande projekt, vilket benämnts ”Förenklad metod för att bestämma funktionen hos ett avloppsledningsnät”, startade redan år 2005 men av olika anledningar har det inte redovisats förrän nu, år 2011. En av anledningarna är att från början skulle bara den föreslagna undersökningsmetoden, med enbart nivåmätare, användas men med tiden har konstaterats att en direkt jämförelse med v/h-mätare skulle stärka trovärdigheten betydligt.

Förhoppningen är att rapporten skall bidra till att förklara de många fördelar som finns med denna metod men även att de få bristerna skall vara belysta.

Jag vill avsluta med att rikta ett varmt tack till de som bidragit till genomförandet av detta projekt.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

De flesta kommunala avloppsledningsnät (spill-/dagvatten) uppvisar många gånger brister i den hydrauliska funktionen. Detta kan få negativa följder, framförallt om bristerna uppträder i spillvattenledningsnäten, i form av t.ex. källaröversvämningar, bräddningar ute på ledningsnätet samt hydraulisk överbelastning vid reningsverket.

Även överbelastade dagvattensystem kan ge upphov till problem, främst i form av marköversvämningar som i sin tur kan orsaka t.ex. källaröversvämningar.

Den primära orsaken till att spillvattenledningsnät blir överbelastade i samband med nederbörd eller snösmältning är att tillskottsvatten, d.v.s. vatten som ledningarna från början inte är dimensionerade för eller inte ens är avsedda för, tillförs ledningssystemet.

För dagvattenledningsnät, som oftast dimensioneras för regn med en viss återkomsttid, t.ex. ett 2-årsregn, kan en överbelastning orsakas av ett ännu häftigare regn än vad ledningen är dimensionerad för. Vanligt är även att överbelastning orsakas av att den ursprungligt anslutna bebyggelsen kompletterats med ytterligare anslutningar av tak- och asfaltytor, så att de dimensionerande förhållandena överskridits längre ner i systemet.

För att reda ut orsaken till problem med tillskottsvatten inleds vanligen med s.k. kampanjflödesmätningar i ledningsnätet för att lokalisera orsak och verkan av stora vattentillskott. Nästa steg kan vara att bygga upp en datormodell, idag vanligtvis i Mouse/MikeUrban, samt kalibrera modellen med hjälp av resultaten från flödesmätningen. Det är dock vanligt att modellanalys inte är ett generellt verktyg vid denna typ av utredning.

Vid flödesmätningen används ofta så kallade v/h-mätare, d.v.s. mätare som kontinuerligt mäter vattennivå och vattenhastighet i t.ex. inkommande ledning till en nedstigningsbrunn.

Nivåmätning i en nedstigningsbrunn ger i första hand resultat som påvisar hur ledningens kapacitet eller utnyttjandegrad förändras vid regntillfällen eller snösmältningstillfällen.

Sker mätningen i ett dagvattensystem borde detta mått vara det primära att reda ut. Frågan i detta fall är huruvida kapaciteten bör förbättras, eller om systemet klarar dimensioneringsförutsättningarna.

Den enkla slutsatsen torde därför vara att nivåmätning ute i dagvattensystemet bör vara tillräckligt i ett utredningsskede av en förnyelseplan.

I ett spillvattenledningsnät är frågeställningen delvis en annan. Här eftersträvas även kontroll av kapacitetsutnyttjandet, samtidigt som felaktigt anslutna ytor eller andra tillskottskällor bör identifieras. Således är det nödvändigt att registrera ett flöde på något sätt. I undersökningsmetodik som här diskuteras, har flödesmätaren ute i ledningssystemet bytts ut mot en nivåmätare samtidigt som ansluten area beräknas med hjälp av en datormodell (vilket indirekt ger ett flöde som också beräknas av datormodellen).

Mätningar i spillvattenledningsnät syftar till att lokalisera var och i vilken omfattning tillskottsvatten avleds inom olika delområden.

Mätningar i dagvattenledningsnät syftar främst till att identifiera trånga sektioner eller att utgöra underlag för datormodellering av systemets funktion.

1.2 Syfte

Syftet med projektet har varit att formulera och verifiera en strategi för att förenkla fältundersökningsinsatsen med färre v/h-mätare, men att ändå kunna erhålla likvärdiga eller bättre resultat i förnyelseplaneringen. Idén bakom denna förenklade undersökningsmetodik är följande:

Med hjälp av ett antal nivågivare utplacerade i ett avloppsledningsnät, kompletterade med en flödesmätare i ledningsnätets slutpunkt, samt en hydraulisk modell över ledningsnätet bestämma orsaken till stor hydraulisk belastning.

Metoden förväntas minska fältmätningsekostnaden väsentligt samtidigt som en bättre modell över ledningsnätet kan tas fram – fler mätpunkter och längre mättid. Detta kan tillsammans ge upphov till en betydande effektivisering av hela utredningsförfarandet, samtidigt som bättre redskap för åtgärdsplaneringen blir tillgängliga.

2 Undersökningsmetodikens framväxt sedan 1970-talet

Nedanstående historiebeskrivning baseras på författarens egna erfarenheter och gör inte anspråk på att vara exakt.

Under mitten av 1970-talet började de första mer omfattande fältundersökningarna på svenska spillvattenledningsnät utföras. Orsaken var främst den kraftiga utbyggnaden av avloppsreningsverk som då tagit fart. I och med detta uppmärksammades att inkommande flöden till de nybyggda reningsverken vid snösmältning och vid nederbörd var mycket större än vad reningsverken blivit dimensionerade för.

Vid denna tid fanns inte den mätteknik som finns idag och inte heller det utbredda användandet av datorer. Flödesmätningen ute i ledningsnät innebar oftast installation av ett mätskibord eller mätträna i en nedstigningsbrunn. Nivån över skibordet mättes manuellt eller med viss automatik med s.k. dippers, med resultat på svårtolkade cirkulära pappersdiagram.

Persondatorer för allmänt bruk började dyka upp i början av 1980-talet. Då lanserades även de första membrantryckgivarna som underlättade nivåmätningen betydligt.

Det stora genombrottet för mer avancerade flödesmätningar ute i ledningsnäten kom i samband med att s.k. hastighets-/nivågivare, eller v/h-mätare, började användas. I Sverige var detta i mitten av 1980-talet. Då fanns också tekniken med dataloggers utvecklad, vilket medförde enklare registrering och lagring av mätvärden kontinuerligt under flera månader ute i fält.

Data från dessa datainsamlare tömdes till en PC, enligt figur 2–1, som hade ett speciellt program för att ta hantera mätdata. Analysen skedde sedan med hjälp av grafer och tabeller.

Införandet av dataloggers och v/h-mätare kan betraktas som en milstolpe för flödesmätningstekniken i avloppsledningsnät. Ännu idag är det v/h-mätningen som är den dominerande tekniken vad avser flödesmätningar i avloppsvattennät.



Figur 2-1. Rapportförfattaren tömmer data från en v/h-mätare. Hur ofta är det så här idylliskt?

2.1 Flödesmätning med v/h-mätare, för- och nackdelar

Bestämning av flödet med en v/h-mätare sker genom registrering av hastigheten och nivån i t.ex. inloppet till en nedstigningsbrunn. Därefter beräknas flödet med formel 1.

Formel 1. Formel för beräkning av flöde i känd sektion

$$Q = V_m \cdot A \quad \text{där } V_m = \text{medelhastigheten och } A = f(\text{nivån})$$

Vanligast är att hastighetsgivaren återger ett medelvärde av hastigheten i tvärsnittet men det finns även mätare som återger en maxhastighet. I det senare fallet måste mätpunkten kalibreras genom att bestämma förhållandet mellan medelhastighet och maxhastighet. Medelhastigheten bestäms då ofta genom att hastigheten mäts i olika delar av tvärsnittet med hjälp av en enpunktsmätare i samband med installationen av mätaren.

Med hjälp av nivån bestäms den vattenfyllda arean i ledningens tvärsnitt.



Figur 2–2. Bilden visar en v/h-mätare installerad i vattengång i en Ø1600 mm dagvattenkylvert

Denna flödesmätningssmetod har både negativa och positiva sidor. En positiv sida är att vattenhastigheten direkt ger anvisningar om dämningar förekommer på grund av för stora vattentillskott nedströms mätpunkten. En annan positiv sida är att flödets variation över tiden ger värdefull information om storleken på anslutna hårdgjorda ytor uppströms mätpunkten.

Dock finns det en rad negativa faktorer, av vilka de flesta kan härledas till mätningen av vattenhastigheten:

- Hastighetsgivaren kräver ofta regelbunden tillsyn, p.g.a. igensättning. I stora spillvattenledningar kan detta krävas minst en gång per vecka.
- Metodens noggrannhet i små ledningar (≤ 225 mm) kan många gånger vara mycket bristfällig. Ett mått brukar vara att inte använda metoden då flödet är mindre än 5 l/s eller då vattennivån understiger 5 cm. Den vanligaste spillvattenledningen i Sverige torde ha en dimension < 250 mm.
- Installation och tillsyn kräver nedstigning i brunnen.
- Inköpskostnaden/hyran för denna typ av flödesmätare är relativt hög – antal mätare som används blir därefter.

- För att reducera kostnaden för mätkampanjen begränsas ofta mätkampanjens längd, vilket kan medföra bristfälliga mätresultat. En kortare mätperiod ger normalt färre regntillfällen, vilket i sin tur kan medföra att felaktiga slutsatser dras. Om en datormodell används kan denna bli dåligt kalibrerad.
- Tolkningen av mätdata kräver erfarenhet som lätt förbises. Ett mätvärde presenteras i en graf utan att den kvalitetskontroll som alltid krävs vid denna typ av mätning utförs. Resultatet kan därför bli mycket osäkert.
- Hastighetsgivarens tillförlitlighet är svår att kontrollera på plats. Det går visserligen att genomföra en kontroll med hjälp av en enpunktsmätare, men denna kontroll sker oftast i samband med installationen vid låga flöden. Det är således oklart hur väl det stämmer vid stora flöden. Framförallt borde detta vara negativt för den typ av mätare som enbart registrerar maxhastighet, eftersom förhållandet mellan medelflöde och maxflöde vid stora flöden sällan bestäms.

V/h-mätningen som metod kräver således mycket av användaren för att ge ett bra utfall av en mätning. Den bör därför endast användas av personer med speciell erfarenhet och kunskap om denna mätmetod.

Vill man fördjupa sig ytterligare i v/h-mätningen som flödesmätningss metod, kontra ren nivåmätning, finns det i Sverige endast en rapport som behandlar detta, nämligen Meddelande 69 från CTH som kom redan 1983. Den torde dock vara relevant ännu idag.

2.2 Hur används resultatet från en flödesmätning idag

Mätresultatet från en v/h-mätning i ett avloppsledningsnät används i första hand till att beräkna storleken på den hårdgjorda yta som är ansluten uppströms mätpunkten. Från flödesmätningen kan avrinningshydrografer konstrueras för olika regntillfällen. Utifrån dessa hydrografer kan avrunnen nettovolym orsakad av regnet beräknas. Med känd nederbörds mängd för respektive regntillfälle kan därefter en uppskattning av ansluten hårdgjord yta göras.

1 mm nederbörd på 1 m² hårdgjord yta ger 1 liter vatten.

För överslagsmässig beräkning av ansluten hårdgjord yta kan även utgå från nederbördsintensiteten och låta den jämföras med flödesökningen. T.ex. om netto-maxflödet är 35 l/s och regnets maxintensitet är 70 l/s, ha ger detta att avrinningen från i storleksordningen 0,5 ha är anslutet uppströms mätpunkten.

I beräkningen av totalt ansluten hårdgjord yta finns det två viktiga felkällor som innebär att man vid en senare inventering med t.ex. färgat vatten eller rök inte kommer att hitta hela den beräknade ytan:

- Överläckning från dagvattenledningar som kan vara en stor del av vattentillskottet
- Ökad dräneringsvattenavrinning från husgrunder

Erfarenhetsmässigt kan det ofta vara så att endast omkring hälften av den beräknade ytan hittas med gängse spårmetoder. Den beräknade hårdgjorda yta benämns således ofta som "fiktiv", eftersom den inte enbart är hårdgjord. Läs mer om detta i VA-Forsk 93-08 samt VA-forsk-97-15.

Ett annat fel som uppstår är att nederbörden har olika utbredning inom undersökningsområdet, vilket också kan ge upphov till stora variationer i beräknad hårdgjord yta. Detta kan delvis avhjälpas genom att flera regnmätare används.

I detta projekt analyseras främst möjligheten att använda nivåmätare istället för v/h-mätare. Fel p.g.a. olika utbredning av regnen inom undersökningsområdet har i detta fall ingen inverkan på resultat eftersom felet är lika i båda fallen.

Frågan är då om det finns enklare mätmetoder som kan ge ett lika bra, eller bättre, slutresultat jämfört med ett fullgott användande av v/h-mätare?

2.3 Vilka krav skall man idag ställa på mätningar i avloppsledningsnät

Följande krav bör kunna ställas på fältmätningar i avloppsledningsnät:

- Instrumenten skall vara enkla att använda.
- Instrumenten skall ha låg totalkostnad för inköp och drift. Billigare både avseende inköp och drift av mätutrustningen.
- Mätperioderna skall vara långa, gärna 3-4 månader för att fånga så många intressanta regntillfällen som möjligt.

Ovanstående krav har legat till grund för detta projekt.

3 Förslag till utredningsstrategi

Kortfattat bygger strategin på att enbart nivåmätare används ute i ledningsnätet och att en datormodell över ledningssystemet alltid används, dels för val av bra mät-punkter och dels för att få bra kvalitet på analysen av mätvärdena.

För att målet om att så många som möjligt skall kunna arbeta med denna undersök-ningsmetodik har datormodellen SWMM använts vid modelleringen i detta projekt. Modellanvändandet har därför också beskrivits översiktligt i rapporten, se bilaga 1.

Mycket av det som framkommer i denna rapport bygger på författarens egna erfarenheter kring fältmätningar och analyser i datormodeller.

3.1 Nivåmätare istället för v/h-mätare

Den viktigaste förändringen jämfört med dagens undersökningsmetodik är att man ute i ledningsnätet använder sig av nivåmätare istället för v/h-mätare. Det finns många skäl till att en nivåmätare med GSM-logger är att föredra istället för en v/h-mätare, nämligen:

- lägre kostnad för inköp och drift.
- lättare att kontrollera givarens tillförlitlighet.
- minskat tillsynsbehov tack vare reducerad risk för igensättning m.m.
- minskat tillsynsbehov för byte av batterier; en nivåmätare klarar med lätthet upp till sex månaders drift.

Egentligen finns det bara en nackdel med undersökningsmetodiken. Om enbart nivåmätare används för att bestämma ett flöde utifrån Mannings formel och Brettings delfyllnadskurva, se avsnitt 3.6.6, kan felaktiga resultat erhållas om det uppstår en dämning i systemet. Då sätts nämligen dessa samband ur spel och det beräknade flödet blir helt fel.

En dämning kan exempelvis uppstå om det sker ett stort vattentillskott nedströms mätpunkten så att ledningens kapacitet överskrids. Nivån kommer då att stiga upp-ströms detta påsläpp.

Ett annat exempel kan vara att nivåmätaren placerats i en brunn med stort sidoinflöde som ger upphov till stora brunnsförluster och därmed ökad nivå i själva brunnen och en bit in i angränsande ledningar. Nivån vid givaren ökar då vid nivågivaren utan att flödet ökat i den ledning givaren placerats, vilket kan ge upphov till feltolkning. Förhållandet gäller även för v/h-mätare som också kommer att visa en flödesökning, p.g.a. ökad nivå vid givaren, trots att det inte behöver vara en sådan.

Tanken är därför att eliminera osäkerhetsfaktorn genom att använda en flödesmätare i slutpunkten som ger facit för hela området (ansluten hårdgjord yta samt flödesvariationer vid nederbördstillfällen) samt att alltid använda en datormodell för analysarbetet.

Sammanfattningsvis innebär denna utredningsmetod mindre tid i fält men ger istället möjlighet till längre mätperioder och mer tid för modellanalyser.

3.2 SWMM – ett program för modellering av avrinningen i avloppsledningsnät

SWMM (The EPA Storm Water Management Model) är en hydraulisk avrinningsmodell, vars utveckling finansierats av den amerikanska naturvårdsmyndigheten EPA. Modellen hanterar avrinning från ytor men också dräneringsvattenavrinning och snösmältning.

I detta projekt behandlas endast modelleringsteknik i samband med direkt nederbördsavrinning.

Fördelen med modellen är bl.a. att den kostnadsfritt kan laddas ner från www.epa.gov/ednnrmrl/models/swmm.

Programkoden kan fritt användas av vem som helst som vill göra en applikation kring SWMM. Noterbart är att en del av beräkningsalgoritmen i Mouse och sedermera MikeUrban, som torde vara den mest använda modellen i Sverige, är hämtad från SWMM.

I detta projekt har endast den direkta avrinningen analyserats med hjälp av SWMM. I många fall är det ju så att ett nederbördstillfälle ger upphov till indirekt avrinning i form av ökade läck-och dräneringsvattentillskott. Detta belyses i de mätningar som analyserats i bilagorna.

SWMM har möjlighet att även ta om hand den indirekta avrinningen som genereras vid regn eller snösmältning (RDII-Rainfall Dependent Infiltration/Inflow). Denna modelleringsteknik har dock inte använts i detta projekt.

3.3 Strategins huvuddelar

Utredningsstrategin som beskrivs i denna rapport kan indelas i fyra steg:

1. Upprättande av en modell över ledningsnätet för bestämning av lämpliga mätpunkter ute i ledningsnätet.
2. Fältmätning med säker flödesmätning i slutpunkten och nivåmätare utplacerade vid övriga mätpunkter. GSM/GPRS- tekniken kan användas för bättre dataåtkomst.
3. Kontinuerlig analys av inhämtade mätvärden.
4. Kalibrering och verifikation av modellen.

Modellen används därefter för alla analyser och för att bestämma vilka åtgärder som skall sättas in och på vilka platser.

Nedan görs en genomgång av de olika momenten 1 – 4 enligt ovan med kommentarer. Därefter beskrivs ett antal verkliga fall mer i detalj för att underlätta förståelsen för utredningsmetodik och dess fördelar respektive nackdelar.

De fall som beskrivs avser spillvattenledningsnätet i Trollbäcken och dagvattenledningsnätet i Bollmora, Tyresö kommun samt spillvattenledningsnätet i Sturefors, Linköpings kommun. I dessa nät har enbart nivåmätare använts ute på näten.

I spillvattenledningsnätet i Påarp, Helsingborgs stad, som också analyseras i rapporten, har enbart v/h-mätare använts vid fältundersökningarna.

I den undersökningsmetodik som föreslås spelar datormodelleringen en central roll. Genom att börja utredningen med att först skapa en modell, ökar möjligheterna till att bättre bestämma mätpunkternas läge. Detta är en första förutsättning för att så bra hydrauliska förhållanden som möjligt skall råda vid mätpunkten. I synnerhet gäller det om nivåmätare används men även om v/h-mätare används.

Här kan påpekas att en datormodell över ett spillvattenledningsnät löser inte hur tillskottsvattenmängderna skall minimeras. Resultat skall här främst användas för att i nästa skede bestämma var insatser krävs för vidare lokalisering av källorna till de stora tillskottsvattenmängderna i spillvattenledningsnätet.

Det kan i många fall även vara aktuellt att öka ledningsdimensioner, att bygga utjämningsmagasin eller att bygga nya ledningar. I sådana lägen utgör en modell ett bra verktyg för att fastställa lämplig åtgärd.

3.3.1 Steg 1 – Upprättande av en datormodell

Det finns många fördelar med datormodeller. Bl.a. underlättar de:

- förståelsen för avrinningen i ett ledningsnät
- analyser av händelser, till exempel källaröversvämningar.
- möjligheten till att testa olika åtgärdsförslag

För att en skapa en grundmodell behövs ett antal indata:

- X, Y-koordinater för anordningar på ledningsnätet (nedstigningsbrunnar, pumpstationer mm)
- Markytans nivå över vattengång i nedstigningsbrunnar, utlopp och pumpmagasin
- Nivå över vattengång för anslutande ledningar
- Ledningsdimensioner
- Ledningsmaterial (Mannings tal)
- Ledningslängder
- Beskrivning pumpstationer (nivåer, volymer, kapaciteter)

Indatauppgifter kan man ofta hämta från ledningsdatabasen för avloppsledningar. I annat fall får uppgifterna hämtas från profil- och planritningar.

Om uppgifterna finns i en databas kan man exportera data till Excelfiler och därifrån skapa textfiler med format som anpassas till det textformat som SWMM använder. Det är även möjligt att använda så kallade script som gör denna överföring automatiskt.

Det går även att mata in aktuella data direkt i programmet. Då underlättar det om bakgrundskartan innehåller ledningsnätet samt gator och fastigheter för orientering. Ledningsnätet kan då skärmdigitaliseras direkt via kartan och för respektive ledning/brunn kan nödvändiga uppgifter anges manuellt.

Om ledningsnätet har någorlunda storlek är detta tidsödande. Det bästa i detta fall är att skapa en indatafil direkt via utdrag i en ledningsdatabas.

I SWMM ligger all indata i en öppen textfil (*.inp) med ett format som är väl beskrivet i manualen.

En kortfattad beskrivning av hur man använder SWMM finns i bilaga 1.

3.3.2 Steg 2 – Fältmätningar

Fältmätningarna kan indelas i följande moment:

- Flödesmätning i slutpunkten.
Vid stora ledningsnätsmodeller kan detta ske i flera punkter. Mätning kan utföras med hjälp av v/h-mätare som placeras i en för mätmetoden lämplig nedstigningsbrunn. Finns en avloppspumpstation i slutpunkten kan händelseregistrering för pumpar, kombinerat med kontinuerlig nivåmätning i pumpsumpen, utgöra indata för flödesmätningen. En konventionell flödesmätare vid ett reningsverk/inloppsränna kan också användas.
- Nivåmätning i brunnar ute på ledningsnätet (och i bräddavlopp).
- Händelseregistrering i pumpstationer kombinerat med nivåmätning i pumpsumpen.
- Nederbörds-mätning (som ofta kan kombineras med händelseregistreringen i en pumpstation).

Mätutrustningen kan med fördel förses med GSM- eller GPRS-modem, vilket innebär att mätningarna kan övervakas dagligen utan platsbesök. Besök behöver då endast göras när utrustningen fallerat, då batterier skall bytas eller då utrustningen skall flyttas.

Erfarenheten från detta projekt, samt ett flertal projekt efter detta, ger att användandet av GSM-modem i utrustningen där antennen sitter under gjutjärnslocket är mycket god. Vanligtvis erhålls tillräcklig signalstyrka om det finns bra täckning för mobiltelefon vid markytan.

Av de mätningar som refereras i denna rapport, och där GSM-modem använts, har ca 90 % av mätutrustningen haft tillräcklig täckning för att dagligen sända över data.

För mer detaljerad information om hur fältmätningarna skall bedrivas än vad som görs nedan, rekommenderas bland annat VA-Forskrapporten 2000-7 "Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av datormodeller".

3.3.2.1 Val av mätpunkter i nedstigningsbrunnar

Följande kriterier har/bör beaktats vid val av mätpunkter (gäller både för v/h-mätare och för nivåmätare).

- Välj i första hand en brunn med endast en genomgående ledning, d.v.s. en inkommande ledning och en utgående ledning. Bäst är om ledningen går rakt igenom utan någon böj.
- Välj i andra hand brunnar med två inkommande ledningar. Placera i så fall givaren i den ledning som förväntas ha den högsta vattenföring och inte tvärt om. Om den andra sidoleddningen kan få ett stort inflöde kommer detta att orsaka strömningsförluster med en nivåhöjning i brunnen som följd, vilket kan göra mätresultatet svårtolkat.
- Kontrollera ledningens profil vid mätpunkten. Helst skall lutningen före och efter var ungefär densamma. Kraftiga lutningsändringar skall undvikas.
- Undvik att mäta i ledningar med kraftig lutning. Eftersträvasvärt är att ledningslutningen understiger 15 %.
- Vid ledningsdimensionen 225 mm kan givaren vridas upp lite över vattengång för att undvika igensättning vid torrvädersflöden. Torrvädersflödena/nivåerna är inte lika intressanta att registrera som de vid regntillfällen.

3.3.2.2 Flödesmätning – allmänt

Det är viktigt att en bra flödesmätning genomförs i slutpunkten av ledningsnätet. Resultatet från denna visar facit för hela området vid olika nederbördsförhållanden; den totala omfattningen av nederbördspåverkan på avrinningen.

*Vid modellanalysen skall modellerat flöde överensstämma
med det uppmätta flödet i slutpunkten*

Resultatet från flödesmätningen är således ett kvitto på att nivåhöjningar ute vid nivåmätningsspunkterna, som kan ha berott på dämningar, inte övertolkats vid modellanalysen.

Med hjälp av flödeshydrograferna i slutpunkten från olika regntillfällen beräknas den extra vattenvolym som tillförts ledningsnätet. Med känd regnvattenvolym kan därefter ett mått på den hårdgjorda yta som genererat tillskottsvattnet beräknas.

Beroende på hur regnen sett ut och ledningsnätets beskaffenhet kommer denna fiktiva yta att få olika storlek för olika regn. Ju fler regn som kan analyseras desto bättre träffsäkerhet vid arealberäkningen. Ett närmevärde för antal regn att analysera kan sättas till minst fem stycken.

Vid flödesmätningen kan man använda sig av v/h-mätare eller händelseregistrering och nivåmätning i en pumpstation.

3.3.2.3 Flödesmätning med v/h-mätare i slutpunkten

Enligt ovan är ett omsorgsfullt val av mätpunkt viktigt för att erhålla tillförlitliga resultat. Om möjligt kalibreras mätpunktens hastighetsprofil med hjälp av en enpunktsmätare för hastighet. Detta bör i så fall göras vid flera tillfällen och helst någon gång vid höga flöden (trots att det ofta regnar då).

Här är det alltså viktigt att brunnen som mätaren placerats i har ett rakt genomlopp samt att det inte förekommer större lutningsändringar.

Med en enpunktsmätare mäts hastigheten precis i inloppet medan hastighetsgivaren (vanligen en Dopplermätare) skickar signaler snett uppåt (ca 20 – 30°) genom tvärsnittet. Hastigheten vid givaren kan vara en annan än den som råder 0,5 – 1 m in i ledningen (t.ex. om ett störande sidoinflöde uppstår).

Regelbunden tillsyn är nödvändig, framförallt eftersom hastighetsgivaren kan bli igensatt.

Om mätaren är försedd med GSM-modem kan givarnas funktion kontrolleras på ett mycket bättre sätt än om tillsynen sker t.ex. varannan vecka vid manuell data-tömning.

3.3.2.4 Flödesmätning i pumpstation

Flödesmätning i en pumpstation i slutpunkten kräver att intermittent pumpdrift, d.v.s. att pumparna startar och stoppar på givna nivåer i pumpmagasinet. Varvtals-reglerade pumpar låter sig inte användas till att beräkna tillflödet via den metod som beskrivs här.

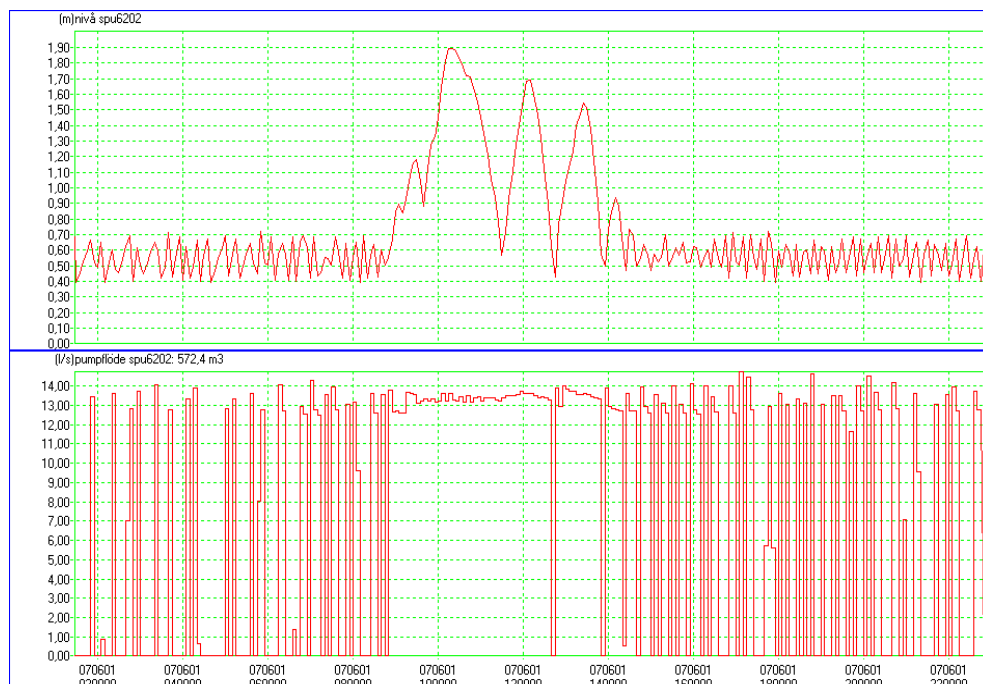
Principen för att beräkna tillflödet till en pumpstation är enkel. Tiden det tar att fylla upp pumpmagasinet mellan start- och stoppnivåerna mäts, medan pumparnas drifttider registreras.

Om pumparna har bra kapacitet, d.v.s. ger korta pumptider, så är detta en alldeles utmärkt metod för flödesmätning. Det finns speciella dataloggers för detta ändamål men dagens undercentraler i övervakningssystem tillämpar ofta denna princip.

Det finns en uppenbar nackdel med denna metod som gör att den inte ger bra flödesmättningsresultat i alla pumpstationer, utöver varvtalsregleringen som nämnts ovan. Om anslutande ledning inkommer under startnivån för pumparna innebär det att volymen mellan start och stopp blir svår att bestämma, vilket ökar osäkerheten i resultatet.

Likaså blir flödesmätningen bristfällig om pumpkapaciteten är låg jämfört med de tillflöden som sker. Detta innebär att pumparna kan gå långa tider under ett regn-tillfälle, vilket får till följd att tillflödet inte kan beräknas tillförlitligt på vanligt sätt.

Osäkerheten kan förbättras betydligt om händelseregistreringen av pumpdriften kompletteras med en nivågivare som exempelvis registrerar nivån kontinuerligt, t.ex. varje minut, men även vid pumpstopp/pumpstart. Då erhålls värdefull data som underlättar den senare analysen och kalibreringen av modellen.



Figur 3–1. Figuren visar nivåmätning samt utflöde i en pumpstation

I figur 3–1 visas nivåförändringen i en pumpstation tillsammans med pumpflödet (i detta fall sitter det en magmätare på tryckledningen). I grafen syns tydligt vilka fördelar som ges vid flödesanalysen då nivåvariationen i pumpsumpen mäts.

En ökad nivå innebär att tillflödet är större än pumpflödet och vice versa. Om variationen hos pumpmagasinets area är känd kan tillflödet beräknas approximativt med hjälp av nivåmätningen. Vid nivåhöjningar över tilloppsledningen inträffar, sker en magasinering vilket försämrar noggrannheten på det beräknade tillflödet. I detta fall gäller att tillflödet varit större än det beräknade.

Nivån i pumpsumpen kan med fördel också användas för att kontrollera modellens beräkningsresultat. Vid överensstämmelse kommer modellen att beräkna tillflödet. Slutsatsen av hur en pumpstation kan utnyttjas som mätpunkt blir följande:

- Händelseregistrering av pumparnas start- och stopp tider med sekund-upplösning. Registrering av nivån i pumpmagasinet kontinuerligt (1-2 minuter) samt vid pumpstart / pumpstopp.

3.3.2.5 Nivåmätare i inkommande ledning nedstigningsbrunnar

I en cirkulär ledning finns det under givna förutsättningar ett samband mellan nivå och flöde. I Svenskt vattens publikation P90 "Dimensionering av allmänna avloppsledningar" finns dessa samband väl beskrivna. Här kan man också läsa om friktionsförluster i brunnar av olika utformning. För mer detaljerade kunskaper om dessa förhållanden kan denna skrift varmt rekommenderas.

Allmänt brukar man vid ledningsdimensioneringar i Sverige utgå från Prandtl-Colebrooks formel för cirkulära rör. Detta samband finns i diagramform och torde vara allmänt känt och använt.

Ledningsråheten i denna formel anges med sorten mm (som inte har något att göra med ledningspåbyggnad).

Det går också att utgå från Mannings formel där ledningsråheten anges som en konstant, Mannings tal (-), som för avloppsvattenledningar kan sägas ligga mellan 60 och 100.

Dessa samband har vidareutvecklats av Bretting, se formel 2, som anger en formel för att beräkna flödet i delvis fyllda ledningar.

Formel 2. Brettings delfyllnadsformel

$$\frac{q}{q_{full}} = 0,46 - 0,5 \cos\left(\pi \cdot \frac{h}{D}\right) + 0,04 \cos\left(2\pi \cdot \frac{h}{D}\right)$$

q_{full} beräknas enligt Manning eller Colebrook.

h är fyllnadshöjden och D är diametern.

Observera att formeln endast gäller då ingen dämning förekommer nedströms och att strömningen sker med konstant vattendjup.

Om sambandet skall utnyttjas för att beräkna ett flöde direkt från ett nivåvärde så måste detta göras med försiktighet, i synnerhet om nivån mäts i en brunn med sidoinflöden eller dålig vallning.

Det är här poängen kommer med att använda en flödesmätare i slutpunkten samt använda en datormodell för att bestämma dessa samband. Avrinningen kalibreras i modellen ute i ledningsnätet efter nivå istället för efter flöde. På köpet erhålls via modellen en beräknad avrinning i respektive nivåmätningsspunkt. Men detta är emellertid inte det primära. Det primära är att bestämma var det finns stora ”fel-kopplade” ytor inom undersökningsområdet. För att få modellerade nivåer ute i ledningsnätet att stämma överens med uppmätta nivåer, ansluts ytor i modellen uppströms respektive mätpunkt tills överensstämmelse sker. När så nivåer och flöde i slutpunkten stämmer överens i modell och verklighet erhålls ett facit på hur dessa ytor fördelas inom undersökningsområdet.

Naturligtvis går det att utgå från Brettings formel och beräkna ett flöde för respektive nivåmätningsspunkt för att därefter arbeta vidare med att beräkna en ansluten hårdgjord yta (vilket är det vanliga när man enbart använder v/h-mätare utan senare modellanalys).

Med den utredningsmetodik som beskrivs i denna rapport, blir flödet ute i ledningsnätet inte det primära. Endast nivåer samt var anslutna ytor finns är intressant, vilket också är det som utredningen skall ge svar på. Även om en datormodell används, för att förutse och beräkna hur ett ledningssystem fungerar vid olika förhållanden, är det nivån i ledningssystemet som är det primära och som avgör vilka åtgärder som skall vidtas. Flödet är i detta sammanhang ganska ointressant såvida inte modelleringens syfte är att bestämma magasinvolymen.

Det är betydligt enklare att kalibrera en datormodell efter flödet än efter nivån, men om inte nivån är kalibrerad så föreligger stor risk att modellen kommer att visa felaktiga resultat vid den senare åtgärdsplaneringen. Således måste nivån kalibreras oavsett.

Då modellen kalibreras in, enligt den metod som presenteras i denna rapport, behövs således ingen flödeskalibrering ute i ledningsnätet. Därmed undviks även ett osäkerhetsmoment, eftersom det osäkra i en v/h-mätning är just flödet. Nivån är säkrare och enklare kontrollera.



Figur 3-2. Nivågivare monterad på en ring av rostfri plåt tillsammans med en VeALogg

Nivågivare är i regel gjorda för installeras lodrätt, d.v.s. att vattenytan rör sig vinkelrätt mot givarens membran. Detta går inte att tillämpa i en nedstigningsbrunn utan här måste den installeras vågrätt. Exempel på hur nivågivare monteras på en dimensionsring kan ses i figur 3-2.

Följande är att beakta vid montering i nedstigningsbrunn:

- Givarens nollvärde (i luft) är olika om givaren hänger lodrätt eller ligger vågrätt. Bestäm därför alltid givarens nollvärde när den är i det läge som den skall vara i under mätningen.
- Om givaren ligger vågrätt mot vattenströmmen erhålls en strömning rakt mot membranet, via silen som sitter som ett skydd framför membranet. Detta kan innebära att t.ex. gruspartiklar eller liknande kan skada membranet så att en nollpunktsförskjutning erhålls. Detta kan undvikas genom att sätta en tejpbiter framför givaren med en vattenavvisningseffekt enligt figur 3-3.



Figur 3–3. Nivågivarens membran kan skyddas med hjälp av tejp

3.3.2.6 Nederbörds-mätning

Nederbörds-mätning med tillräcklig upplösning är ett måste i denna typ av utredning och krävs för att få ett bra underlag för framtida åtgärder.

I detta projekt har genomgående använts vippskålgivare med 0,2 mm vippvolym, där händelsen för varje vippning har registrerats med sekundupplösning.

3.3.2.7 Hantering av nederbördsdata

Nederbördsdata skall så småningom läggas in i datormodellen. Det är den som skall generera avrinningen i modellen.

I SWMM läses regndata in som en tidsserie. Den kan vara uppbyggd på tre olika sätt; som intensitet (mm/h), som volym per tidsenhet (mm/tidssteg) eller som ackumulerad volym per tidsenhet (mm/tidsenhet). För alla tre sorterna anges ett tidsintervall mellan varje mätvärde, t.ex. 10 minuter.

Observera att regnintensitet skall anges som mm/h. Normalt brukar vi i Sverige använda storheten l/s,ha. Omvandlingen från l/s,ha till mm/h sker enligt följande samband:

$$1 \text{ l/s,ha} = 0,36 \text{ mm/h}$$

Regndata konverteras så att den får ett av de tre formaten som kan användas. Ett exempel på en tidsserie med regnintensitet visas i tabell 3–1.

Tabell 3–1. Exempel på regndatafil för SWMM – regnintensitet

Kanal: Bollmora 1 - Regnintensitet 10 min		
OBS! Data omvandlade till mm/h!		
07/26/2005	17:40	1
07/26/2005	17:50	42.3
07/26/2005	18:00	37.5
07/26/2005	18:10	12.6
07/26/2005	18:20	0
07/26/2005	18:30	0

3.3.3 Steg 3- Analys av mätdata

Under mätperiodens gång kommer det in nya mätvärden kontinuerligt. Vid användning av GSM-teknik sker det dagligen.

Gör en första analys av mätdata direkt

Det är viktigt att det finns rutiner för att ta om hand mätdata, samt att det görs en första analys direkt för att få en blick över mätarnas funktion. Efterhand som även data från regntillfällen kommer in kan man börja förbereda för modellanalysen, genom att t.ex. beräkna total hårdgjord yta för ledningsnätet.

Det vanligaste tillvägagångssättet vid mer avancerad analys av mätdata är att använda PC-programvarorna VeAGraf eller Gandalf. Utöver dessa två program finns också ett analysverktyg i det internetbaserade datainsamlingssystemet VeAInfo som fortfarande utvecklas, till skillnad från de två andra där utvecklingen stannat av.

Gemensamt för programmen är att de kan hantera mätvärden från pumpstationer och nederbördsräknare på ett för VA-teknikern korrekt sätt. Alla tre programmen har möjlighet till export av mätdata i form av textfiler, vilket är nödvändigt att ha då man skall analysera modellresultat kontra mätresultat.

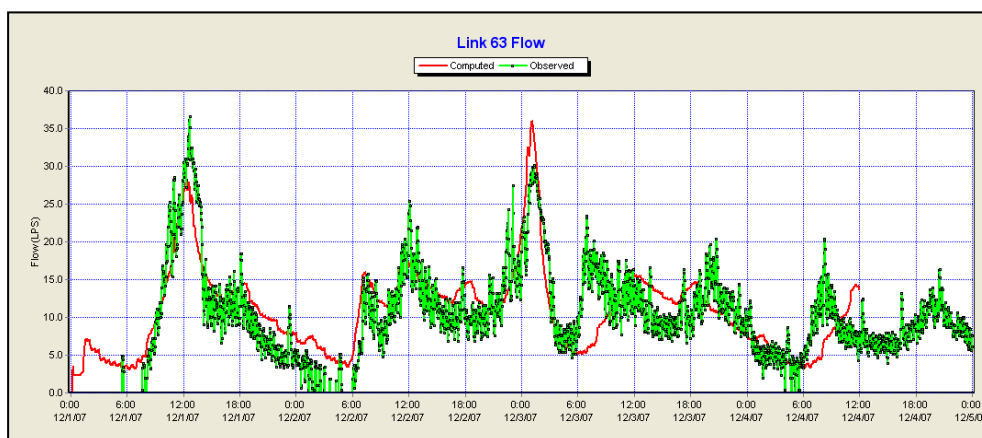
I SWMM finns det en bra möjlighet att grafiskt jämföra uppmätta värden (calibration data) med modellresultatet. För att kunna göra denna analys inne i SWMM skall mätdata importeras till modellen. Detta görs med textfiler av samma format som övriga tidsserier, se tabell 3-2 som visar tillflödet till en pumpstation.

Tabell 3-2. Filformat kalibreringsfil

4		
10/28/2007	21:11:05	3.9
10/28/2007	21:37:37	3.7
10/28/2007	22:04:47	3.6
10/28/2007	22:32:02	3.2
10/28/2007	23:01:26	3

I detta fall står 4 för beteckningen i SWMM på ledningen in till pumpstationen (link4).

Bäst för analysen är att alla mätdata från nivåmätningen samlas i en textfil, alla flöden i en textfil o.s.v. Detta underlättar analysen så till vida att det snabbt går att växla mellan modelleringar av olika regntillfällen utan att däremellan byta kalibreringsfiler. Det är endast modellperioden i SWMM som ändras. I SWMM kan resultatet av detta se ut som i figur 3-4.



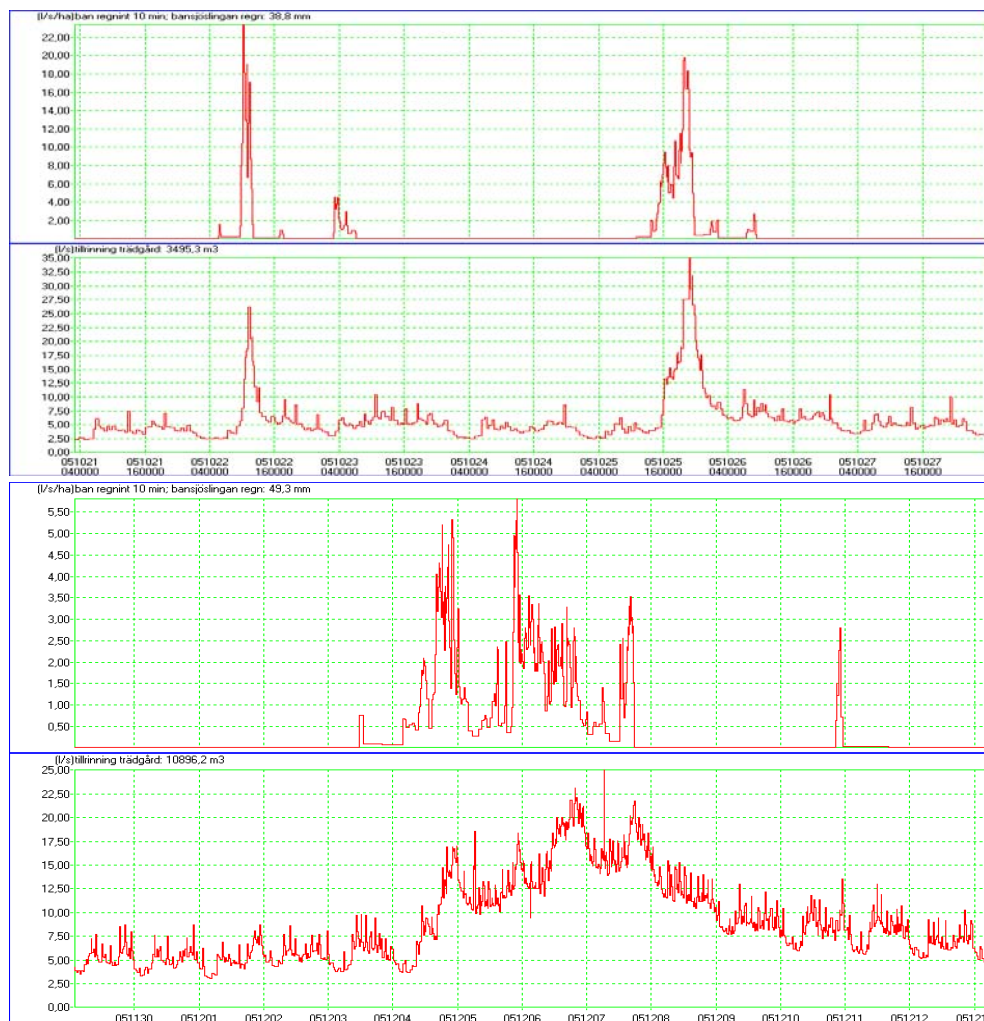
Figur 3-4. Exempel på grafisk analys av modellresultat (röd) – mätresultat (grön) i SWMM

Sammanfattningsvis gäller att mätdataanalysen skett enligt följande:

- Kontinuerlig analys av mätvärdena, det vill säga analysen påbörjas innan mätningen avslutats.
- Beräkning av total ansluten hårdgjord yta i slutpunkten, både från regnvolym och regnintensitet om möjligt. Detta ger modellområdets total anslutna hårdgjorda yta.
- Utsortering av mätdata för de intressantaste regnhändelserna. Dessa läggs i en gemensam textfil; en fil för varje slag av mätvärde (flöde, nivåer).

Det är vanligt att tillskottsflödet i samband med nederbörd består av såväl direktavrinning (från hårdgjorda ytor/överläckning) som indirekt tillskott i form av en ökad dräneringsvattenavrinning.

Ett exempel på två olika typer av avrinningssamband för samma mätpunkt visas i figur 3–5, där tillflödet till en pumpstation visas tillsammans med regnintensitet.



Figur 3-5. Exempel från samma mätpunkt med olika flödesförlopp för olika nederbördstillfällen

I figur 3–5 visas i de två övre graferna regnintensitet samt tillflödet till en pumpstation. I de två nedre graferna visas också regnintensitet och flödesförlopp till samma pumpstation men vid en annan tid.

Här syns en tydlig skillnad i avrinningsförloppet mellan de två tillfällena. I det övre exemplet visas en väl avgränsad flödesökning för det första regnet med en ringa indirekt flödesökning, medan det andra regnet ger en högre flödesökning trots lägre regnintensitet. Noterbart är också en högre indirekt avrinning för detta andra regn i det övre exemplet.

Det nedre exemplet i figur 3 – 5 uppvisar en kraftig flödesökning trots betydligt mindre regnintensitet. Här domineras flödesökningen av en ökad indirekt avrinning. Vid en areaberäkning kommer det undre resultatet att ge ett missvisande resultat på den hårdgjorda ytan (direkta avrinningen).

Det övre exemplet i figur 3 – 5 lämpar sig bäst för kalibrering av en avrinningsmodell med enbart hårdgjorda ytor anslutna till ledningsnätet.

3.3.4 Steg 4 – Kalibrering av modell/fördelning av ytor

Ovan beskrivs hur man med hjälp av bland annat en grundmodell bestämmer var mätpunkterna skall vara belägna, vad som skall beaktas när det gäller mättekniken samt hur mätvärdesanalysen kan utföras.

Här beskrivs hur syftet med undersökningen slutligen uppnås, d.v.s. härledning av orsakerna till att avrinningen i ett ledningsnät ökar och hur den uppför sig vid exempelvis regnväder. För detta har följande gjorts:

- Kvalitetssäkrade mätvärden har samlats in från flera regntillfällen (osäkra mätvärden används ej).
- Regndataserier från regnmätarna har lagts in i modellen.
- Spillvattenflöden lagts in (för spillvattenledningsnät). För mindre nät med spillvattenmängder $< 200 \text{ m}^3/\text{d}$ kan detta uteslutas.
- Läck- och dräneringsvattenflödena har lagts in. För ledningsnät, där de totala torrvädersflödena är små ($< 1 - 2 \text{ l/s}$), kan detta uteslutas.
- Pumpstationer har lagts in (beskrivning av pumpgravsvolym samt kapaciteter för pumpar).
- Utlopp har lagts in eftersom en modell måste ha ett utlopp. För spillvattenledningsnät blir detta oftast en pumpstation medan det för dagvattenledningsnät oftast är ett rör som mynnar i en recipient, t.ex. en bäck eller sjö. I detta fall är det viktigt att eventuell nivåhöjning vid utloppet beskrivs i modellen.
- Mätserier för uppmätta nivåer och flöden har lagts in i modellen för att underlätta kalibreringen.

I detta skede kan ett test göras, med bara avrinningen utan något regn. Finns det fel i modellen kan dessa rättas till nu innan fortsättning.

Efter testet skall ytorna läggas in. I utgångsläget är endast totalytan för ett regn känd. Denna fås via flödesmätningen/nederbörds-mätningen (1 mm nederbörd ger 1 l/m²). Ett exempel på hur detta kan göras redovisas i bilaga 3.

De delområden som inte visar någon påverkan vid regntillfällen, d.v.s. områden där ingen eller liten nivåhöjning registrerats, sorteras bort. Endast de områden där flödet påverkas av regnhändelser inkluderas.

Totalytan fördelas därefter till de olika delområdena (uppströms respektive mätpunkt). Detta görs bäst genom att modellen körs med olika ansatser för storleken på ansluten yta för respektive delområde. Beräkningsresultatet för nivåvariationen i en mätpunkt jämförs med uppmätt nivåvariation. Iterationen fortsätter tills ett tillfredsställande resultat har uppnåtts.

I bilagorna 2 t.o.m. 4 beskrivs ett antal exempel där metodiken som beskrivits ovan har tillämpats.

4 Erfarenheter av genomförda projekt

Detta projekt syftar till att påvisa huruvida det är möjligt att enbart använda nivåmätning i nedstigningsbrunnar, istället för v/h-mätare, för att få en uppfattning om hur ledningssystemet fungerar vid nederbördstillfällen. Metoden som beskrivs förutsätter att ledningssystemet läggs in i en datormodell, vilken kalibreras mot uppmätt flöde i slutpunkten samt mot uppmätta nivåer i nedstigningsbrunnar.

Nivåmätning i en nedstigningsbrunn betyder att nivån mäts en bit in i inkommande ledning till en nedstigningsbrunn.

I bilagorna 2 t.o.m. 4 redovisas översiktligt genomförandet samt resultaten av ett antal projekt där den föreslagna strategin tillämpats.

Eftersom den i dag gängse metoden är att använda v/h-mätare i stort sett i alla mätningar har även denna metod granskats närmare, dels med hänsyn till mät-kvalitet och dels i jämförelse med om endast nivåmätning använts som mätmetod.

Som exemplen i bilagorna 2 t.o.m. 4 visar, ger kombinationen av en datormodell, som kalibreras mot slutpunktsflöde, och uppmätta nivåer i ledningssystemet tillfredsställande resultat:

- Det är möjligt att lokalisera var de stora regnvattentillskotten sker.
- Modellen kan användas för att simulera omfattningen av åtgärder som behövs för att minska påverkan av de direkta regnvattentillskotten.
- det går att avgöra hur de olika delområdena påverkas av indirekt påverkan orsakad av ökade läck- och dräneringsvattenflöden.

Nedan presenteras en sammanställning av de erfarenheter som framkommit under resans gång.

4.1 Flödesmätning i en pumpstation

Flödesmätning i en pumpstation kan utföras på några olika sätt:

- Händelserna registreras i realtid för pumparnas start- och stopptider. Tillrinningen kan sedan beräknas utifrån uppfyllnadsvolym samt stilleståndstid. Denna metod lämpar sig bra då pumpkapaciteterna är tillräckliga för tillflödet så att inte långa pumptider uppstår ($> 0,5$ timmar). Om detta inträffar kan en alternativ tillrinningsberäkning göras genom att utnyttja känd pumpkapacitet samt uppfyllnadsvolym, som används för att beräkna ett medelvärde på tillrinningen under pumptiden. Detta ger emellertid ingen korrekt bild av momentanflödets maximala storlek och variation. Att då även använda en nivågivare för att mäta variationen av vattenytan i pumpsumpen tillför ytterligare en dimension. Dels erhålls kontroll på eventuella bräddningar och dels kan modellen nyttjas för att även beräkna ett tillflöde. Om nivåkurvan i modellen stämmer överens med uppmätt nivåvariation (och alla andra parametrar är rätt i modellen) så kommer modellen att visa hur tillflödet sett ut.
- Flödesmätare på utgående tryckledning. Här går det att välja mellan elektromagnetiska flödesmätare (vanligast) eller s.k. utanpåliggande mätare som mäter enligt dopplerprincipen. Fördelaktigt är om dessa finns monterade vid undersökningstillfället. Dock bör de kompletteras med en nivåmätning enligt ovan.

Flödesmätare på utgående ledning från en pumpstation registrerar dock bara pumpflödet ut från stationen. Flödets variation tas upp via pumpsumpen och många gånger i de intressanta fallen även av ledningen. Även i detta fall kommer en nivåmätning att ge värdefull information om hur tillflödet varierar.

Slutsatsen blir således att, för temporära mätningar, bör händelseregistrering av pumpdriften användas tillsammans med nivåmätning av vattenytan i pumpsumpen, om inte flödesmätare på tryckledningen finns. Lämpligt loggningsintervall för nivån kan vara 2–3 minuter om nivån också loggas vid varje pumpstart/stopp. I annat fall bör ett kortare intervall övervägas, förslagsvis 1–2 minuter.

För kontinuerliga mätningar kan händelseregistrering eller mätning av flödet på utgående ledning väljas beroende på hur avbördningssituationen ser ut. Långa pumptider vid nederbörd eller andra stora tillflöden är det fördelaktigare med mätning av utgående flöde.

I båda fallen bör nivåmätning ske. Detta gäller särskilt om mätresultatet skall användas för att utreda tillskottsvattenflöden.

4.2 Flödesmätning med v/h-mätare

Om pumpstation saknas (eller denna har varvtalsreglerade pumpar och saknar flödesmätare) finns i praktiken endast alternativet v/h-mätare att tillgå.

I denna rapport har mätning via skibord (mätöverfall) exkluderats eftersom sådan passar dåligt för längre kontinuerliga mätningar i spillvattenledningsnät. Även för dagvattenledningsnät passar det dåligt, eftersom flödena här kan bli mycket stora i förhållande till vad ett skibord med rimliga proportioner kan avbörda.

Vad som skall beaktas vid val av mätpunkt beskrivs ovan och exemplifieras nedan.

Vidare bör v/h-mätaren vara försedd med GSM/GPRS- modem för kontinuerlig överföring av mätvärden.

4.2.1 Kontroll av v/h-mätarens mätdatakvalitet – i fält

Det finns några olika sätt att bedöma hur bra kvaliteten är på v/h-mätningen. I fält kan nivån kontrolleras genom att mäta den med en måttsticka (lämpligen används en ställinjal + vattenlöslig färg). Detta kan dock vara svårt i en Ø 225 mm-ledning, åtminstone för storvuxna.

Hastigheten är svårare att kontrollera. Hastigheten kan kontrolleras i fält med exempelvis en enpunktsmätare, men detta sker då endast för de hastigheter (och nivåer) som råder vid kontrolltillfället. Vanligtvis sker dock detta vid låga flöden, vilket innebär att v/h-mätaren inte blir kalibrerad för de flöden som egentligen är de viktigaste att kalibrera för.

Även med en enpunktsmätare är det svårt att mäta en riktig hastighet med litet flöde i små ledningar, framförallt i en Ø 225 mm-ledning.

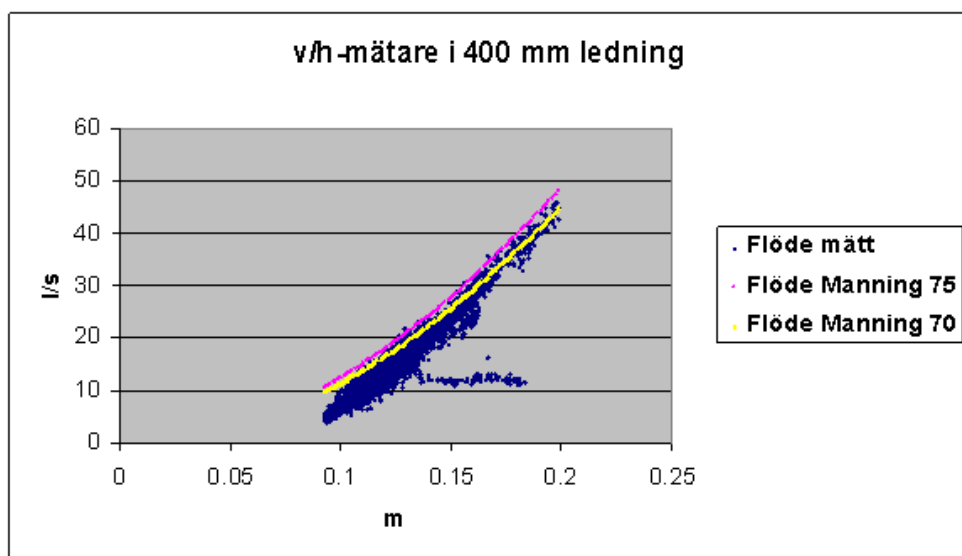
4.2.2 Kontroll av v/h-mätarens mätdatakvalitet – i efterhand

Det går också att kontrollera mätkvaliteten i efterhand genom grafisk analys i en s.k. scattergraf.

I en självfallsledning ökar nivån när flödet ökar. Teoretiskt kommer det bara att finnas ett möjligt värde för flödet (eller hastigheten) vid en viss nivå, förutsatt att flödet inte påverkas nedströms av t.ex. ett större tillskottsflöde som ger upphov till dämningar uppströms. Detta är även den förutsättning som gäller vid användning av Mannings formel och Brettings delfyllnadskurva som ersättning för en flödesmätning.

I figur 4–1 visas resultatet från en näst intill ideal mätpunkt i en scattergraf för nivå/flöde. Exemplet baseras på mätning i en Ø 400 mm-ledning med lutningen 3,2 ‰ både före och efter brunnen. Nivåerna i ledningen varierar mellan 8 – 20 cm.

I grafen i figur 4–1 visas dels uppmätta flöden/uppmätta nivåer med en v/h-mätare och dels visas beräknat flöde enligt Manning/Bretting utifrån uppmätta nivåer med två olika värden för Mannings tal (70 – gult respektive 75 – rosa).

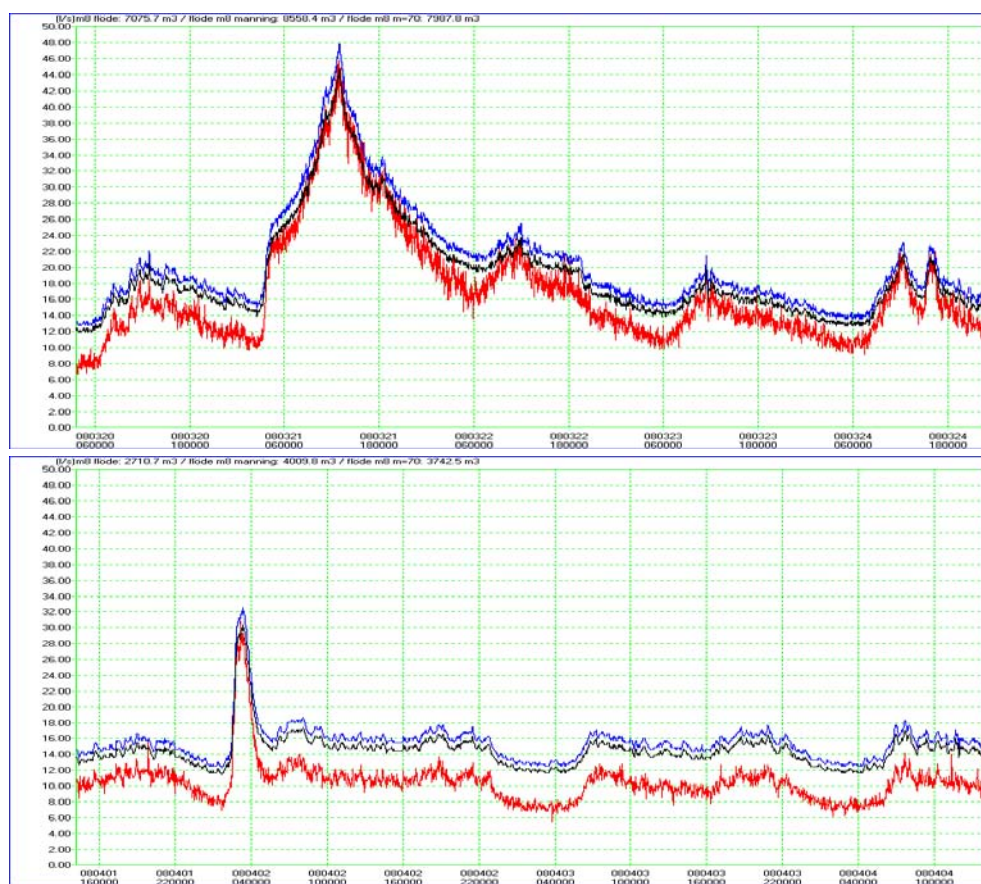


Figur 4–1. Förhållandet mellan mätt nivå (x-axeln) samt mätt flöde med v/h-mätare (y-axeln) i en 400 mm ledning samt mätt nivå/beräknat flöde enligt Manning/Bretting med $M=70$ respektive 75

Analys av grafen i figur 4-1 visar att vid några nivåvärden har det uppmätta flödet blivit felaktigt, eventuellt p.g.a. igensatt hastighetsgivare, medan övriga värden stämmer relativt bra med beräknade flöden. Beräknade flöden enligt Manning/Bretting ligger dock över de uppmätta flödena med större skillnad vid lägre nivåerna än vid högre.

Trots den relativt goda överensstämmelsen mellan beräknat och uppmätt flöde, så kan en relativt stor spridning av flödet för enskilda nivåvärden noteras. Exempelvis kan konstateras att för nivån 0,120 m varierar uppmätta flöden mellan 9,8 och 17,3 l/s med ett medelvärde av 12,8 l/s. Motsvarande värde för Manning/Bretting är 17,7 l/s (vid $M=75$).

I figur 4-2 visas grafen för tre flödeskurvor; den uppmätta, beräknad med $M=75$ respektive beräknad med $M=70$.



Figur 4-2. Flödesgrafer för två perioder från mätning (röd) samt beräknade flöden enligt Manning/Bretting med $M=70$ (svart) och $M=75$ (blå)

Som framgår av graferna skiljer sig flödena markant vid låga värden medan det för höga flöden har bättre överensstämmelse, vilket stämmer överens med scatter-grafen i figur 4–1.

Avvikelseerna vid lägre nivåer kan delvis förklaras av att hastighetsåtergivningen är sämre vid låga nivåer.

Det redovisade exemplet illustrerar hur enbart nivåmätning med omräkning till flöde via Manning/Bretting kan fungera som indikation på hur en mätpunkt påverkas vid stora flöden i samband med nederbörd.

Nedan redovisas hur detta kan appliceras på strategin att enbart mäta med nivåmätare ute i ledningsnätet och kalibrera mot känt flöde i slutpunkten samt att denna analys sker i en modell över ledningsnätet.

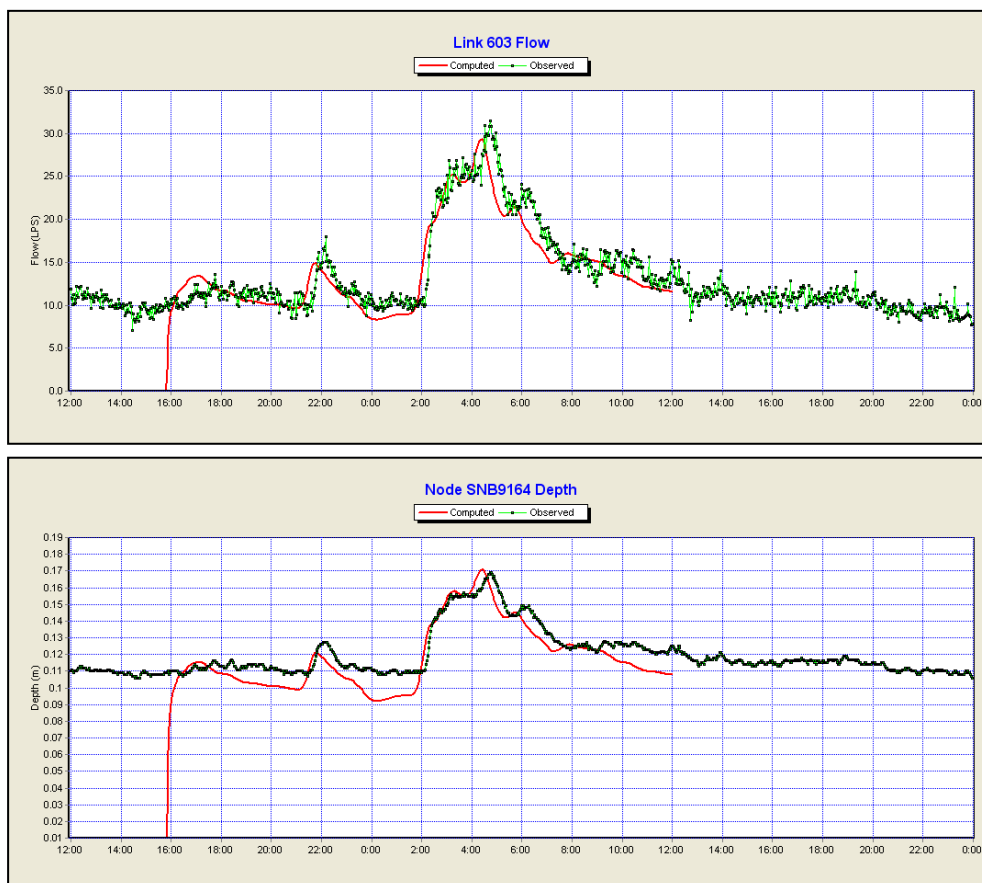
Utgångspunkten är då att det uppmätta flödet vid slutpunkten skall stämma överens med det modellerade, samt att modellnivån för respektive mätpunkt skall stämma med den uppmätta nivån.

I följande exempel har endast v/h-mätarens nivåmätare använts och kalibrerats in i modellen enligt grafen i figur 4–3. Modellen kan sedan per automatik beräkna ett flöde i den inkommande ledningen enligt den röda grafen i det översta diagrammet i figur 4–3.

I det nedersta diagrammet i figur 4–3 visas v/h-mätarens flödesvärde som stämmer bra med det modellerade flödet. Slutsatsen är således att enbart nivåmätning hade varit tillräckligt att använda i detta fall.

Vid enbart nivåmätning erhålls ingen verifikation mot ett mätt flöde. Följaktligen behövs en kontrollmöjlighet genom mätning av flödet i slutpunkten.

En annan kontroll, som också kan göras i efterhand, är att jämföra storleken på inlagda hårdgjorda ytor uppströms respektive mätpunkt för de olika kalibreringsregnen. Storleken på de hårdgjorda ytorna bör inte ha för stor spridning. Hur detta kan se ut beskrivs närmare i bilaga 2.

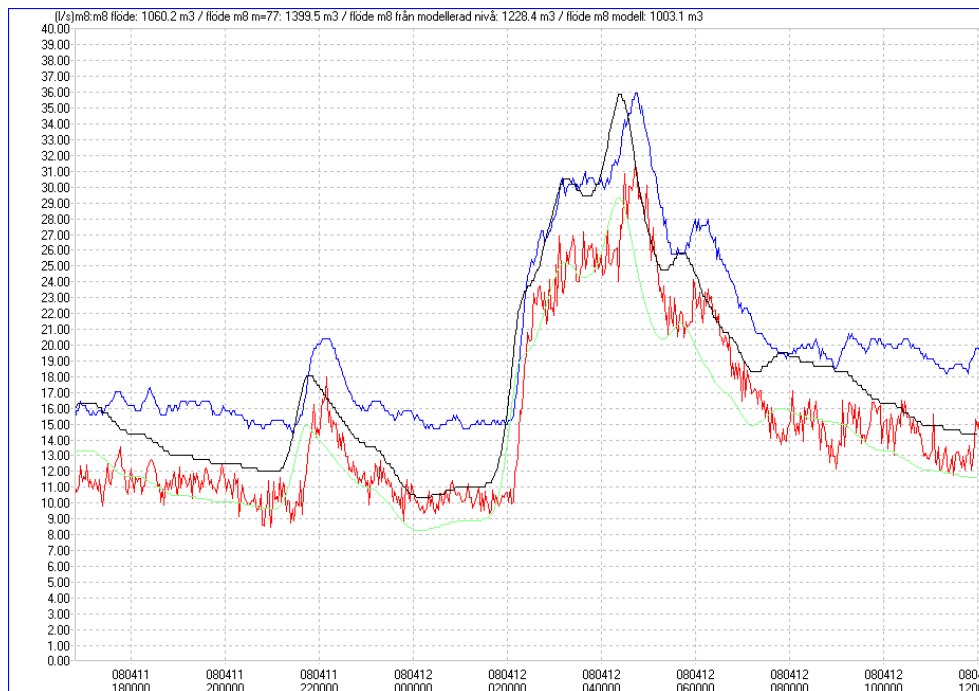


Figur 4-3. Modellerad nivå och flöde (röda) samt uppmätta nivåer och flöden (grönt)

För att få modellerad nivå att stämma överens med uppmätt nivå i exemplet som redovisas i figur 4-3 har Mannings tal för ledningen efter mätbrunnen satts till 0,017 i SWMM ($M=59$). Ledningen har i detta fall givits ett högre Mannings tal än vad som föregivits vid inspektion av ledningen. Anledningen till detta var att vällningen i brunnen efter v/h-mätaren (givaren satt i inkommande ledning) orsakat ett motstånd som gett en extra nivåhöjning.

I grafen i figur 4-4 från samma mätpunkt som beskrivs i figur 4-3 finns flödeskurvor för följande:

- uppmätt flöde v/h-mätare (röd, taggig),
- beräknat flöde Manning/Bretting med $M=77$ utifrån mätt nivå –(blå),
- beräknat flöde Manning/Bretting utifrån modellerad nivå med $M=77$ (svart),
- beräknat flöde med hjälp av modellen i SWMM (grön).



Figur 4-4. Analys av uppmätt flöde v/h-mätare och beräknat flöde utifrån enbart nivån i en mätpunkt på 400 mm ledning.

Figur 4-4 är ett mycket intressant diagram som illustrerar skillnaden mellan de olika sätten att ta fram ett flöde i en nära nog ideal mätpunkt på ett spillvattenledningsnät.

För detta exempel, som alltså utgörs av en ledning Ø400 mm med jämn lutning före och efter mätbrunnen, konstateras följande:

- Modellerat flöde stämmer bra med uppmätt flöde, vilket även framgår av figur 4-4 (röd och grön).
- Beräkningar enligt Manning/Bretting ger högre flöden än v/h-mätningen för alla nivåer. Störst är relativa skillnaden vid låga nivåer (röd och svart).
- Beräkningar enligt Manning/Bretting ger högre flöden för samma nivåer som modellen beräknat jämfört med modellerade flöden (grön och svart).

Slutsatsen blir således att enbart nivåmätning, och beräkning av flöde med hjälp av Manning/Bretttings formel, kan användas för att avgöra om det förekommer en stor påverkan av regnvatten eller inte.

Om nivån dessutom kalibreras korrekt i en datormodell kommer det modellerade flödet att ge ett mer korrekt flöde, förutsatt att det uppmätta flödet är riktigt. I det senare fallet finns dessutom en datormodell tillgänglig, vilket ökar möjligheterna att testa olika åtgärder och dess utfall på ett helt annat sätt än utan modell. Allt under förutsättning att även flödet i slutpunkten kalibrerats korrekt i modellen.

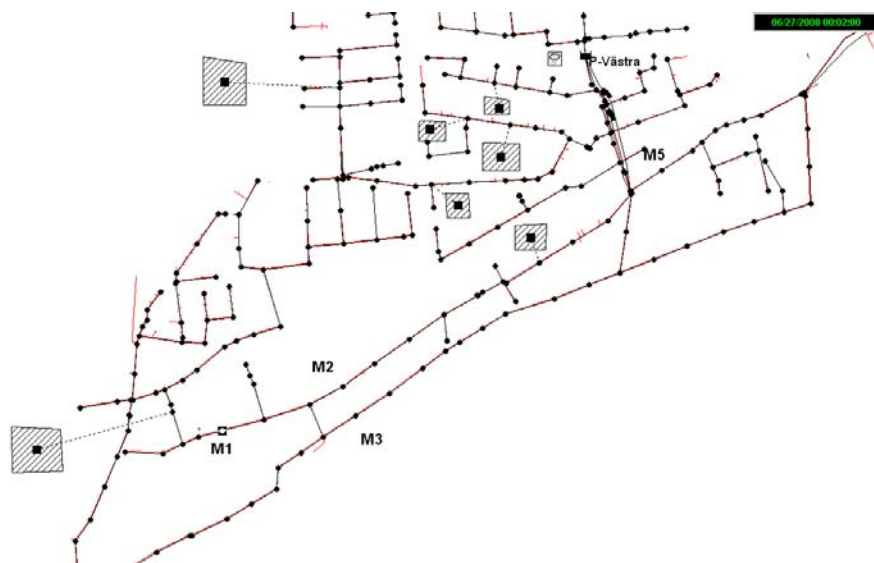
4.3 Användning av enbart nivåmätare ute i ledningsnätet och v/h-mätare i slutpunkten – vilka begränsningar finns?

I detta avsnitt studeras ytterligare fall med v/h-mätning för att se om hypotesen att enbart nivåmätare ute på ledningsnätet, men säker flödesmätning i slutpunkten, ger tillräckligt underlag för att bestämma orsaken till stor hydraulisk belastning i ett avloppsledningsnät.

I det följande avsnittet analyseras en flödesmätningsskampanj i ett spillvattenledningsnät där mätpunkternas förutsättningar inte är de bästa, vilket var fallet i exemplet som redovisades i föregående kapitel.

I detta fall har v/h-mätare använts i sammanlagt fem mätpunkter. En av punkterna var i en dagvattenledning och lämnas därhän, de fyra andra mätpunkternas läge samt nätet kan ses i figur 4–5.

Mätningens syfte var att lokalisera och kvantifiera påverkan av regnvatten (översvämningsproblem). Vidare har mätresultaten även legat till grund för kalibrering av en datormodell över spillvattennätet som ämnas användas för åtgärdsplanering. Mätperioden pågick från den 22 april till och med den 1 juli 2008, d.v.s. drygt två månader. Under denna tid inträffade sammanlagt fyra regn som kunde användas för kalibreringen.



Figur 4–5. Ett mindre spillvattennät med v/h-mätare i fyra mätpunkter

I analysen nedan visas följande för respektive mätpunkt:

- en scattergraf över nivå/uppmätt flöde samt flöde enligt Manning/Bretting,
- grafer med uppmätt flöde tillsammans med flöde beräknat enligt Manning/Bretting.

I samtliga fall har Mannings tal satts till 75. Detta för att analysera kvaliteten på v/h-mätningen, men även för att undersöka huruvida ett beräknat flöde enligt Manning/Bretting kan vara en framkomlig väg. Slutligen görs också en analys av att direkt utgå från nivåmätningen för att via modellen kalibrera nivåmätningpunkten. För kontroll används här uppmätt flöde i respektive mätpunkt. Nederbörden som föll under mätperioden och som kunde användas i analysen redovisas i tabell 4–1.

Tabell 4-1. Nederbörd under mätperioden

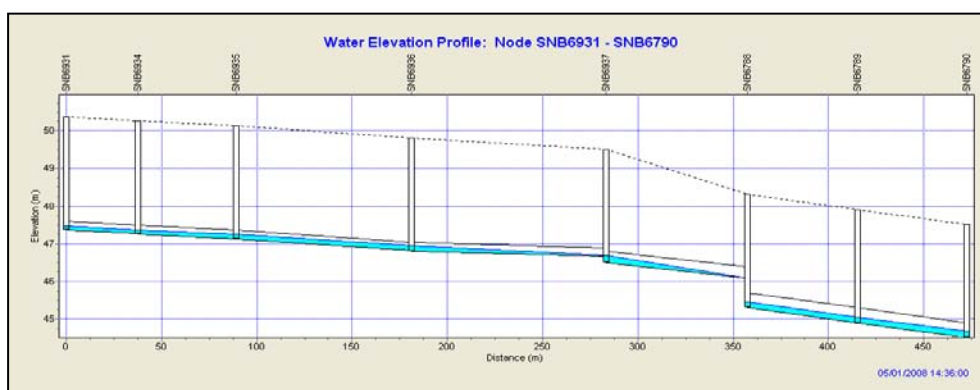
Datum	Total regnmängd (mm)	Maxintensitet 10 min (l/s*ha)	Regnmängd vid maxintensitet (mm)
2008-05-01	5,8	10	0,6
2008-05-01	10,4	50	3
2008-05-26	14,6	13	0,8
2008-06-20	5,4	60	3,6
2008-06-27	4,6	50	3

Ett fall ur verkligheten; en relativt regnfattig mätperiod med lågintensiva regn och där maxintensiteten för ett fåtal regn kan anses vara bra för modellering.

4.3.1 Mätpunkt M1 – analys v/h-mätning

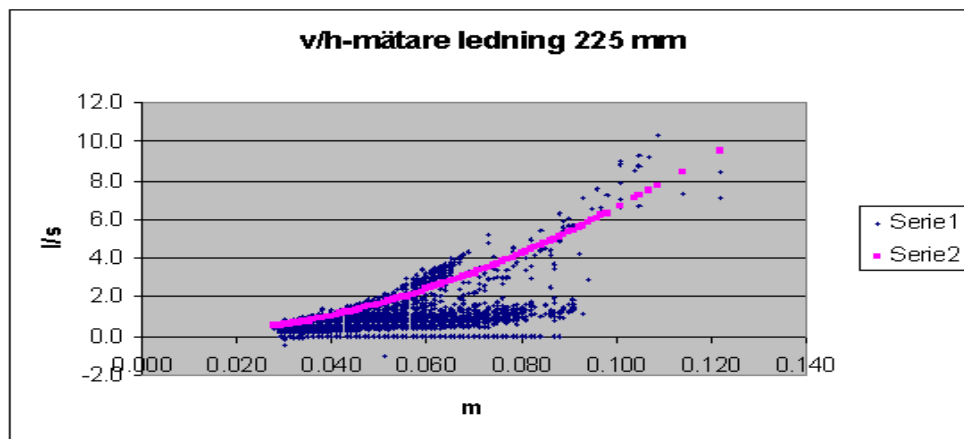
Betongledning Ø 225mm; lutning före: 2,5 ‰; lutning efter: 3,4 ‰

Med hänsyn till lutningsförhållandena är M1 en bra mätpunkt enligt profilen i figur 4–6.



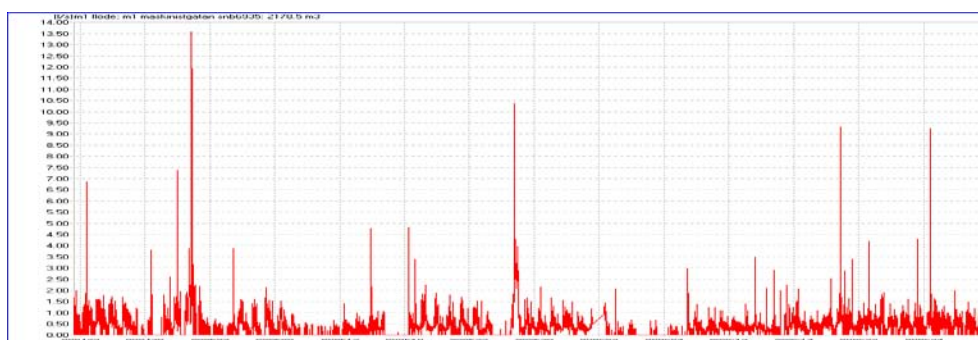
Figur 4–6. Profilen för ledningen förbi mätpunkt M1

Ett stort antal flödesvärden, som låg under 4 l/s, uppvisade stor spridning på nivåer mellan 0 och 9 centimeter.

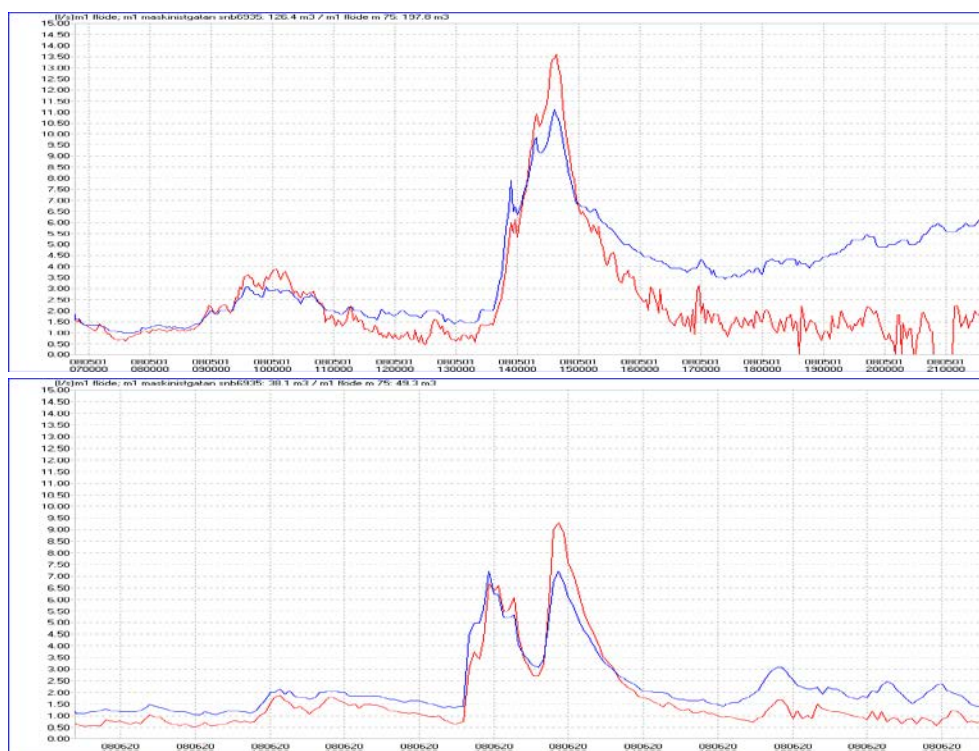


Figur 4–7. Scattergraf med uppmätt nivå/flöde (blå) samt beräknat flöde enligt Manning/Bretting med $M=75$

I figur 4–8 visas uppmätt flöde för hela mätperioden, samt mer detaljerat i figur 4–9 för två regntillfällen tillsammans med beräknat flöde enligt Manning/Bretting.



Figur 4–8. Uppmätt flöde i mätpunkt M1 för hela mätperioden



Figur 4-9. Uppmätt flöde (röd) samt beräknat flöde enligt Manning/Bretting (blå) vid två regntillfällen för M1

Notera det stigande flödet enligt Manning/Bretting i den övre grafen i figur 4–9 efter flödestoppen, vilket troligen beror på igensättning som orsakat en stigande nivå utan medföljande ökning av verkligt flöde.

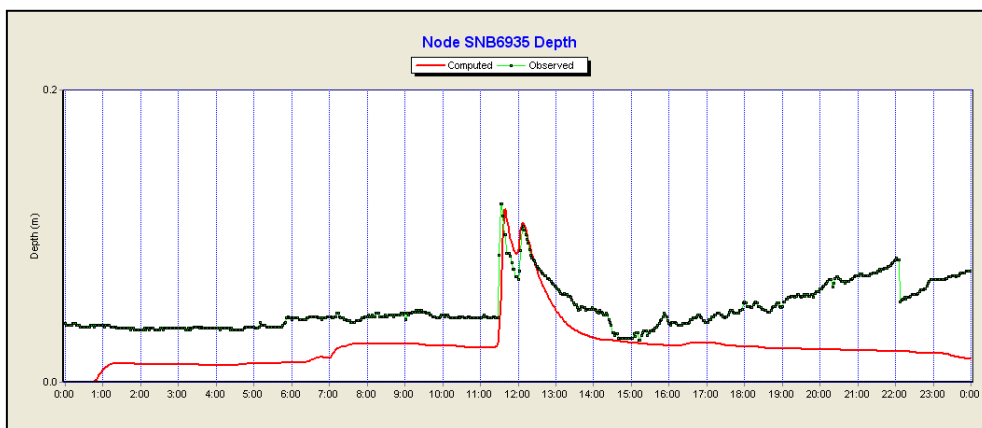
Kommentarer:

- Flödesvärden för nivåer under 9 centimeter är osäkra (och i detta fall ointressanta). Däremot råder god överensstämmelse mellan modellerade och uppmätta flöden för större flöden.
- Följsamheten för flöden enligt Manning/Bretting är mycket bra för flödesökningarna vid de studerade regntillfällen.

För den aktuella mätpunkten hade enbart nivåmätning kunnat användas för analys av nederbördspåverkan. Med hjälp av datormodellering kan säkerheten i analysen ökas.

I resonemanget som följer visas metodiken för att trimma in en nivåkurva i modellen.

I figur 4–10 redovisas hur modellresultat kontra mätta nivåer hade blivit om Mannings tal för alla ledningar i modellen satts till 75 som utgångsläge, och enbart anpassat anslutna ytor för att få nivåkurvan att stämma vid regnet.

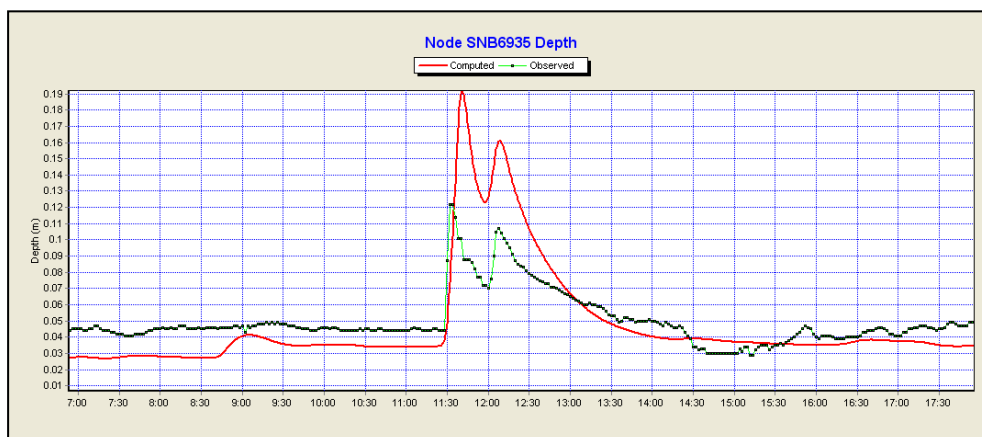


Figur 4–10. Uppmätt nivå samt modellerad nivå för mätpunkt M1 – utgångsläge i kalibreringen

För att få dessa två toppar i modellen har två ytor belägna i början respektive slutet av det långsträckta delområdet lagts in i modellen uppströms M1. Yta 1 uppgår till 0,6 ha och yta 2 uppgår till 0,4 ha.

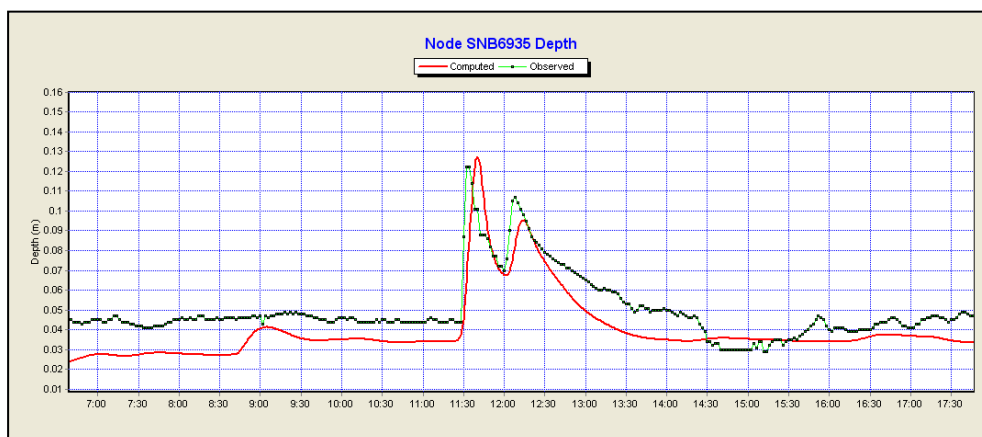
Totalt beräknad hårdgjord yta ansluten till hela spillvattennätet var ca 2,2 – 2,6 ha.

Figur 4–10 visar att den simulerade nivån är för låg före det att regnet inträffar. En ökning av Mannings tal för ledningen efter mätpunkt M1 = 0,023 i SWMM (mot-svarar i Sverige $M=43$) ger ett utseende på graferna enligt figur 4–11. En bättre följsamhet erhålls i början och i slutet, men sämre för nivåtoppen (alltså vid högre flöde).



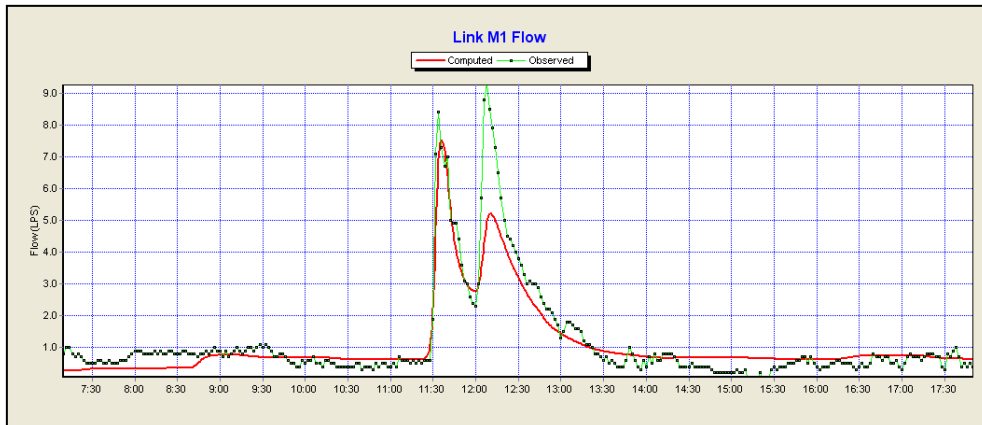
Figur 4-11. Uppmätt nivå samt modellerad nivå för mätpunkt M1 – efter justering av råheten (Mannings tal) för nedströms ledning

Om yta 1 och 2 reduceras med 0,2 ha vardera fås grafen enligt figur 4-12. Överensstämmelsen blir då bättre under hela regnförloppet, men även före och efter.



Figur 4-12. Uppmätt nivå samt modellerad nivå för mätpunkt M1 – efter justering av ytor

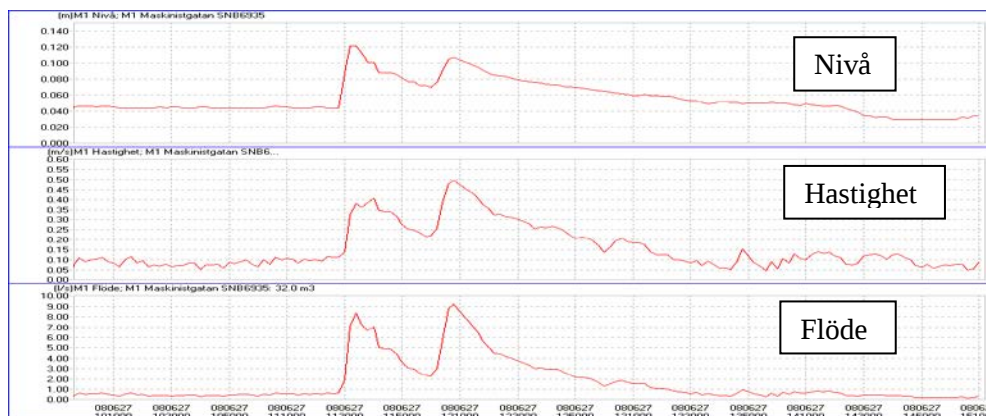
Efter justering av ytornas storlek och ledningens råhet, enligt ovan, erhålls modellerat flöde enligt figur 4-13.



Figur 4-13. Uppmätt flöde (grön) samt modellerat flöde (röd)

Graferna i figur 4-13 visar att det beräknade flödet vid den första toppen av regnet visar bra följsamhet, medan det för andra toppen stämmer sämre. Nedan analyseras orsaken till detta.

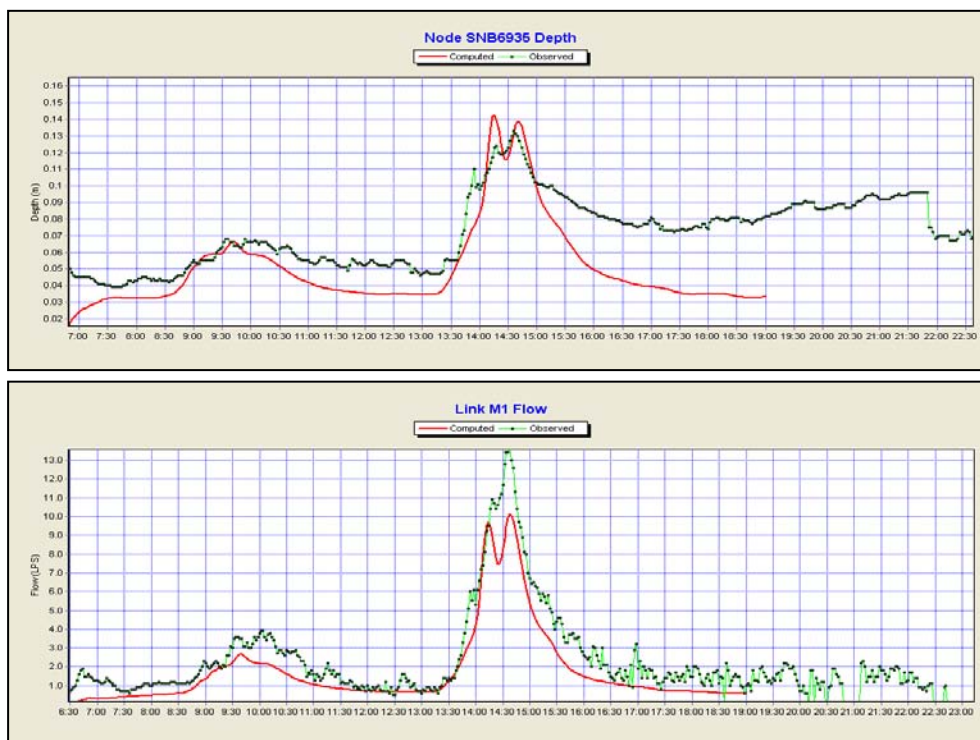
En jämförelse av uppmätta nivåer och hastigheter samt det, utifrån dessa båda parametrar, beräknade flödet visas i figur 4-14.



Figur 4-14. Uppmätta värden för nivå och hastighet samt beräknat flöde

Enligt figur 4-14 är nivån vid första toppen högre än vid andra toppen, medan hastigheten betar sig tvärtom. Slutsatsen av detta blir att v/h-mätaren har mätt någon parameter fel under detta regnförlopp. Hastigheten kan vara fel i den andra flödestoppen, men troligast är att nivån är för hög vid första toppen på grund av en initial igensättning.

Om samma modellansättning testas för ett annat regn fås resultat enligt figur 4–15.



Figur 4–15. Uppmätt nivå/flöde (grön) samt modellerad nivå/flöde (röd)

Nivåerna stämmer relativt bra. Nivån börjar dock stiga efter regnet trots att flödet blir lågt, vilket tyder på att det skett en igensättning.

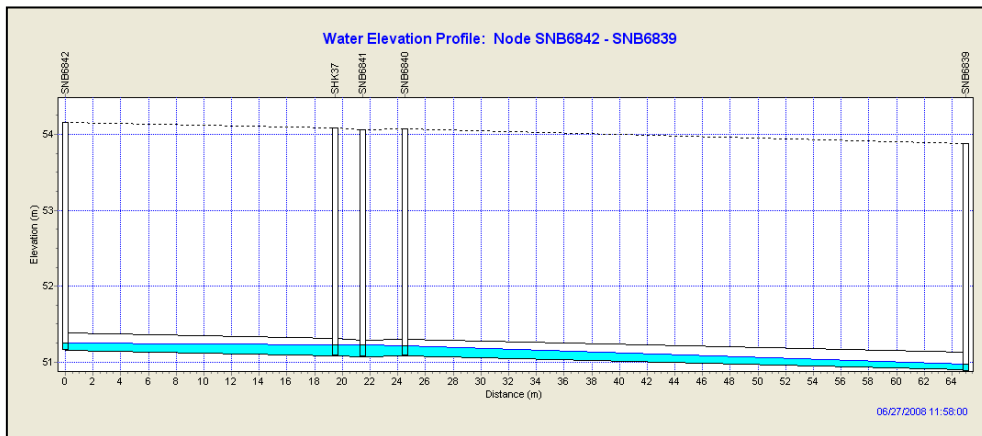
Trots bra överensstämmelse med den mätta nivån så är det mätta flödet större än det modellerade, se figur 4-15. En förklaring till detta är att v/h-mätaren levererar olika flödesvärden för samma nivåer som inträffar vid olika tidpunkter under mätperioden, se figur 4–7.

I detta fall är således flödesvärdena osäkra och borde inte användas som första parameter för kalibreringen, utan här borde en kalibrering för nivå vara prioritet ett.

4.3.2 Mät punkt M5 – analys v/h-mätning

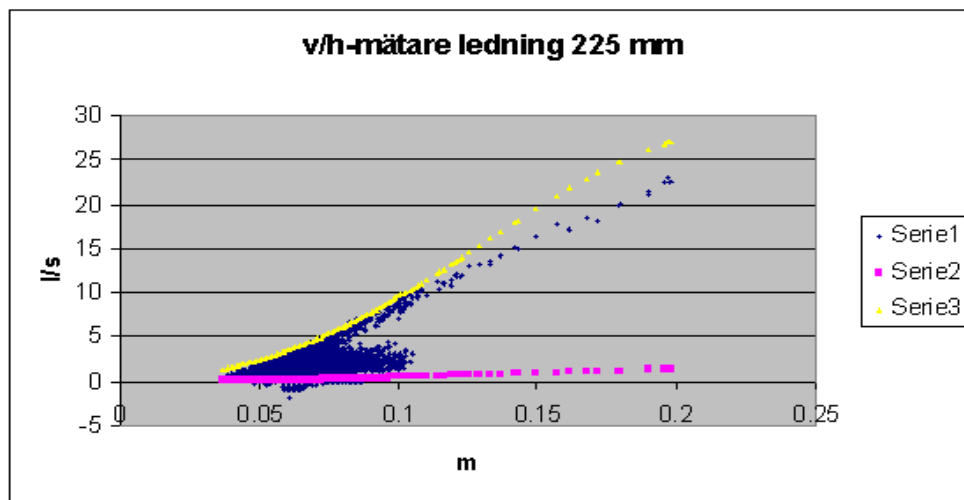
Betongledning Ø 225 mm; lutning före: - 3,3 ‰; lutning efter: 4,2 ‰

Anmärkning: M5 analyseras och kalibreras först, eftersom den ligger uppströms M2 och M3.



Figur 4–16. Profilen för ledningen förbi mät punkt M5

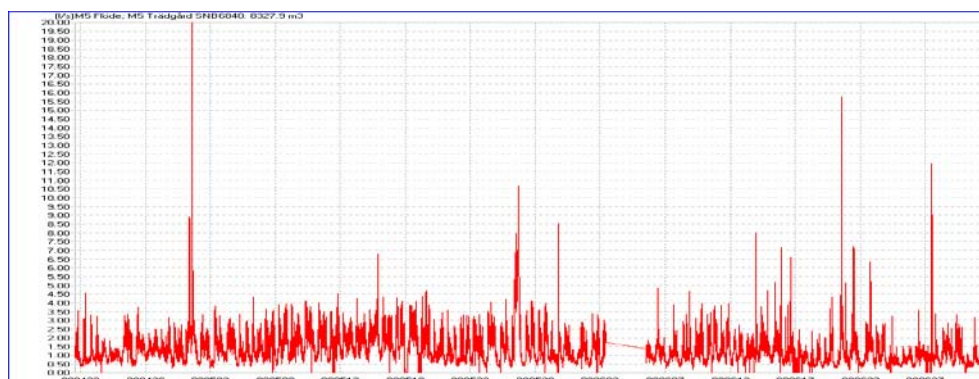
Ledningen i vilken v/h-mätarens givare var placerad ligger i detta fall i bakfall, vilket leder till att Manning/Bretting inte kan tillämpas för att beräkna ett flöde. Att M5 var en illa vald mät punkt (för låga flöden) illustreras av figur 4–17.



Figur 4–17. Uppmätt nivå/flöde (blå) mät punkt M5 samt beräknat flöde enligt Manning/Bretting med $M=75$ och lutning 0,01 ‰ samt lutning 4,2 ‰ (gul)

I figur 4–17 redovisas en scattergraf med uppmätt nivå/flöde samt flöden beräknade enligt Manning/Bretting för två olika lutningar; en med lutning nära noll (rosa) samt en med lutning lika med den för ledningen nedströms (gul).

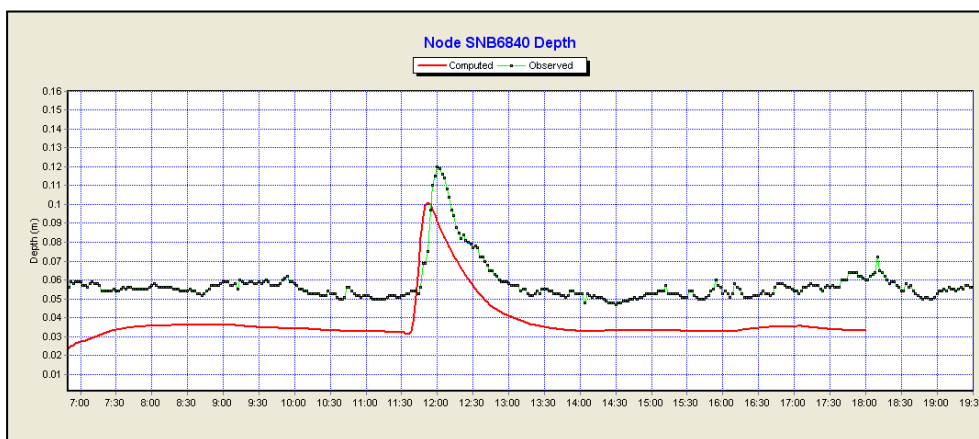
I nivå- och flödesgrafen uppvisar flödesvärdena stor spridning för nivåer < 10 cm. Dock råder god överensstämmelse mellan flöde enligt Manning/Bretting om dessa beräknats för den nedströms liggande ledningen.



Figur 4–18. Uppmätt flöde mätpunkt M5 hela mätperioden

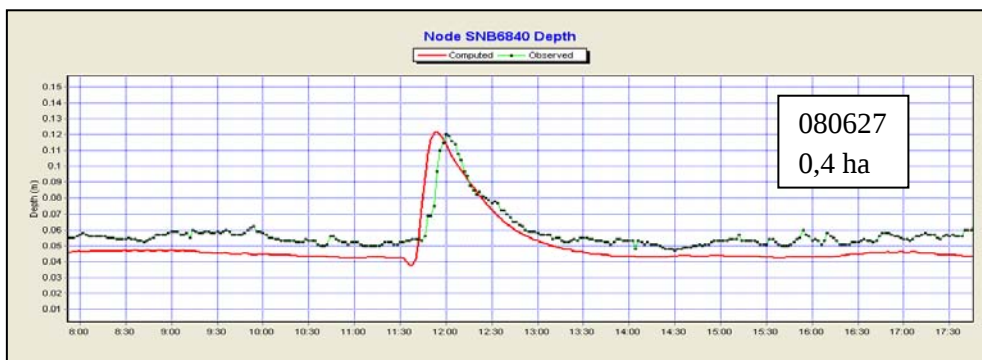
I figur 4–18 visas uppmätt flöde för hela mätperioden. Nedan beskrivs hur det skulle fungerat om enbart nivåmätning använts i detta fall.

Genom att ansätta olika ytor uppströms mätpunkten trimmas nivån in i modellen. Enligt figur 4–19 är nivån vid basflödet för låg (basflödet uppskattades till < 1 l/s och har lagts in i modellen).



Figur 4–19. Modellresultat för nivån (röd) efter ansatts med ytor uppströms mätpunkten

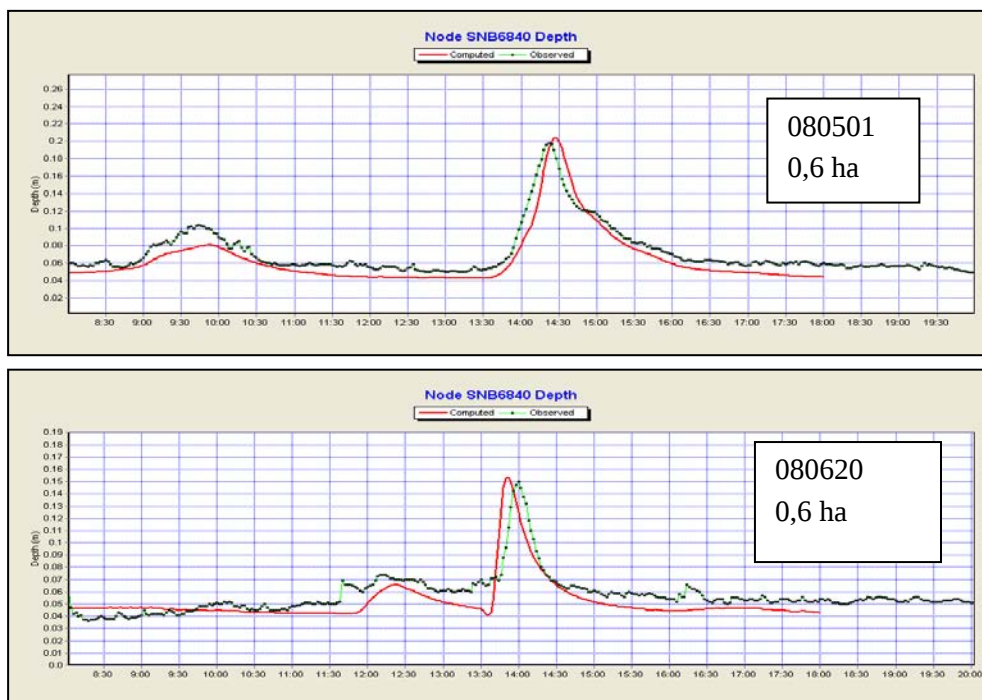
För att höja denna basflödesnivå ansätts Mannings tal för efterföljande ledning till 55 (= 0,018 i SWMM). Resultatet blir då enligt figur 4–20 och nivån stämmer nu för detta regn.



Figur 4–20. Modellresultat för nivå (röd) efter ansatts med ytor uppströms mät-punkten samt minskat Mannings tal för nedströms ledning

Samma modellansats testas för två andra regn med samma yta (0,4 ha) ansluten uppströms M5. För båda regnen blev dock den modellerade nivå för låg.

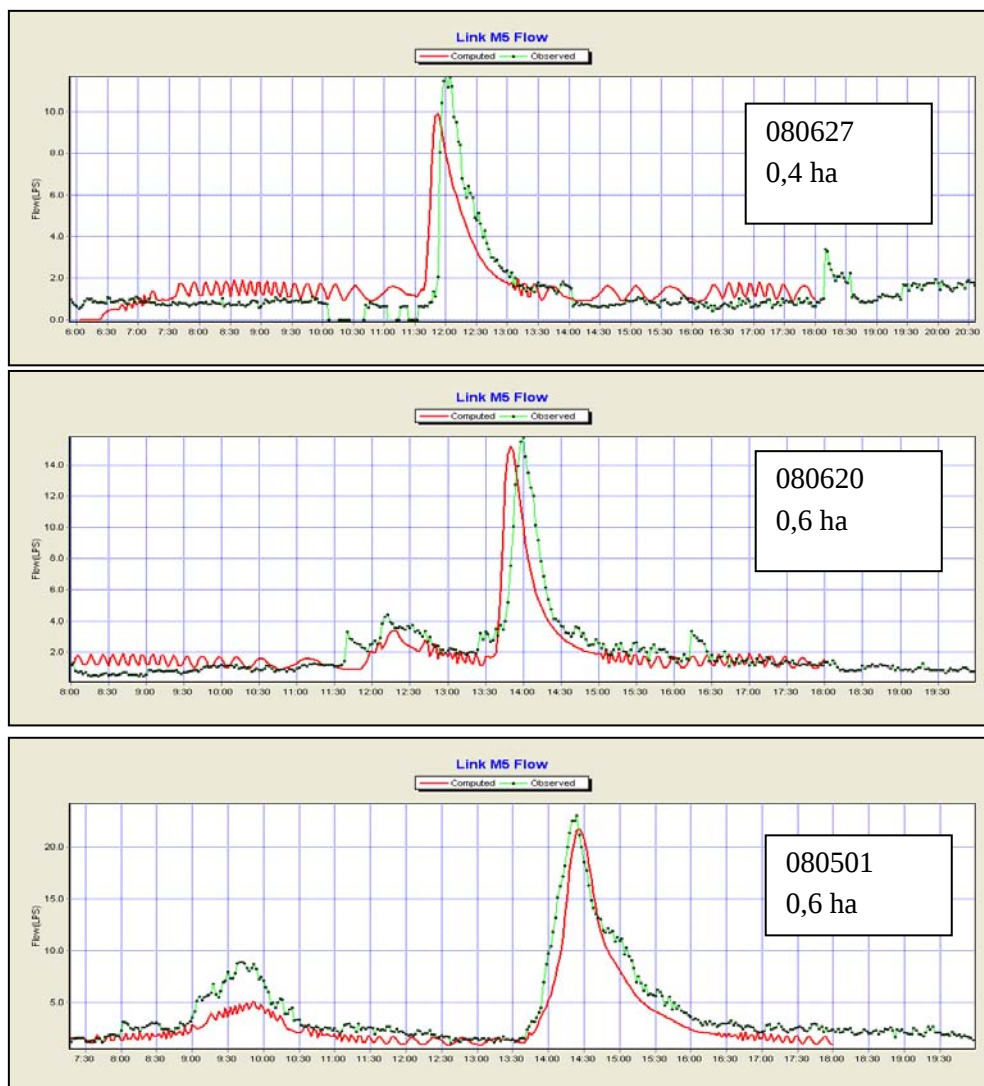
Således ökades den hårdgjorda ytan upp från 0,4 ha till 0,6 ha, vilket gav resultat enligt figur 4–21.



Figur 4–21. Modellresultat för nivå (röd) för två andra regn. Hårdgjord yta ökade i båda fallen från 0,4 till 0,6 ha

En bra överensstämmelse erhöles således för dessa båda regn, med tillägget att ytan fick justeras uppåt. Den hårdgjorda ytan uppströms denna mätpunkt skulle därmed vara ca 0,4 – 0,6 ha.

Figur 4–22 visar modellerat flöde, efter kalibrering, jämfört med mätt flöde.



Figur 4–22. Modellerade flöden (röd) och uppmätta flöden (grön) för de tre regnen som testats

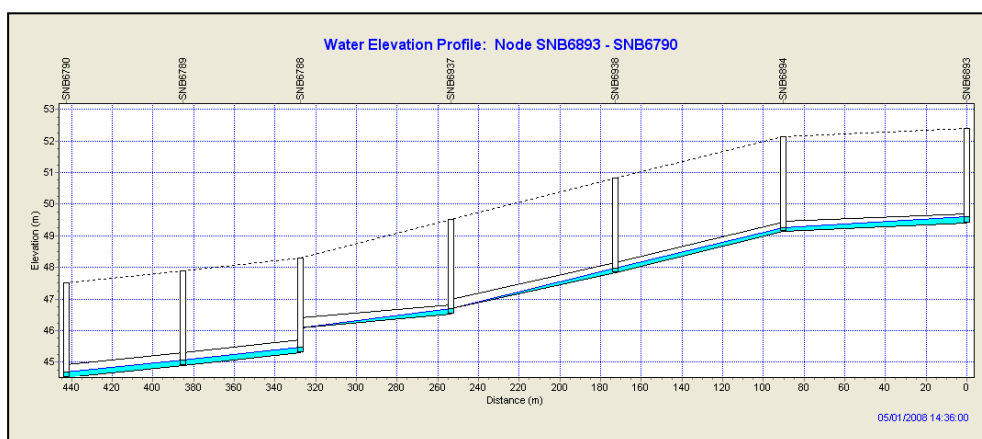
Nivån kalibrerades i alla tre fallen, fast med olika ansatts för ansluten yta. Modellerat flöde blev direkt rätt i två av fallen medan det i ett fall blev för lågt.

Utifrån tillgänglig mätdata kan resultatet således sägas vara att felkopplad yta uppströms mätpunkten uppgår till omkring 0,4 – 0,6 ha.

4.3.3 Mätpunkt M2 – analys v/h-mätning

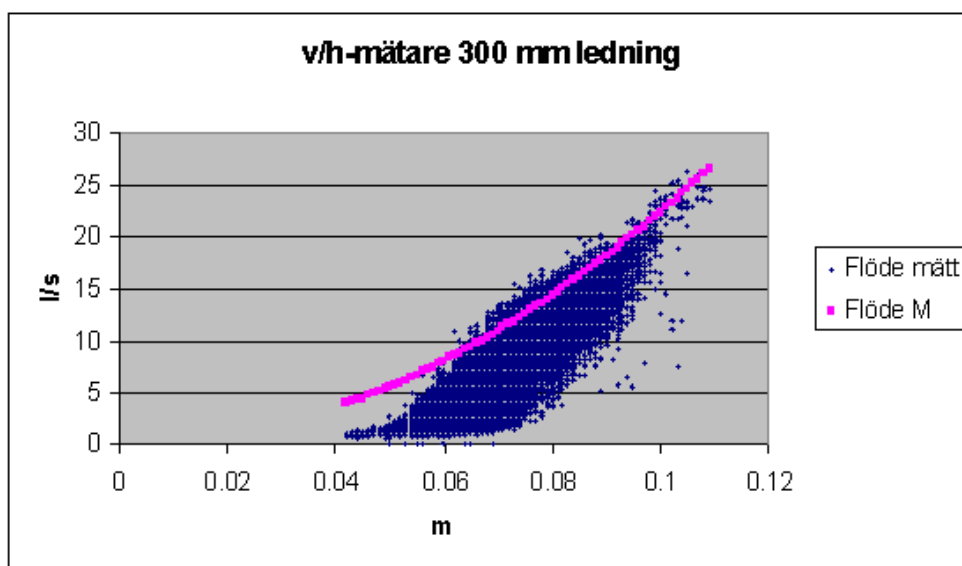
Betongledning Ø 300 mm; lutning före: 15,6 ‰; lutning efter: 14,4 ‰.

I detta fall studeras en ledning som ligger i relativt kraftig lutning både före och efter mätbrunnen, se figur 4–23. Mätpunkten påverkas av en pumpstation uppströms med flödesökningar vid mätpunkten om ca 4 – 5 l/s.



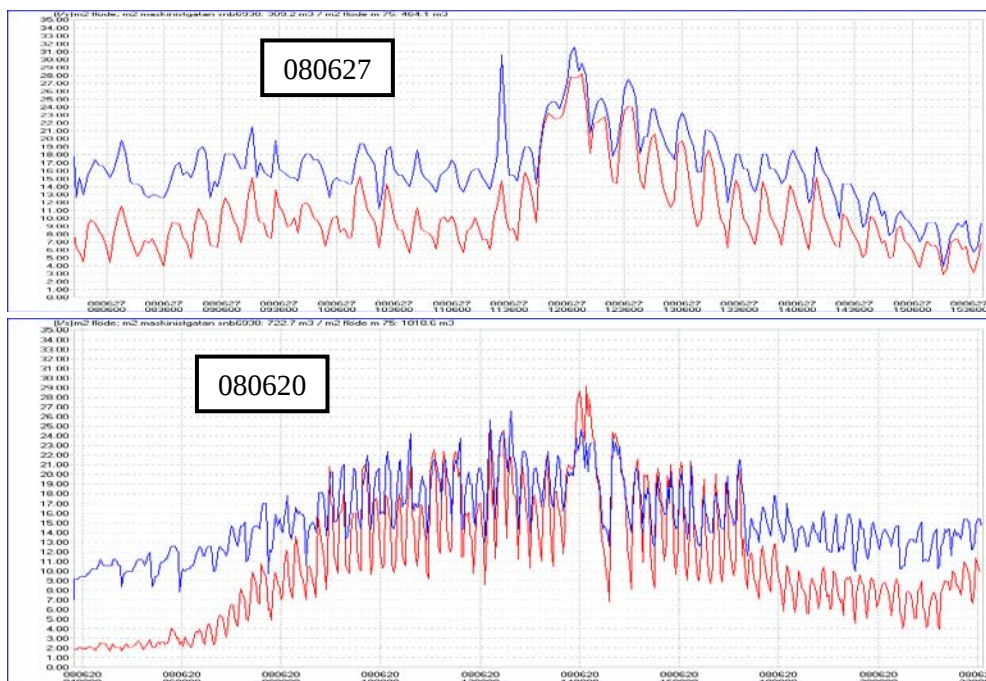
Figur 4–23. Profilen för ledningen förbi mätpunkt M2. Belastas av en pumpstation uppströms mätpunkten

Även här fås stor spridning av flödesvärdena vid de lägre nivåerna se figur 4–24, t.ex. vid nivån 80 mm finns drygt 600 flödesvärden som varierar mellan 4 – 20 l/s.



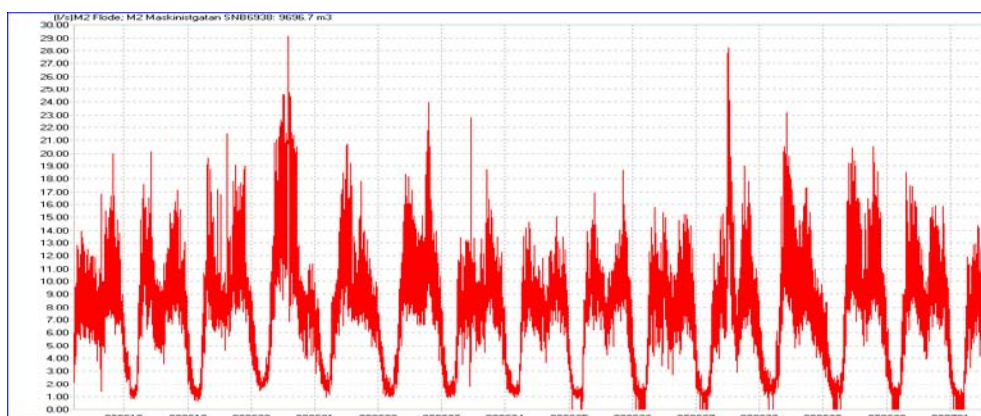
Figur 4–24. Uppmätt nivå/flöde (blå) samt beräknat flöde i M2 enligt Manning/Bretting med M=75

Nivån i ledningen är aldrig lägre än 4 centimeter, vilket tyder på att det förekommer en dämning vid låga flöden. Detta innebär att beräkningen av flöden enligt Manning/Bretting vid låga nivåvärden blir missvisande, vilket även framgår av graferna i figur 4–25.



Figur 4–25. Uppmätt flöde (röd) samt beräknat flöde enligt Manning/Bretting (blå) vid två regntillfällen för mätpunkt M2

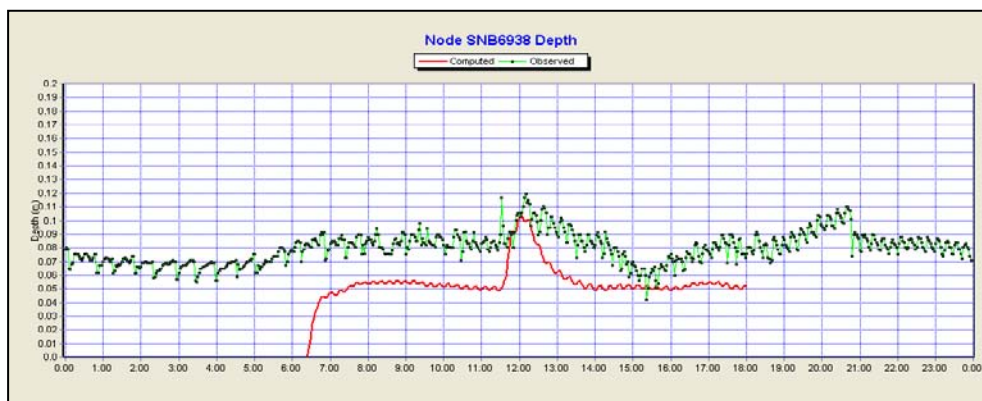
Trots detta så är följsamheten relativt god vid de ökade flödena i samband med regn. I figur 4–26 visas det uppmätta flödet för hela mätperioden.



Figur 4–26. Uppmätt flöde vid mätpunkt M2 under hela mätperioden

Nedan illustreras hur detta fungerar i modellen. Inledningsvis används enbart nivån och förväntade torrvädersflöden.

Vid test med att lägga 1,0 ha hårdgjord yta uppströms mätpunkten erhålls resultat för M2 enligt figur 4–27 för regntillfället 080627.

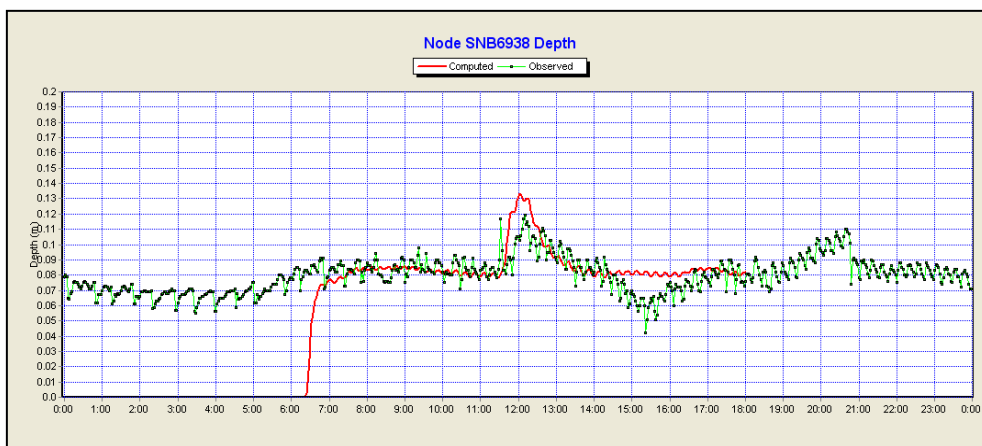


Figur 4–27. Simuleringsresultat för nivå i M2 vid regntillfälle 080627 utan att några förändringar genomförts

Basnivån blir för låg och nivån ökar för mycket vid regnet med denna ansats. Valet av mätpunkt visade sig i detta fall vara olämpligt, men för detta kan delvis kompenseras i modellen enligt nedan.

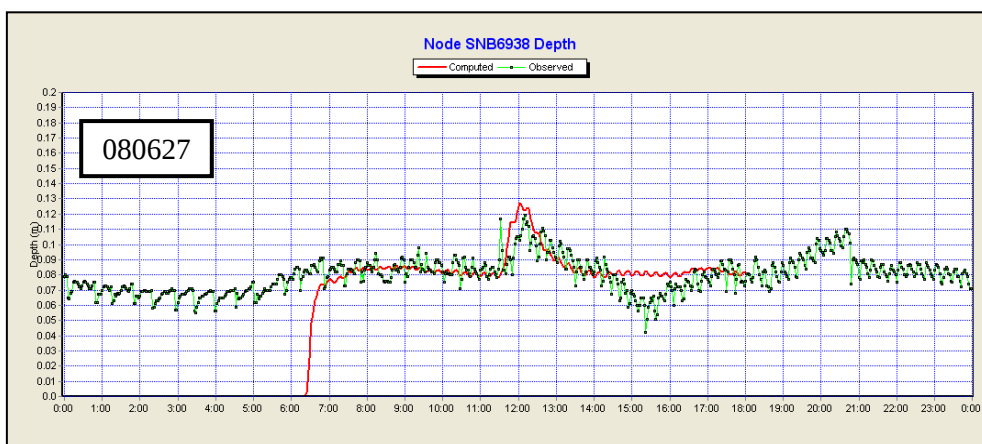
Inledningsvis korrigeras basnivån. I det aktuella exemplet kan tre parametrar justeras: Mannings tal i ledningen nedströms kan minskas, utgående lednings vattengång kan höjas, eller så kan en friktionsförlust ansättas för inloppet till nedströms ledning.

Om vattengångsnivån i utgående ledning ökas till 0,03 m över brunnens vattengång erhålls resultat enligt figur 4–28.



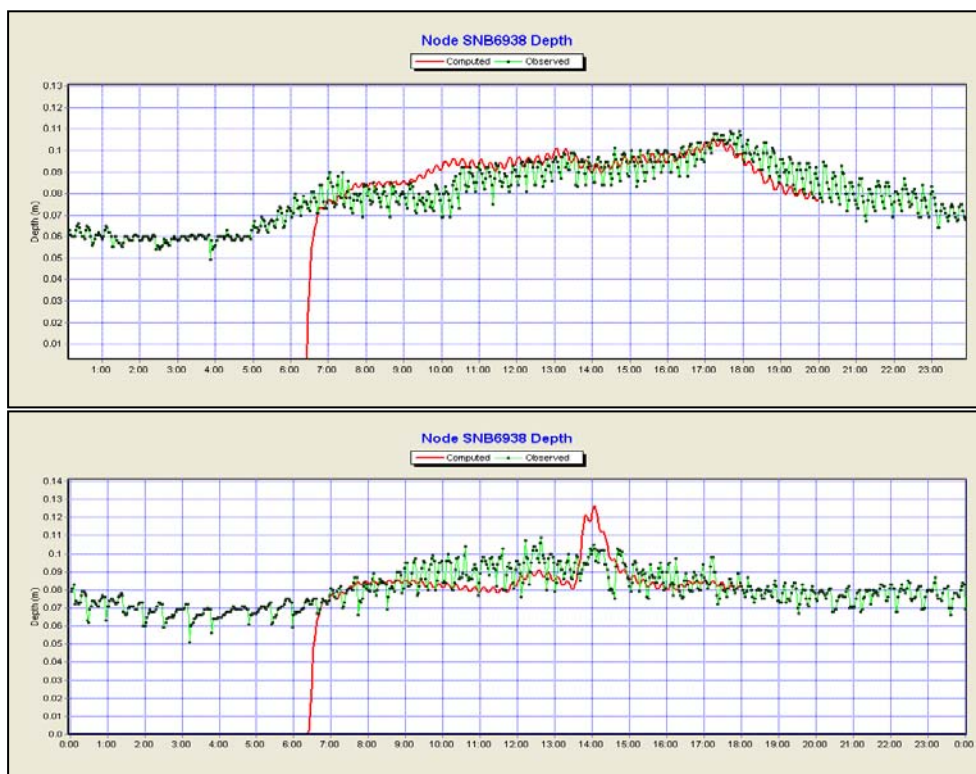
Figur 4-28. Simuleringsresultat för nivå i M2 (röd=modellerad nivå;grön=mätt nivå) vid regntillfälle 080627 när utloppsnivån höjts 3 cm för att få rätt bas-nivå

Nivåtoppen blir något för hög och ansluten yta reduceras därför till 0,8 ha. Noterbart och svårförklarligt är att den registrerade nivån är lägre direkt efter regnet jämfört med före regnet.



Figur 4-29. Simuleringsresultat för nivå i M2 vid regntillfälle 080627 när utloppsnivån höjts 3 cm och jusering av ansluten yta till 0,8 ha

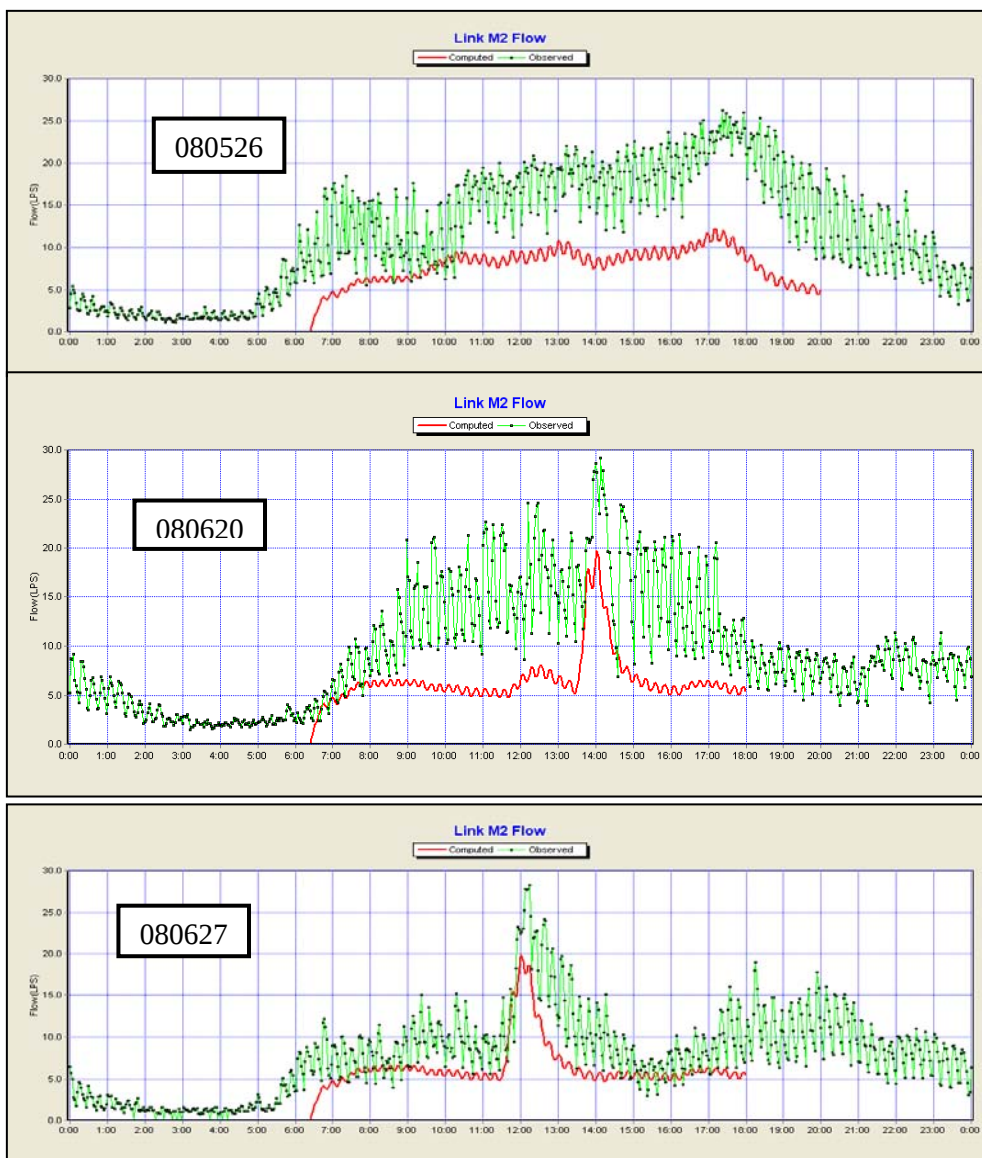
Erhållna resultat med samma ansats vid regntillfällena 080526 och 080620 redovisas i figur 4–30.



Figur 4–30. Simuleringsresultat för nivå i M2 vid regntillfällena 080526 och 080620 med föregående ansats (röd linje=modellnivå;grön linje=mätt nivå)

Trots en dålig mätpunkt ur nivåmätningssynpunkt så har det gått att kalibrera in nivån tämligen väl för regntillfället 080526, medan regntillfället 080620 visar för hög modellnivå.

Jämförelser mellan modellerade och uppmätta flöden redovisas i figur 4–31.



Figur 4–31. Modellerat flöde (röd) och uppmätt flöde (grön) i M2 för de tre kalibreringsregnen

Av figur 4–31 framgår att ett skiftande resultat erhålls för olika regn. För regnet 080627 är överensstämmelsen någorlunda bra (något för låg topp), medan det inte stämmer för de två andra regnen trots samma förutsättningar beträffande ledningsnät och anslutna ytor.

Härav drar slutsatsen att antingen har förutsättningarna ändrats under mätperioden, eller också har flödesmätaren givit felaktiga resultat. Enligt figur 4–24 ger flödesmätningen stor spridning på flödesvärdena för samma nivå.

En jämförelse mellan maxnivåer och maxflöden för de tre modelleringsregnen redovisas i tabell 3–4.

Tabell 3–4. Uppmätta respektive modellerade maxvärden för de tre regntillfällena

Datum	Maxnivå mätt	Maxflöde mätt	Maxnivå modell	Maxflöde modell
	mm	l/s	mm	l/s
080526	108	26	105	12
080620	105	29	127	20
080627	120	28	127	20

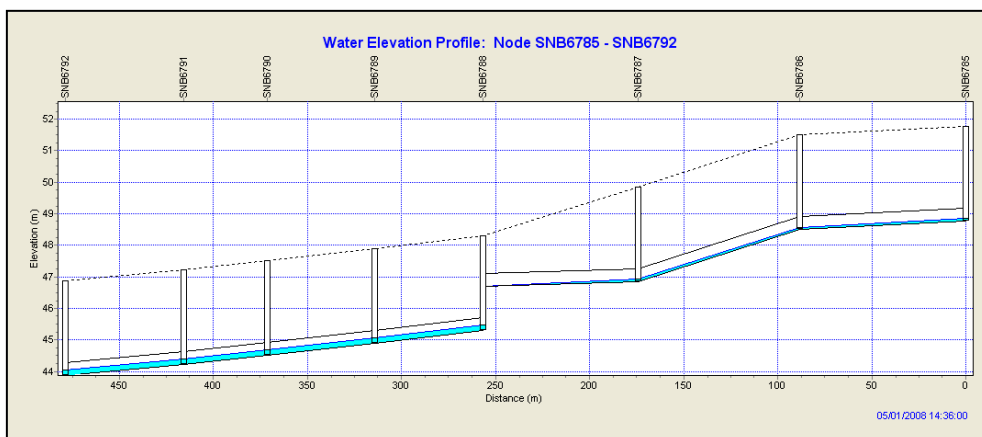
Av tabellen och figurerna framgår att något är fel i denna modellpunkt. Förutom fel på flödesmätaren kan det också vara fel på modellansatsen. Ledningens lutning är ca 15 ‰, vilket innebär att en liten men felaktig nivåavvikelse ger ett stort fel. En annan felkälla är bristen på bra modelleringsregn med framförallt för små regnmängder vid högre intensitet.

4.3.4 Mätpunkt M3 – analys v/h-mätning

Betongledning Ø 400 mm; lutning före: 19,4 ‰; lutning efter: 1,6 ‰.

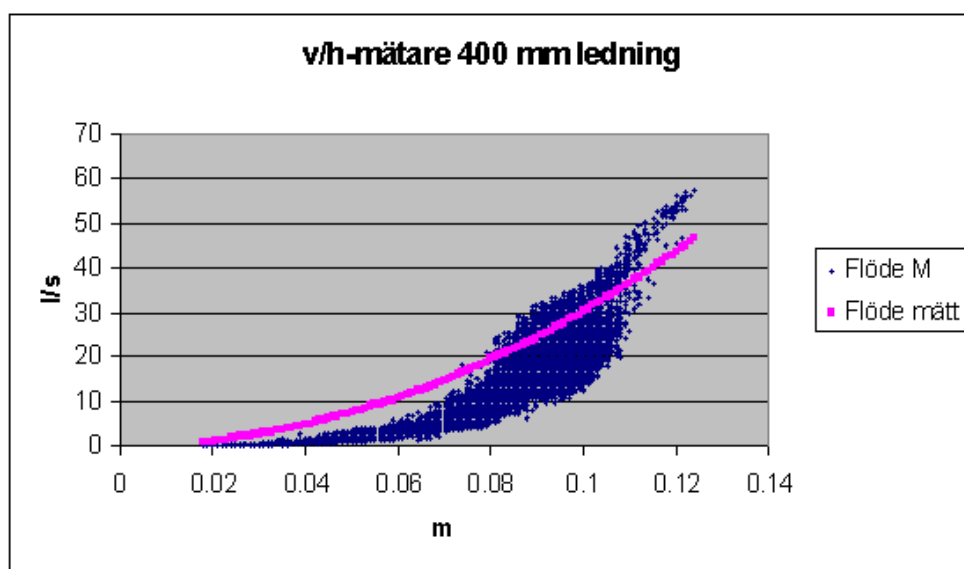
I mätpunkten M3 ligger ledningen i relativt kraftig lutning före mätbrunnen, men efter mätbrunnen är det lutningen obefintlig, se figur 4–32. M3 påverkas av relativt stora pumpflöden, ca 20 – 40 l/s, från en pumpstation (PSÖstra).

Ett problem med denna mätpunkt har varit tolkningen av själva flödesmätarens resultat. Mätpunkten belastas i stort sett endast av pumpflödet från PSÖstra. Kapaciteten för respektive pump i PSÖstra har uppmätts till 22 l/s. Trots detta har flödet i mätpunkt M3, då båda pumparna gått kontinuerligt en längre tid, uppmätts till 40 – 50 l/s trots att det endast finns en tryckledning från pumpstationen (ca 200 m lång). Maxflödet har inte bestämts, men torde i praktiken var lägre än 40 l/s med tanke på de ökade friktionsförlusterna. Flödesvärdena stämmer således inte i detta fall.



Figur 4-32. Profilen för ledningen förbi mätpunkt M3

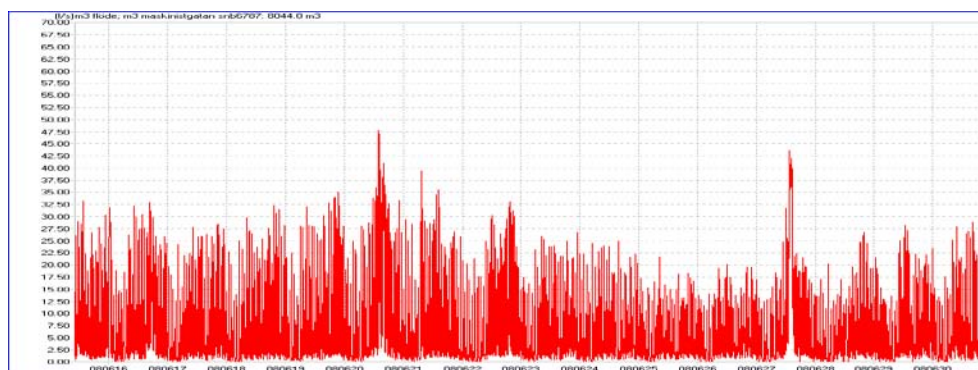
Här har flödesvärdena en betydligt mindre spridning vid de lägre nivåerna, se scattergrafen i figur 4-33.



Figur 4-33. Uppmätt nivå/flöde (blå) samt beräknat flöde enligt Manning/Bretting med $M=75$ (rosa) i M3

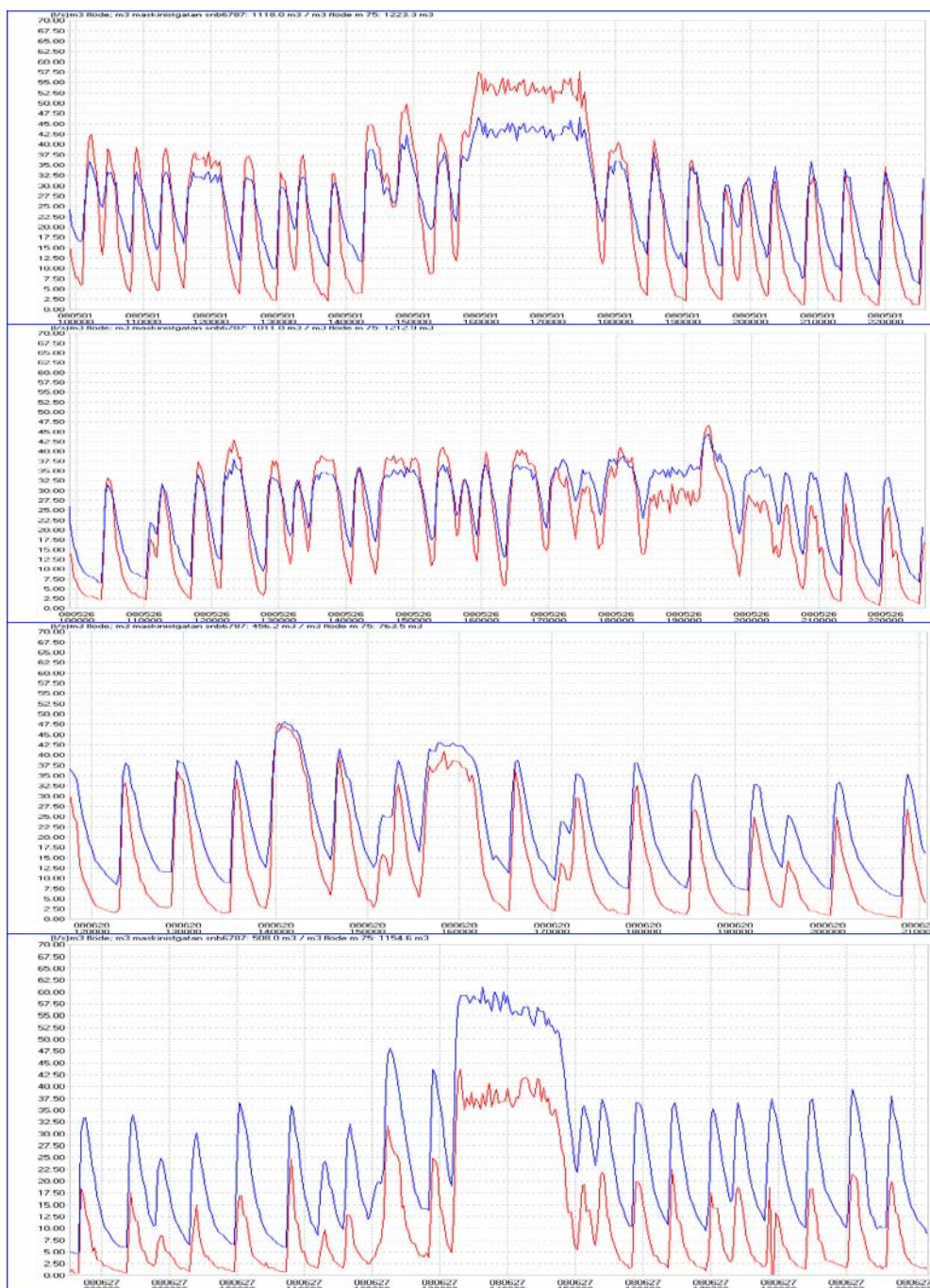
Även här syns en tydlig ansamling av flödesvärden i mitten, vilket uppstår i samband med pumpning uppströms mätpunkten.

I figur 4–34 visas det uppmätta flödet i M3 för hela mätperioden.



Figur 4–34. Uppmätt flöde mätpunkt M3 del av mätperioden. Mätpunkten påverkas av relativt stora pumpflöden

Uppmätt flöde samt beräknat flöde enligt Manning/Bretting redovisas i figur 4–35.

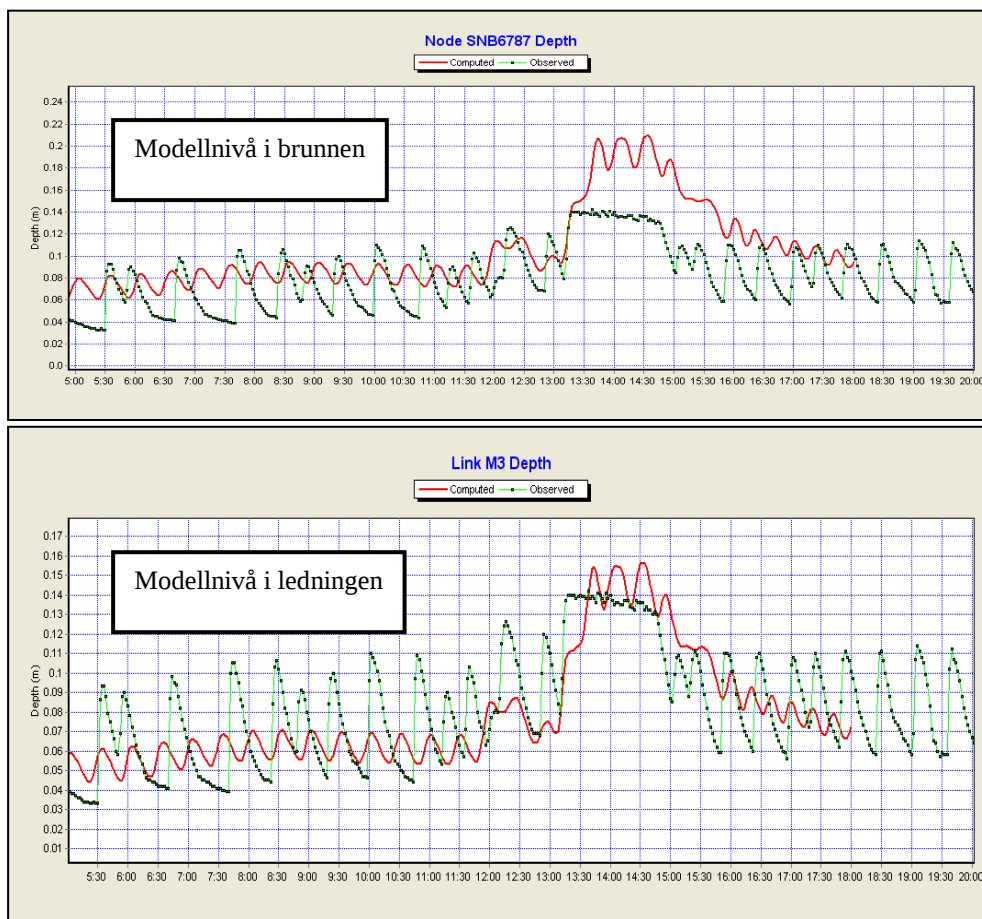


Figur 4–35. Uppmätt flöde (röd) samt beräknat flöde enligt Manning/Bretting (blå) vid fyra olika regntillfällen för mätpunkt M3

I slutet av mätperioden råder stor skillnad mellan flöde som beräknats utifrån uppmätta nivåer jämfört med mätperiodens början, som uppvisar förhållandevis god samstämmighet mellan beräknat flöde och uppmätt flöde. Detta beror sannolikt på felaktigheter i hastighetsmätningen, eftersom nivåvärdena uppvisar ungefär samma mönster under hela mätperioden.

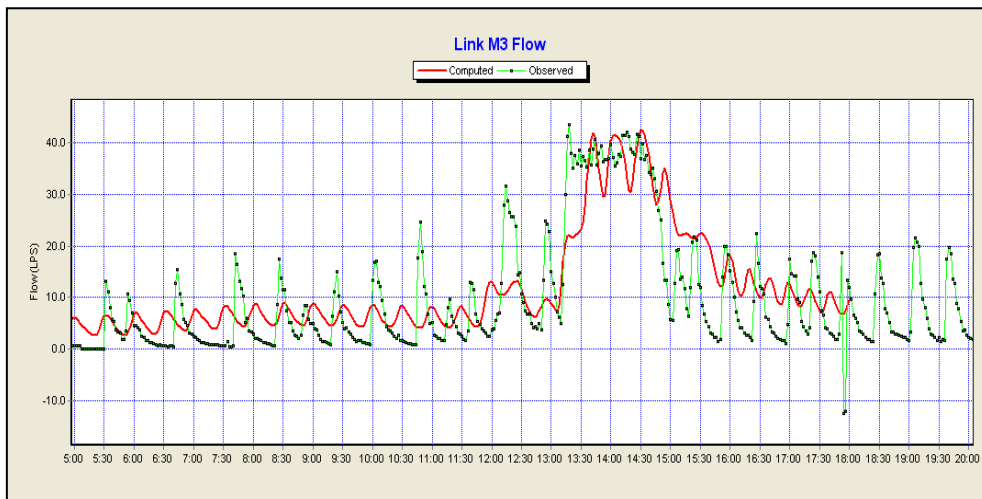
I det aktuella fallet visas enbart resultatet av en simulering, beroende på den dåliga kvaliteten på flödesmätningen. Detta görs för att påvisa hur modellen beräknar nivå och flöde när profilen ser ut som den gör i detta fall.

I modellen används ett maxflöde uppströms PSÖstra som baseras på händelseregistreringen vid pumpstationen. Vidare antas pumparna ge 20 l/s enskilt och 40 l/s i pardrift.



Figur 4–36. I övre grafen visas modellnivå från brunnen i M3 medan nedre visar modellnivå från ledningen vid regntillfället 080627

Figur 4–36 påvisar att bäst överensstämmelse erhålls om utgångspunkten är den modellerade nivån i ledningen. Orsaken är att SWMM inte tar hänsyn till brunnens längdutbredning, utan räknar brunnen endast som en punkt på ledningen. I och med att ledningen går från brant till nästan obefintlig lutning, kommer denna nivåhöjning att uppstå i modellbrunnen men inte i verkligheten. Modellerat flöde och uppmätt flöde i M3 visas i figur 4–37.



Figur 4–37. Modellerat flöde (röd) samt uppmätt flöde (grön) i M3 vid regntillfället 080627

4.3.5 Sammanfattning v/h-mätning

Ovan har beskrivits flödesmätningar som genomförts i utvalda nedstigningsbrunnar på spillvattenledningsnätet, med v/h-mätare i inkommande ledning. Resultatet från mätningarna har utgjort underlag för kalibrering och verifiering av datormodeller för avrinningen i ledningsnäten vid olika regntillfällen.

Resultatet har här använts för att testa möjligheten att, i ett första steg, enbart använda nivåmätare och ifrån denna nivåmätning beräkna ett flöde med hjälp av Mannings formel för cirkulära rör samt Brettings delfyllnadskurva.

Jämförelse mellan beräknade och i fält uppmätta flödena med v/h-mätare uppvisar i de flesta fall god överensstämmelse, framförallt vid regntillfällen. Vid torrvädersflöde är differensen stor, vilket i vissa fall beror på att den uppmätta nivån vid låga flöden varit onormalt hög. Flöden beräknade enligt Manning/Bretting blir således för höga.

Å andra sidan uppvisar en kvalitetskontroll av uppmätta flöden i relation till uppmätt nivå stor spridning för nivåvärden mindre än 10 cm i en 225 mm-ledning.

Analysen har sedan fortsatt med kontroll av huruvida hypotesen med genomförande av enbart nivåmätning, som kompletteras med en datormodell där nivån kalibreras, ger bättre resultat.

Resultatet av analysen visar onekligen på att hypotesen är fullt korrekt i de flesta fall som kontrollerats. Här har testats utfallet i ledningar med dimensioner om 225 – 400 mm. Att använda enbart nivåmätare även för större dimensioner torde i de flesta fall gå bra om strömningsförhållandena är goda i ledningen såväl före som efter den aktuella mätbrunnen. En förutsättning är dock att mätpunkten väljs med omsorg.

Kompletteras mätningen med en modellanalys kan i stort sett nivån mätas i alla typer av mätpunkter. I vissa fall måste dock extra vikt läggas vid kalibreringsfasen av modellen.

Genomförs dessutom tillbörlig flödesmätning i slutpunkten, erhålls en säkrare modellanalys och större felaktiga antaganden ute i ledningsnätet kan undvikas.

I några av de redovisade fallen har nivån varit onormalt hög vid torrväder. Om det i samband med installationen kan konstateras att nivån är onormalt hög i förhållande till uppmätt eller uppskattat flöde, bör annan mätpunkt väljas alternativt orsaken fastställas. Detta gäller även vid v/h-mätning. Noteras bör att det är enkelt att modellera ett flöde, men svårare att modellera nivån om mätförutsättningarna varit undermåliga. Samtidigt är det nivån som i de allra flesta fall är den viktigaste parametern att få rätt, eftersom den har direkt koppling till de driftproblem som kan uppstå i ledningsnätet.

Vidare kan v/h-mätning innebära omfattande arbete för kontroll av kvaliteten på mätdata. Vid avvikelser måste felkällor identifieras och tillförlitligheten hos insamlade värden säkerställas.

4.3.6 Nivåmätning i nedstigningsbrunnar

För att reda ut om, när och hur nivåmätning i nedstigningsbrunnar är möjligt, beskrivs nedan typfall som kan uppstå vid val av mätpunkter. Först kommer en beskrivning av det ideala fallet, d.v.s. jämn och måttlig lutning före och efter mätbrunnen. De andra fallen är sådana som helst bör undvikas, men som ändå ibland måste väljas. Notera att rekommendationen för val av mätpunkt även kan sägas gälla för v/h-mätare.

4.3.6.1 Kontroll av nivåmätarens kvalitet – i fält

En fördel med att enbart använda nivåmätare är att dessa relativt enkelt kan kontrolleras. I fält kan kontroll utföras genom mätning av nivå vid givaren. Bäst är att använda en tunn ställinjal som färgas med vattenlöslig färg.

Det spekuleras ibland om huruvida tryckgivare med membran av silikon och metallskydd kan appliceras i torra ledningar där membranet riskerar torka ut. Att risk för torkning föreligger vid sådana förhållanden är dock en felaktig myt.

Likaså spekuleras det i att tryckgivare driver. Detta är också en myt. Om givaren inte utsätts för yttre åverkan, t.ex. att membranet skadas, så är författarens erfarenhet att tryckgivare inte driver.

4.3.6.2 Kontroll av nivåmätarens kvalitet – i efterhand

Här finns inga grafiska analyser att tillgå som för v/h-mätaren, eftersom flödet är okänt. Nivåmätarens funktion kan efter avetablering kontrolleras i ett kärl med vatten med olika nivåer. Notera då att givaren skall orienteras på samma sätt som i fält. Har den legat horisontellt i en ledning skall den också kontrolleras i horisontellt läge.

4.3.6.3 Kontroll av erhållet modellresultat

Här finns inte mer än den mätta nivån att kontrollera mot modellresultatet, samt att flödet i slutpunkten skall stämma med det uppmätta. Ett första steg är således att kontrollera överensstämmelsen mellan modellerad och uppmätt nivå. Därefter kan storleken på de hårdgjorda ytor som lagts in i modellen jämföras för att förbättra kongruensen. Det bör verifieras att ytorna ligger inom rimliga intervall. Detta behandlas mer utförligt i bilagorna 2 t.o.m. 4.

Då modellresultatet skall jämföras med uppmätt nivå så har ledningens profil vid mätpunkten stor betydelse.

I SWMM räknas inte med att brunnen har någon utbredning i längd. Följaktligen kommer en ledning som övergår från svag till brant lutning efter brunnen att ge ett felaktigt modellresultat för nivån. Den avböjning som sker kommer att ske redan i modellbrunnen, med för låg modellnivå som resultat. På samma sätt kommer det att bli om ledningen övergår från brant lutning före mätbrunnen till svag lutning efter, vilket således ger för hög modellnivå.

I båda fallen skall modellnivån i ledningen användas vid kalibreringen.

4.4 Utredning av läck- och dränvattentillskott med hjälp av kalibrerad modell och nivåmätare

Permanent flödesmätningar är sällan förekommande i svenska avloppsledningsnät. Normalt är det enbart s.k. kampanjmätningar som utförs och många gånger med för korta mätperioder för att få bästa resultat.

Önskvärt för en bra åtgärdsplanering måste vara att få ett flertal nederbörds-situationer av olika typ; korta högintensiva sommarregn, sommarregn med stor volym samt nederbördstillfällen vid stigande grundvattenytor, t.ex. vid höst-perioden eller vid snösmältningen.

Förekomst av mätvärden för dessa situationer innebär att det finns ett bättre underlag för att avgöra vilka åtgärder som är mest kostnadseffektiva. Exempelvis säger inte en enstaka mätning under ett dygn vid snösmältning, eller strax därefter, inte så mycket om vilken varaktighet och vilka volymer som kan tas bort genom en åtgärd.

En anledning till att långvariga eller permanenta flödesmätningar sällan förekommer är den höga kostnaden, dels i form av mätutrustning men framförallt tillsyn.

Med en datormodell över ett ledningsnät, kalibrerad enbart med hjälp av nivåmätare i ledningsnätet, erhålls i princip en ”kalibrerad” avbördningskurva för nätet/mätpunkten. På så vis skapas möjligheter att nyttja enbart batteridrivna nivåmätare med GSM/GPRS-modem för permanent flödesmätning.

Med kalibrerad avbördningskurva menas här inte att den kalibrerats mot ett verkligt flöde, vilket skulle kräva betydligt större insats med t.ex. spårämne. Kalibrerad avbördningskurva syftar här på att avbördningskurvan stämmer överens med den kalibrerade datormodellen och torde därför vara nära det verkliga värdet. Åtminstone kan den bedömas ligga tillräckligt nära för att utgöra ett beslutsunderlag för framtida åtgärder.

Av detta följer många fördelar, inte minst ett ringa tillsynsbehov jämfört med t.ex. en v/h-mätare. I normalfallet erfordras tillsyn endast 1 – 2 gånger per år för batteri-byte och några extra gånger för att eventuellt kontrollera nivåmätarens funktion.

4.4.1 Analysmetodik

Analysarbetet utförs i följande steg och skiljer sig något åt om v/h-mätare eller enbart nivåmätare har använts:

- v/h-mätare

En scattergraf skapas, exempelvis i Excel, av uppmätta nivå- och flödesdata i enlighet med vad som beskrivits tidigare i denna rapport.

- Nivåmätare

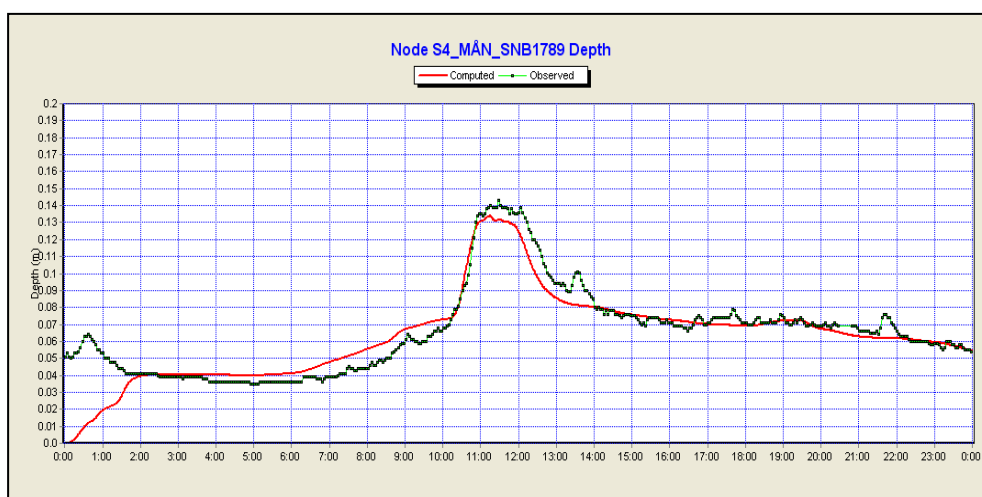
En scattergraf skapas, exempelvis i Excel, av modellerade nivå- och flödesdata för ett regntillfälle som har bra resultat för hela regnförloppet och som täcker de nivåer som kan förväntas vid stora tillskott av läck- och dräneringsvatten.

- Excels funktioner kan nyttjas för att skapa ett matematiskt samband för flödets funktion av nivån.
- Uppmätta nivåvärden räknas om till flöde enligt Manning/Bretting i exempelvis analysprogrammen VeAGraf, VeAInfo eller Gandalf. Även Excel kan nyttjas genom att använda formler som presenterats i avsnitt 3.6.6.
- Proceduren upprepas för aktuella mätpunkter med godkänd kvalitet på flödesdata.
- Tillskottsflöden som tillkommit mellan de olika mätpunkterna, d.v.s. totalt nettoinflöde mellan de olika mätpunkterna, beräknas.
- Datormodellen används för att beräkna ytavrinningen för aktuell mätperiod (där ytavrinningen = spillvattenflöde + direkt regnvattenavrinning).

- Nettotillskottet från läck- och dräneringsvattentillskott beräknas genom subtraktion av ytavrinningen, inklusive spillvattenflödet, från det totala nettoinflödet. Detta kan göras i exempelvis VeAGraf eller Excel. Således erhålls en nettoavrinningshydrograf för respektive delområde.
- Resultatet kontrolleras genom att modellen tillförs nettoflödena. Modellerad nivå skall då stämma överens med verkligt uppmätt nivåvariation.

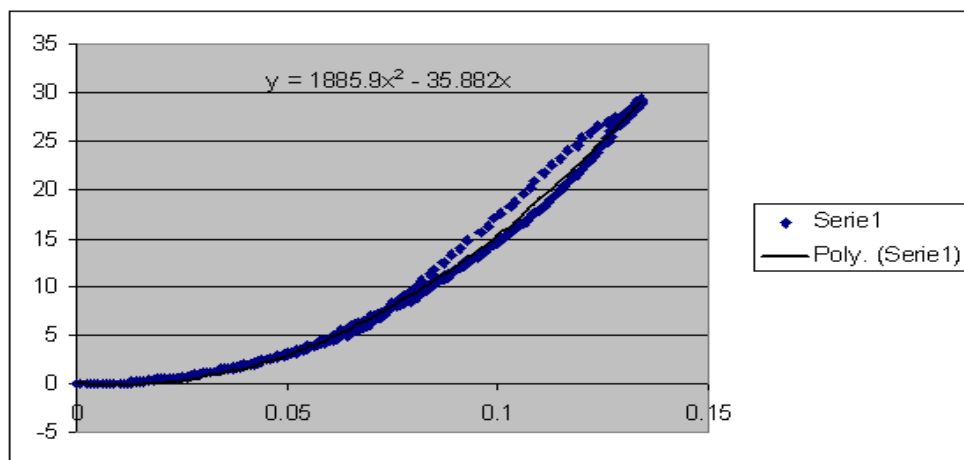
Nedan redovisas metodiken från en mätpunkt som hämtats från undersöknings-exemplet i del av spillvattenledningsnätet i Trollbäcken, Tyresö kommun och som beskrivs närmare i bilaga 2. I exemplet har enbart nivåmätare använts.

Kalibreringsvärden för ett regn som inträffade 051022 har använts. Mätpunkten som analyseras är benämnd S4 (se även figur Bil.2–2)



Figur 4–381. Modellerad nivå samt uppmätt nivå för regn 051022

Modellresultat används för att skapa en scattergraf över nivå/flöde enligt figur 4–39.



Figur 4–39. Scattergraf för nivå/flöde för regn 051022 mätpunkt S4 med beräknat polynom för kurvan

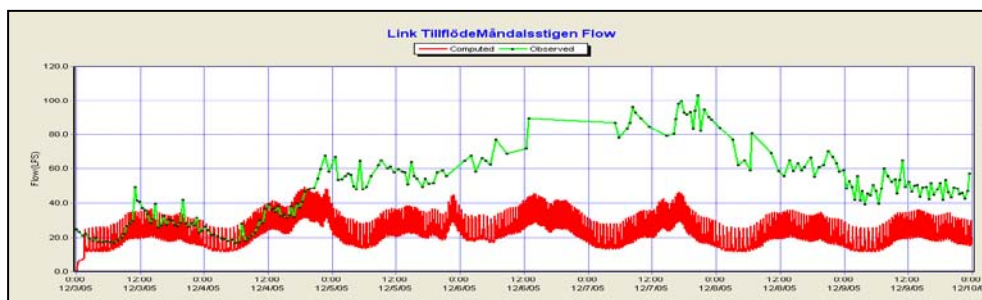
Polynomet används för att beräkna flödet vid mätpunkt S4 i samband med den rikliga nederbörden som föll 051201–051208 enligt figur 4–40.



Figur 4–40. Uppmätt nederbörd under perioden 051201 – 051208

Under perioden föll ca 40 mm regn med mycket låg intensitet. I och med att det regnade så kan det vara lätt att tro att de stora flödestillskotten till den nedströms belägna pumpstationen orsakades av direkt ytvavrinning.

Med hjälp av en ytvavrinningsmodell kan den egentliga ytvavrinningen kontrolleras.

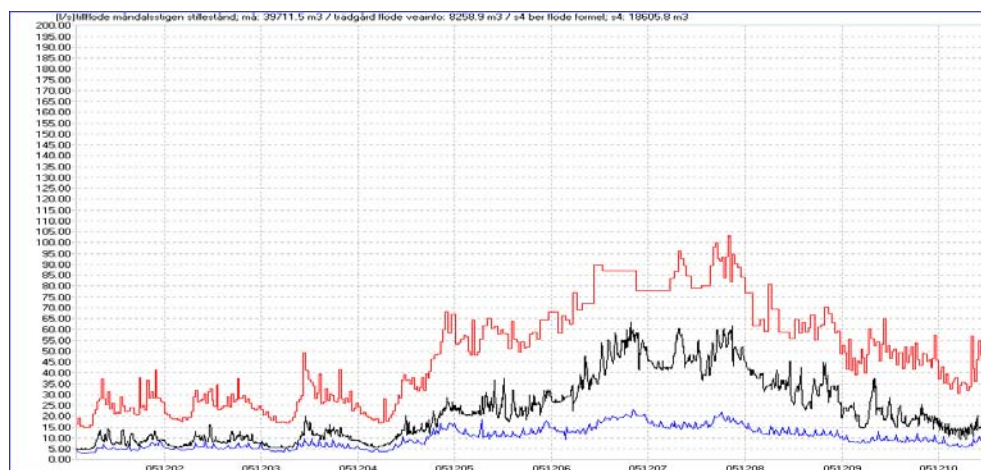


Figur 4-41. Modellerat tillflöde (röd) jämfört med uppmätt tillflöde (grön) för regnen 051202 – 051208

Enligt figur 4-41 ger detta regn inte upphov till en märkbar ytaavrinning. Den absolut största flödesökningen härrör såldes från tillskott av läck- och dräneringsvatten.

Via metodiken med kalibrerad avbördningskurva kan ett flöde för mätpunkt S4 beräknas (där endast nivåmätning använts).

Avbördningskurvan har, tillsammans med tillflödet till slutpumpstationen Måndalsstigen samt en annan större uppströms belägen pumpstation (Trädgårdsvägen), använts som underlag för nedanstående jämförelse i figur 4-42.

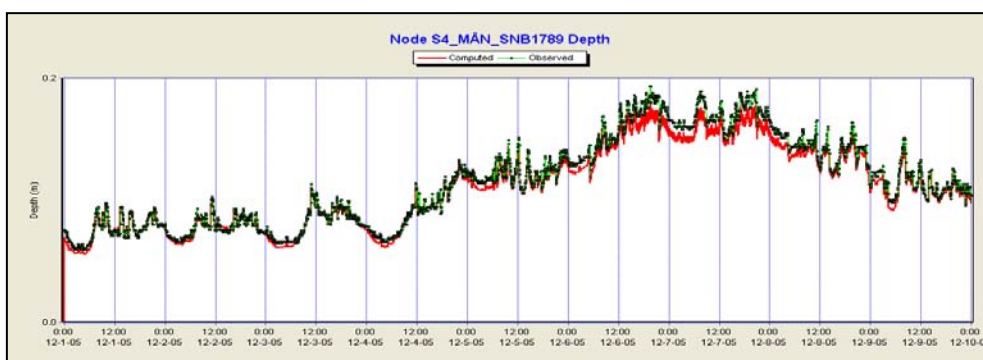


Figur 4-42. Beräknade tillflöden till pumpstationerna Måndalsstigen (röd) och Trädgårdsvägen (blå) samt flödet vid mätpunkt S4 för nederbörd under perioden 051201 – 051208 (svart).

Med figur 4–42 som underlag kan man dra slutsatsen att merparten av läck- och dränvattentillskotten härrör från uppströms mätpunkt S4. Detta är en del av informationen som behövs för att bestämma var och vilka åtgärder som skall sättas in för att minska tillskottsvattenmängderna.

Exemplet visar att bra valda mätpunkter kan ge goda förutsättningar att enbart använda nivåmätning i en mätpunkt ute på ledningsnätet.

En modell över ett ledningsnät kan användas till mycket. T.ex. kan en avrinningshydrograf anslutas uppströms en nivåmättningspunkt för att på så sätt simulera fram storleken på ett läck- och dränvattentillskott. I nedanstående exempel i figur 4–43 har nettotillskottet uppströms mätpunkt S4 enligt analysen ovan kopplats till modellen uppströms mätpunkt S4. Resultatet avseende simulerad nivå och uppmätt nivå visas i figur 4–43.



Figur 4–43. Nettotillskottet uppströms mätpunkt S4 tillförd modellen som räknar fram en nivå (röd) att jämföra med den uppmätta (grön).

4.5 En kostnadsjämförelse

Identifiering av problem med hydraulisk överbelastning i avloppsnät utförs ofta genom utplacering av ett antal v/h-mätare i ledningsnätet under s.k. kampanjmätningar. Detta utförs sällan i ledningsägarens egen regi, utan istället anlitas konsulter till att utföra arbetet. Vid upphandlingen sätts ofta fältundersökningsperioden till att omfatta en månad. Vanligtvis är den tidsuppskattningen för optimistiskt och fältdelen tenderar oftast bli både två och tre månader p.g.a. avsaknaden av relevanta regn under perioden.

Ett syfte med undersökningsstrategin som beskrivs i denna rapport är att säkra bra underlag för planering av framtida åtgärder, genom att låta fältmätningarna pågå under längre tid utan att kostnaderna blir för höga.

Det är inte alltid en datormodell skapas för ledningsnätet då enbart v/h-mätare används. Samtidigt är användning av datormodell en förutsättning för den undersökningsstrategi som redovisas i denna rapport. En datormodell ger bättre underlag för åtgärdsplanering och bör skapas oavsett fältundersökningsmetod.

Kostnaderna för ett helt utredningspaket kan delas in i två huvudgrupper med olika delmoment enligt följande:

- Fältundersökning
Arbetstid fält inklusive reskostnader
Instrumenthyror
Mätdataanalys
Mätrapport
- Datormodell med analys samt åtgärder
Skapa modellen
Kalibrera modellen
Åtgärdsplanering

För de metoder som diskuterats i denna rapport så är det framförallt för fältundersökningsdelen som det finns en kostnadsskillnad. Kostnadsskillnaden uppstår p.g.a. hyrprisskillnader, men även p.g.a. att mer omfattande tillsyn krävs för v/h-mätare.

Även i analyskedet uppstår en extra kostnad för v/h-mätare, eftersom mätdata från sådana kräver mer tid för kvalitetskontroller jämfört med enbart nivåmätare.

Hyrpriset för en v/h-mätare uppgår ungefärligen till det dubbla av hyrpriset för en nivåmätare – ca 6 000 kr/mån mot 3 000 kr/mån. Om fyra v/h-mätare kan bytas ut mot nivåmätare blir detta 12 000 kr/mån i lägre instrumenthyra.

För en tvåmånadersperiod kräver v/h-mätare dessutom minst två extra tillsynsbesök jämfört med enbart nivåmätare. Detta kan bedömas medföra en extra kostnad om 10 000 kr per besök eller minst 20 000 kr extra för en tvåmånadersperiod.

Total extra kostnad skulle i detta fall uppgå till omkring 44 000 kr för att använda v/h-mätare jämfört med nivåmätare – resurser som istället kan användas för att bygga upp en datormodell.

5 Referenser

Flödesmätning i avloppsnät med portabla utrustningar, Geohydrologiska Forskningsgruppen, meddelande nr: 69, Chalmers Tekniska Högskola (1983)

Indirekt nederbördspåverkan i spillvattensystem. VA-FORSK Rapport nr 93-08.

Läck- och dräneringsvatten i spillvattensystem. VA-FORSK Rapport nr 97-15.

Analys av avloppssystem med datormodell. Tillämpningsexempel med MOUSE-systemet. VA-FORSK Rapport nr 97-09.

Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller. VA-FORSK Rapport nr 200-7.

VAV P90 (2004) : Dimensionering av allmänna avloppsledningar

Bilaga 1 – En introduktion till SWMM

Inledning

Nedan följer en kortfattad beskrivning av ingående komponenter i en SWMM-modell. All data sparas i en enda textfil med extension *.inp. Detta innebär att data kan lyftas in i inp-filen via Windows standardfunktioner, ”klipp och klistra”. Större redigeringar kan därför med fördel göras i en vanlig texteditor.

För detaljstudier hänvisas till manualen som kan hämtas på samma plats som själva programmet enligt kapitel 3.2. Manualen finns endast på engelska.

Nedan följer en kortfattad beskrivning av hur grunddata till modellen kan läggas in i SWMM.

Följande avsnitt behandlas:

- Skapa en bakgrundskarta
- Noder
- Knutpunkter
- Ledningar
- Torrvädersflöden
- Ytor för regnvattenavrinning
- Pumpstationer

Skapa en bakgrundskarta – back drop image

Det rekommenderas att en bakgrundskarta skapas eftersom modellarbetet därmed underlättas betydligt.

Bäst är att skapa denna som en meta-fil (*.wmf) eftersom sådana anpassar skalan och bildupplösningen vid en zoomning.

En meta-fil skapas med hjälp av t.ex. AutoCAD. Observera att nedre vänstra hörnets och övre högra hörnets koordinater skall anges inne i SWMM för att kartan skall bli skalenlig.

Som kontroll för att kartan blivit skalenlig kan några hjälppunkter skapas på kartan med kända koordinater innan man skapar meta-filen.

Noder – coordinates

För alla sorters knutpunkter på ledningsnätet skall x- och y-koordinater anges enligt nedanstående exempel. Notera att i SWMM används ett ”icke-geografiskt” koordinatsystem där x-axeln är vågrät (väst-östlig) och y-axeln är lodrät (nord-sydlig). Detta skiljer sig alltså från det geografiska koordinatsystem som t.ex. Lantmäteriet använder sig av. Observera att decimalkommat alltid anges som en punkt (.) i SWMM.

Tabell Bil.1–1 Exempel på textfilformat i SWMM för noder

```
[COORDINATES]
;;Node      X-Coord  Y-Coord
SNB1052  1821.429  6842.86
SNB1076  1507.143  6057.14
```

Skapa en textfil enligt tabell Bil.1–1 och kopiera in den i grundfilen (inp-filen).

Om en skalenlig bakgrundskarta skapas i aktuellt koordinatsystem kan knutpunkterna skapas direkt via skärmdigitalisering. Resultatet blir detsamma, fast detta kan ta lite längre tid än vid direkt inläsning via textfil.

Knutpunkter – junctions

För knutpunkter (brunnar m.m.) anges indata enligt exempel i tabell Bil.1–2. Observera att markytans nivå (max depth) anges som ett mått över vattengång i brunnen.

Tabell Bil.1–2 Exempel på textfilformat i SWMM för brunnar

```
[JUNCTIONS]
;;          Invert   Max.    Init.    Surcharge Ponded
;;Name      Elev.    Depth  Depth   Depth     Area
;;-----
SNB1052    105.78   3.1    0        0          0
SNB1057    105.98   2.98   0        0          0
```

Ledningar anges i två delar av indatafilen till SWMM enligt nedanstående två tabeller med exempel.

Under [CONDUITS] anges mellan vilka brunnar ledningen går, inlopps- respektive utloppsnivåer för ledningen samt Mannings tal för ledningen se tabell Bil.1–3.

Observera att Mannings tal anges inverterat jämfört med vad normalt i Sverige brukar användas. Exempelvis anges ett Mannings tal = 75 som 0.013.

Tabell Bil.1–3 Exempel på textfilformat i SWMM för ledningsdata
[CONDUITS]

;;	Inlet	Outlet		Manning	Inlet	Outlet	Init
;;Name	Node	Node	Length	N	Height	Height	Flow
;;-----							
	1 SNB3013	SNB3045	52.57	0.013	0.05	0	0
	2 SNB3045	SNB3014	119.6	0.013	0	0	0

Under [XSECTIONS] anges ledningens/kanalens geometriska form se tabell Bil.1–4.

Tabell Bil.1–4 Exempel på textfilformat i SWMM för lednings geometriska data
[XSECTIONS]

;;Link	Type	Geom1	Geom2	Geom3	Geom4	Barrels
;;-----						
1	CIRCULAR	0.225	0	0	0	1
2	TRAPEZOIDAL	2	1	0.5	0.5	1
3	RECT_OPEN	1.5	1.1	0	0	1

Det finns i programmet ett antal olika lednings-/kanalutformningar att välja mellan och dessutom kan ett eget tvärsnitt skapas av en kanal. Geom1 – Geom 4 beskriver mått för dessa olika ledningstvärsnitt. Lämpligen matas de ledningsavsnitt som inte har cirkulärt tvärsnitt in manuellt i datafilen via programmet.

Barrels i ovanstående tabell visar hur många parallella ledningar av samma typ det finns mellan knutpunkterna, d.v.s. normalt är denna siffra = 1.

Torrvädersflöden – inflows

I ett spillvattenledningsnät förekommer alltid ett torrvädersflöde som i modeller för större ledningsnät inte kan negligeras. Torrvädersflödet består av spillvatten från hushåll och industrier samt ett tillskottsflöde bestående av läck- och dräneringsvatten. Detta matas in i SWMM som ett inflöde i en nod.

Val av noggrannhet med torrvädersflödena i modellen baseras dels på ledningsnätets storlek och dels på syftet med modellen.

För beräkning av torrflöde kan medelförbrukningen av dricksvatten i en villa sättas till 0,005 l/s. 100 villor ger således ett medelspillvattenflöde under dygnet om 0,5 l/s med en variation inom faktorn 0,2 – 3. Detta säger något om vilken storlek på spillvattenflöde det handlar om och hur mycket arbete som krävs för att få in spillvattenflödena exakt.

Denna undersökningsmetodik som beskrivs här bygger på att det finns en bra flödesmätning i ledningsnätets slutpunkt. Via denna flödesmätning kan man bestämma vilket torrvädersflöde som skall ansättas för hela modellen.

Flödet kan sedan fördelas översiktligt i respektive delområde för att sedan justeras in efterhand som kalibreringen av modellen tar vid.

Önskas högre noggrannhet kan exempelvis, om modell över vattenledningsnätet finns för området, tappningar samt förbrukningsvariationen (pattern) för denna modell användas och överförs till SWMM-modellen.

Modellen kan sedan användas för att exempelvis rita upp profiler över ledningsavsnitt. Utifrån dessa väljs lämpliga nedstigningsbrunnar där kontinuerlig registrering av nivå skall utföras.

Ytor för regnvattenavrinning – subcatchments

För att modellen skall kunna generera en avrinning i samband med ett regn måste ytor anslutna till ledningssystemet finnas med i modellen.

I modellen kan en yta skapas på två sätt; antingen direkt via inmatningsmenyn, eller genom att först geografiskt rita upp ytans utbredning med hjälp av ritverktyget och där-efter komplettera via inmatningsmenyn. I det senare fallet beräknas ytan automatiskt under förutsättning att SWMM befinner sig i läget för automatisk beräkning (Auto-length mode).

I båda fallen skall komplettering ske med ytans bredd (som indirekt bestämmer formen på avrinningshydrografen för ytan), ytans lutning, manningstal för ytan m.m.

Framförallt för spillvattenledningsnät kan det vara svårt att ange en bredd på ytan eftersom ytans utseende ej är känt, och sannolikt är ytan dessutom uppdelad på många små delytor. Således behövs tester med olika ansatser för olika bredd och lutning, då dessa har stor betydelse för avrinningshydrografens utseende (t.ex. ger ökad lutning en snabbare avrinning med högre maxflöde som följd).

Utöver detta skall även anges till vilken regnmätare ytan är ansluten, till vilken nod avrinningen från ytan sker (outlet) och hur stor del av ytan som är hårdgjord m.m.

Exempel på en del av innehållet i inp-filen rörande subcatchments (delytor) visas i tabell Bil.1–5.

Tabell Bil.1–5 Exempel på textfilformat i SWMM för beskrivning av hårdgjorda ytor

[SUBCATCHMENTS]

;;			Total	Pcnt.		
;;Name	Raingage	Outlet	Area	Imperv	Width	Slope
;;-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
UppstrS1	Måndalsstigen	SNB2667	0.2	100	10	0.6
UppstrS3	Måndalsstigen	SNB2659	0.25	100	50	0.6
UppstrS4	Måndalsstigen	SNB1410	0.7	100	50	0.6

Pumpstationer – pumps, storage

Pumpstationer är ett vanligt förekommande element i en modell för spillvattenledningsnät. De läggs in i modellen enligt följande beskrivning.

Själva pumpsumpen läggs in som en *Node* -> *Storage Unit* där pumpsumpens area/höjd läggs in i en särskild tabell under *Curves* -> *Storage curves*. I tabellen anges nivån från botten och aktuell area vid denna nivå.

Vidare skall även pumpar knytas till pumpstationen. Pumparna behandlas som *Links* med en startpunkt och en slutpunkt för varje pump. Till varje pump skall sedan en pumpkurva knytas. Detta görs under *Curves* -> *Pumps*.

Ovanpå detta måste beskrivas hur pumparna skall styras. Det görs under *Hydraulics* -> *Controls* med ett antal villkorssatser enligt tabell Bil.1–6.

Tabell Bil.1–6 Exempel på villkorssatser (*Controls*) i SWMM vid styrning tex av pumpar

RULE R8A

IF NODE Pstn_Trädgårdsvägen DEPTH > 1

THEN PUMP Trädgårdsvägen01 STATUS = ON

RULE R8B

IF NODE Pstn_Trädgårdsvägen DEPTH <= 0.55

THEN PUMP Trädgårdsvägen01 STATUS = OFF

RULE R17A

IF NODE Pstn_Trädgårdsvägen DEPTH > 1.2

THEN PUMP Trädgårdsvägen02 STATUS = ON

RULE R17B

IF NODE Pstn_Trädgårdsvägen DEPTH <= 0.55

THEN PUMP Trädgårdsvägen02 STATUS = OFF

Bilaga 2 – Spillvattenledningsnät i del av Trollbäcken, Tyresö kommun

Allmänt om undersökningsområdet

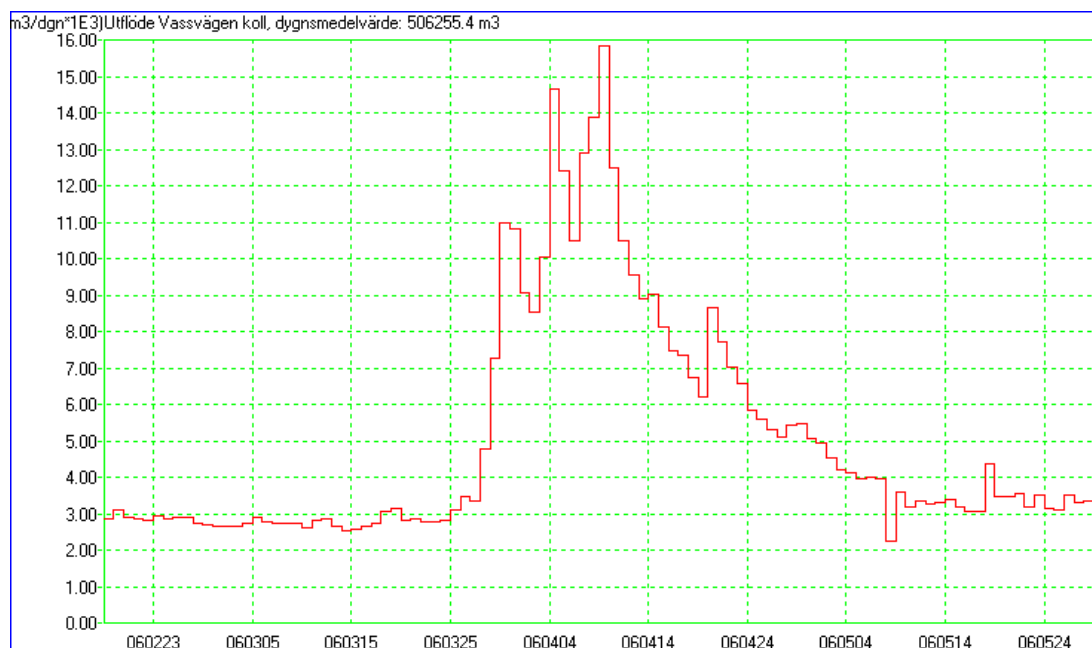
Syftet med undersökningen har varit att kartlägga delområden med stora vattentillskott vid regn. Det är känt sedan tidigare att spillvattenledningsnätet i hela Trollbäcken svarar för en stor del av totala tillskottsvattenmängden till spillvattenledningsnätet i Tyresö.

Tillskottet sker i direkt samband med nederbörden men kraftigt ökade flöden har även noterats flera dygn efter nederbörd och snösmältning, framförallt perioden höst – vår.

En fråga var alltså huruvida utredningsmetoden även kan klarlägga var stora indirekta tillskott sker?

Totalt sett svarar tillskottsvattenmängden i hela Tyresö för ca 35 – 40 % av den totala avloppsvattenmängden under ett år. I hela Trollbäcken är denna andel ca 60 %.

I nedanstående graf i figur Bil.2–1 illustreras detta problem. Grafen visar utpumpat flöde från Vassvägens pumpstation som avbördar allt avloppsvatten från Trollbäcken.



Figur Bil.2–1 Avloppsvattenmängder för hela Trollbäcken vid snösmältningen 2006

Inom det delområde av Trollbäcken som modellerats finns sammanlagt sex pumpstationer i områdets ytterkanter. Av dessa är fem stycken små stationer med endast ett fåtal fastigheter anslutna. Dessa har därför inte tagits med i modellen. Pumpstation Trädgårdsvägen är däremot en stor station, där tillrinningen påverkas mycket i samband med nederbörd. Trädgårdsvägen finns således med i modellen.

Avloppssystemet kan betraktas som ett duplikatsystem.

Anslutna pe: ca 5 500

Uppskattad vattenförbrukning: $1\,100\text{ m}^3/\text{d} = 12,7\text{ l/s}$ (via vattenledningsnätmodell).

Bebyggelse: Övervägande delen utgörs av villabebyggelse. Inslag av flera höjdområden med berg i dagen och lera i dalgångarna. Huvudledningen för spillvatten följer områdets naturliga avrinningsstråk.

Total areal för hela området: ca 300 ha

Bräddavlopp: Det finns ett bräddavlopp ute i ledningsnätet.

Undersökningsområdets avloppsvatten avleds till pumpstation Måndalsstigen. Den har tre pumpar och ett pumpmagasin om ca 33 m^3 , beräknat mellan start och stoppnivåer vid torrvädersflöden.

Ledningsdimensionen är 600 mm i slutpunkten.

Skapande av datormodell för ledningsnätet

För modellbyggnationen skapades en bakgrundskarta via AutoCAD (metafil) med fastigheter och spillvattenledningar inlagda. För nedstigningsbrunnar fanns vattengångshöjden och för ledningar fanns dimensionen inskrivna i ritningen.

Dessutom skapades ur VA-databasen Excel-filer med brunns-id samt vattengångshöjder.

Excel-filerna omvandlades till textfiler med kolumner enligt SWMM-standard, se avsnitt 2.2 ovan. Textfilerna kopierades sedan in i en inp-fil.

Brunnarna knöts ihop med ledningar direkt via skärmbilden in i SWMM. I samband med detta skrevs ledningens dimension in i SWMM.

Pumpstationer lades in manuellt via befintliga ritningar samt uppmätta höjder i fält. Pumpkapaciteter uppmättes i fält via klockning av uppfyllnads- och avsänkningstiden för ett mindre nivåintervall av pumpsumpen.

I utgångsfilen för modellen har alla ledningar fått Mannings tal = 0.013 (M=77 enligt traditionell benämning).

Val av mätpunkter

Slutpunkten utgörs av pumpstation Måndalsvägen. Vid torrväder fungerar den bra som mätpunkt men vid stora regnflöden går flera pumpar kontinuerligt, varför upplösningen i mätvärden blir dålig. Pumpstationen är stationärt försedd med datainsamling för händelser från vilka tillflödet kan beräknas.

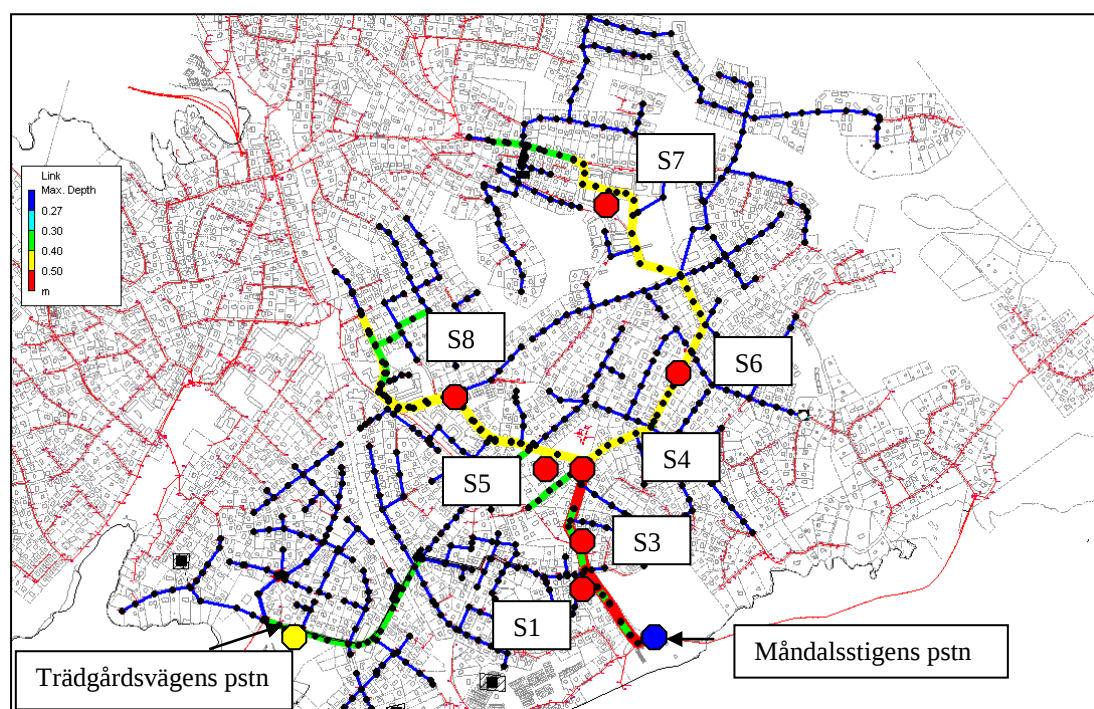
Kontinuerlig nivåmätning har inte skett i pumpsumpen, vilket i efterhand visade sig vara en brist.

Som komplement till pumpstationen placerades en v/h-mätare i inloppet (600 mm). Inflöde sker via en kammare innan själva pumpstationen.

I kammaren böjer ledningen av 90° in till själva pumpstationen. Kammaren är försedd med bra vallning.

Mätpunkten är inte gynnsam eftersom det är en 90° böj i kammaren. Men här gick det inte att få någon bättre mätpunkt längre uppströms om hela området skulle täckas in av en mätpunkt. Detta eftersom huvudledningen en bit längre uppströms består av två parallella ledningar.

Spillvattenledningsnätets utbredning inom det undersökta området visas i figur Bil.2–2 tillsammans med mätpunkternas läge.



Figur Bil.2–2 Spillvattennätet inom undersökningsområdet. Avrinner till Måndalsstigens pstn (blå). Röda punkter = mätpunkter för nivå. Anslutande pstn Trädgårdsvägen = gul.

Ute i ledningsnätet placerades sammanlagt sju nivådataloggers av typen VeALogg. Alla tryckgivare placerades ca 20 cm in i inkommande ledning, horisontellt orienterade på botten av ledningen med hjälp av en monteringsring enligt Figur 3–3 i kapitel 3.

Loggningsintervallet var 2 – 3 minuter.

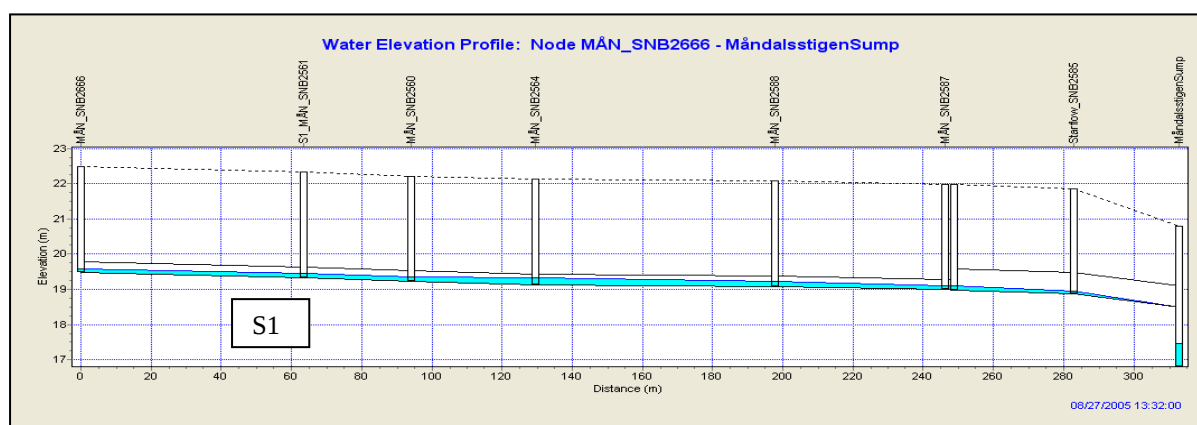
I mätpunkt S4 finns det enda bräddavloppet i systemet. Här kombinerades således nivåmätningen i ledningen med övervakning av bräddavloppet.

Vid behov sker bräddning till en dagvattenkulvert 1 000 mm som passerar förbi bräddavloppet. I dagvattenkulverten mätes också nivån kontinuerligt för att få information om huruvida det förekom bräddning från dagvattenkulverten till spillvattenledningen (mätpunkt S5).

I pumpstation Trädgårdsvägen, som avbördar de västra delarna av området, registrerades pumphändelserna via en stationär datalogger. Inte heller här utfördes nivåmätning i pumpsumpen.

Kommentar:

En mätpunkt (S1) var placerad i en brunn strax nedströms där pumpflödet från Trädgårdsvägens pumpstation släpper, se profil i figur Bil.2–3. Till punkten ansluter i princip endast pumpstation Trädgårdsvägen. Punkten behövdes inte för själva utredningen, men valdes för att kunna testa uppmätt nivå mot ett kalibrerat pumpflöde. Till punkten avleds förutom pumpflödet endast en mindre del från ett mindre självfallsområde.



Figur Bil.2–3 Ledningsprofil från släpppunkt till Måndalsstigen pumpsump med mätpunkt S1

S1 är således en idealisk mätpunkt enligt de aspekter som nämns i rapporten, kapitel 3.6.6.

Två mätpunkter, S7 och S8, kunde relativt omgående avskrivas som intressanta eftersom nivåhöjningen vid nederbörd endast var marginell (1 – 2 cm som mest). Detta är ett bra resultat eftersom dessa delområden i fortsättningen kan avföras direkt. I detta fall visas således att enbart nivåmätning räcker gott som mätmetod.

Underlag för kalibreringen

Mätdata i SWMM för snabbare kalibrering

Vid kalibreringen av modellen är det en fördel att redan från början lägga in mätdata-underlaget i en gemensam fil, s.k. calibration data.

Sådana filer kan skapas för exempelvis nivåer i noder samt flöden, hastigheter och nivåer i ledningar. All mätdata från de olika mätpunkterna samlas i en fil med realtiden angiven för varje mätvärde (datum, klockslag, värde). Vid grafisk presentation av resultatet av en modellering kommer då uppmätta värden att visas i samma graf.

Nederbördsdata hanteras på samma sätt, det vill säga allt samlas i en mätserie för respektive nederbördsmätare. Mätserien ansluts till respektive regngivare i modellen samt respektive yta till en regngivare.

Med detta förfarande kan kontinuerligt utgå från senaste modellen. Det enda som behöver ändras är tidsperioden för beräkningen. Tillvägagångssättet rekommenderas eftersom det underlättar mycket vid kalibreringen, såväl i tidsbesparing som i administration kring beräkningarna.

Nederbörd

Nederbördsmätning har utförts vid tre platser inom de två undersökningsområdena (parallellt med spillvattennätet i Trollbäcken utfördes även mätningar för dagvattenmodell Bollmora som beskrivs i Bilaga 3):

- Måndalsstogens pumpstation – belägen i södra delen av Trollbäcken. Stationär. Vippskålsvolym 0,5 mm.
- Bollmora pumpstation – belägen i norra delen av Bollmora. Stationär. Vippskålsvolym 0,2 mm.
- Bansjöslingans pumpstation – belägen mitt mellan de två övriga. Temporär. Vippskålsvolym 0,2 mm.

Mätningarna påbörjades i början av augusti 2005. Tyvärr skulle det visa sig att den kommande perioden blev mycket nederbördsfattig. T.ex. inträffade det under perioden september – november endast två tillfällen med regn som kunde användas för kalibreringen.

Mätningarna pågick därför ända in i december 2005. Under hela mätperioden föll omkring 180 mm nederbörd. De mest intressanta nederbördshändelserna under perioden redovisas i tabell Bil.2–1.

Tabell Bil.2–1 Observerade nederbördshändelser under mätperioden

Datum	Bollmora		Bansjöslingan		Måndalsstigen	
	Regnmängd (mm)	Max intensitet 10 min (l/s*ha)	Regnmängd (mm)	Max intensitet 10 min (l/s*ha)	Regnmängd (mm)	Max intensitet 10 min (l/s*ha)
050806	9,8	100	6,8	66	5,5	50
050807	8,0	33	7,0	33	8,5	50
050810	11,6	20	10,8	30	10,5	25
050811	7,2	30	5,5	25	3,5	20
050825	5,8	50	4,2	27	3,5	18
050826	6,6	33	7,5	33	7,5	35
051022	11,8	30	9,9	26	9,5	16
051025	25,8	20	22,4	18	19,5	16
051202–07	43	7	47	7	37	8

Modelleringsregnen duger till att kunna påvisa det som varit utredningens syfte, d.v.s. att visa var tillskotten av regnvatten sker till spillvattenledningsnätet och hur stora dessa är (med andra ord storleken av anslutna, hårdgjorda ytor).

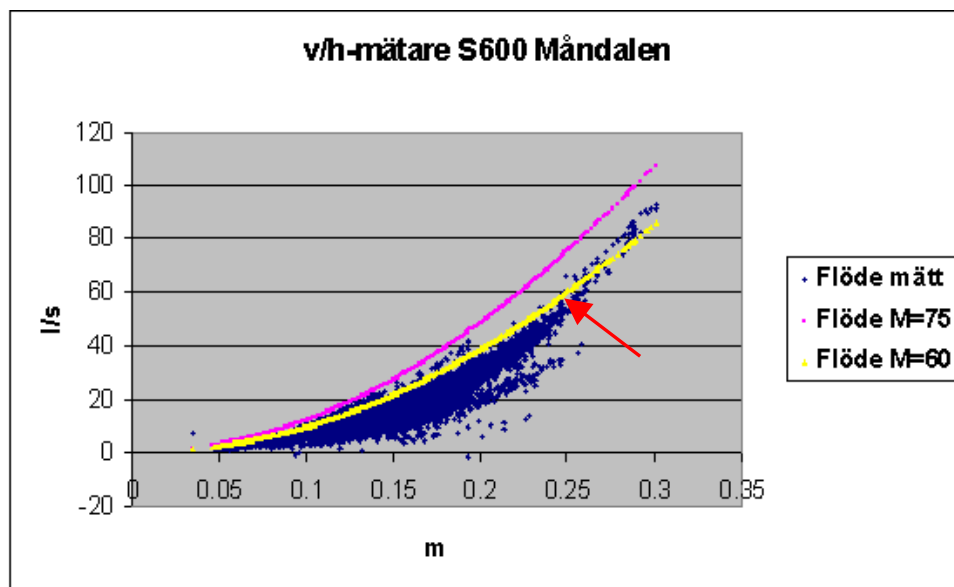
Noterbart är att det förekommer en märkbar skillnad mellan de tre stationerna, beträffande såväl mängd som intensitet. Måndalsstogens mätare visar något lägre intensitet vid vissa regntillfällen vilket troligen beror på att vippskålen här har volymen 0,5 mm.

Regnet som inträffade i december har tagits med som kurios. När detta ansätts i den kalibrerade modellen får man ett resultat som visar på en ytterligare dimension vid tolkningen av modellresultat kontra mätvärden.

Modellen är ju ansatt för att modellera enbart ytavrinning. Om man får ett ökat tillskott av läck- och dräneringsvatten kommer detta att ge ett ökat basflöde efter det att nederbörden upphört. I detta fall kommer nivån att vara högre än före regnet – detta indikerar i så fall ett ökat tillskott av just läck- och dräneringsvatten. Om modellen är kalibrerad kommer modellen också att kunna visa hur stort detta flöde är. Mer om detta längre ner i texten.

Kvalitetskontroll av v/h-mätningen i slutpunkten

Som inledning till kalibreringen görs en kvalitetskontroll av mätdata som erhållits via v/h-mätaren i slutpunkten. Kontrollen görs i efterhand med en scattergraf där nivå/flödesdata plottas i ett diagram enligt figur Bil.2–4.



Figur Bil.2–4 Scattergraf för uppmätta nivå/flödesdata (blå) , med beräknat flöde enligt Manning/Bretting M=75 (rosa) respektive M=60 (gul).

Som en jämförelse har även nivå/flödesdata för beräknade flöden enligt Manning/Bretting plottats i samma diagram i figur Bil.2–4. Detta kan göras för att kontrollera rimligheten hos uppmätta flöden.

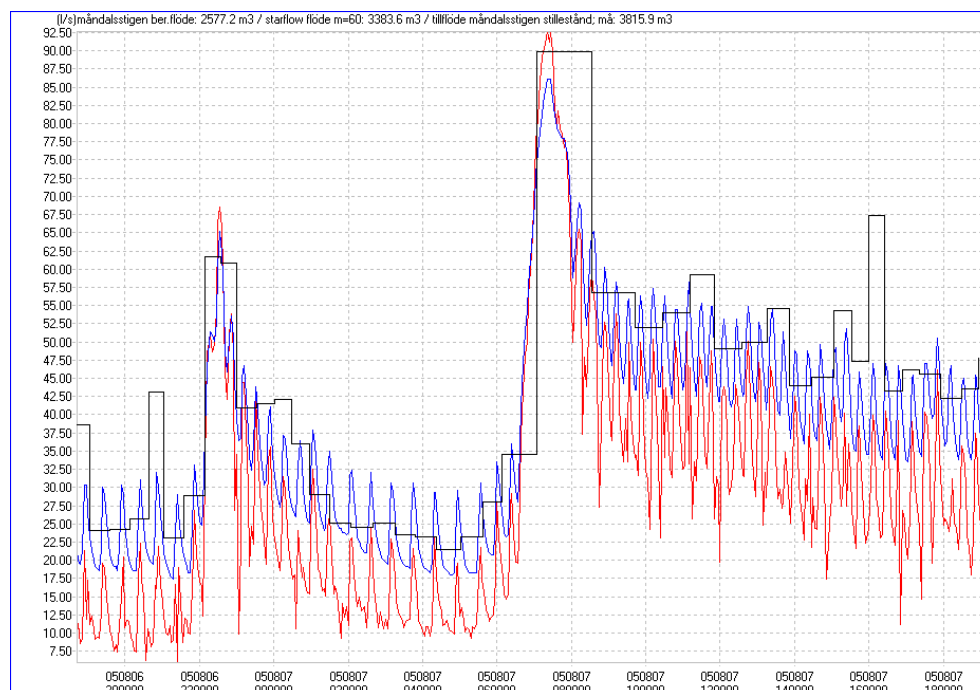
Den blå kurvan skulle teoretiskt ha en lika jämn form som de andra två, men trots den något breda basen dras slutsatsen att de större flödena har en bra kurvbild.

Notera den lilla svansen vid pilen. Dessa värden kan hänföras till den senare delen av perioden och beror sannolikt på att nivån har blivit fel (för låg) eller att hastighetsgivaren satts igen. Värden för beräknad hårdgjord yta enligt tabellen ovan är också lägre för dessa två regn jämfört med tidigare värden.

En pumpstation var belägen precis efter denna mätpunkt, vilket innebar att v/h-mätarens resultat även kunde kontrolleras via denna.

I figur Bil.2–5 visas ett diagram med grafer för följande:

- Flödesvärden från v/h-mätaren
- Flödesvärden beräknade enligt Manning/Bretting med $M=60$
- Tillflödet till Måndalsstigens pumpstation beräknat med hjälp av stilleståndstider och pumpgravsvolym



Figur Bil.2- 1 Uppmätta flöde via v/h-mätare (röd), beräknat flöde Manning/Bretting med $M=60$ (blå) samt beräknat tillflöde till Måndalsstigens pumpstation (svart)

Av figur Bil.2–5 framgår att god överensstämmelse råder, undantaget lägre flöden där v/h-mätaren troligen visar för låga värden.

Sammanfattning:

V/h-mätaren visar användbara värden för regnhändelserna utom i periodens slut då dessa värden är för låga.

Beräkning av total nederbördspåverkan för hela området

P.g.a. batterislut som berodde på det långa regnuppehållet i september och oktober fungerade inte flödesmätaren vid regnet den 22/10 respektive den 25/10. Endast det beräknade tillflödet till pumpstation Måndalsvägen kunde användas för verifiering av modellen för dessa regndygn. Här upplevdes en av olägenheterna med v/h-mätning, nämligen att mätartypen konsumerar mycket ström och därför erfordrar byte eller laddning av batterierna betydligt oftare än t.ex. nivåmätare.

I tabell Bil.2–2 redovisas beräknad hårdgjord yta för respektive regntillfälle under mätperioden.

Tabell Bil.2–2 Beräknad hårdgjord yta ansluten till spillvattennätet

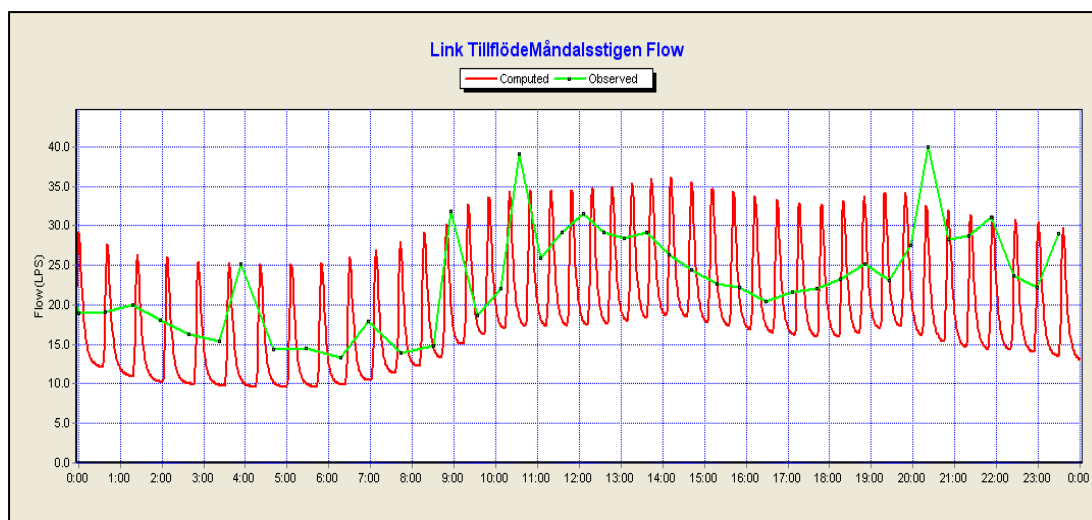
Datum	Bansjöslingans regnmätare		Måndalsstigens regnmätare	
	Regnmängd (mm)	Beräknad hårdgjord yta (ha)	Regnmängd (mm)	Beräknad hårdgjord yta (ha)
050806	6,8	2,0	5,5	2,4
050807	7,0	5,1	8,5	4,2
050810	10,8	4,6	10,5	4,8
050811	5,5	3,4	3,5	5,4
050825	4,2	3,2	3,5	3,8
050826	7,5	2,5	7,5	2,5
051022	9,9	4,8	9,5	5,0
051025*	22,4	5,2*	19,5	6,0*
*värden på hårdgjord yta har beräknats m.h.a. tillflödet till pumpstation Måndalsstigen				

Kalibrering av modellen för torrvädersflöden/nivåer

Vid beräkning av torrvädersflödets variation utgicks uteslutande från beräknad tillrinning vid slutpumpstationen Måndalsstigen. Torrvädersflödena varierade under mätperioden, vilket främst berodde på förändrade läck- och dräneringsvattentillskott. För delområdet uppströms pumpstationen Trädgårdsvägen anpassades torrvädersflödet till det som uppmätts/beräknats strax före ett modelleringsregn. I figur Bil.2–6 visas resultatet från modelleringen av torrvädersflödet till Måndalsstigens pumpstation.

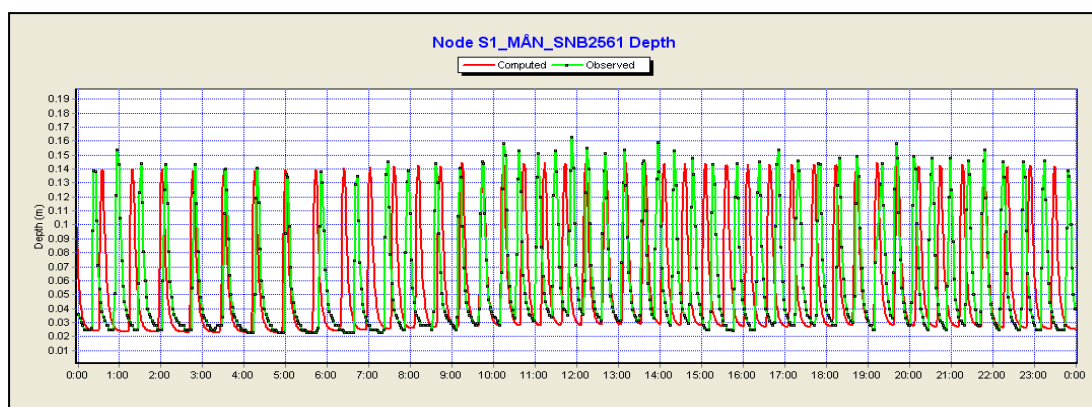
Spillvattenflödet lades in i modellen med hjälp av vattenförbrukningar (tappningar) från den existerande Epanet-modellen. Dessa tappningar i knutpunkter överfördes manuellt till närmast belägna nedstigningsbrunn. För spillvattenflödets variation utnyttjades samma dygnsvariation som i Epanet-modellen. I SWMM lades detta in som en tabell med timupplösning (*Pattern*).

Läck- och dräneringsvattentillskottet fördelades inom de olika delområdena så att god överensstämmelse uppnåddes vid kalibreringen av nivåerna vid torrvädersdygn. Som normflöde valdes ett torrvädersflöde om 22 l/s för hela området, varav 12 l/s var rent spillvatten och 10 l/s utgjordes av ett basflöde av läck- och dräneringsvatten (tillskottsvatten vid torrväder).



Figur Bil.2–6 Torrvädersflödet till slutpumpstationen Måndalsstigen. Mätresultat (grön) samt modellresultat torrvädersflöden (röd).

P.g.a. den stora pumpsumpsvolymen kommer inte pumpflödena från Trädgårdsvägens pumpstation att märkas i den graf som beräknas med hjälp av stilleståndstiderna. Dock kan noteras att medelflödet stämmer bra.



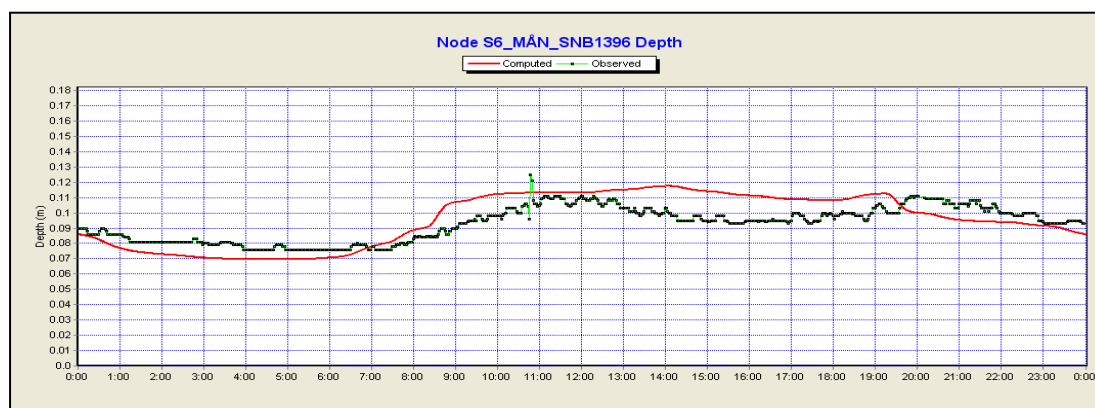
Figur Bil.2–7 Inkalibreringen av nivåer i mätpunkt S1 vid torrvädersflöde.



Figur Bil.2–8 Inkalibreringen av nivåer i mätpunkt S3 vid torrvädersflöde.



Figur Bil.2-9 Inkalibreringen av nivåer i mätpunkt S4 vid torrvädersflöde.



Figur Bil.2-10 Inkalibreringen av nivåer i mätpunkt S6 vid torrvädersflöde.

Som framgår av figur Bil.2-7 – 10 råder god överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta nivåer. För att få nivåerna att stämma i punkten S1 har Mannings tal satts till 0,016 (= 63) i ledningen efter mätpunkten. I övrigt inga andra ändringar i utgångsfilen.

Kalibrering av modellen vid regntillfällen

Om de beräknade värdena på sammanlagd hårdgjord yta utgör utgångspunkt för kalibreringen skall dessa uppgå till omkring 4 – 5 ha för hela området.

För pumpstation Trädgårdsvägen är denna yta lätt att beräkna. Här har detta gjorts via stilleståndstider samt pumpsumpsvolymen mellan start och stopp av pumpar.

För övriga punkter finns endast nivån att kalibrera mot. Således kan flödesvariationen för respektive mätpunkt beräknas via Manning/Bretting och via erhållen kurva kan en hårdgjord yta uppströms mätpunkten beräknas.

Ett alternativ är att gå direkt på modellkalibreringen genom att fördela ytan på respektive mätpunkt med totalt 5 ha.

Då kan en yta ansättas i centrum av avrinningsområdet för varje mätpunkt. Eftersom detta är ett spillvattenledningsnät med utbyggda dagvattenledningar vet man inte var ytorna är lokaliserade. För varje delområde ansätts därför endast en yta för att förenkla för eventuella förändringar.

I SWMM anges för en ansluten yta (subcatchment) en total area, hårdgörningsgraden, områdets lutning samt areans bredd. Det är framförallt dessa variabler som justeras vid kalibreringen.

I exemplet gjordes en fördelning av ytorna direkt utifrån nivåvariationen i samband med regnen; en yta per delområde. Ytans bredd varierade mellan 10 och 50 m, beroende på ytans storlek. Lutningen sattes genomgående till 0,5 %.

För de enskilda regnen startade sedan en anpassning av framförallt ytans storlek men också bredden samt i vissa fall en ökning av Mannings tal för efterliggande ledning.

Av tabell Bil.2–3 framgår resultatet med avseende på hårdgjord yta.

Tabell Bil.2–3 Resultatet av kalibreringen av SWMM-modellen

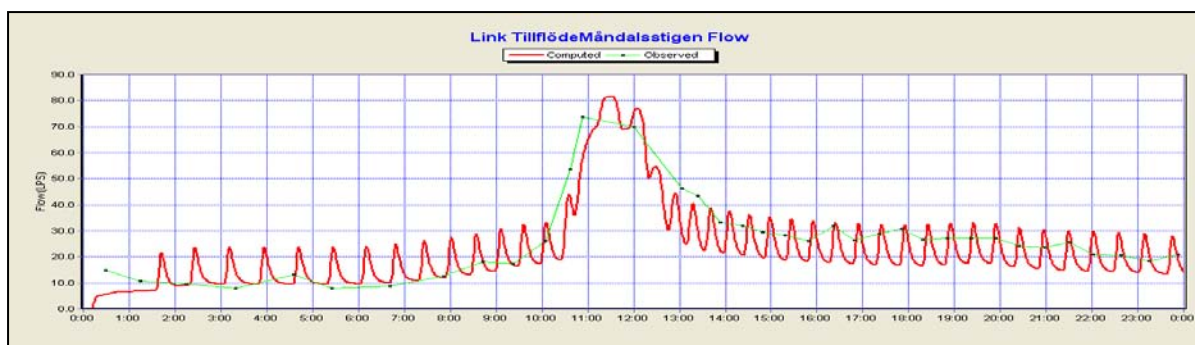
Delområde	Beräknad hårdgjord yta uppströms respektive mätpunkt								Totalt
	S1	S3	S4	S6	S7	S8	S9	Pstn Trädgård	
Datum	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
050806-07	0,2	0,25	1,5	0,5	0,05	0,1	0,1	1,2	3,5
050810-11	0,2	0,25	1,5	1,0	0,05	0,1	0,1	1,5	4,7
050825-26	0,2	0,25	1,7	0,5	0,1	0,1	0,1	1,2	4,2
051022-23	0,2	0,25	1,0	0,5	0,1	0,1	0,1	1,8	4,1
051025-26	0,4	0,25	2,0	2,0	0,1	0,1	0,1	1,8	6,8

Av tabell Bil.2–3 kan följande utläsas:

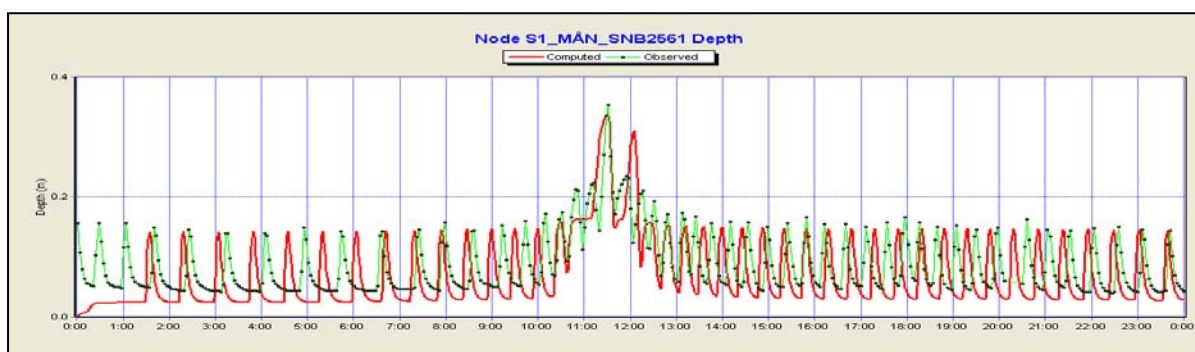
- Beräknad hårdgjord yta för respektive delområde är för några delområden lika för samtliga regntillfällen (S1, S3, S7, S8 och S9). Dessa delområden har dessutom en relativt liten beräknad ansluten yta. För övriga delområden skiljer det sig markant mellan de olika regntillfällena. Tendensen är att beräknad yta ökar mot slutet av mätperioden med lågintensiva regn och stor regnmängd.
- Beräknade ytor är överlag större för regnet den 25 – 26/10, vilket säkerligen beror på att den relativt stora regnmängden, 20 – 22 mm, gett upphov till ökad läck- och dräneringsvattenavrinning.
- Problemområden för direkt avrinning kan ringas in kring Trädgårdsvägens pumpstation och delområde S4, eftersom dessa uppvisar störst beräknad delyta. Vid Trädgårdsvägen uppgår den beräknade delytan till ca 1,2 – 1,5 ha och vid S4 till ca 1 ha. Därefter kommer S6 (som ligger uppströms S4). Övriga delområden bedöms inte vara intressanta i detta skede.
- Framförallt S6 bidrar med ökad läck- och dränvattentillskott vid långvariga/rikliga regn, eftersom den beräknade ytan ökar markant vid regntillfället i oktober.

Om modellen antas vara korrekt kalibrerad i de olika mätpunkterna kan denna användas till framtagning av en avbördningskurva för respektive mätpunkt. Avbördningskurvorna kan sedan användas för att vid kontinuerliga långtidsmätningar med enbart nivåmätare bestämma påverkan av läck- och dräneringsvattenflöden uppströms respektive mätpunkt, se vidare nedan och i huvudtexten avsnitt 4–6.

Av diagrammen i figurerna Bil.2–11 – 14 framgår hur väl modellresultatet överensstämmer med mätningen.



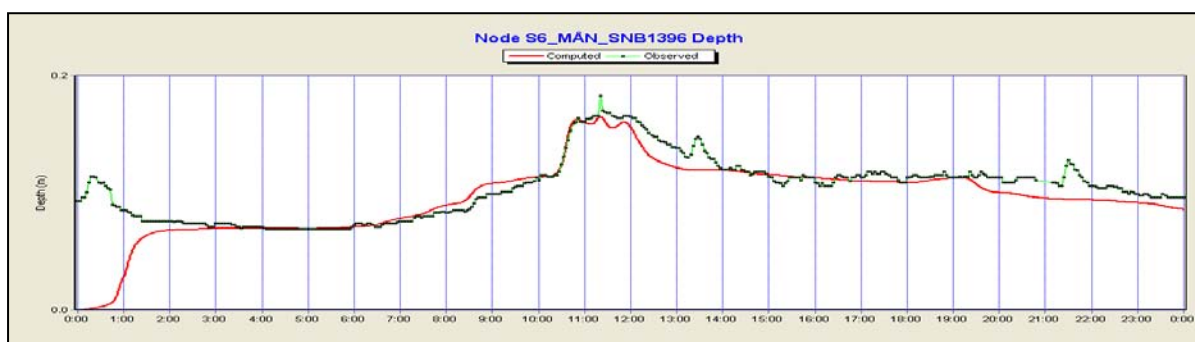
Figur Bil.2-11 Modell- och mätresultat för regnet 051022 avseende tillflödet till pumpstation Måndalsstigen



Figur Bil.2-12 Modell- och mätresultat för regnet 051022 avseende nivån i mätpunkt S1

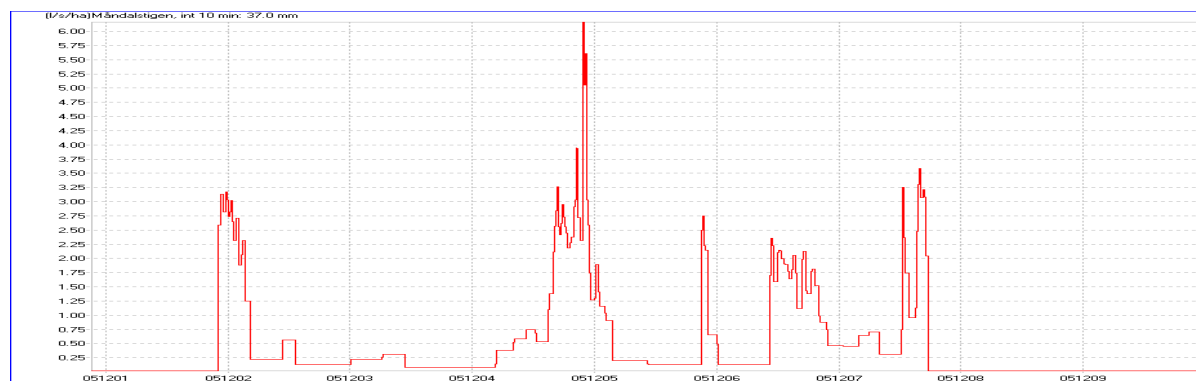


Figur Bil.2-13 Modell- och mätresultat för regnet 051022 avseende nivån i mätpunkt S4



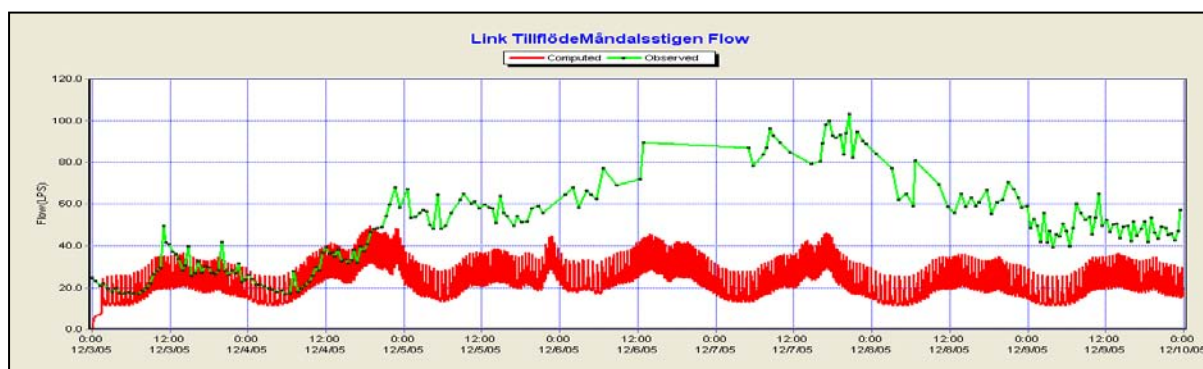
Figur Bil.2-14 Modell- och mätresultat för regnet 051022 avseende nivån i mätpunkt S1

I slutet av mätperioden (dec-05) inträffade en period med mycket nederbörd (ca 40 mm) men med mycket låga intensiteter, se figur Bil.2-15 som visar nederbördsförloppet vid Måndalsstigen pumpstation.

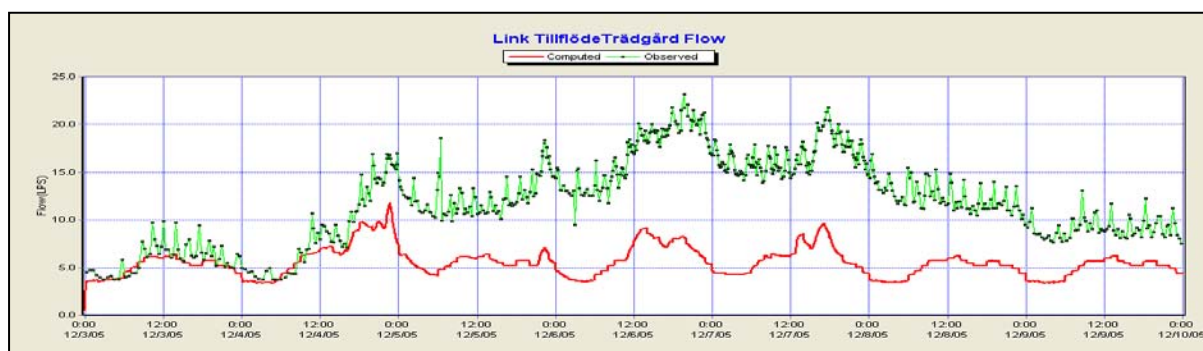


Figur Bil.2-15 Nederbördsintensiteter under perioden 051201–1208

I och med att modellen enbart är kalibrerad för ytavrinning kan den även användas för att visa att de stora flödesökningar som inträffade under denna period i huvudsak inte beror på ytavrinning. Istället skall problemet sökas under markytan, d.v.s. via ökade läck- och dräneringsvattentillskott. Detta fenomen visas med stor tydlighet i figur Bil.2-16 och figur Bil.2-17.

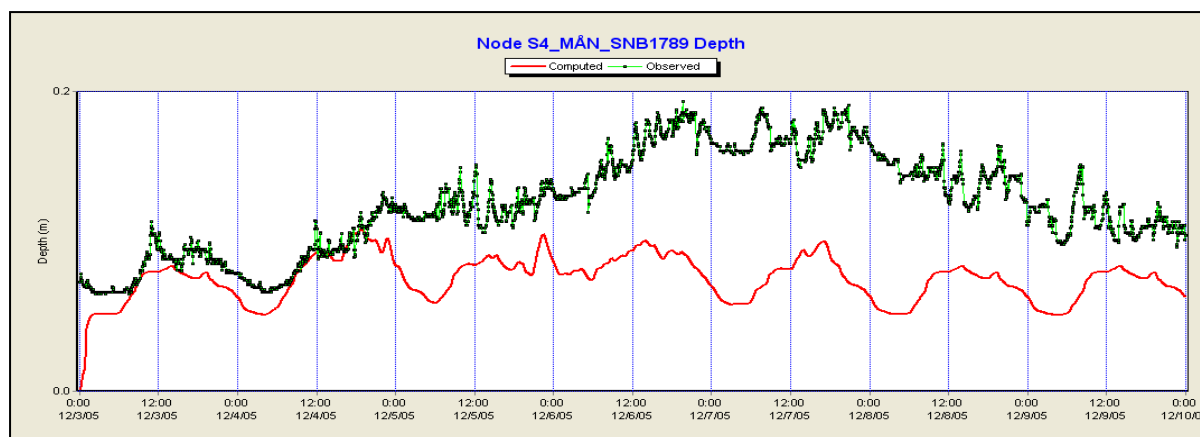


Figur Bil.2-16 Modellerad ytavrinning (röd) jämförd med uppmätt avrinning (grön) vid pumpstation Måndalsstigen



Figur Bil.2-17 Modellerad ytavrinning (röd) jämförd med uppmätt avrinning (grön) vid pumpstation Trädgårdsvägen

För vidare analys kan fortsättas ut i ledningsnätet för att se hur nivåmätarna har reagerat. I figur Bil.2-18 visas nivåförändringen vid mätpunkt S4, vilken kan jämföras med den modellerade nivå som skulle uppstått om det bara varit frågan om ytavrinning.



Figur Bil.2–18 Effekterna av tillskott av läck- och dränvatten i en kalibrerad ytavrinningsmodell i S4 –
grön linje visar uppmätta nivåer, röd linje visar modellerad nivå

Resultatet av analysen kommer att visa inom vilka delområden som stora tillskott av läck- och dränvatten sker.

En uppfattning om storleken på dessa tillskott erhålls genom att jämföra skillnaden mellan flödet i slutpunkten jämfört med modellresultatet. Skillnaden utgör det totala tillskottet av läck- och dränvatten, som sedan kan delas upp på de olika delområdena med början i de yttersta områdena.

Modellen kan därefter köras med inpassning av de olika flödeshydrograferna för att på så sätt avgöra storleken på tillskotten inom respektive delområde. Eftersom modellen är kalibrerad för betydligt större flöden så kommer detta att visa ett godtagbart resultat.

Hur analysen kan gå till i praktiken beskrivs utförligare i rapportens huvudtext.

Erfarenheter

Veterligen var detta första gången man i Sverige mer omfattande använde sig av GSM-tekniken med antennen placerad under gjutjärnslocket.

Det visade sig vara en fungerande teknik. Om det var bra täckning för en vanlig mobiltelefon fungerade även GSM-modemet under gjutjärnslock.

Kalibreringen av enbart nivåvärden upplevdes inte som besvärligare eller mer tidskrävande att utföra, jämfört med om även flödesdata funnits att tillgå.

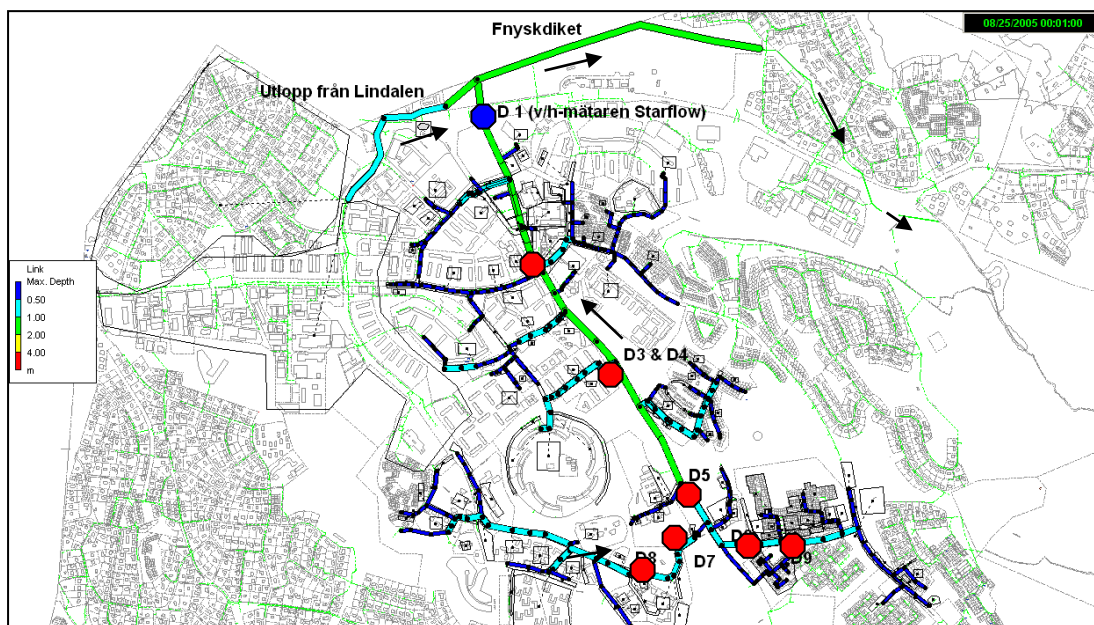
Positivt med enbart nivådata var att slippa lägga tid på att kvalitetskontrollera flödesdata.

Bilaga 3 – Dagvattenledningsnät i Bollmora-Krusboda, Tyresö kommun

Allmänt om undersökningsområdet

Undersökningsområdets totala areal uppgår till ca 220 ha. Det utgörs av en uppsamlande huvudledning i en dalgång i syd-nordlig riktning med separata bebyggelseområden längs med huvudstråket och med stora grönområden mellan bebyggelsegrupperna.

I de sydöstra delarna består bebyggelsen i huvudsak av tät radhusbebyggelse medan övrig bostadsbebyggelse består av flerfamiljshus. I de nedre delarna finns utpräglad centrumbebyggelse (Bollmora centrum) med stor hårdgörningsgrad på ytorna.



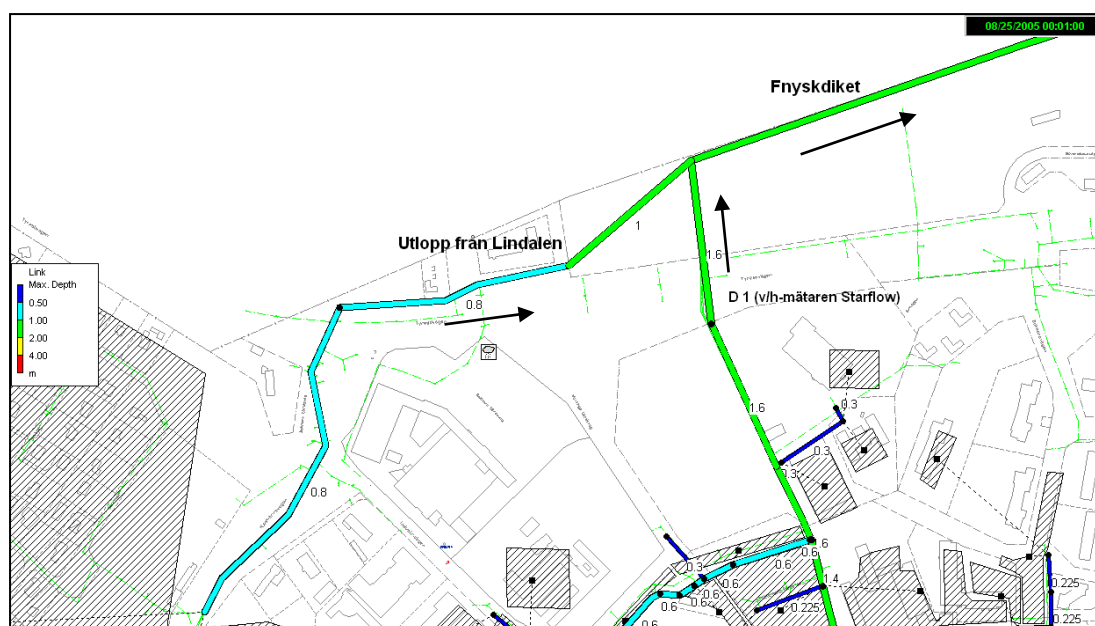
Figur Bil.3-1 Undersökningsområdet med dagvattensystemet och mätpunkter (blå = flödesmätare, röd = nivåmätare)

Dagvattensystemet som omfattas av modellen mynnar i en bäck som kallas Fnyskdiket enligt figur Bil.3-1. Fnyskdiket startar ca 200 m uppströms anslutningen, vilken utgörs av en 800 mm kulvert från de nordvästra delarna av kommunen (Lindalen).

Fnyksdiket fortsätter därefter över en golfbana och vidare via en kulvert, Ø 1600 mm, ner till Kolardammens våtmark belägen ca 2,5 km nedströms.

Figur Bil.3-2 visar i detalj hur de två dagvattennäten är sammankopplade till Fnyskdiket.

Eftersom Kolardammens vattennivå är reglerad via ett skibord (+22,40 m, vattengång i mätpunkt D1 = +23,67 meter) och sammankopplingen i Fnyskdiket med dagvattenutloppet från nordväst kan troligen antas att dämningar uppstår i systemet nedströms mätpunkten. Det är känt att det stundom förekommer översvämningar på golfbanan. Således kan modellens utlopp inte beräknas som fritt. Hur detta löstes i modellen redovisas längre ner i texten.



Figur Bil.3-2 Detalj av det undersökta dagvattensystemets utlopp till Fnysskdiket

Datormodell för ledningsnätet

För modellbyggnaden skapades en bakgrundskarta via AutoCAD (metafil) med fastigheter, gator och dagvattenledningar inlagda.

Från VA-databasen exporterades brunnns-id samt vattengångshöjder till Excel-filer. Dessa Excel-filer omvandlades till textfiler med kolumner enligt SWMM-standard – ([JUNCTIONS] och [COORDINATES]) enligt metodikbeskrivning i bilaga 1. Textfilerna kopierades sedan in i en inp-fil.

Brunnarna knöts ihop med ledningar direkt via skärmbilden in i SWMM.

För ledningar fanns dimensioner angivna i ritningen. Dimensionerna matades in manuellt i SWMM via inmatningsinterfacet.

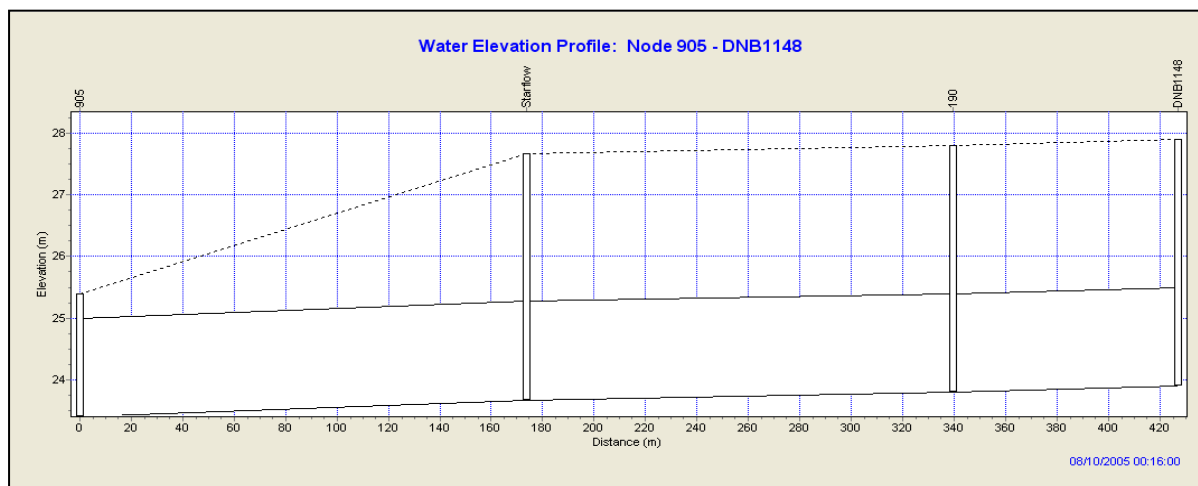
I utgångsfilen för modellen har samtliga ledningar fått Mannings tal = 0,013.

Ett grannlaga arbete är att lägga in de ytor vars regnvatten skall avledas till dagvattenledningar. Detta kan göras på olika detaljningsnivå. Ju mer detaljerat desto fler ytor att hantera i kalibreringsfasen, vilket är negativt.

I detta fall har vissa områden lagts in mycket detaljerat. Asfaltytor och takytor har lagts in separat, medan det i vissa fall endast lagt in en enda yta för ett delområde och därefter har hårdgörningsgraden (% *impervious*) bedömts.

Val av mätpunkter

Kulverten innan utloppet i Fnyskdiket är 1600 mm visas i profil enligt figur Bil.3–3 och på bild tagen mot utloppet i Figur Bil.3-4.



Figur Bil.3–3 Profil för utloppsledningen med mätpunkt D1 för flödesmätningen



Figur Bil.3–4 Utloppsledningen i mätpunkt D1 med flödesmätarens givare monterad i vattengång

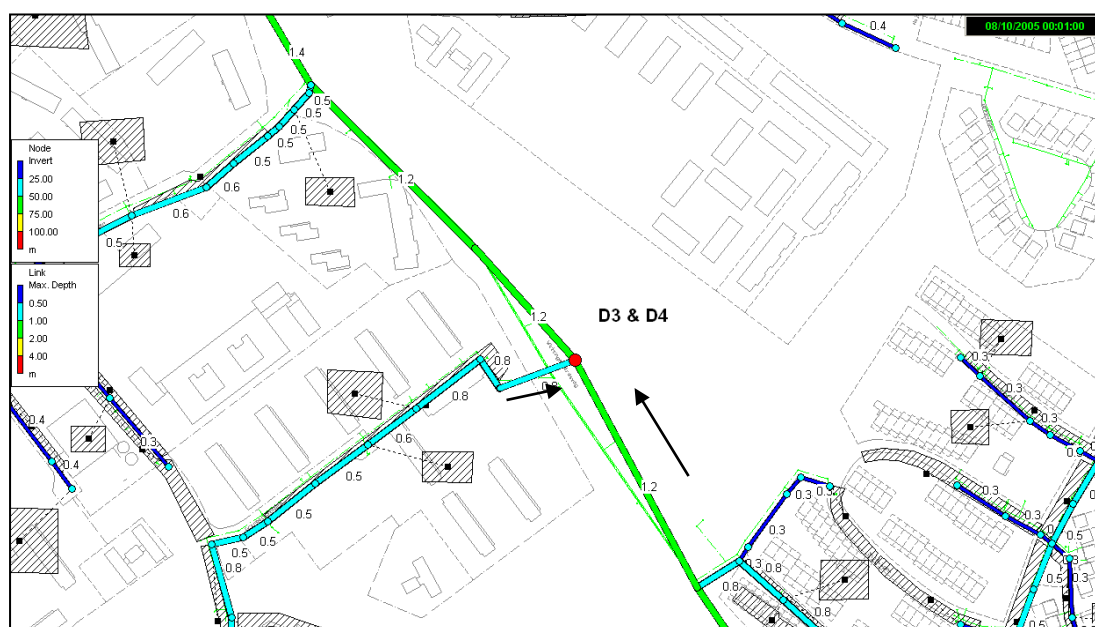
Detta var således en bra mätpunkt sett till kriterierna som angivits i huvudrapporten under kapitel 3.6. Enda nackdelen kan vara att utloppet inte är fritt, vilket måste tas hänsyn till i modellen och som medför att kalibreringen kräver lite mer tankearbete.

Övriga mätpunkter har valts så att det blir en jämn fördelning över området förutom för följande tre mätpunkter:

Mätpunkt D3 och D4, se figur Bil.3–5, utgjordes av två nivåmätare i samma nedstigningsbrunn. Den ena givaren placerades i inkommande huvudledning Ø 1200 mm och den andra givaren i utgående huvudledning Ø 1200 mm. Till denna brunn ansluter en Ø 800 mm ledning vinkelrätt mot huvudledningen. Sidoflödet kan antas ge upphov till förluster i brunnen.

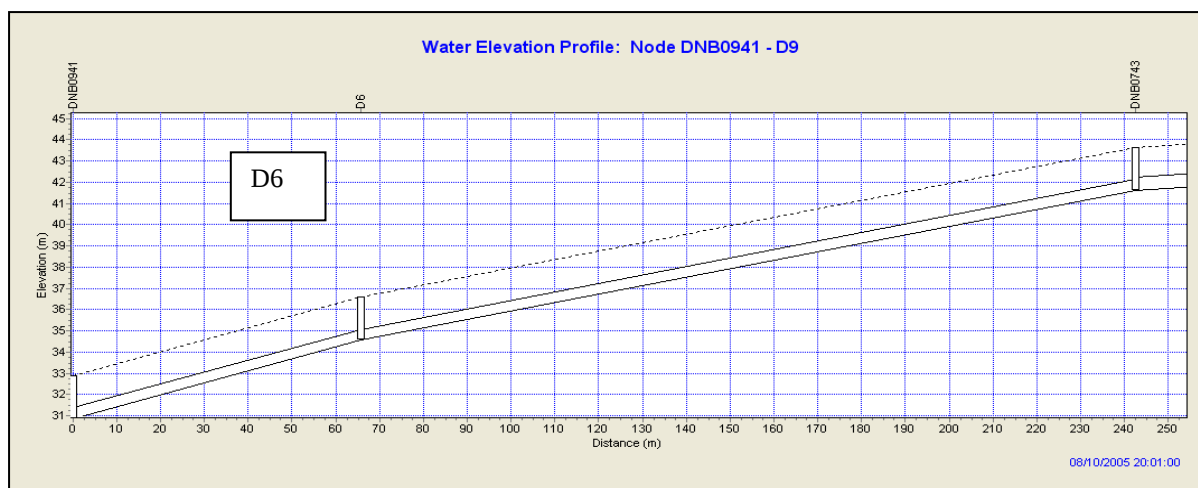
Syftet med de två nivåmätarna var att få reda på hur den inkommande tvärledningen påverkar nivåerna i brunns in- och utlopp, d.v.s. vilka förluster som kunde uppmätas. Normalt sett skulle en annan brunn ha valts, antingen nedström eller uppströms med genomgående ledning.

Syftet var även att ta reda på hur detta kan hanteras i SWMM vid kalibreringen. Kan den uppmätta nivån stämma med modellerad nivå i brunnen eller med modellerade nivåer i ledningarna. Vilken nivå är bäst att modellera?



Figur Bil.3–5 Två mätare i samma nedstigningsbrunn

Mätpunkt D6 valdes för att avgöra lämpligheten med att mäta i en ledning med stark lutning (40 %) enligt figur Bil.3–6.



Figur Bil.3–6 Kraftig lutning vid mätpunkt D6

Syftet med placeringen var att undersöka huruvida det går att mäta nivån i en ledning med kraftig lutning.

Mät punkt D7 låg i en nedstigningsbrunn strax före ett sprängstensmagasin av äldre datum med en infiltrationsledning lagd över magasinet. Magasinet har en tömningsledning som ansluter nedströms till dagvattenssystemet. Det saknas dokumentation kring detta magasin.

Det dräneringsvattenflöde som noterades uppströms magasinet syntes passera magasinet.

Vattennivån i mätpunkt D7 var ca 1 m över vattengången vid installation av mätaren vilket, tillsammans med dräneringsvattenflödet som passerar rakt igenom, tyder på att magasinet är fyllt redan vid torrväder.

Syftet med mätningen i mätpunkt D7 var att, tillsammans med modellen, kunna avgöra magasinets funktion.

Underlag för kalibrering av modellen

Som underlag för kalibreringen har utgått från v/h-mätning i slutpunkten. I övrigt har endast nivåmätning utförts ute i ledningsnätet.

Nederbörden har registrerats vid två mätare med vippskålsvolymen 0,2 mm. En mätare var belägen i områdets nordvästra del (Bollmora) och en i områdets sydvästra del (Bansjöslingan) där den observerade nederbörden kan ses i tabell Bil.3–1. För övrigt se bilaga 1.

Tabell Bil.3–1 Observerade nederbördshändelser under mätperioden

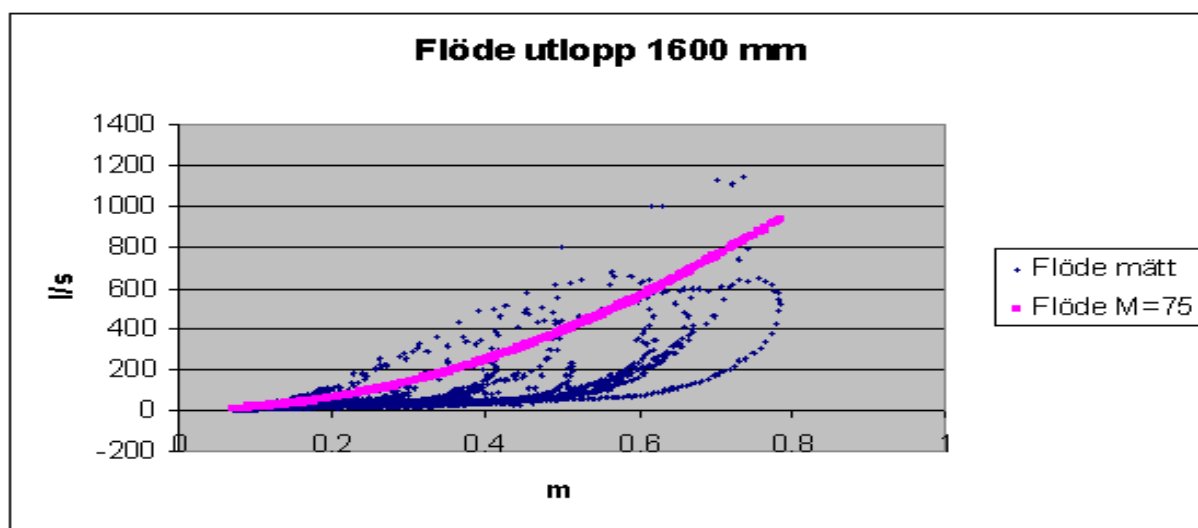
Datum	Bollmora		Bansjöslangan	
	Regnmängd (mm)	Max intensitet 10 min (l/s*ha)	Regnmängd (mm)	Max intensitet 10 min (l/s*ha)
050806	9,8	100	6,8	66
050807	8,0	33	7,0	33
050810	11,6	20	10,8	30
050811	7,2	30	5,5	25
050825	5,8	50	4,2	27
050826	6,6	33	7,5	33
051022	11,8	30	9,9	26
051025	25,8	20	22,4	18
051202-051207	43	7	47	7

Torrvädersflöden/nivåer inom området

En bäck som ansluter i den sydvästra delen av området avleds till dagvattenssystemet uppströms mätpunkt D8. Vattenföring förekommer ständigt i denna bäck. Vid installation av mätare 050805 uppmättes flödet till ca 10 l/s.

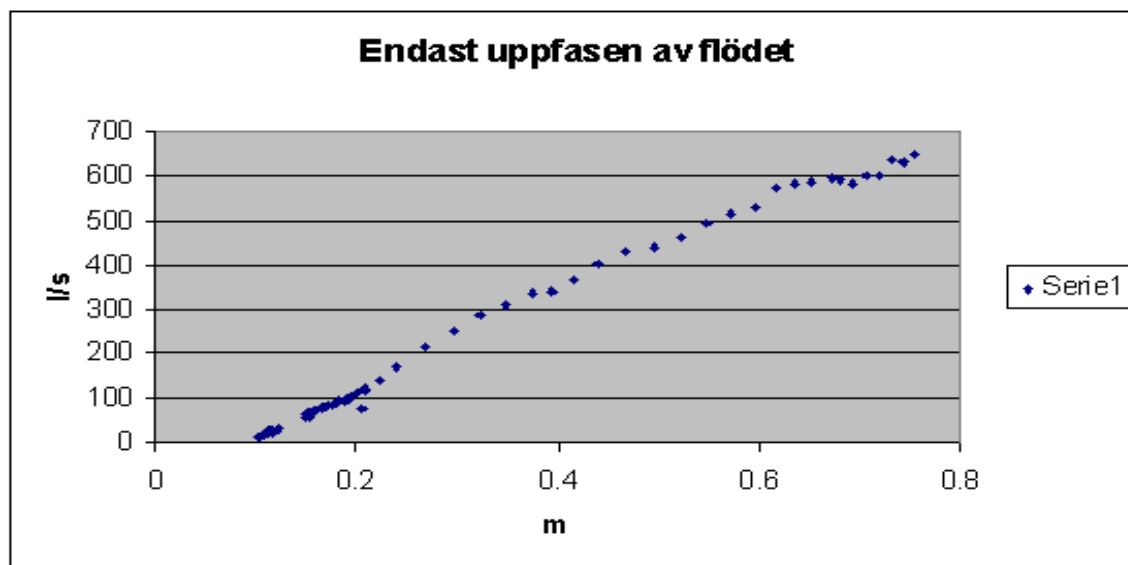
Kvalitetskontroll v/h-mätningen i slutpunkten

Kvalitetskontroll av v/h-mätning i slutpunkten kan göras genom att rita upp nivå/flöde i en scattergraf enligt figur Bil.3–7.

**Figur Bil.3–7** Flöde/nivågraf (blå) med teoretiskt beräknat flöde enligt Manning/Bretting (rosa).

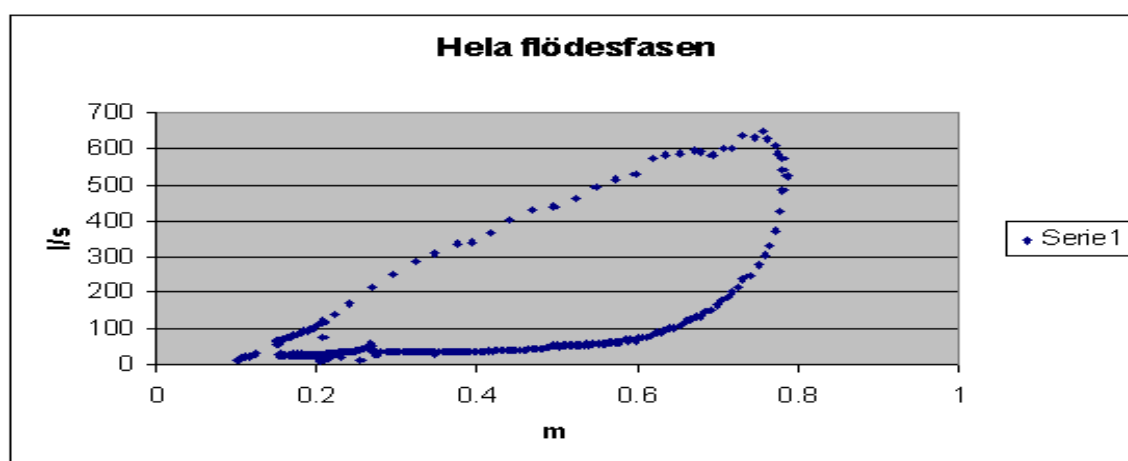
Figur Bil.3–7 har ett typiskt utseende för en scattergraf av nivå och flöde där mätpunkten påverkas av dämning från nedanföriggande system med flera olika flödesvärden för samma nivå.

Den första delen av en flödesökning ger utseende enligt figur Bil.3–8.



Figur Bil.3–8 Uppmätt nivå/flöde i enbart första delen (uppfasen) av en flödeshydrograf vid regn

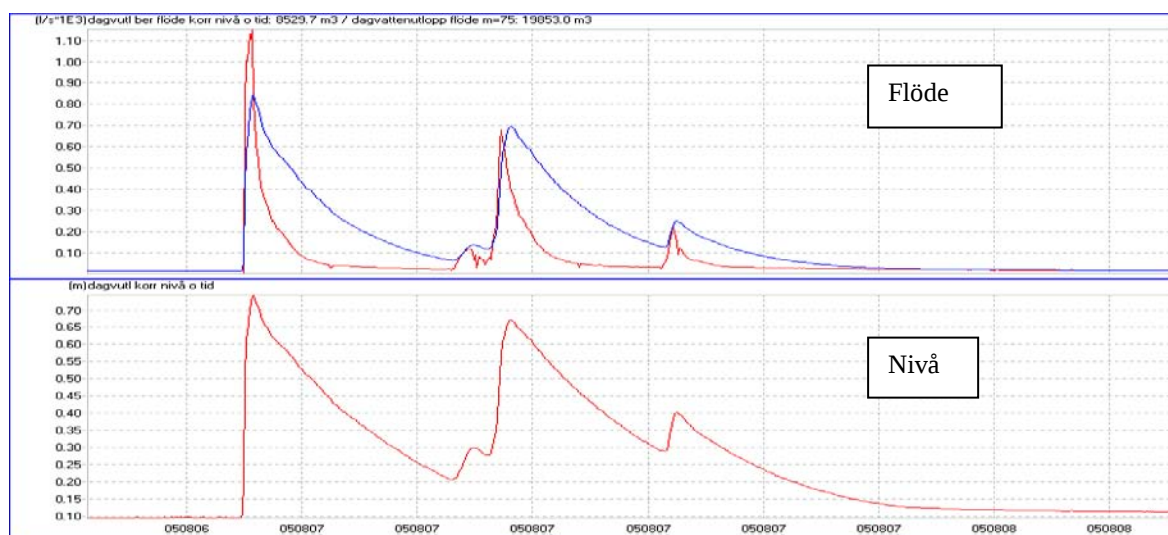
Då grafen kompletteras med resterande flödesvärden till och med nivån innan flödesökningen då nivån återgått till ursprungsläget, innan flödesökningen, får vi utseende på grafen enligt figur Bil.3–9.



Figur Bil.3–9 Uppmätt nivå/flöde i hela fasen av en flödeshydrograf vid regn

I den aktuella mätpunkten gäller således inte en beräkning av nivån utifrån Manning/Bretting för den del där dämningen börjar inträffa.

Hur en sådan jämförelse skulle se ut visas i figur Bil.3–10.



Figur Bil.3–10 Uppmätt flöde och nivå tillsammans med teoretiskt beräknat flöde enligt Manning/Bretting (blå)

I en sådan här mätpunkt är det således vanskligt att enbart mäta nivån och utifrån den beräkna ett teoretiskt värde på flödet. Genom att komplettera med en datormodell och kalibrera in nivån, så fungerar det med att enbart använda sig av nivån.

Beräkning av total ansluten hårdgjord yta hela området

För beräkning av total hårdgjord yta inom avrinningsområdet, användes resultatet från flödesmätningen i utloppet samt de två nederbördsrödmätarna Bansjöslingan respektive Bollmora.

Ansluten yta beräknas som passerad extra nettomängd vid respektive regn dividerat med nederbördsrödmängden (1 mm på en m² ger 1 l).

Beräkningsresultat för total ansluten, hårdgjord yta för området visas i tabell Bil.3–2.

Tabell Bil.3–2 Beräkning av hårdgjord yta mha flödesvolym vid utloppet/nederbörd

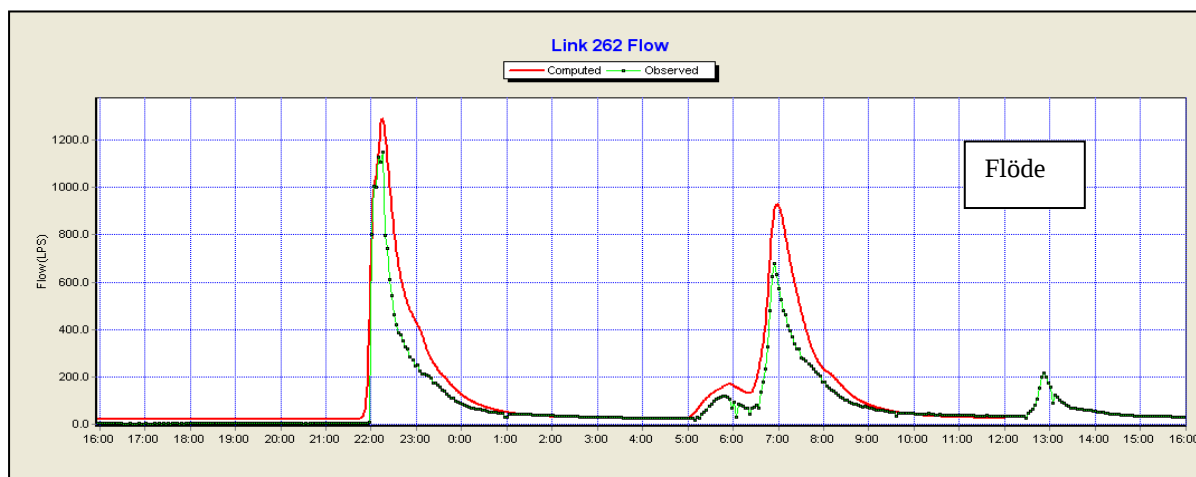
	Nederbörd Bollmora	Beräknad ansluten yta	Nederbörd Bansjöslingan	Beräknad ansluten yta
Datum	(mm)	(ha)	(mm)	(ha)
050806	9,8	34	6,8	54
050807	8,0	36	7,0	44
050810	11,6	44	8,1	49
050811	7,2	44	5,5	63
050825-26	17,2	36	14,4	43

Som synes i tabell Bil.3–2 skiljer det sig åt mellan de två beräkningarna där Bansjöslingans nederbördsrödmätare, belägen sydväst om området, för alla regn påvisar större yta (= mindre regnmängd). Även den beräknade ytan skiljer sig åt för respektive regnrödmätare, vilket tyder på ojämn fördelning av regnet inom området och/eller fel i flödesmätningen.

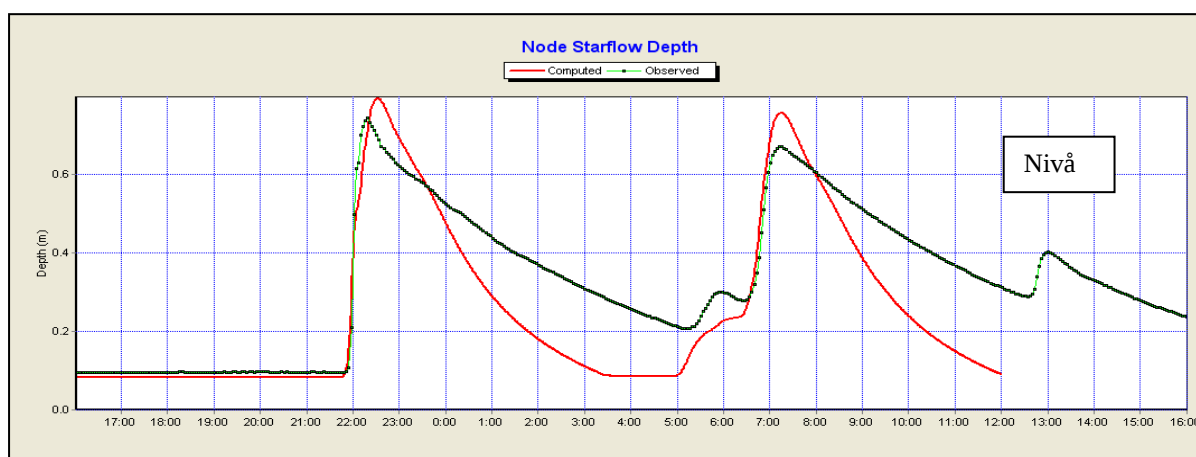
De manuellt inlagda ytorna i modellen har ansatts till ca 44 ha, vilket också använts som utgångsvärde. Detta ger en hårdgörningsgrad om 20 % (områdets totala areal uppgår till 220 ha).

Kalibrering av modellen för nivå/flöde i utloppet

Som utgångsläge kördes ett antal beräkningar med de på förhand inlagda ytorna utan att göra några ändringar mellan beräkningarna. I figur Bil.3–11 och figur Bil.3–12 visas resultatet från utloppet vid totalt ansluten yta om 44 ha.



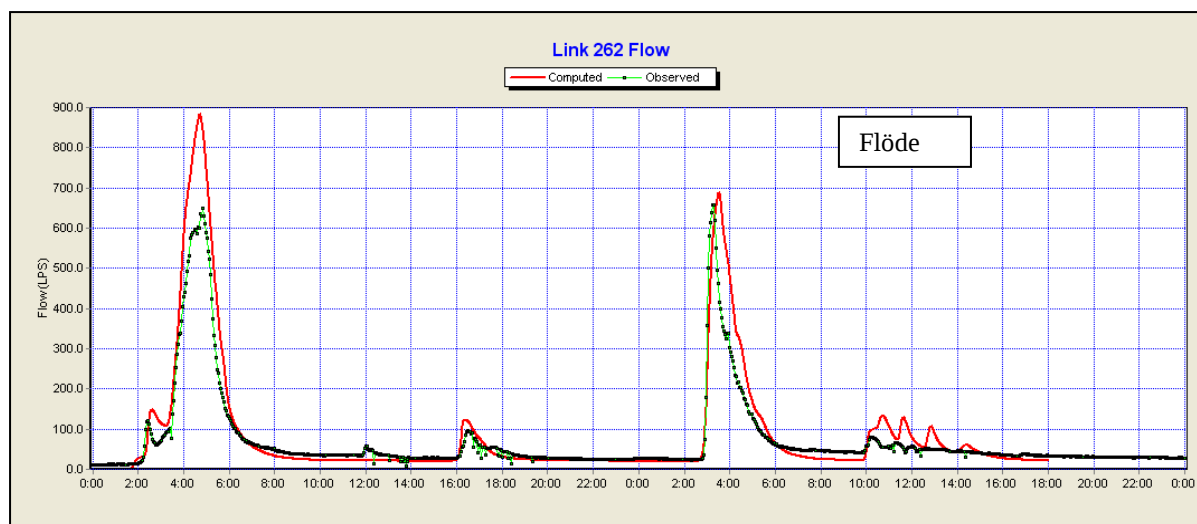
Figur Bil.3–11 Uppmätta flöden (grön) samt modellerade flöden (röd) för regn 05086--07



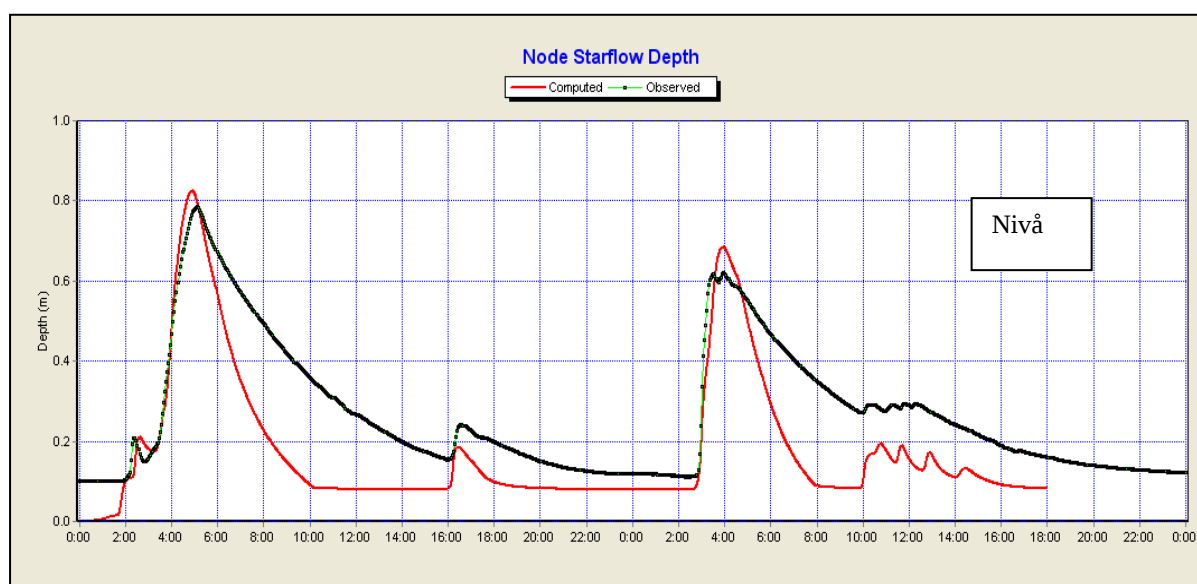
Figur Bil.3–12 Uppmätta nivåer (grön) samt modellerade nivåer (röd) för regn 05086--07

Av figur Bil.3–11 framgår att maxflödet (100 – 200 l/s) är en aning för högt i modellen. Vidare framgår av figur Bil.3–12 att maxnivån (5 – 10 cm) är lite för hög i modellen. Nivån avklingar betydligt långsammare än vad modellen beräknar.

Samma ansats görs för två regntillfällen som inträffade 050810 – 11 där resultatet kan ses i figur Bil.3–13 och figur Bil.3–14.



Figur Bil.3-13 Uppmätta flöden (grön) samt modellerade flöden (röd) för regn 050810–11

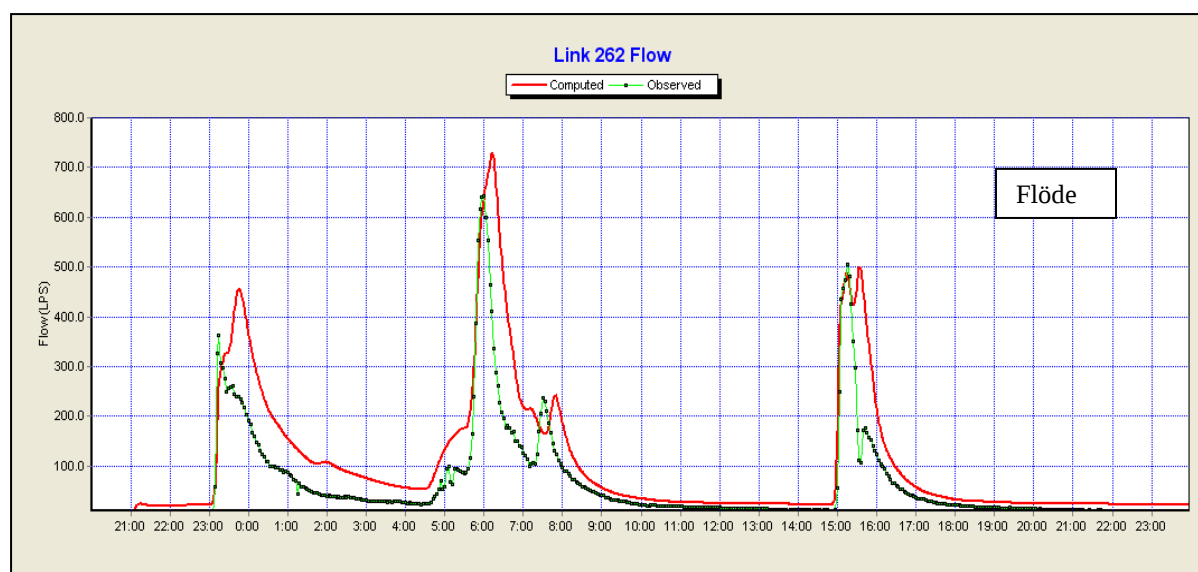


Figur Bil.3-14 Uppmätta nivåer (grön) samt modellerade nivåer (röd) för regn 050810–11

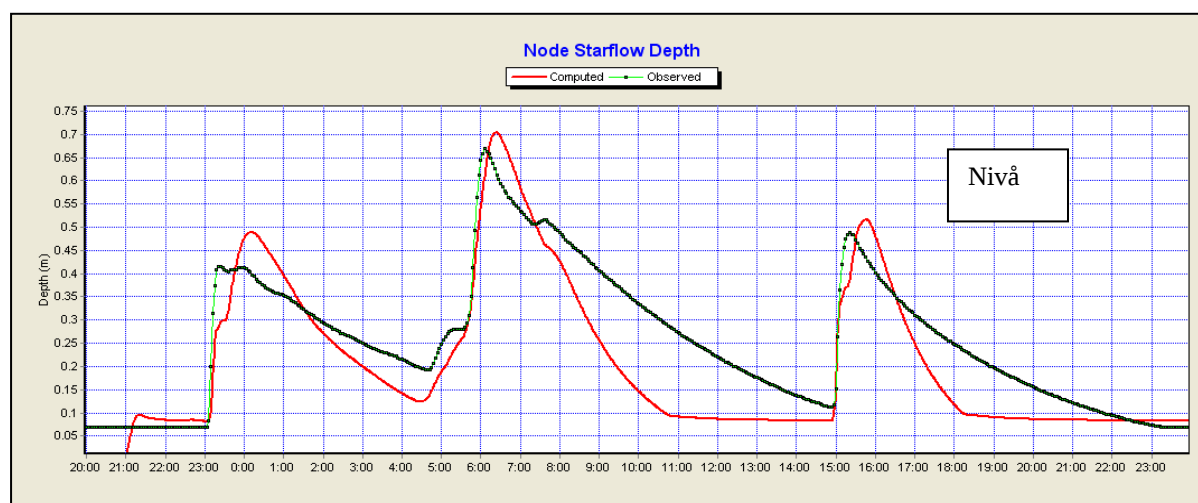
Av figur Bil.3-13 respektive figur Bil.3-14 framgår att skillnaden i maxflöde för första regnet är ca 250 l/s samtidigt som maxnivån stämmer väl överens. För andra regnet stämmer både flöde och nivå relativt bra.

Samma avvikelse sker vid avklingningen av nivån som inte har beskrivits korrekt i modellen.

På liknande sätt görs samma ansats för tre regntillfällen som inträffade 050825 – 26, där resultatet visas i figur Bil.3-15 och figur Bil.3-16.



Figur Bil.3-15 Uppmätta flöden (grön) samt modellerade flöden (röd) för regn 050825–26



Figur Bil.3-16 Uppmätta nivåer (grön) samt modellerade nivåer (röd) för regn 050825–26

Av figur Bil.3-16 framgår att maxnivån är något för hög vid alla tre regntillfällena. Att flödet är något för högt vid de två första regntillfällena framgår av figur Bil.3-15.

Sammanfattning

Modellerad nivå visar bättre korrelation med uppmätt nivå än vad det modellerade flödet visar med det uppmätta flödet. Att flödet visar större avvikelse beror troligen på skillnader i mätvärden mellan de olika regntillfällena. Detta kan också noteras i scatter-grafen för nivå/flöde i figur Bil.3-7.

Sammantaget ger dock den första modellansättningen goda resultat direkt. Genom att gå vidare med att finjustera de inlagda ytorna i modellen kan en ännu bättre korrelation erhållas.

Kalibrering av modellen i nivåmätningpunkterna

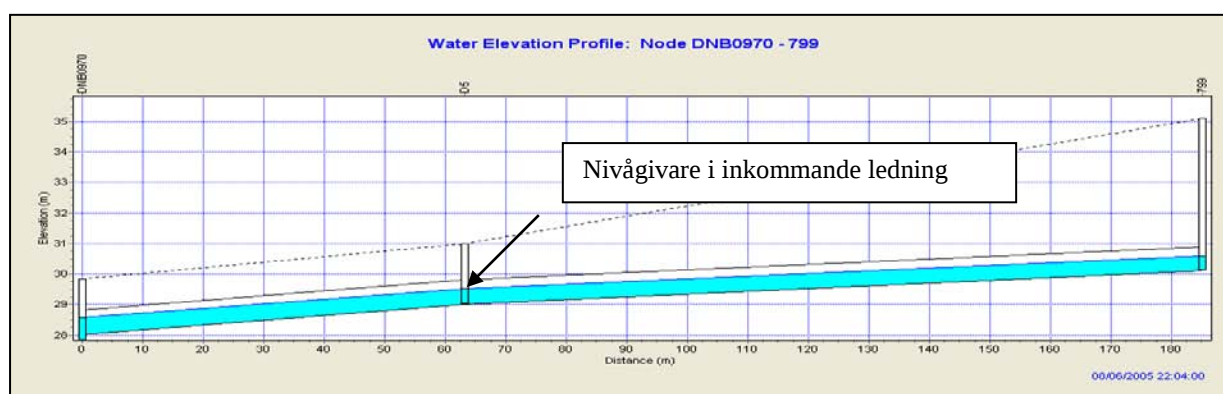
Syftet med den här modellen, som har varit att få ett analysverktyg att använda för att avgöra vilka åtgärder som skall sättas in för att minimera översvämningarna vid golfbanan, är i princip nu uppnått. Projektets hela syfte har dock varit att utreda huruvida det räcker med att endast mäta nivån i övriga mätpunkter för en dagvattenmodell.

I följande redovisning har tonvikten lagts på att presentera de resultat som är intressanta för detta projekt, d.v.s. resultatet från de punkter som valts med syftet att kunna reda ut eventuella svårigheter vid modellanalysen.

Analys mätpunkt D5 – Ø 800 mm

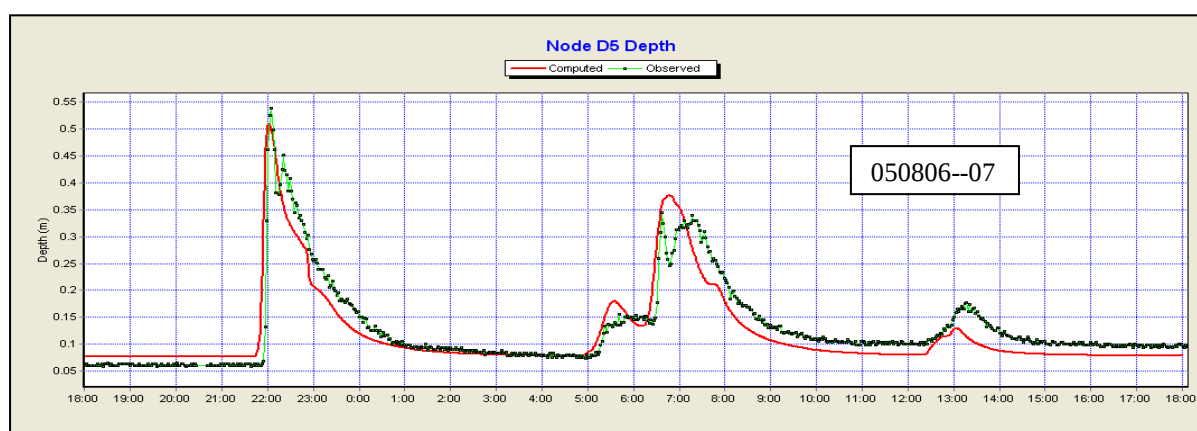
Denna mätpunkt uppfyller alla kriterier för en bra mätpunkt, d.v.s. jämn lutning före och efter brunnen, rakt genomlopp samt inga sidoinflöden.

Ledningsprofil förbi mätpunkt D5 med lutning före mätbrunnen om 8,9 ‰ och lutning efter mätbrunnen om 15,8 ‰ kan ses i figur Bil.3–17.

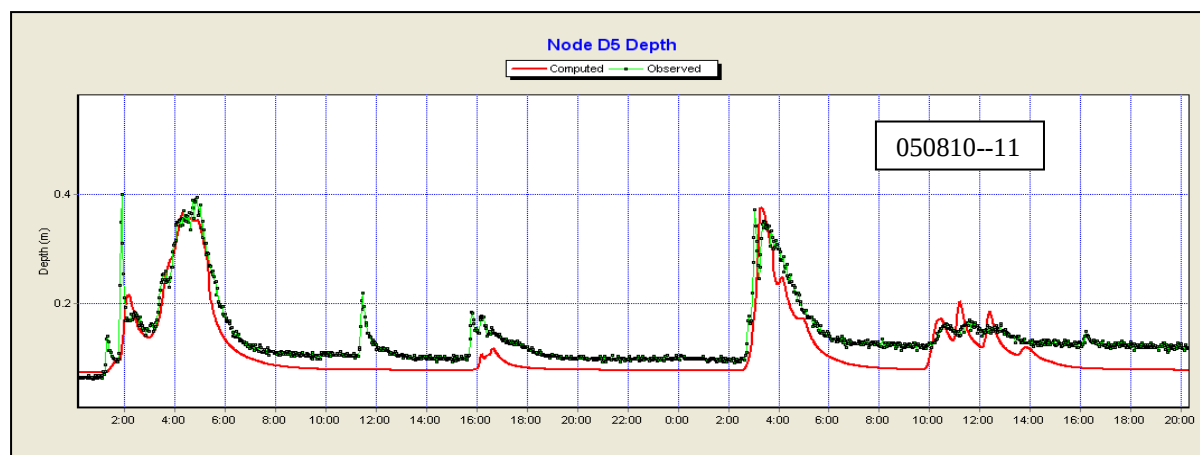


Figur Bil.3–17 Ledningsprofil vid mätpunkt D5

Kalibreringsresultatet för nivån vid två regntillfällen framgår av figur Bil.3–18 respektive figur Bil.3–19.



Figur Bil.3–18 Kalibreringsresultat för mätpunkt D5 vid regntillfälle 050806--07



Figur Bil.3-19 Kalibreringsresultat för mätpunkt D5 vid regntillfälle 050810--11

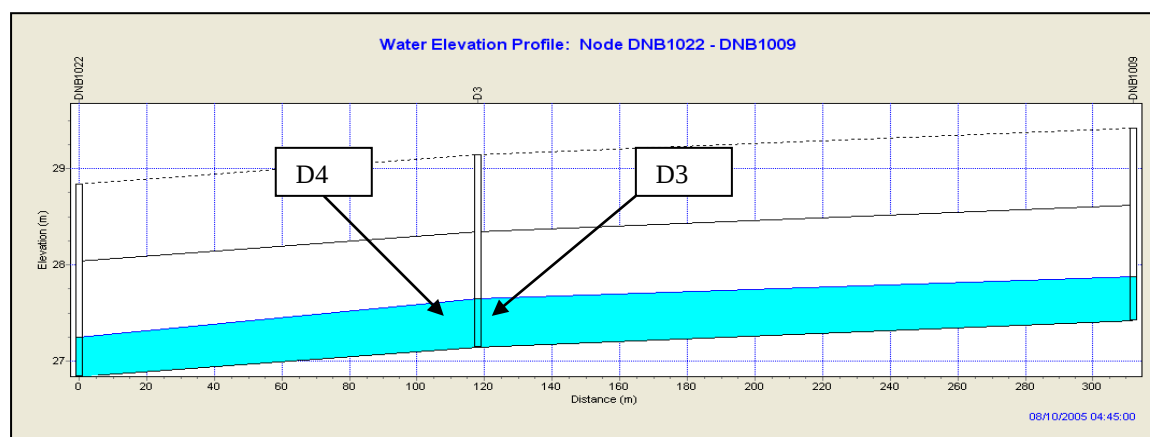
För att uppnå lika god överensstämmelse hos kalibreringen som i figur Bil.3-18 och figur Bil.3-19, har ett basflöde om 20 l/s lagts in uppströms mätpunkten (strax efter magasinet som behandlas senare) samt Mannings tal har satts till 0,015 ($M=67$) för ledningen före brunnen. Hårdgjorda ytor har här samma storlek som vid den första ansatsen.

Analys mätpunkt D3-D4 – Ø 1200 med sidoinflöde

I denna mätpunkt är det en genomgående Ø 1200 mm ledning med en inkommande ledning Ø 800 mm med vinkelrät anslutning.

Ledningsprofil förbi mätpunkt D3 – D4 med lutning före mätbrunnen om 1,4 ‰ och lutning efter mätbrunnen om 2,5 ‰ kan ses i figur Bil.3-20.

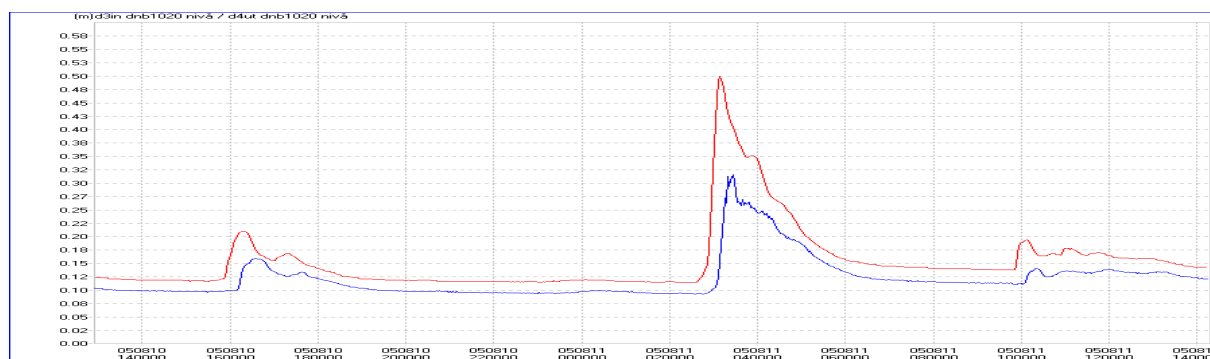
För att kontrollera om och hur stora nivåskillnaderna blir vid ett regn placerades en nivågivare i inkommande ledning och en i utgående ledning. Syftet med detta var dels att mäta den verkliga förlusten som uppstår p.g.a. sidoinflödet, och dels för att kontrollera hur detta skall behandlas i SWMM vid kalibreringen eftersom SWMM inte räknar med någon brunnsvolym eller utbredning.



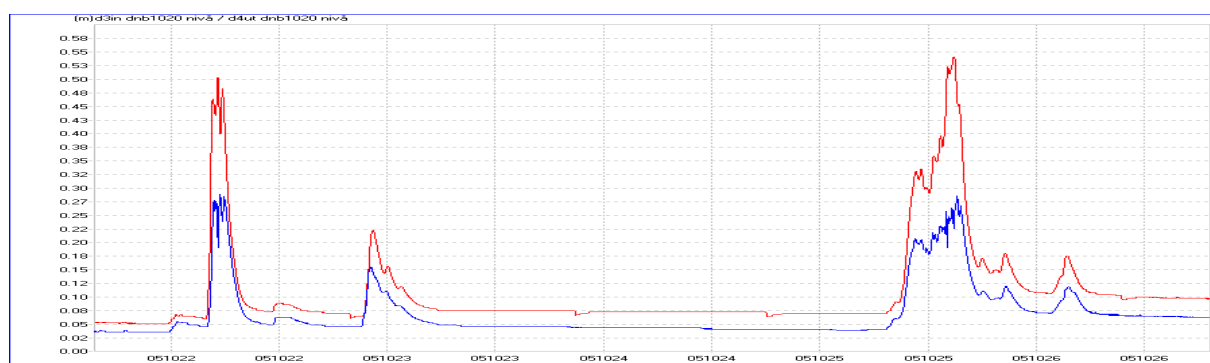
Figur Bil.3-20 Profil för ledningen vid mätpunkt D3 och D4

Vid modelleringen kommer sidoinflödet att vara ca 15 % av det inkommande flödet från huvudledningen.

Vid jämförelse mellan de båda nivåmätningarna utläses att skillnaden i nivåökningen vid regntillfällen är relativt stor mellan de båda mätarna. Detta illustreras i diagram som visas i figur Bil.3–21 samt figur Bil.3–22.

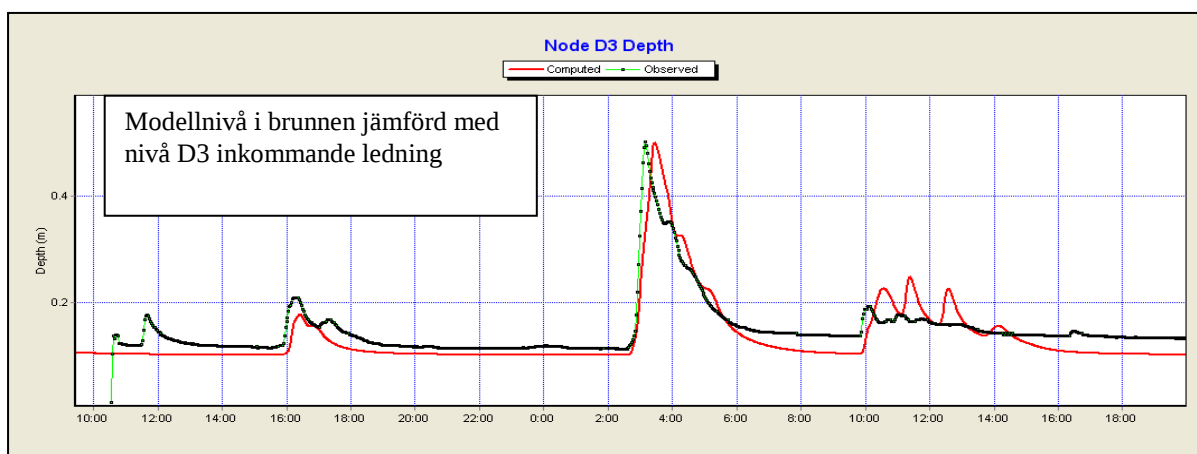


Figur Bil.3–21 Mätresultat från mätpunkterna D3-inlopp (röd) och D4-utlopp (blå) vid regntillfälle 050811

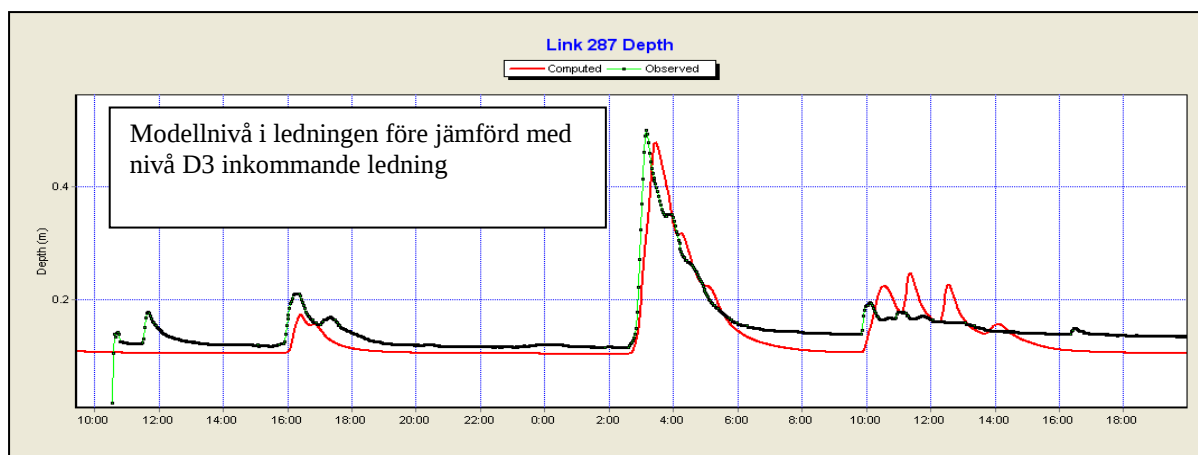


Figur Bil.3–22 Mätresultat från D3-inlopp (röd) och D4-utlopp (blå) vid två olika regntillfällen

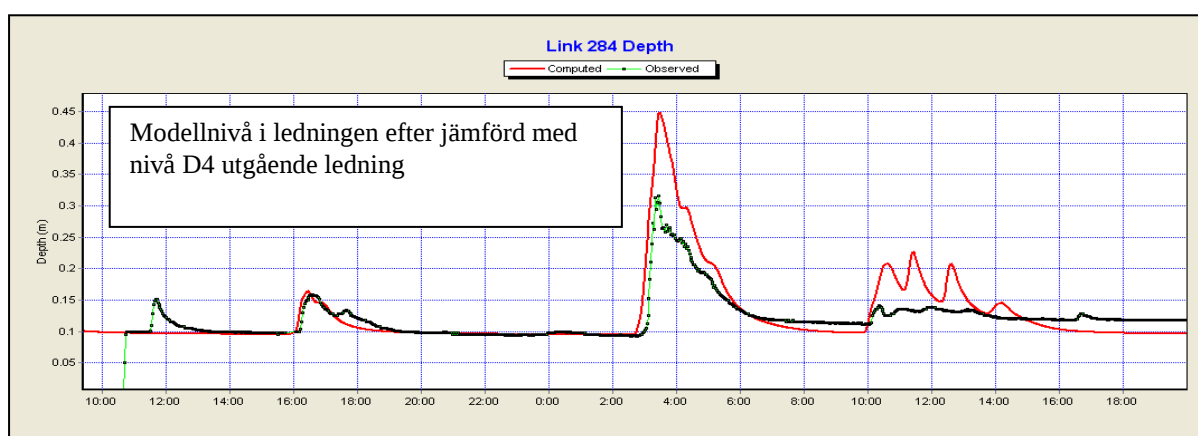
Modelleringen resulterade i figur Bil.3–23, figur Bil.3–24 och figur Bil.3–25 avseende regntillfälle 050810 – 11.



Figur Bil.3–23 Modellnivåer jämförda med mätresultat från givare i mätbrunnen D3 vid regntillfälle 050810–11

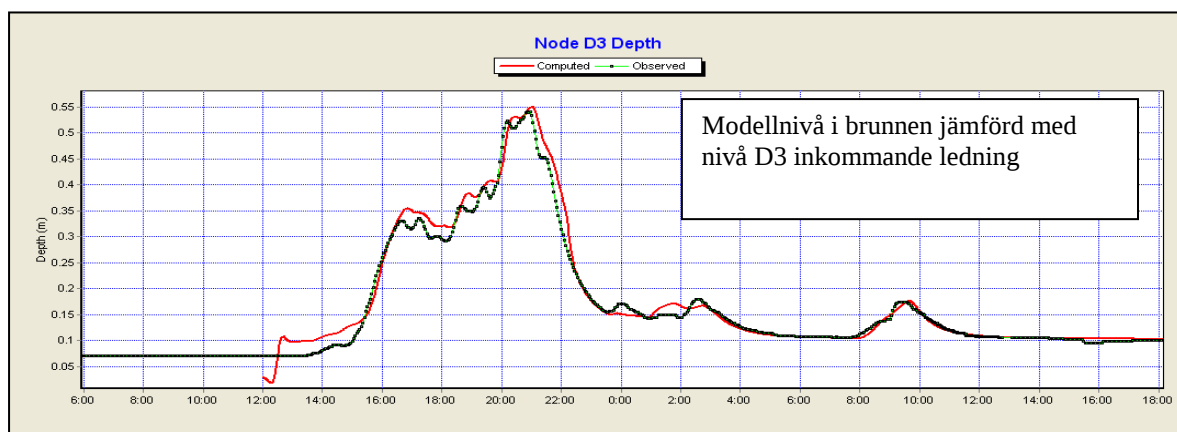


Figur Bil.3-24 Modellnivåer jämförda med mätresultat från givare i inkommande ledning till D3 vid regntillfälle 050810–11

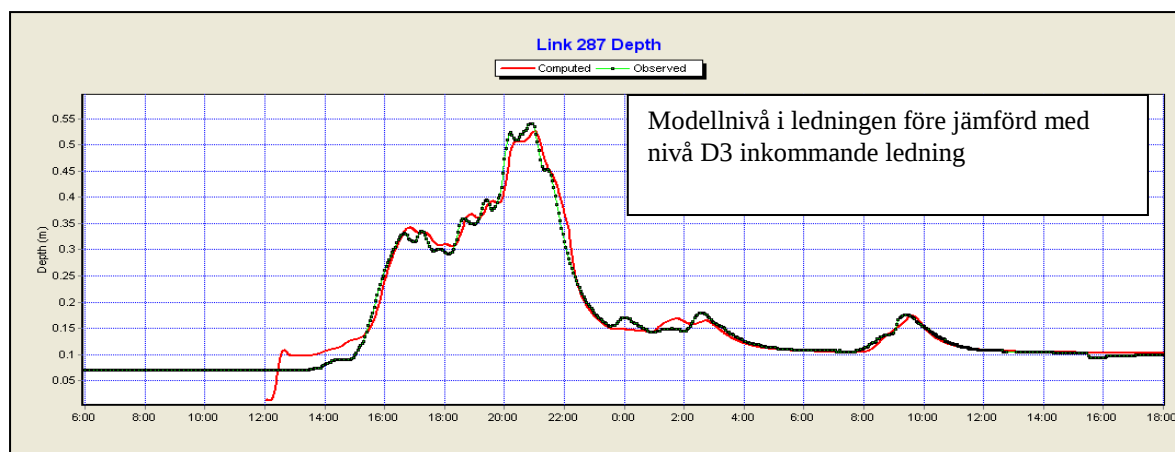


Figur Bil.3-25 Modellnivåer jämförda med mätresultat från givare i utgående ledning till D4 vid regntillfälle 050810–11

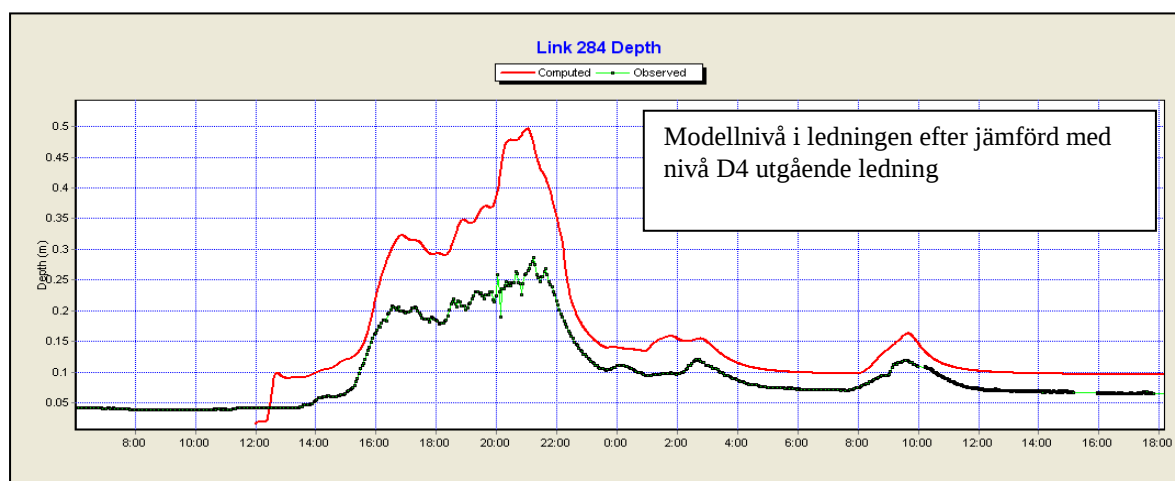
Vidare resulterade modelleringen för regntillfälle 051025 i nivåer enligt figur Bil.3-26, figur Bil.3-27 och figur Bil.3-28.



Figur Bil.3-26 Modellnivåer jämförda med mätresultat från givare i mätbrunnen D3 vid regntillfälle 050825



Figur Bil.3-27 Modellnivåer jämförda med mätresultat från givare i inkommande ledning till D3 vid regntillfälle 050825



Figur Bil.3-28 Modellnivåer jämförda med mätresultat från givare i utgående ledning till D4 vid regntillfälle 050825

Modellen är exakt densamma som använts för utloppet och för mätpunkt D5 ovan (belägen uppströms D3-D4). Mannings tal för ledningen är = 0,013 ($M=77$) både före och efter mätbrunnen.

De två modelleringstillfällena visar mycket god överensstämmelse mellan modellnivå i brunnen och uppmätt nivå i inkommande ledning. Modellnivån i ledningen är nästan densamma som modellnivån för brunnen. Det skiljer 1 – 2 cm vid maxtoppen.

Däremot skiljer sig uppmätt nivå i utgående ledning helt ifrån modellerad nivå i utgående ledning (och modellerad nivå i brunnen). Detta gäller genomgående för alla regn som testats. Således borde det inte vara ett nivåmätningsfel, eftersom givaren kontrollerats ett par gånger under mätperioden, om än endast vid basflöde.

Vidare konstateras att sidoinflödet inte påverkar kalibreringen i mätpunkten. Resultatet blev korrekt direkt utan några modelleringsknep.

Analys mätpunkt D6 – kraftig lutning

Mätpunkten utgjordes av en Ø 500 mm-ledning med lutningen 40 ‰ före mätbrunnen och 56 ‰ efter mätbrunnen. En nivågivare placerades vinkelrätt mot vattengången utmed rörets innervägg.

Tanken med placeringen var att utreda om det går att mäta i en sådan punkt.

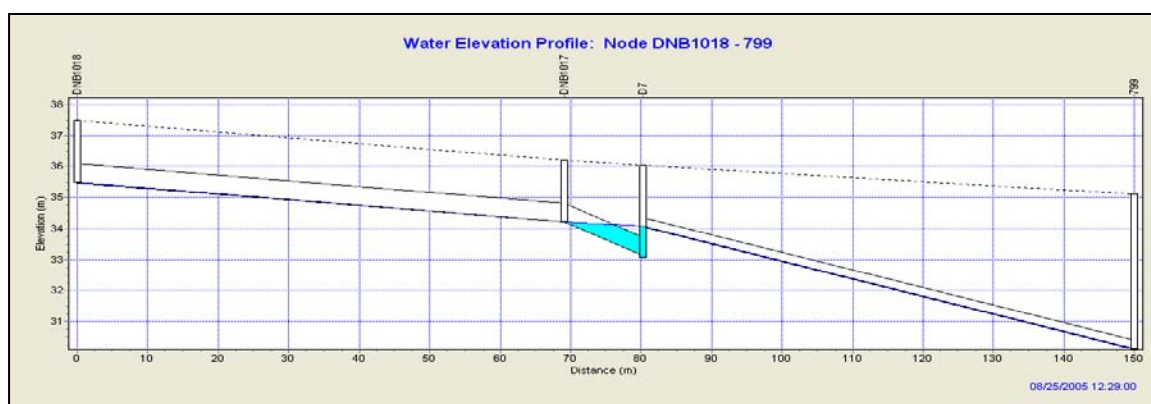
Resultatet blev att detta inte gick. Inget användbart resultat kunde registreras. Om detta berodde på nivågivaren eller något annat kan inte utläsas.

Klart är att modellen vid regn påvisar en nivåökning om uppemot 20 cm, så något mer än de 5 – 10 mm som registrerades borde det blivit. Troligen berodde detta fel på givarens placering.

Analys mätpunkt D7 – strax före ett sprängstensmagasin

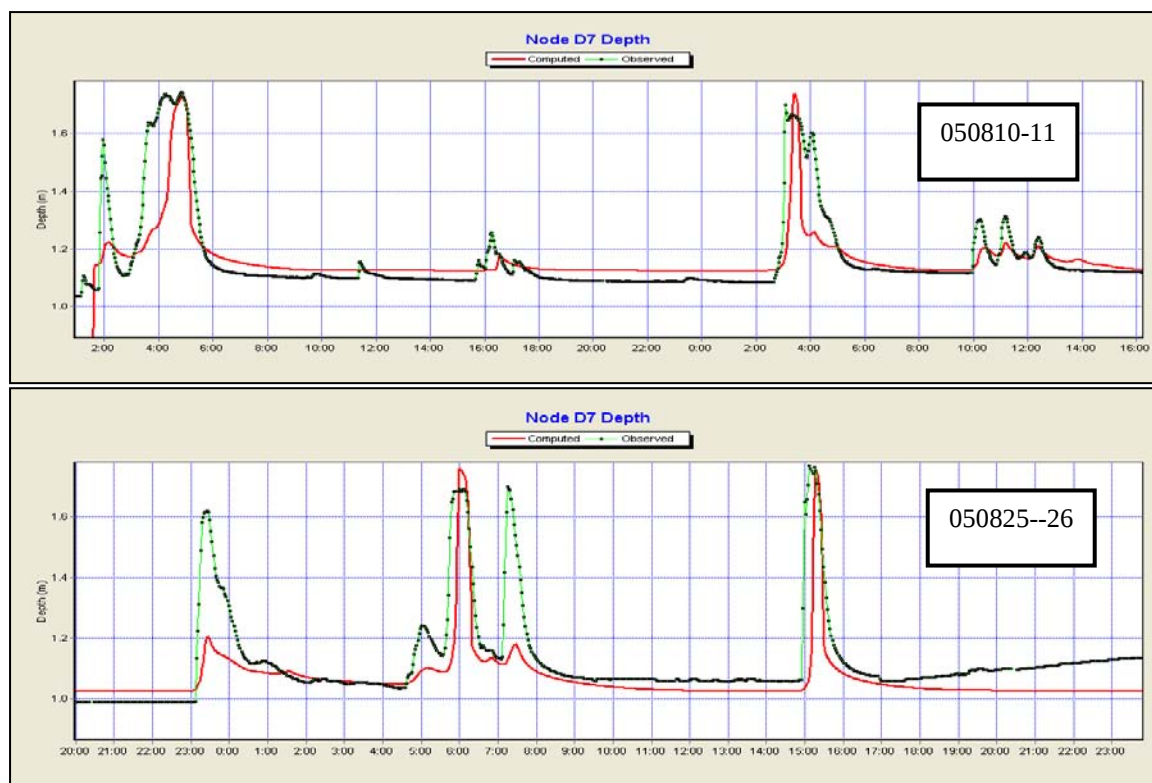
Ett flertal varianter av magasinutformning (som var okänd) har testats. Bäst resultat har erhållits om tömningsledningen satts till 300 mm med Mannings tal = 50, samt att tömningsledningen ansluter direkt till mätpunkt D7 utan någon magasinvolym.

Den enda magasineringen blir då det som däms upp i dagvattenledningen Ø 800 mm uppströms magasinet. Tömningsledningen har fått en offset om 1,0 – 1,1 m över vattengång för mätpunkt D7 enligt profil i figur Bil.3–29.



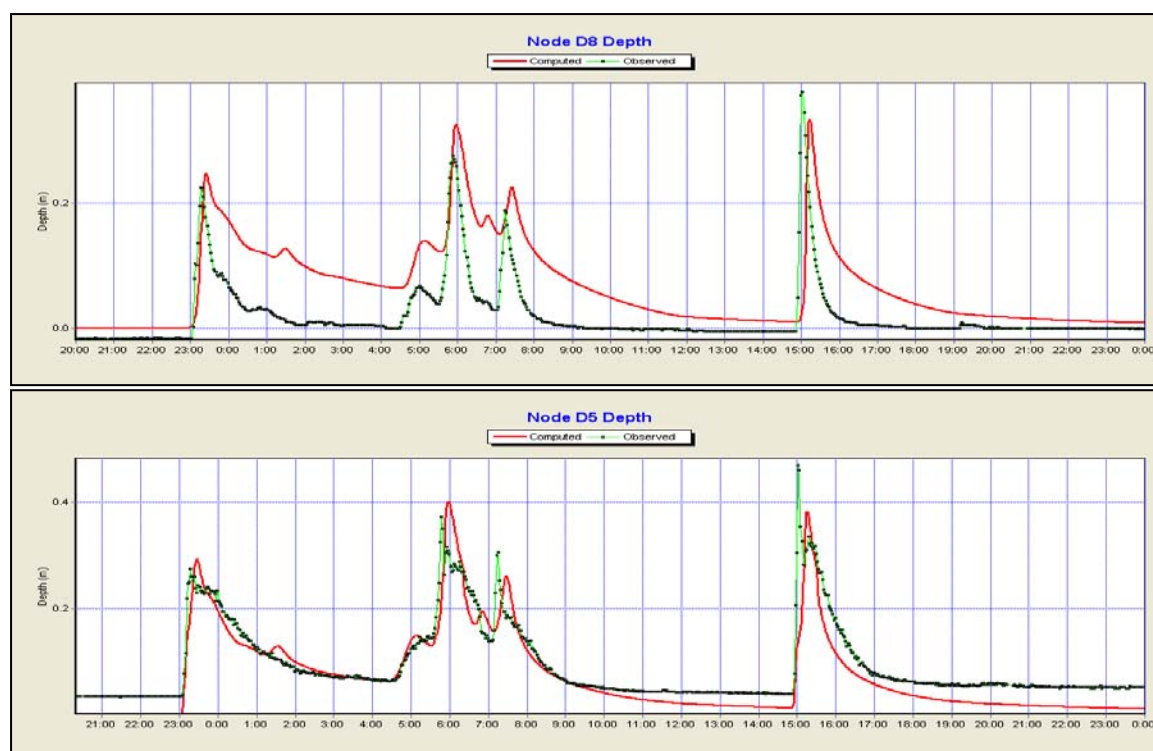
Figur Bil.3–29 Profil genom mätpunkt D7 och sprängstensmagasinet

Resultatet av simuleringen för två regntillfällen (050811 – 11 samt 050825 – 26) visas i figur Bil.3–30.



Figur Bil.3–30 Simulering av nivån i D7 före ett sprängstensmagasin med okänd funktion

I figur Bil.3–30 kan noteras att överensstämmelsen är ojämn. För vissa nivåtoppar stämmer det relativt bra, medan det för andra stämmer dåligt. I figur Bil.3–31 jämförs resultatet från nivåmätningarna D8 (uppströms D7) samt D5 (nedströms D7) för regnet 050825 – 26.



Figur Bil.3–31 Simuleringsresultat (röd) samt uppmätta nivåer (grön) för mätpunkt D8 (uppströms D7) samt mätpunkt D5 (nedströms D7)

Det kan konstateras att magasinet inte fungerar som ett traditionellt magasin. Det verkar som om det endast sker en fördröjning p.g.a. den klenare utloppsledningen.

Här skulle en flödesmätning före och efter magasinet behövts för att få en bättre förståelse för magasinets funktion.

Erfarenheter

Anmärkningsvärt är den stora träffsäkerheten vid inläggningen av hårdgjorda ytor och att dessa inte behövde ändras någonting efter första ansatsen.

Noterbart är också de goda kalibreringsresultat som erhöles genom att enbart utgå från nivån. I slutpunkten satt en v/h-mätare, men resultatet hade blivit detsamma om man enbart använt en nivåmätare.

En annan reflektion är att nivåmätning i inloppet till en brunn med stort sidoinflöde i detta fall inte hade någon inverkan på kalibreringen.

Bilaga 4 – Spillvattenledningsnät i Sturefors, Linköpings kommun

Allmänt om undersökningsområdet

Sturefors, Linköping kommun, är en mindre tätort någon mil söder om Linköping med omkring 2 500 personer anslutna till spillvattenledningsnätet, som i huvudsak är ett s.k. duplikat system.

Spillvattenledningsnätet avbördas till det tidigare reningsverket i södra delen av samhället som idag utgörs av en pumpstation, varifrån avloppsvatten pumpas vidare till avloppsverket i Linköping.

Det finns ytterligare en mindre avloppspumpstation i samhällets norra del med endast ett fåtal fastigheter anslutna.

Vid slutpumpstationen mäts utpumpat flöde med hjälp av en elektromagnetisk flödesmätare ansluten till driftövervakningssystemet.

Vid slutpumpstationen finns också en nederbördsgivare med 0,2 mm vippskål. Även den är ansluten till driftövervakningssystemet.

Spillvattenledningsnäten i Sturefors avbördar vissa tider på året stora mängder tillskottsvatten, vilket gör att ledningsnätets kapacitet nått sin maximala avbördning vid dessa tider.

Eftersom det förväntas ske ytterligare bostadsutbyggnad inom tätorten är det önskvärt att dessa tillskottsvattenmängder minskar.

Under våren/försommaren 2007 genomfördes denna utredning med syftet att lokalisera inom vilka delområden av spillvattenledningsnäten dessa tillskott av vatten sker. Efter som fältundersökningarna påbörjades efter avslutad snösmältning är det i första hand tillskotten av regnvatten till spillvattennäten som undersökts.

Skapa datormodell för ledningsnätet

Indata till modellen har erhållits från ledningsregistret över spillvattennätet (x, y, z för brunnar, diameter och material för ledningar).

Datormodellen har skapats genom anpassning av datafilerna från ledningsregistret till det format som SWMM använder. Med hjälp av en wmf-fil över spillvattennätet som bakgrund har manuella kompletteringar gjorts direkt i modellen (skärmdigitalisering). Likaså har manuella kompletteringar gjorts avseende in- och utgående ledningars nivåer i nedstigningsbrunnar.

Pumpstationen SPU6102 (Gamla reningsverket i Sturefors) har lagts in summariskt eftersom ritningar saknas. Bottennivå samt till- och frånslagsnivåer är dock inmätta medan sumpvolym och form antagits.

Val av mätpunkter

Fältmätningarna har inkluderat följande:

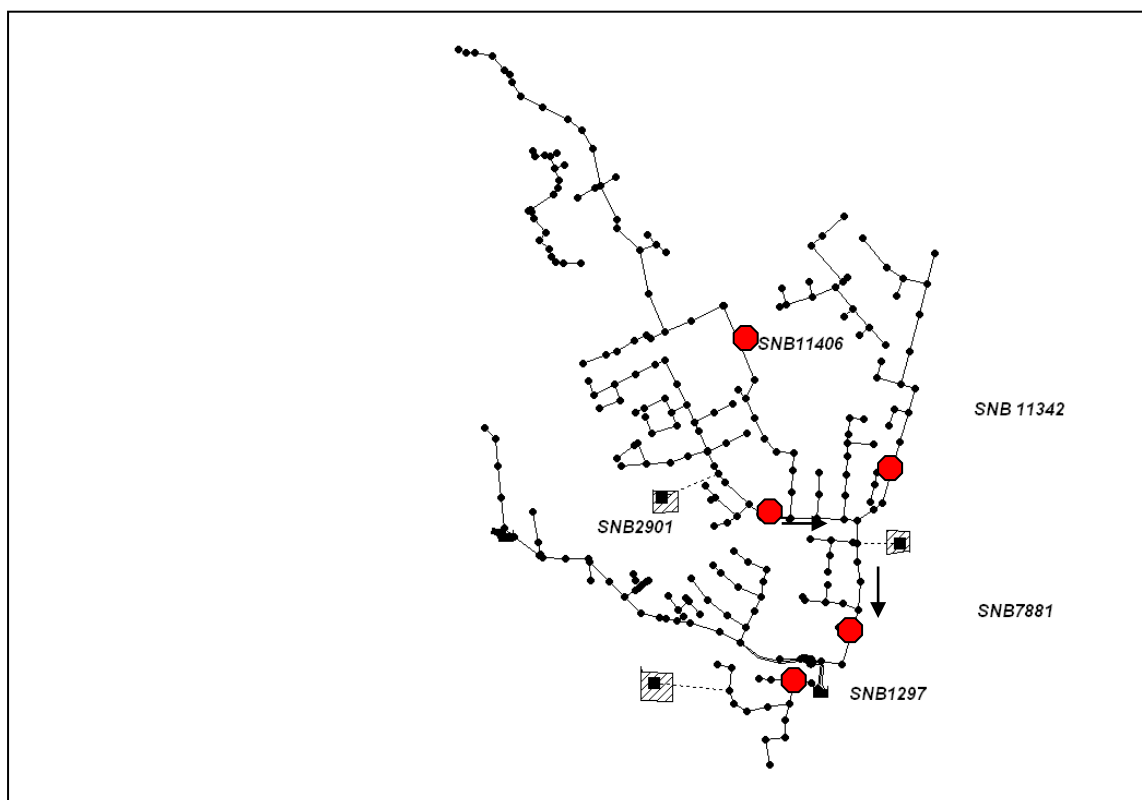
Nivåmätning med dataloggern VeALogg, samt tryckgivare i totalt fem nedstigningsbrunnar. Loggningsintervallet har varit 3 min (medelvärde av sammanlagt 24 samplingar, var 7,5:te sekund).

Händelseregistrering av start och stopp av pumpar har skett med dataloggern VeALogg.

Mätperiod: 070326 – 070622

Mätvärden från övervakningssystemet:

- Utpumpat flöde (elektromagnetisk flödesmätare) vid SPU6102, Gamla reningsverket. Momentanvärde var femte minut.
- Nivåvariationen i pumpsumpen.
- Beräknad tillrinning till SPU6102.
- Nederbördsdata i form av tidsstämplingar för varje vippning. Vippvolym 0,2 mm. Givaren placerad vid SPU6103 Stenbergsvägen.



Figur Bil.4–1 Nivåmättningspunkter i Sturefors

Nederbörd/beräknad hårdgjord yta – analysmetodik

För analysarbetet har fyra regntillfällen valts ut enligt tabell Bil.4–1.

Tabell Bil.4–1 Regntillfällen i Sturefors med beräknad ansluten, fiktiv yta

Datum	Regnmängd (mm)	Maxintensitet 10 min (l/s*ha)	Beräknad ansluten fiktiv yta (ha)
070513	7,7	60	1,0
070521	13,9	55	1,2
070601	33,8	60	1,5
070617	21	18	1,2

Trots den relativt långa mätperioden fanns det bara fyra regntillfällen som kunde användas i analysen. Analysen visar dock relativt bra resultat där regnet 070601 med den stora regnmängden avviker från övriga.

Första steget var att bestämma den totala fiktiva hårdgjorda yta som är ansluten till spillvattenledningsnätet.

För respektive nivåmätningsspunkt kan ett närmevärde för flödet beräknas utifrån ledningsdimension, Mannings tal samt ledningslutning via Mannings formel och Brettings delfyllnadskurva, se vidare i kapitel 4.5 i huvuddokumentet.

Utifrån denna flödesberäkning bestämdes därefter en fiktiv hårdgjord yta uppströms respektive nivåmätningsspunkt, se tabell Bil.4–2. Av tabellen kan bl.a. konstateras att två av mätpunkterna inte visar någon påverkan alls och därmed kan uteslutas i fortsättningen.

Tabell Bil.4–2 Beräknad ansluten, hårdgjord yta uppströms mätpunkten

Mätpunkt	Uppströms ansluten hårdgjord yta (ha)
SNB7881	1,0
SNB2901	0,6
SNB11342	Ingen märkbar påverkan
SNB11406	Ingen märkbar påverkan
SNB1297	0,25
SPU6102	1,0-1,5 ha

Dessa närmevärden användes sedan som startvärden vid modellberäkningarna. Efter hand anpassas värdena tills beräkningsresultat som överensstämmer bra med verkligt uppmätta nivåer och flödet i slutpunkten erhålls.

Mätresultat – kalibrering av modell

Torrvädersflöden/-nivåer inom området

Vattenförbrukningen i Sturefors är ca 400 m³/d (= ca 4,6 l/s). Spillvattenflödet har antagits till detta värde. Det har fördelats i 15 punkter ute på nätet.

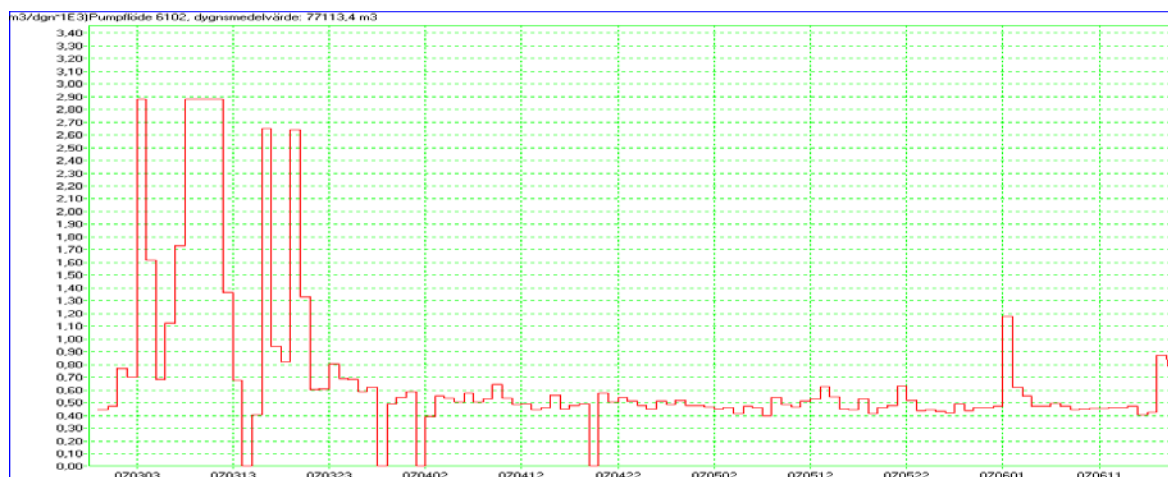
Läck- och dräneringsvattentillskottet har bedömts uppgå till 0,5 l/s, fördelat i 5 punkter på nätet.

Kalibrering av inflödet i slutpumpstationen SPU6102

I slutpumpstationen, SPU6102, finns en elektromagnetisk flödesmätare på utgående tryckledning. Flödesmätningen kan därmed anses vara tillförlitlig.

Här registreras i driftövervakningssystemet nivåförändringen i pumpsumpen, utgående flöde samt beräknat tillflöde.

I diagrammet i figur Bil.4–2 visas utpumpat flöde (dygnsmedelvärden) from mars-07 till mätperiodens slut (mätningen i brunnar påbörjades 070326).



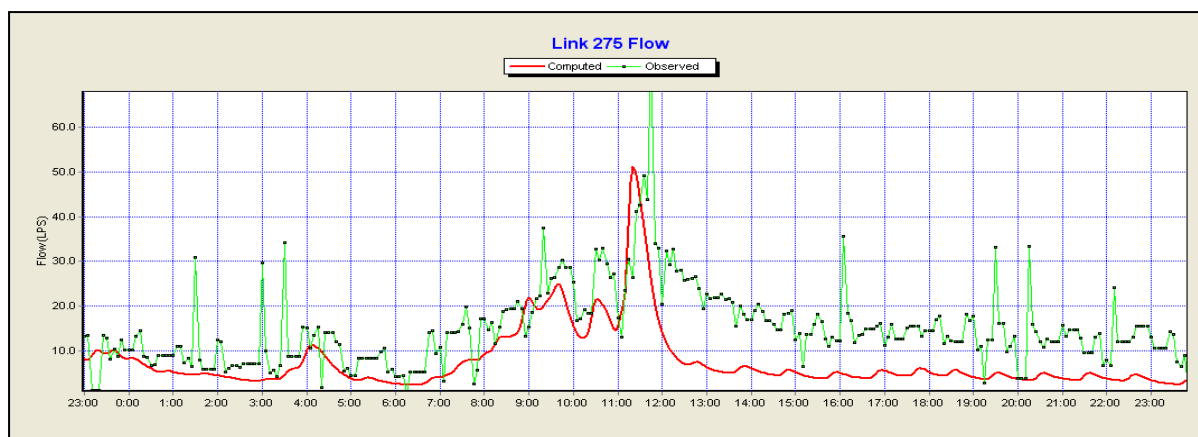
Figur Bil.4–2 Utpumpat dygnsflöde från slutpumpstationen SPU6102

Snösmältningen i början/mitten av mars påverkar avbördad avloppsvattenmängd markant. Som mest ökar flödet till knappt 3 000 m³/d jämfört med mätperioden april-juni, då dygnsflödena konstant ligger omkring 500 m³/d. Vid snösmältningen går en av pumparna konstant flera dygn i sträck. Pumpflödet uppgår då till drygt 30 l/s (ca 2 800 m³/d).

Nivån i pumpsumpen har som mest under mätperioden varit uppe på nivån +1,30 meter (070601). Normal tillslagsnivå är ca +1,10 m.

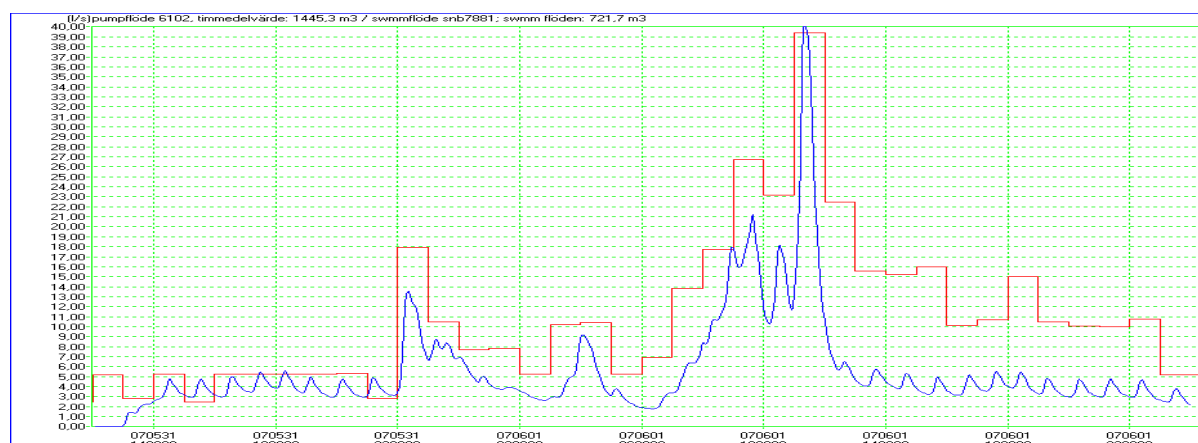
Noteras kan att under dygnet 070601, då det föll drygt 30 mm regn med relativt hög intensitet, var totala dygnsmängden ca 1 200 m³/d, en ökning om ca 800 m³/d från föregående dygn. För en yta om ca 1,5 ha ger detta regn endast ett totalt direktillskott om ca 450 m³/d.

Detta indikerar således stora indirekta vattentillskott till spillvattennätet anslutet till SPU6102.



Figur Bil.4-3 Beräknad tillrinning via övervakningssystemet (grön) tillsammans med modellerat tillflöde (röd).

Noterbart är det ökade basflödet efter att regnvattnet avrunnit.



Figur Bil.4-4 Utpumpat flöde SPU6102(röd) samt beräknat flöde SNB7881(blå) den 1 juni

I figur Bil.4-3 görs en jämförelse mellan beräknat/modellerat inflödet in till SPU6102. Samtidigt jämförs i figur Bil.4-4 det beräknade SWMM-flödet förbi SNB7881 med motsvarande utpumpat flöde.

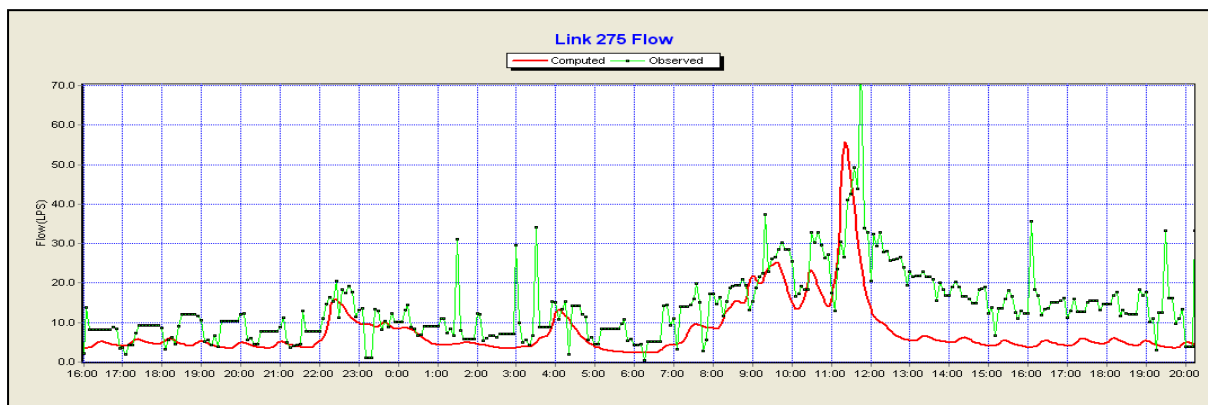
God överensstämmelse råder hos direkt regnvattentillskott, medan SWMM-modellen inte hanterat det indirekta tillskottet, vilket framgår väl av utpumpat flöde/beräknat tillflöde SPU6102. Noteras bör att modellen är upplagd för att endast beräkna ytavrinningen.

Resultatet indikerar vad som sagts tidigare, nämligen att ledningsnätet påverkas indirekt vid stora nederbördsmängder i form av inläckage- samt dräneringsvattentillskott.

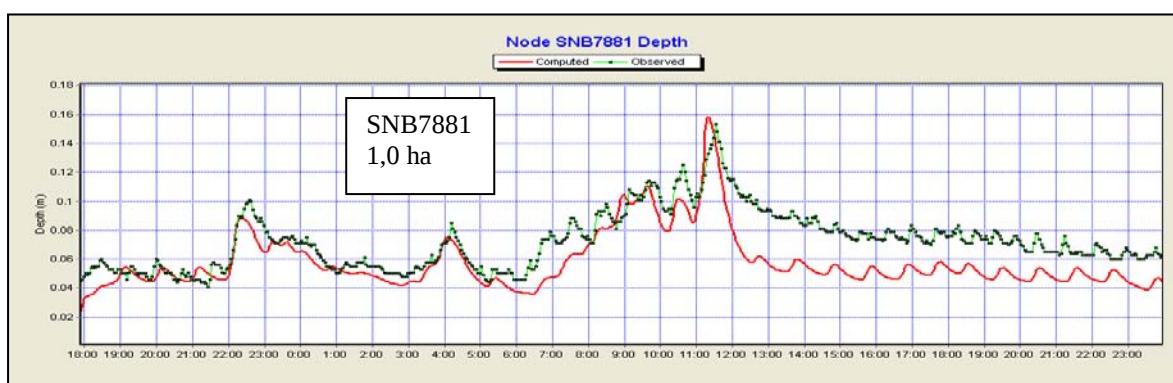
Jämförelse mellan modellerat flöde från en nivåmättningspunkt och flödet vid slutpunkten kan göras för kontroll av tillförlitligheten.

Kalibrering av modellen i nivåmätningpunkterna

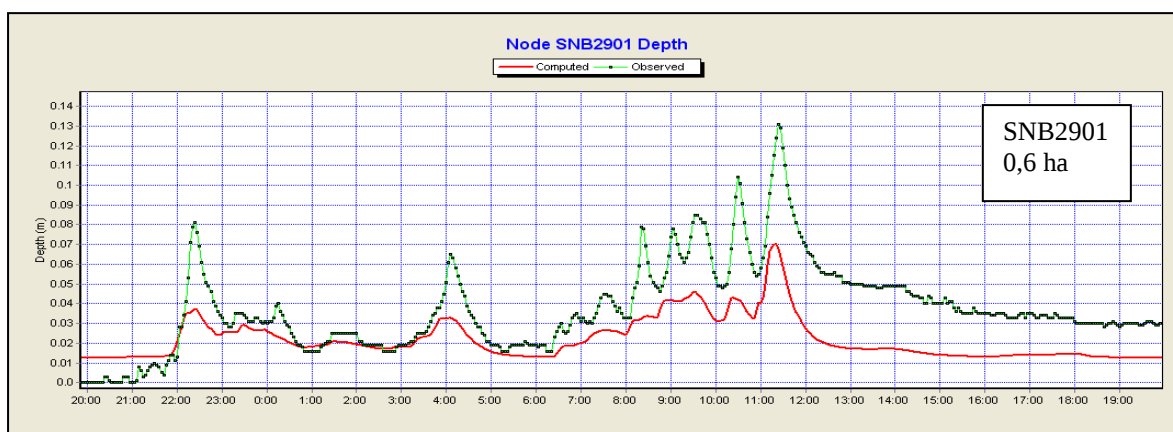
Fortsättningsvis visas kalibreringsresultat för två olika regn i de mest intressanta nivåmätningpunkterna. I figur Bil.4–5 visas modellerat och uppmätt (beräknat) flöde för regntillfälle 070601. I figur Bil.4–6 – 9 visas modellerade och mätta nivåer vid samma regntillfälle.



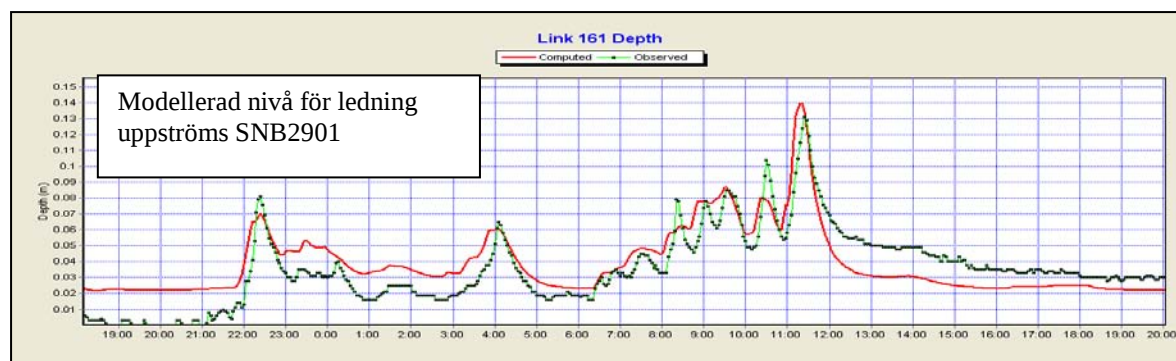
Figur Bil.4–5 Modellerat flöde (röd) samt beräknad tillrinning till SPU6201 från övervakningssystemet (grön) vid regn 070601.



Figur Bil.4–6 Modellerad nivå (röd) samt mätt nivå (grön) i SNB7881 vid regn 070601.

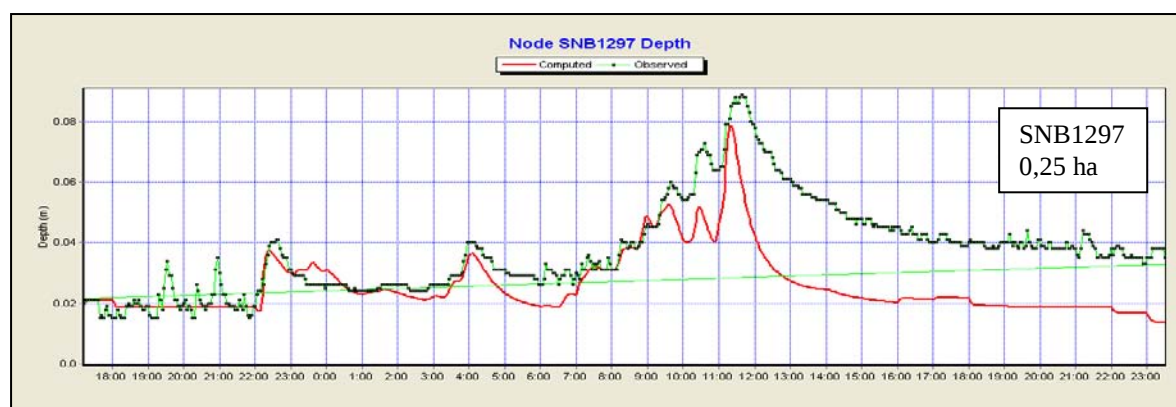


Figur Bil.4–7 Modellerad nivå (röd) samt mätt nivå (grön) i SNB2901 vid regn 070601



Figur Bil.4-8 Modellerad nivå (röd) för ledningen uppströms SNB2901 samt uppmätt nivå (grön) i inkommande ledning SNB2901 vid regn 070601

Noterbart är det speciella förhållande som råder för SNB2901 där mätt nivå har jämförts med både modellerad nivå i mätbrunnen, men också med modellerad nivå för ledningen. Detta kommenteras vidare nedan.

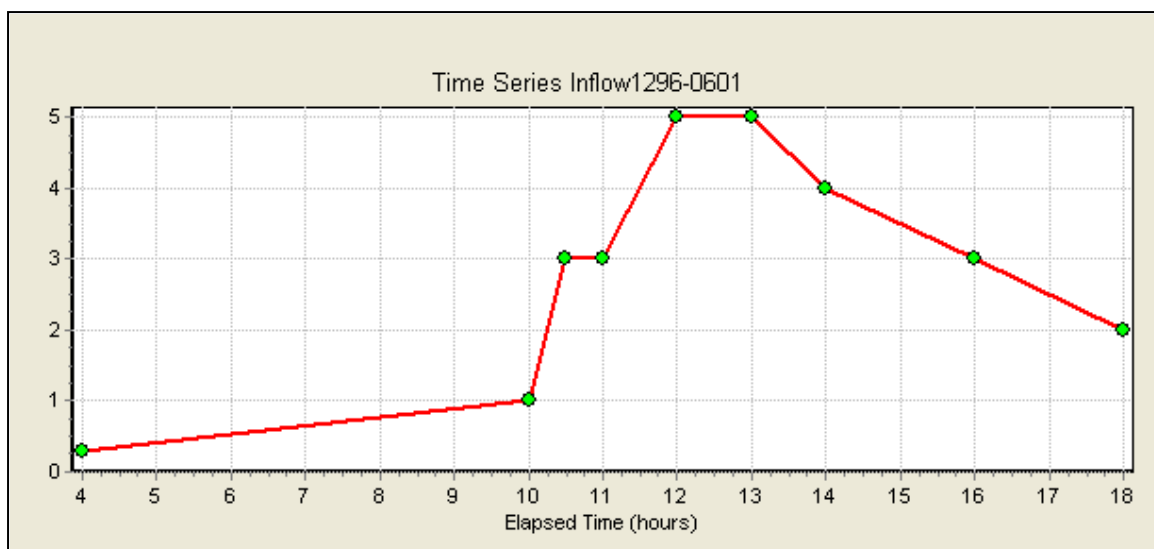


Figur Bil.4-9 Modellerad nivå (röd) samt uppmätt nivå (grön) i SNB1297 vid regn 070601

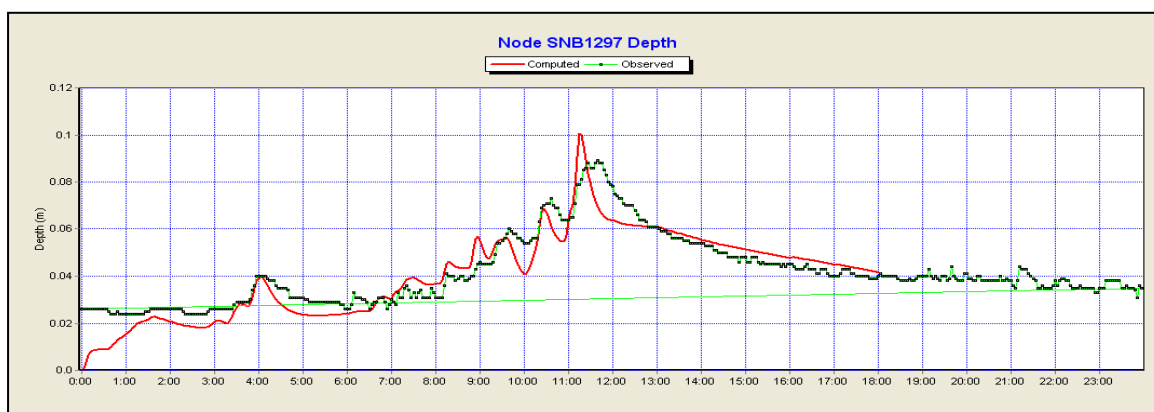
I SNB 1297 noteras att avrinningen påverkas märkbart av den stora regnmängden (ca 33 mm). Läck- och dräneringsvattenflödet ökar betydligt, vilket framförallt märks av den kvardröjande nivåhöjningen efter regnets slut men även redan vid den andra flödestoppen på morgonen och framåt finns en märkbar förhöjning av basflödet.

Med modellens hjälp kan det extra tillskottsflöde simuleras genom att applicera ett inflöde i brunnen uppströms mätpunkten. Genom ett passningsförfarande kan då nivåkurvan ”justeras” för mätpunkten så att den bättre följer den uppmätta nivån.

I figur Bil.4-10 visas den ansatta flödeshydrografen för inflödet i uppströms belägna brunnen och i figur Bil.4-11 visas modellresultatet.



Figur Bil.4-10 Inloppshydrograf uppströms mätpunkt SNB1297



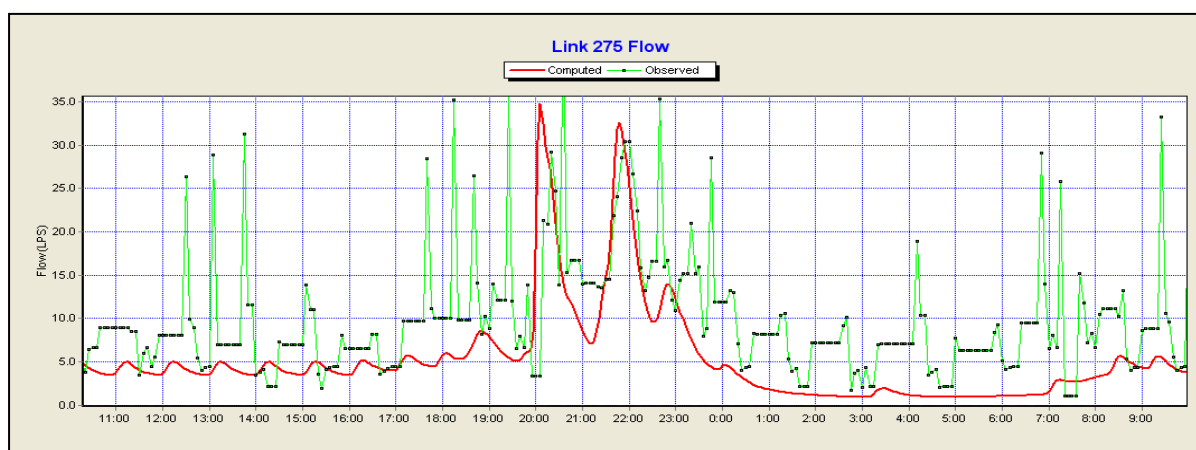
Figur Bil.4 – 11 Modellerad nivå (röd) samt mätt nivå (grön) då inloppshydrograf anätts uppströms mätpunkten

Med modellens hjälp kan således storleken på indirekt tillskottsvatten, orsakat av stora nederbörds mängder men tillfört under mark via läckage eller dräneringar, uppskattas. Exempelvis är tillskottet av läck- och dränvatten mellan kl 13:00 14:00 ca 4 – 5 l/s.

Motsvarande kan utföras för övriga mätpunkter. Då inleds anpassningen i den översta brunnen och fortsätter nedströms.

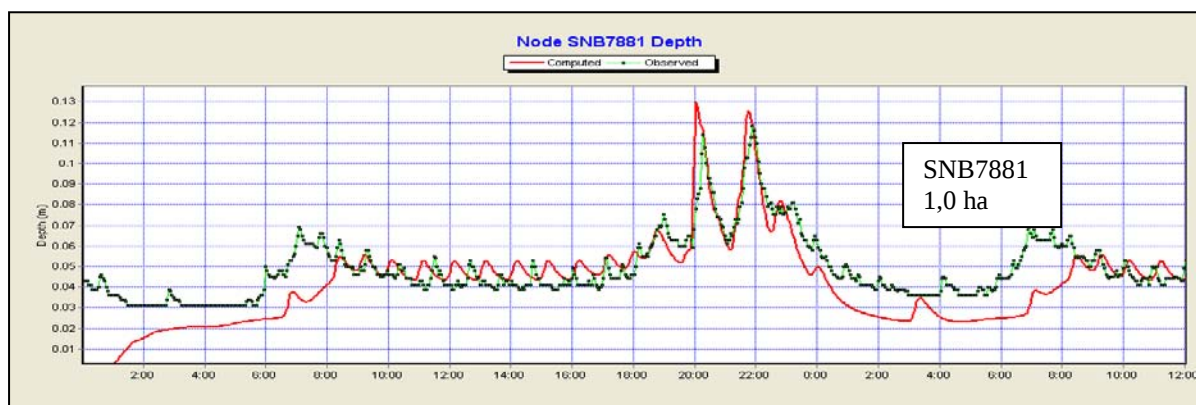
Ursprunget till observationen är bilden av modellerad nivå jämförd med mätt nivå, se figur Bil.4-9.

I figur Bil.4–12 visas resultatet för regntillfälle 070521.

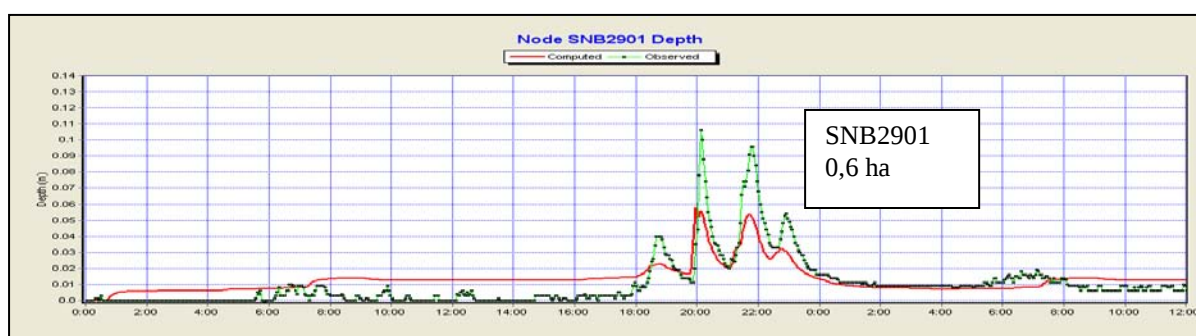


Figur Bil.4–12 Modellerat flöde (röd) samt beräknad tillrinning till SPU6201 från övervaknings-systemet (grön) vid regn 070521

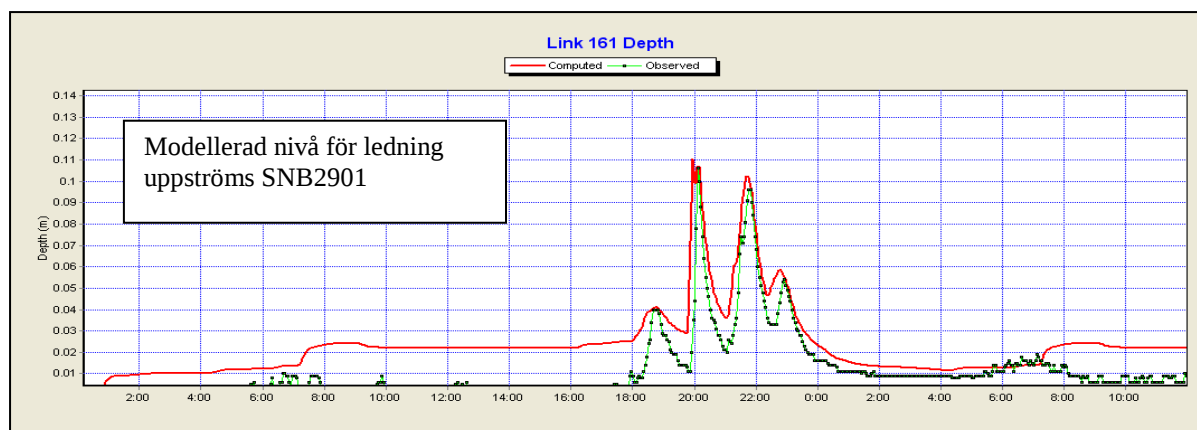
Nedan visas kalibreringsresultat för regntillfälle 070521 i tre nivåmätningpunkter.



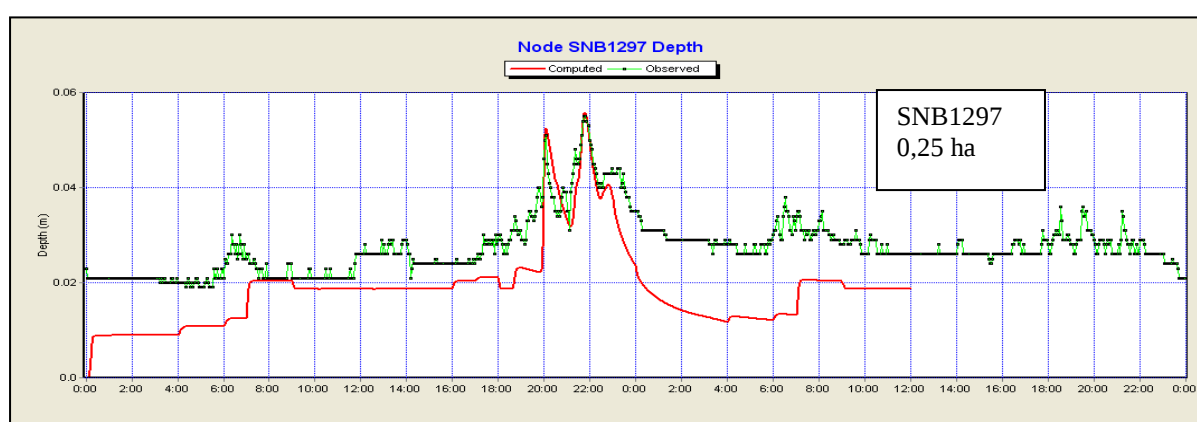
Figur Bil.4-13 Modellerad nivå (röd) samt mätt nivå (grön) i SNB7881 vid regn 070521



Figur Bil.4-14 Modellerad nivå (röd) samt mätt nivå (grön) i SNB2901 vid regn 070521



Figur Bil.4-15 Modellerad nivå (röd) samt mätt nivå (grön) i ledning uppströms SNB2901 vid regn 070521



Figur Bil.4-16 Modellerad nivå (röd) samt mätt nivå (grön) i SNB1297 vid regn 070521

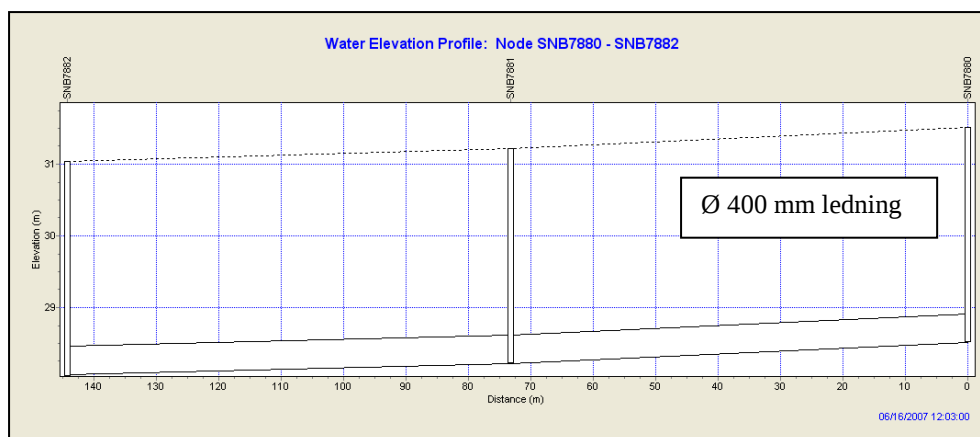
I alla tre nivåmätningpunkterna har således utgått ifrån de ytor som beräknades via Mannings formel och Brettings delfyllnadskurva, utan att någon justering därefter behövt göras av ytornas storlek. Däremot har ytornas bredd samt lutning anpassats för att erhålla god överensstämmelse mellan modell och verklighet.

Kommentar

Eftersom det är ett duplikat spillvattenledningsnät som utreds, är utgångsläget att det inte finns några felkopplade ytor anslutna. Som i alla andra spillvattenledningsnät finns dock en hel del. Genom mätningen kan storleksordningen för denna anslutna yta bestämmas uppströms respektive mätpunkt.

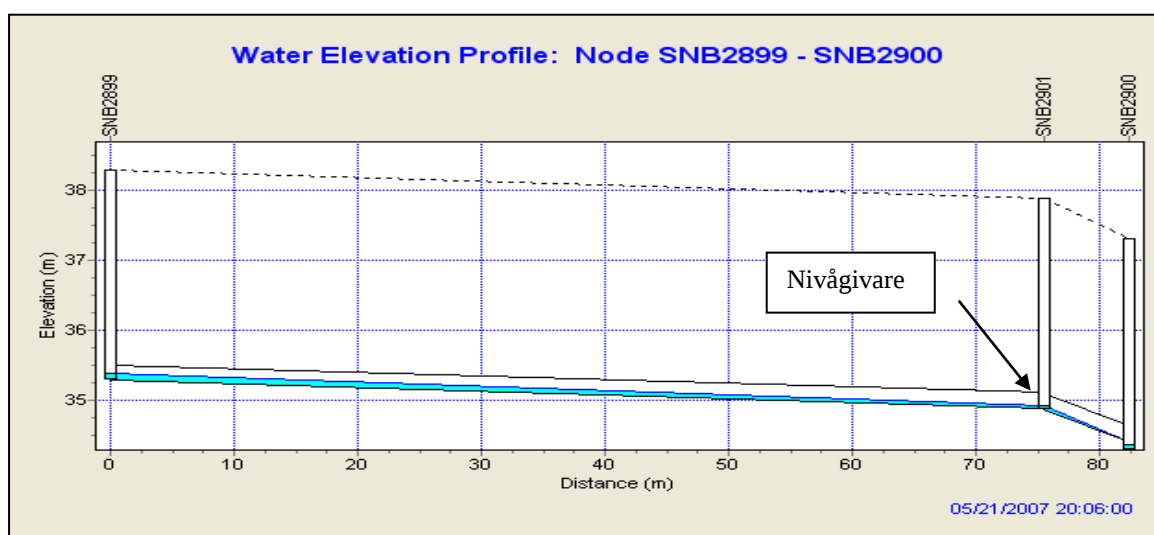
I detta fall har det i modellen utgått från att ansluta en eller två ytor för respektive mätpunkt. Ytorna har placerats mitt i delområdet. För att fördröja avrinningen till att motsvara flera små delytor, utspridda över hela området, har ytans bredd ansatts till 30 – 40 m. Lutningen har för dessa satts till 0,3 – 1 %.

I figur Bil.4-17 redovisas profilen för mätpunkt före respektive efter SNB7881. Som synes är det en jämn lutning före (4,2 ‰) och efter (2,3 ‰) och dessutom ingen anslutande huvudledning (frånsett en servisledning). Teoretiskt sett de bästa förutsättningarna för såväl en bra nivå- som v/h-mätningpunkt.



Figur Bil.4-17 Exempel på bra profil för en nivåmättningspunkt – i detta fall SNB7881

I figur Bil.4-18 påvisas hur ledningens lutning ökar efter mätpunkt SNB2901, vilket ställer till det vid kalibreringen. Lutningen före SNB 2901 är 5,2 ‰ och den ökar till hela 67 ‰ efter brunnen.



Figur Bil.4-18 Ökande lutning efter SNB2901 där nivåmätaren suttit i inkommande ledning

Eftersom SWMM inte räknar med att brunnen har någon utsträckning i längd i beräkningen (ingen volym, ingen längd), utan endast betraktar denna som en punkt, kommer modellen att beräkna en avböjande vattennivå som inte finns i verkligheten.

I detta fall passar det därför bättre att använda modellerad nivå för ledningen som mer trovärdig vid jämförelse med verkligt uppmätt nivå (ca 20 cm in i ledningen).

Det bästa är emellertid att undvika denna typ av mätpunkt.

Erfarenheter

Resultat kan anses vara av samma kvalitet som om det utförts med konventionella v/h-mätare. Analysarbetet gick relativt fort då tid inte behövdes för att tolka mätdata från någon v/h-mätare.

Vid det volymrika regnet 080601 noterades en avvikelse mellan modellerad nivå samt uppmätt nivå, framförallt efter regnets upphörande. Genom att utnyttja den kalibrerade modellen (som enbart beräknar ytavrinning), och komplettera den med en antagen inloppshydrograf uppströms en mätpunkt, kunde storleken på tillskottsvatten som tillförs via läckage eller dräneringar beräknas.

Mätperioden varade under ca tre månader. Under denna tid skedde besök på mätplatsen vid endast två tillfällen; vid montering och demontering av mätare. Antalet fältbesök kunde minimeras då mätdata från nivåmätarna dagligen överfördes via GSM-modem.

Om detta istället skulle utförts med v/h-mätare utan GSM-modem skulle en enkel kostnadsjämförelse kunna se ut enligt tabell Bil.4–3.

Tabell Bil.4–3 Enkel kostnadsjämförelse nivåmätare-v/h-mätare

Enbart nivåmätare med GSM-modem - 3 månaders mätning

Besök på plats 2 ggr (1 person utifrån)	16 000
Mätarhyror 4 st á 3 000:-/mån	36 000
Analysarbete, modell	40 000
Summa	92 000

Enbart v/h-mätare – 3 månaders mätning

Besök på plats 5 ggr (1 person utifrån)	40 000
Mätarhyror 4 st á 6 000:-/mån	72 000
Analysarbete, modell	40 000
Summa	152 000

Vid platsbesöken har man utgått från att kommunen ställer upp med 1 person och konsulten med 1 person.

Här kan påpekas att det för att komma vidare från mätresultaten inte hade behövts en datormodell. Dock måste tid läggas på analysen av mätdata från v/h-mätarna, så denna post skulle i så fall reducerats till ca 15 000 kr i kostnadsjämförelsen.

I vilket fall som helst bedöms att alternativet med nivåmätning och datormodell får en lägre totalkostnad än en traditionell undersökning med v/h-mätare utan datormodell.



Norconsult AB

Theres Svensson gata 11

Box 8774, 402 76 Göteborg

031 – 50 70 00, fax 031-50 70 10

www.norconsult.se