

5 PRAKTISK TEST AV "YTFÖRDELNINGSMODELLEN"

Flödesmätningar spelar en helt avgörande roll vid bedömningar av omfattningen och karaktären på nederbördspåverkan. Dessutom utgör flödesmätningar underlag vid verifiering av exempelvis sk MOUSE-modeller. Det är således mycket angeläget att försöka vidareutveckla tekniken för utvärderingar av flödesmätningar.

Därför genomfördes ett delprojekt där man med den etablerade mättekniken som grund försöker pröva nya grepp för utvärdering av mätdata. Utvärderingstekniken inriktades särskilt mot indirekt nederbördspåverkan. Mer konkret innebar detta en praktisk test av analys av mätdata med den sk ytfördelningsmodellen.

I ytfördelningsmodellen (Gustafsson m fl, 1987) erhålls uppmätta fiktivt anslutna ytor fördelade på olika rinntidsavstånd från mätpunkten. Den framräknade ytfördelningen jämfördes med ytfördelningen av direkt anslutna ytor vilka framkommit genom omfattande anslutningskontroller.

5.1 Mätområdet Sörby/Fridhem

Mätområdet för testen av ytfördelningsmodellen har omfattat hela avloppsgrenen från Fridhem genom Sörby och ned till Murenbron i Gävle, se fig 5.1. Den totala längden av spillvattenförande ledningar är ca 22.2 km och mätområdet har en sammanlagd yta på ca 223 ha.



Foto: Karaktären på bebyggelsen i de centrala, nedströms liggande delarna av mätområdet.

De nedersta delarna av mätområdet i nordost tillhör Gävles centrala delar och består mest av äldre bebyggelser. Ledningsnätet är där utbyggt under åren 1900-1930 enligt det kombinerade systemet och har senare kompletterats med dagvattenledningar. Separeringen inne på tomtmark har varit av mindre omfattning i de äldre områdena.



Foto: Vy från de mellersta delarna av mätområdet, Sörby.

I de mellersta delarna av mätområdet är ledningsnätet till största delen duplikat och anlagt under 1960-talet. Äldre kombinerade system finns också vilka har kompletterats med dagvattenledningar. Här finns både hårdare exploaterade bostadsområden och villabebyggelser.



Foto: Vy från de uppströms liggande delarna av mätområdet, Fridhem.

De längst uppströms liggande delarna, i sydost, består genomgående av radhus och villor. Ledningsnätet är duplikat och utbyggt under 1960- och början av 1970- talet.

5.2 Kunskap om ovidkommande vatten innan testen och mätningens uppläggning

Ett flertal fastigheter i de mellersta och uppströms liggande delarna av mätområdet drabbades av källaröversvämningar i samband med det mycket kraftiga nederbördstillfället 1979. De drabbade fastigheterna var belägna inom två områden med instängda grundvattenmagasin med på sina håll kraftig tillrinning av grundvatten från uppströms liggande områden.

Omfattande flödesmätningar utfördes 1985 i hela Gävle centralort av både läck- och dränvattenbelastningar (nattmätning vid torrväder) och nederbördspåverkan. I avloppsgrenen genom Sörby/Fridhem påvisades stora belastningar av ovidkommande vatten. Väsentligt större ytor (fiktivt anslutna ytor) konstaterades vid mätningarna för de mellersta delarna, Sörby, än vad som då bedömdes vara anslutet. Läck- och dränvattenbelastningen bedömdes också vara stor vid hög grundvattenyta i Sörby.

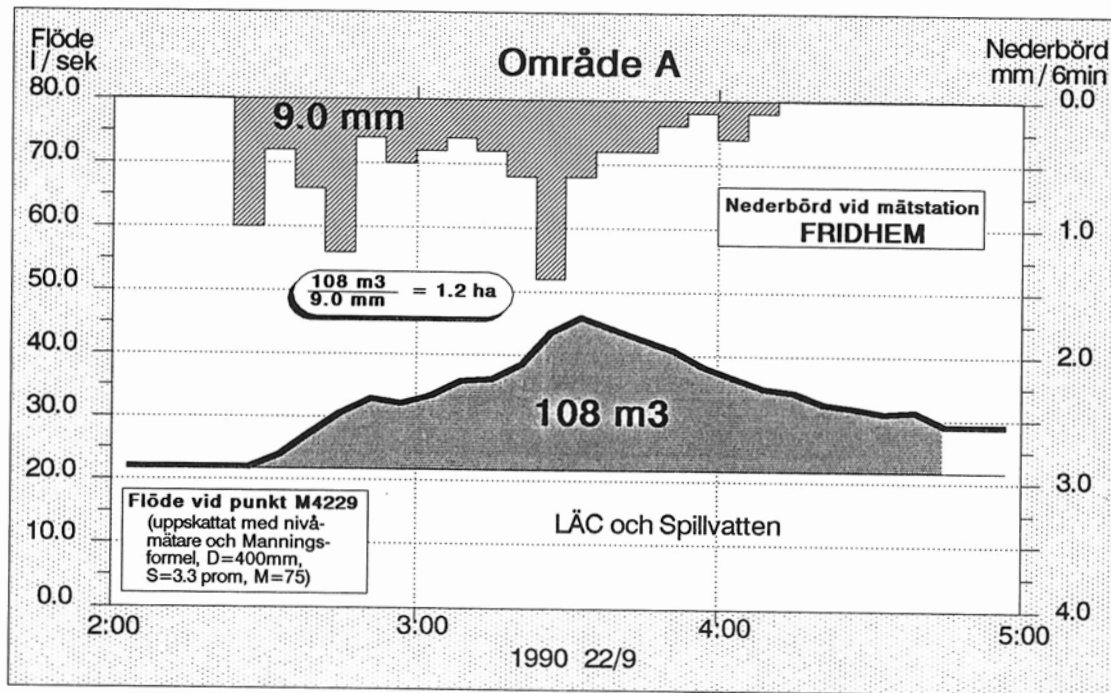
Gävle gatukontor har därefter genomfört en systematisk anslutningskontroll av hårdgjorda ytor inom hela mätområdet.

Stora krav ställdes vid testen av ytfördelningmodellen på nederbördsmätningarna. Volymupplösning var 0.1 mm nederbörd. Nederbördsmätarna behövde också placeras nära mätpunkterna. Därför gick det ej att direkt utnyttja de tidigare mätresultaten från 1985. Däremot har de tidigare mätningarna använts för att identifiera denna avloppsgren då man konstaterade kraftiga belastningar av ovidkommande vatten och även av typen indirekt nederbördspåverkan.

Flödesmätningen utfördes enligt principen nivåmätning i öppen ledning. Valet av denna enklare typ jämfört med mätning av nivå/hastighet gjordes av resursskäl då en mycket lång mätperiod planerades. Dessutom var detta en jämförelse mellan två utvärderingsmetoder och samma underlag av rådata har använts för bägge metoderna. Mätarnas placering framgår av fig 5:1.

5.3 Konventionell analys av flödeshydrograf.

De uppmätta flödesreaktionerna i Sörby/Fridhem utvärderades först med en konventionell analys av den snabba nederbördspåverkan.



Figur 5:2 Konventionell uppskattning av snabb fiktivt ansluten yta

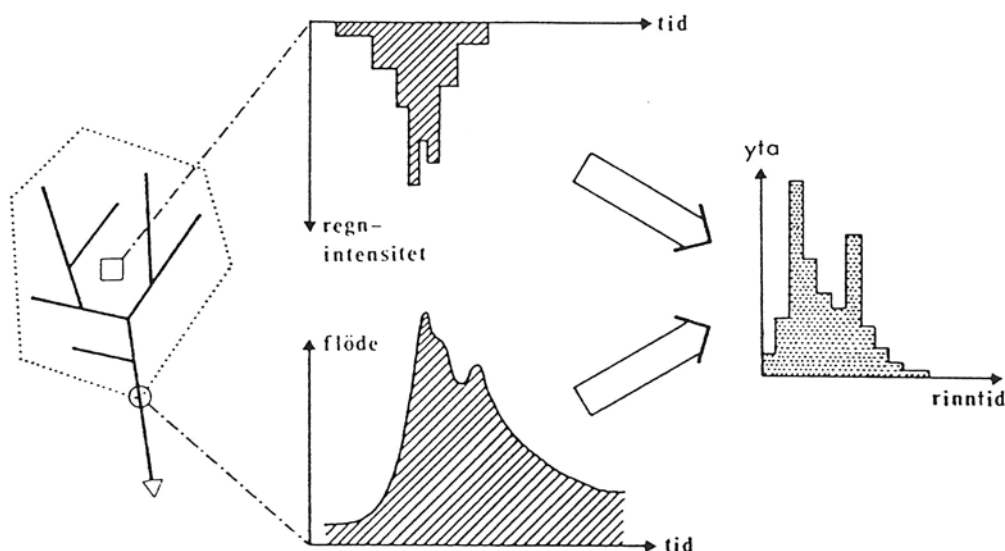
Volymökningen av ovidkommande vatten till följd av nederbörd massberäknades under en tidsperiod som bedömdes gälla för den snabba nederbördspåverkan, dvs nederbördstiden plus den längsta rinntiden till mätpunkten, koncentrationstiden. Här är det, som tidigare nämnts, ej möjligt att skilja ut den snabba komponenten av indirekt nederbördspåverkan från direkt anslutna hårdgjorda ytor. Ytan beskrivs därför som fiktivt ansluten yta och uttrycks vanligen i ha eller m². Ett exempel på denna typ av bearbetning visas i fig 5:2.

5.4 Analys med ytfördelningsmodellen och jämförelse med anslutna hårdgjorda ytor.

5.4.1 Kort beskrivning av "ytfördelningsmodellen"

I ytfördelningsmodellen omvandlas, i fasta tidssteg, nederbörds- och flödeskurvor till nyckeltalet "fiktivt anslutna ytor". Den totala ytuppskattningen blir den samma som vid konventionell analys vid samma

massberäkningstid men resultatet blir fördelat enligt tidsfördröjningen av flödet till mätpunkten. I figur 5:3 visas den principiella arbetsgången i ytfördelningsmodellen (Gustafsson mfl, 1987).



Figur 5:3 Principiell arbetsgång vid bearbetning med ytfördelningsmodellen.

Med ytfördelningsmodellen erhålls den ungefärliga utbredningen av "fiktiva ytor" inom det uppströms liggande området. Vid analys av många nederbördstillfällen kan området karakteriseras genom att studera variationen i ytfördelningen.

I kombinerade områden bör ytfördelningar rimligen vara någorlunda stabil. Om mycket olika mönster avtecknas i ett duplikat område visar detta på att ytfördelningen är starkt påverkad av den hydrologiska situationen. I dylika områden bör man vara försiktig med att generalisera mätresultat och flödessimuleringar över hela året.

Mätperioden 1989 - 1990 sammanföll olyckligtvis med ett av 1900-talets mest extrema perioder. Våren 1989 förekom ingen snösmältning och torkan fortsatte under både sommaren och hösten. I september 1989 föll exempelvis lokalt på södra norrlandskusten endast 15-25 % av den normala nederbörden.

Det var synnerligen olyckligt att mätningarna för att studera indirekt nederbördspåverkan sammanföll med ett extremt torrrår eftersom den indirekta nederbördspåverkan då av naturliga skäl är på ett minimum.

Den snabba grundvattenbildningen motverkas av att en stor del av nederbörden snabbt sugs upp av marken och växtligheten.

Trots alla svårigheter så redovisas resultaten från tre olika regntillfällen där flödeshydrografen bearbetats med ytfördelningsmodellen. Den uppskattade ytan via flödesmätningarna har jämförts med resultatet av en anslutningskontroll.

5.4.2 Jämförelse mellan resultat från anslutningskontroller och uppskattningar av total fiktiv yta.

Gävle gatukontor genomförde en mycket omfattande anslutningskontroll av samtliga fastigheter inom mätområdet. Förutom direkt anslutna hårdgjorda ytor uppskattades även grönytor mm vilka bedömdes avvattnas till spillvattennätet. En beskrivning och teknisk uppföljning av ytinventeringarna ges i kap 8.2.

Nedan visas en sammanställning över olika försök från 1985 och framåt att uppskatta, beräkna resp anslutningskontrollera ytor till spillvattennätet för mätområdet Sörby-Fridhem.

TABELL: Sammanställning över ytuppskattningar utförda vid olika tillfällen med olika underlagsmaterial.

Total area för Sörby - Fridhem:	223 ha
Totalt hårdgjord yta:	ca 30 ha

Uppskattad ansluten yta till spillvattenförande ledning hösten 1985 innan flödesmätningen: **1.2 ha**

Bedömd ansluten fiktiv yta enligt flödesmätning och MOUSE-modell 1985: **4.8 ha**

Konstaterad ansluten yta till spillvattenförande ledning enligt anslutningskontroll, 1989:	
hårdgjorda ytor:	2.0 ha
grus- och grönytor:	1.5 ha
Summa:	2.0-3.5 ha

Bedömd ansluten fiktiv yta till spillvattenförande ledning hösten 1990 efter en mycket lång torrvädersperiod: **ca 3-4 ha**

Av sammanställningen framgår att den ursprungliga grova ytuppskattningen 1985 underskattade storleken på direkt anslutna ytor jämfört med anslutningskontrollen 1989.

Uppskattningarna av fiktiv yta 1985 jämfört med 1990 visar att en mindre nederbördspåverkan kunde observeras under den torrare perioden 1990. En delvis annorlunda bild framträder nedan vid analys med ytfördelningsmodellen.

5.4.3 Redovisning av resultat från ytfördelningsmodellen och jämförelse med anslutningskontrollen.

I fig 5:4 visas en sammanställning över uppskattad fiktiv yta för tre regn på 2, 10 resp 40 mm redovisade för det uppströms liggande området A och det nedströms B. Med "fiktiva ytor" avses den motsvarande ytstorlek som krävs för att generera den vid ett nederbördstillfälle uppmätta flödesökningen. De snabba "fiktiva ytorna" är ett samlingsnamn för nederbördspåverkan som genereras inom samma tidsrymd som hårdgjort anslutna ytor. Som jämförelse redovisas också resultaten från anslutningskontrollerna till vänster i sammanställningen.

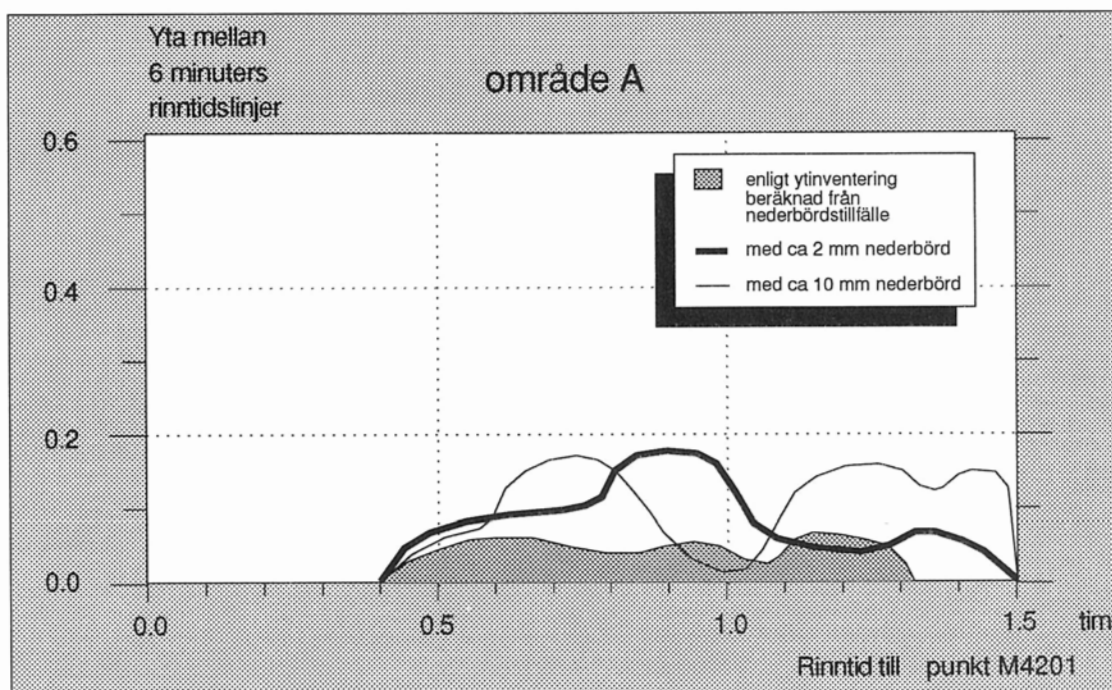
Anslutna ytor enligt anslutningskontroller		Beräknad snabb resp trög yta vid 3 olika regn		
		2 mm/1 h	19 mm/2 h	40 mm/24 h
Område A	0.4 ha			
Snabb		1.0 ha	1.2 ha	1.0 ha
Trög		-	-	12.0 ha
Område B	1.6-3.1* ha			
Snabb		2.1 ha	3.1 ha	3.0 ha
Trög		-	-	-

* 3.1 ha är inkl grus- och grönytor

Figur 5:4 Jämförelse mellan resultat från kontroller av anslutna ytor till spillvattenssystemet och snabba resp tröga "fiktivt" anslutna ytor baserat på flödesmätningar/ytfördelningsmodellen inom Sörby-Fridhem.

Även om underlaget är begränsat så kan man ändå skönja vissa tendenser. Det minsta regnet ger den minsta nederbördspåverkan och dessa kan till stor del förklaras med ytor enligt ytkarteringen.

Mellan regnet på 10 resp 40 mm är det ingen större skillnad i fiktiv yta för den snabba nederbördspåverkan. Vid det kraftigare regnet på 40 mm erhålls emellertid även en fördröjd avrinning på ca 12 ha fördelat på ca 60 timmar. Här ges en tydlig indikation på att det krävs en "rejäl rotblöta" innan den trögare komponenten av indirekt nederbördspåverkan ger sig till känna.

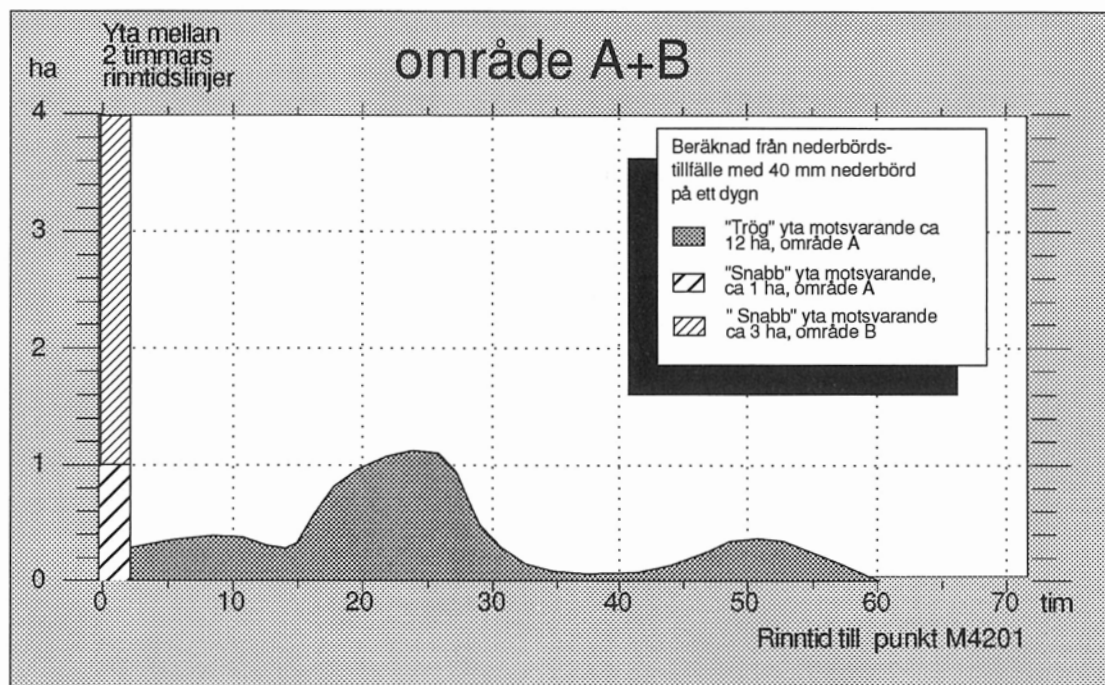


Figur 5:5 Resultat från ytfördelningsmodellen för område A vid 2 mm resp 10 mm nederbörd.

Vid betraktandet av ytfördelningen från mätområde A, fig 5:5 framgår att karaktären på ytfördelningen för 2 resp 10 mm:s regnet har vissa likheter, däremot kommer flödestopparna tidigare vid det större regnet. Detta kan förklaras med att ytfördelningsmodellen ej tar hänsyn till vattnets högre hastighet i en avloppsledning vid ett större flöde. Den prickade ytan visar på ytfördelningen av konstaterade anslutna ytor vilka har en relativt jämn fördelning jämfört med fördelningen av de fiktiva ytorna.

I fig 5:6 visas resultatet av en ytfördelning framräknad för hela mätområdet vid ett regn på 40 mm. Efter den kraftiga toppen i inledningen av

regnet indikeras kraftigare fiktiva ytor på ett rinntidsavstånd på 20-30 timmar samt ca 50 timmar från mätpunkten. Den inledande kraftiga toppen kan till drygt hälften förklaras med ytor enligt ytkarteringen.



Figur 5:6 Resultat från ytfördelningsmodellen för område A och B vid ett regn på 40 mm.

5.5 Kommentarer till testen med ytfördelningsmodellen

Materialet håller tyvärr ej för någon större utvärdering utan de redovisade resultaten skall ses som exempel på hur ytfördelningsmodellen kan användas. Resultaten av ytfördelningsmodellen är dock logiska och stämmer väl överens med den bild som borde erhållas för indirekt nederbördspåverkan.

Mot bakgrund av dessa resultat finns det anledning att arbeta vidare med utprovningen av modellen och överväga en förbättring av modellen exempelvis genom att hänsyn kan tas till en ökad vattenhastighet vid ökat flöde.

Intressanta användningsområden för ytfördelningsmodellen kan vara:

- * Karakterisering och bedömning av olika typer av ovidkommande vatten, särskilt för att beskriva den tröga komponenten av indirekt nederbördspåverkan till storlek och tidsmässig utbredning.

- * Vid stor variation i ytfördelningen mellan olika nederbördstillfällena ges en tydlig varningssignal att det ej går att generalisera en begränsad mätperiod till att gälla för andra perioder. Vid datorsimuleringar av årsvisa flödesbelastningar, bräddmängder etc behöver man använda en modell, typ MouseNAM, som tar hänsyn till det hydrologiska minnet, se kapitel 6.
- * Vid stabila och likartade ytfördelningar mellan olika nederbördstillfällena och hydrologiska situationer får man bekräftat att flödesreaktionerna i samband med nederbörd är relativt årstidsoberoende. Detta är viktig information inför en verifiering av en MOUSE-modell eftersom avrinningen här torde kunna beskrivas relativt väl med en enklare ytavrinningsmodell, typ Tid-Area-metod.
- * Peka ut misstänkta fiktiva ytor uttryckt i rinntidsavstånd för att användas vid lokalisering av källor till ovidkommande vatten. Observera dock att rinnhastigheten givetvis är olika i mark resp ledning!

6 METODIK FÖR FLÖDESSIMULERING AV INDIREKT NEDERBÖRDSPÅVERKAN

6.1 Simuleringshistorik

Under 70-talet och början av 80-talet ökade kompetensen för datorsimulering av flöden i avloppsnät. Kunskapen fanns då helt dominerande på de tekniska högskolorna. Modellerna utvecklades som sk "Urban Storm Models", dvs i grunden rena dagvattenmodeller. Således var den direkta tillämpningen avsedd för flödessimulering i dagvattensystem och i kombinerade system.

Det gick i början trögt att sprida användningen av datormodeller för avloppsnät utanför högskolorna bland praktiskt verksamma va-projektörer. Man kan nog till och med beskriva det som att det fanns ett direkt motstånd mot avloppsmodeller hos va-projektörer eftersom många ansåg att man i projekteringsfasen ej sparade någon tid jämfört med manuella metoder.

I projekteringsfasen av dagvattensystem kan nog inställningen delvis förklaras med att standarddimensionerna för avloppsledningarna medför mycket stora hopp i flödeskapacitet varför det är svårt att dra nytta av mer noggranna rena ytavrinningsberäkningar. En tränad va-projektör kan många gånger med en god träffsäkerhet erfarenhetsmässigt föreslå lämpliga ledningsdimensioner utgående från ett områdes topografi, ledningsdragningar och hårdgjorda ytor. En bedömning som relativt snabbt kan kontrollräknas med en manuell sk tid-area metod, VAV P28.

En annan viktig förklaring var också att datorkompetens var allmänt låg bland va-projektörerna och att det kan kännas som ett stort steg att ta steget in i datorvärlden.

Ett annat tillämpningsområde av datormodeller var analys av problem i befintliga avloppsnät. Här stod striden väsentligt hårdare om nyttan av modeller. Detta gällde särskilt användbarheten av flödesmodeller vid överbelastningsproblem i spillvattenledningar i duplikata system där orsakerna till problemen ej enbart kan förklaras med anslutna hårdgjorda ytor.

Man kan lite förenklat och tillspetsat beskriva situationen för 10-15 år sedan som att striden stod mellan två ingenjörs kulturer:

I ena ringhörnan: Praktiskt verksamma va-tekniker, med "skit under naglarna" som med stor entusiasm utvecklade mätinstrument och mätmetoder för att direkt i avloppssystemen beskriva flödes-situationen. "Inget är sant om det inte är konstaterat praktiskt".

I andra ringhörnan: Högskoleforskare som med stor entusiasm försökte utveckla beräkningsmässigt stabila flödesmodeller för nederbördsavrinning i avloppsnät. En irrationell verklighet med för många obekanta faktorer blev då bara störande moment. "Rubba inte mina cirklar."

Man kan nog mycket kortfattat sammanfatta orsakerna till de då många gånger hetsiga diskussionerna som att man ej hade en tydlig och gemensam begrepps bild att diskutera utifrån. Därför pratade man ofta förbi varandra eftersom man inte, med gemensamma termer, kunde beskriva exempelvis den indirekta nederbördspåverkan.

Det faktum att urbana avrinningsmodeller ej hanterar indirekt nederbördspåverkan, INE, blev många gånger otydligt beskriven när en "dagvattenmodell" applicerades på spillvattenledningar i duplikata system. Därför blev diskussionerna om avvikelser mellan modell och verklighet ofta en diskussion om en modell överhuvudtaget kunde vara trovärdig istället för att diskutera i vilka situationer som en modell kunde anses ge en rättvis bild.

Meningsskiljaktigheterna kring nyttan av modeller vid analys av spillvattennät överbryggades till stor del under den senare halvan av 1980-talet då man med flödesmätnings- och verifieringstekniken lärde sig att åtminstone hantera den snabba komponenten av indirekt nederbördspåverkan. Modellmässigt simulerades dock denna nederbördspåverkan som anslutna hårdgjorda ytor men med en storlek som motsvarade en snabb "fiktiv yta". En verifierad flödesmodell kunde därmed trovärdigt beskriva maxflöden under relativt korta nederbördstillfällen. Däremot var det svårare eller i praktiken omöjligt att modellmässigt beskriva den indirekta nederbördspåverkan med hydrologiskt minne.

I takt med att modellerna blev beräkningsmässigt mera färdigutvecklade blev det också naturligt att i ett nästa steg verka för en spridning av kunskaper i användningen av modeller. 1983 bildade Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV, arbetsgruppen TR36, "Datormodeller inom va-området", i syfte att sprida kunskapen om modelltillämpningar. Då startades även utgivningen av tidskriften "VAV Datormodeller". 1987 övertogs TR36s arbetsfält av VAVs Datorkommitté, VADAK.

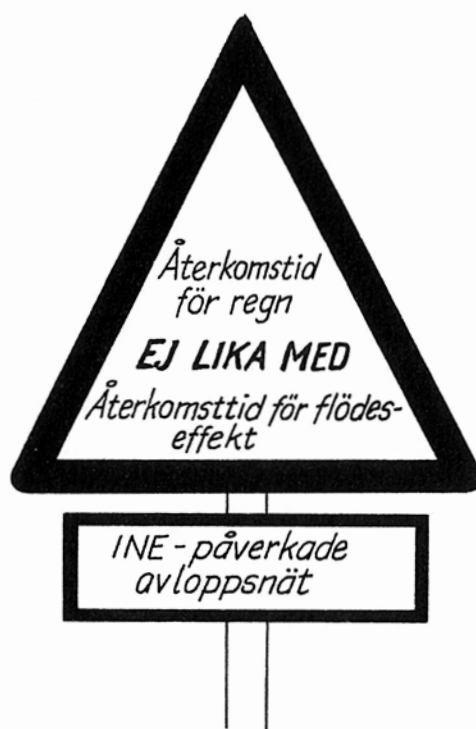
Ett viktigt steg för spridningen av datormodeller var också att det sk MOUSE-systemet på persondator var färdigutvecklat i Danmark och introducerades 1985 i Sverige i samarbete med VAV. MOUSE står för Modelling of Urban Sewers. I MOUSE hade stor möda lagts på en användarvänlig hantering av både indata och resultatpresentationer. Därmed blev det lättare att tolka och värdera beräkningsresultaten då dessa presenterades i diagramform jämfört med tidigare långa "printerlistor" med kanske 1000-tals siffrerader.

MOUSE har nu fått en god spridning i Sverige med ca 70-talet installationer (1993) varav ca hälften i kommuner och hälften på konsultfirmor. Dessutom sker utbildning i MOUSE-systemet på de tekniska högskolorna.

6.2 Kort beskrivning av "NAM"-modellen och jämförelse med andra datormodeller

Behovet blev under mitten 1980-talet allt tydligare av att bättre kunna hantera även den indirekta nederbördspåverkan, INE, i datormodeller.

När funktionskrav för avloppsnät formuleras i termer som återkomsttider av exempelvis källaröversvämningar och bräddningar är det viktigt att ha i minnet att man i INE-påverkade avloppsnät **ej** kan sätta likhetstecken mellan återkomsttiden för ett regn och återkomsttiden för en flödeseffekt av detta regn.

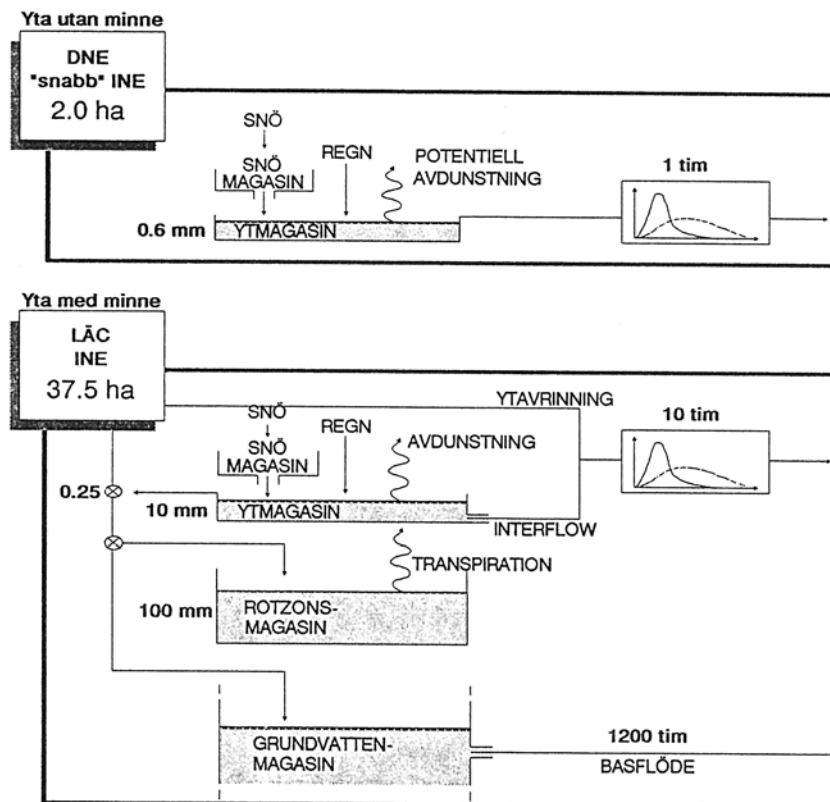


Figur 6:1 Varningsskylt för va-utredare!

Skillnaderna i återkomsttider beror på att flödeseffekten av ett visst regn i INE-påverkade avloppsnät är beroende av den hydrologiska situationen. En större flödeseffekt erhålls i blöta perioder jämfört med torra för samma regn. Detta ökade behovet av att försöka hitta nya vägar att beskriva avrinningsfunktionen.

Ett av syftena med det här redovisade INE-projektet var därför att försöka utprova ett hydrologisk modellverktyg, NAM (Nederbörds AvrinningsModell) för användning i avloppsnät. Dessa modeller har hittills haft sin huvudsakliga användning för att beskriva avrinningen till vattendrag i icke urbana områden.

Resultaten från detta delprojekt har redovisats i BFR-rapporten R69:1991 "Indirekt nederbördspåverkan i duplikata spillvattensystem - Metodik för flödessimulering", (Gustafsson, Olsson 1991). Nedan ges endast en kort beskrivning av NAM-modellen och dess tillämpningar.



Figur 6:2 Modellstruktur i NAM med tillämpning på Hedesunda avloppsnät i Gävle kommun

I NAM-modellen beskrivs tillrinningen till en viss punkt genom att man förutom en snabb ytavrinning även kan beskriva storleken och karaktären på tre, olika djupt förlagda magasin, se figur 6:2.

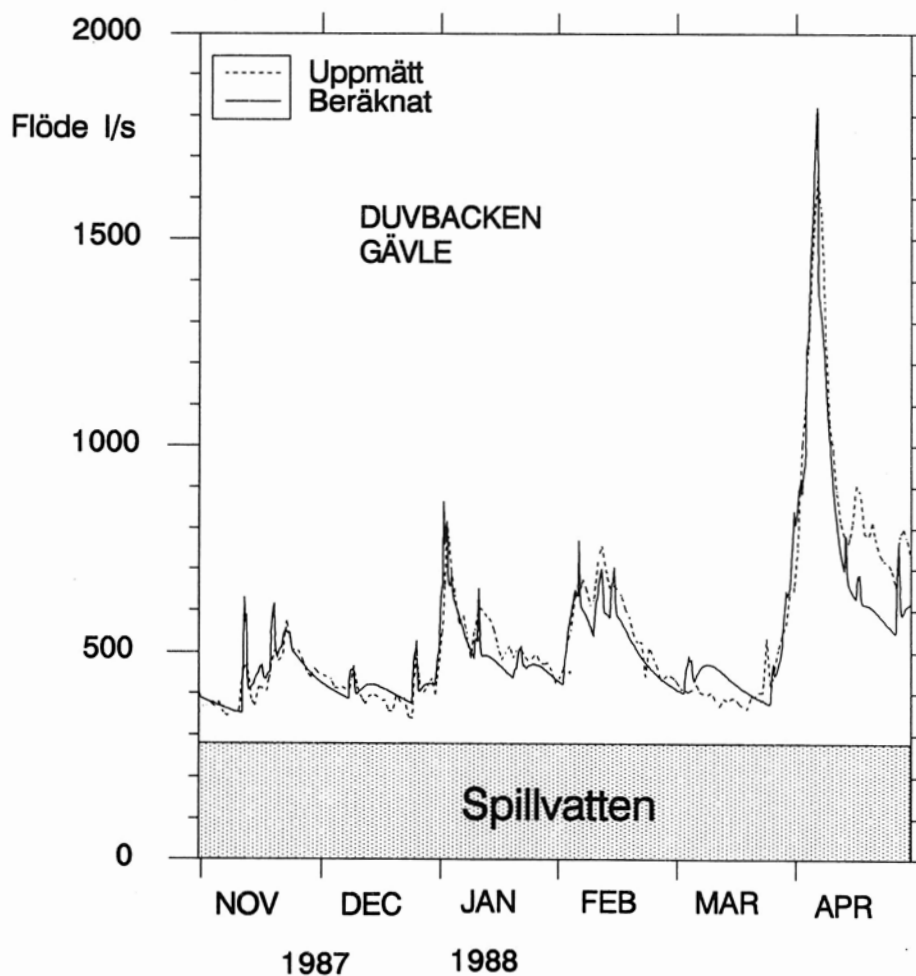
Syftet är inte att upprätta en fysikaliskt riktig grundvattenmodell eftersom man i dessa sammanhang ej har möjlighet att beskriva den geohydrologiska situationen tillräckligt noggrant.

I stället har man vänt på arbetsgången och försöker bakvägen "skruva på" ett antal modellparametrar så att modellen till slut, med tillräcklig

noggrannhet, överensstämmer med verkliga uppmätta flöden under alla tänkbara driftsituationer, exempelvis från reningsverk eller pumpstationer. För detta ändamål behöver man ha tillgång till helst flera års flödesstatistik för att "kunna börja med facit".

I ett exempel från ett litet avloppsnät, Hedesunda med ca 2000 invånare i Gävle kommun, visas i figur 6:2 hur man kan beskriva de avrinningsförhållandena förenklat till NAM-modellens olika parametrar. Avrinningsområdet är på totalt ca 230 ha.

Det är viktigt att notera att man med NAM-modellen skapar en tillrinningshydrograf i en viss punkt och ej hanterar någon hydraulisk flödesströmning inne i avloppsledningar. Alla flöden uppströms verifieringspunkten hanteras med modellstrukturen i figur 6:2 oavsett om det finns ett omfattande avloppsnät uppströms eller ej. Således kan man hantera ett helt avrinningsområde till ett reningsverk, inkl ett helt avloppsnät, med de olika modellparametrarna i en sk en-box NAM-modell.

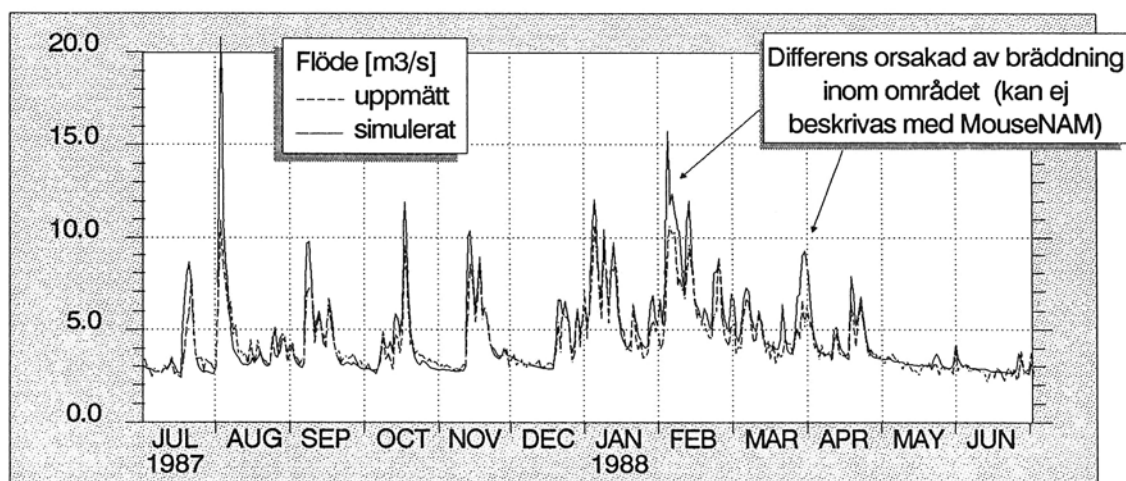


Figur 6:3 Jämförelse mellan uppmätt och med NAM-modellen beräknat flöde till Duvbackens reningsverk.

I figur 6:3 visas ett exempel på resultat från en en-box- NAM-modell för ett stort avloppsnät. Här jämförs beräknat och uppmätt flöde vid Duvbackens reningsverk, omfattande avrinningsområdet för hela Gävle centralort på ca 5 000 ha. En mycket god överensstämmelse visas för den ur simuleringssynpunkt mycket besvärliga perioden under höst, vinter och vår.

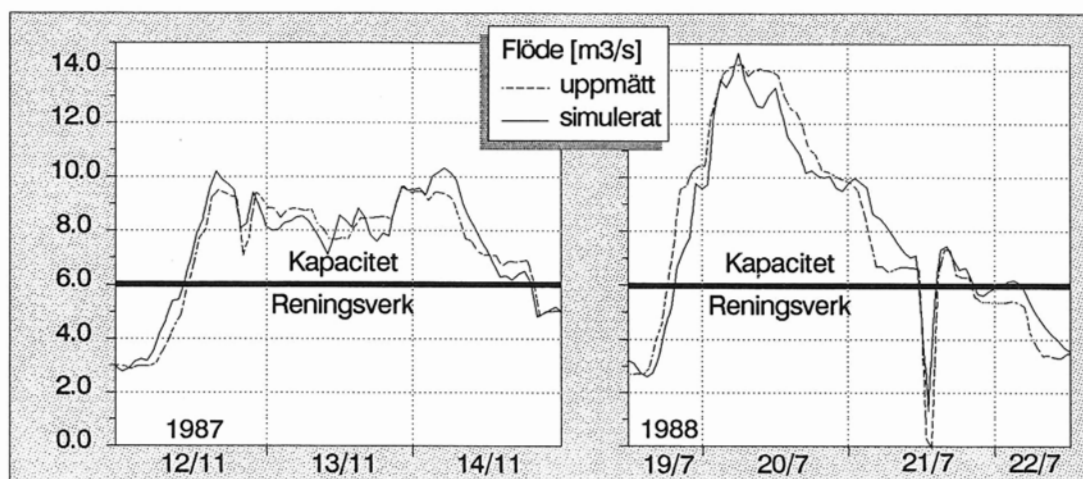
Många gånger skapar man flera NAM-modeller inom ett avloppssystem förutsatt att det finns flödesstatistik från exempelvis pumpstationer. Så var fallet i Gävle där NAM-modellen testades i såväl stora som små områden med mycket goda resultat. (Gustafsson, Olsson 1991)

NAM-modellen har därefter tillämpats i många avloppsnät. I figur 6:4 visas ett exempel på ett mycket stort avrinningsområde, nämligen hela avrinningsområdet till Ryaverket i Göteborg på ca 200 km² (20.000 ha).

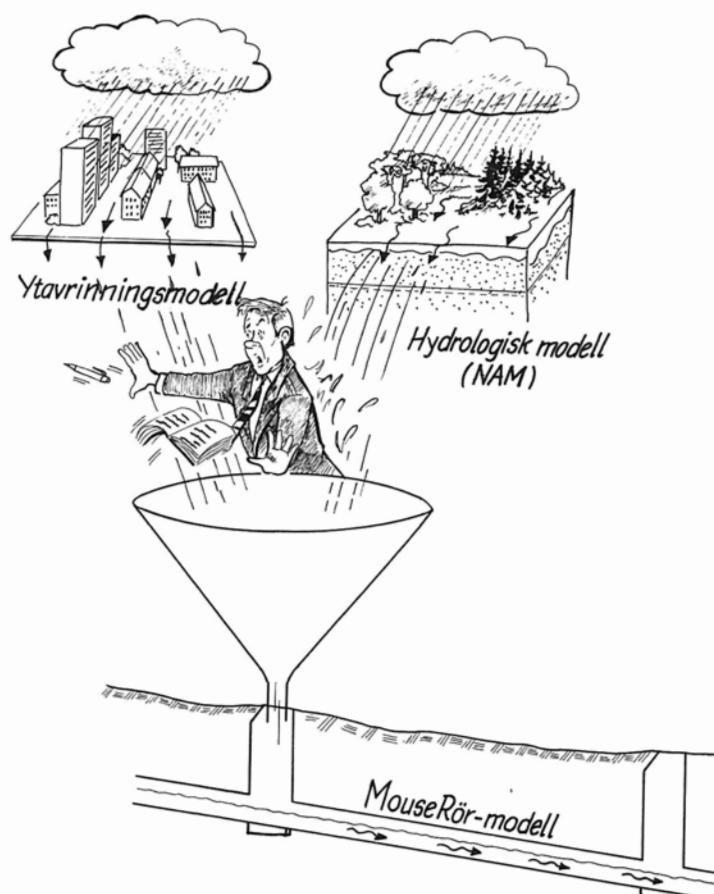


Figur 6:4 Jämförelse mellan uppmätt och beräknat flöde till Ryaverket, Göteborg.

Om man önskar studera effekter i avloppsledningar såsom maximal trycklinje vid olika nederbördstillfällen behöver man leda ned NAM-modellens flödeshydrograf i en MouseRÖR-modell. I MouseRÖR beräknas flöden och trycklinjer som ett resultat av anslutande flödeshydrografer. Tidigare kunde dessa hydrografer endast skapas med sk ytaavrinningsmodeller. 1992 färdigställdes en MouseNAM-modul som gör att man kan ansluta flödeshydrografer även från NAM-modellen till en MouseRÖR-modell för exempelvis huvudledningsnätet. (Gustafsson 1993)



Figur 6:5 Jämförelse mellan uppmätt och beräknat flöde med en kombinerade MouseRÖR/MouseNAM-modell för Ryaverkets avrinningsområden och tunnelsystem.



Figur 6:6 Illustration över risken av att inte beakta den hydrologiskt beroende avrinningen.

I figur 6:5 visas ett exempel från Ryaverket i Göteborg där man har använt en kombinerad MouseRÖR/MouseNAM-modell. MouseNAM användes för att beskriva flödeshydrograferna från 20 delområden som ansluter till tunnelsystemet till Ryaverket. MouseRÖR användes för att beskriva de hydrauliska processerna i tunnelsystemet, såsom magasinering och bräddning.

Det kan vara svårt för den som inte själv arbetar med datormodeller att hålla isär alla olika typer av modellansatser och modellbegrepp. Därför ges nedan en beskrivning av innebörden i några viktiga modellbegrepp såsom ytavrinningsmodell (Urban avrinningsmodell), hydrologisk avrinningsmodell och rörmodell.

Som tidigare nämnts kan NAM-modellen användas helt fristående om man ej behöver resultat som beräknade vattennivåer eller flöden i avloppsledningar.

I figur 6:6 illustreras motsvarande modellbegrepp ur en tecknares perspektiv. De olika modellbegreppen kan också beskrivas enligt följande:

Ytavrinningsmodell (Ingår i MouseRÖR)

- Skapar flödeshydrografer baserat på ytor och nederbörd. Kan hantera DNE och i viss mån snabb INE utan sk hydrologiskt minne.

Hydrologisk avrinningsmodell (MouseNAM)

- Skapar flödeshydrografer baserat på ytor och grundvattenmagasin och ett flertal hydrologiska parametrar såsom nederbörd, temperatur, avdunstning. Kan hantera DNE, snabb och trög INE, inläckage, grundvattendränering och snösmältning.

Rörmodell (MouseRÖR)

- Beräknar flöden och trycknivåer i avloppsledningar baserat på anslutna flödeshydrografer från ytavrinningsmodeller, hydrologiska avrinningsmodeller, spillvattenflöden etc.

6.3 Viktiga användningsområden för NAM

En verklighetsrelaterad beskrivning av flödesförhållandena i en datormodell är givetvis av avgörande betydelse för nyttan av hela modelltillämpningen, oavsett syftet. Annars riskerar man att drabbas av den gamla, men sanna, devisen:

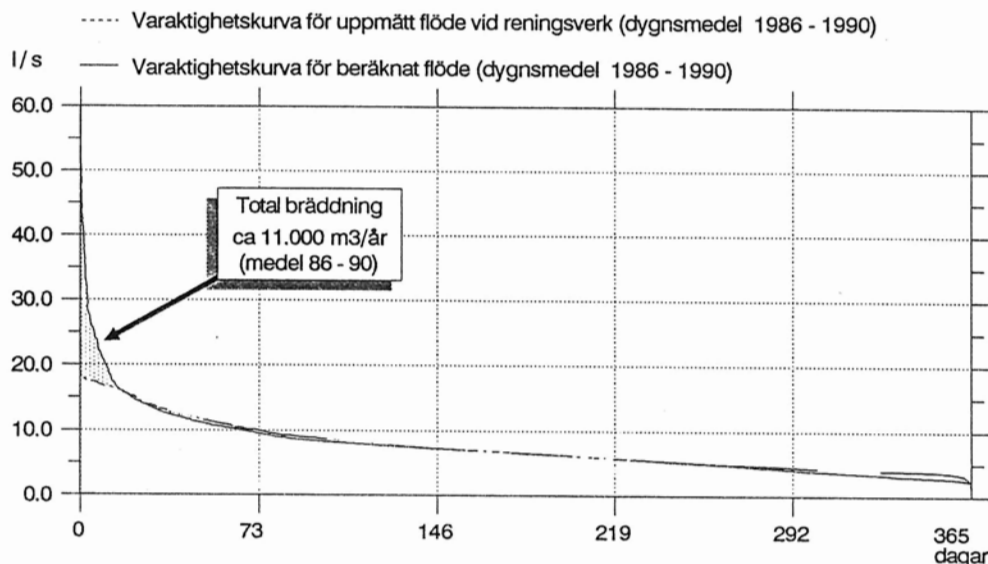
Skräp in = Skräp ut

En jämförelse mellan uppmätt och beräknat flöde under flera år visar tydligt om man lyckats skapa en rimligt god överensstämmelse mellan modell och verklighet. I detta projekt har NAM-modellen, rätt använd, visat sig kunna klara av att simulera avloppsflöden även under mycket besvärliga hydrologiska situationer. NAM-modellen har redan rönt stor internationell uppmärksamhet. Med en väl verifierad NAM-modell kan man:

- * Spåra förändringar i flöden trots stora bakgrundsvariationer.
- * Undersöka effektiviteten av olika åtgärdsförslag
- * Uppskatta bräddmängder
- * Bedöma magasineringsbehov
- * Etablera bättre varaktighetskurvor för flöden
- * Göra prognoser av flöden.

När åtgärder genomförts i avloppsnät mot problem orsakade av ovidkommande vatten kan vara svårt att bedöma hur pass effektiva åtgärderna har varit. Faktorer såsom torrår eller blötår kan dominera så kraftigt att dessa variationer helt överskuggar effekten av exempelvis bortkoppling av ytor, LOD-åtgärder mm.

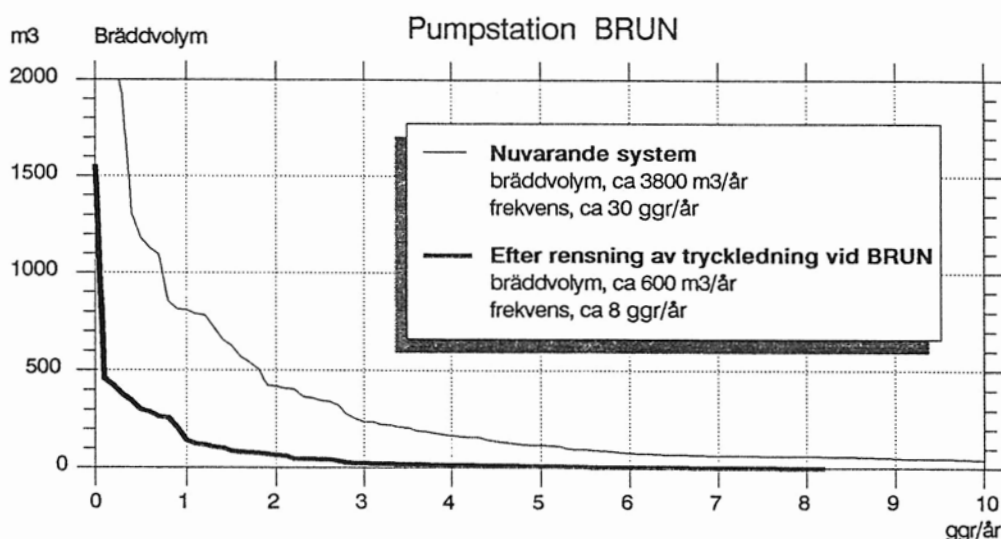
Med NAM-modellen går det att avgöra om exempelvis en minskning av ovidkommande vatten beror på hydrologiska variationer eller ej. I det senare fallet kan då minskningen av flödet tillskrivas de genomförda åtgärderna.



Figur 6:7 Varaktighetskurvor för beräknade och uppmätta dygnsmedelflöden vid Hedesunda reningsverk. Baserat på kalibreringsperioden 1986-1990.

Bräddsituationen kan simuleras genom att verifiera en NAM-modell under dygn utan bräddning och därefter belasta modellen med en lång verklig nederbördsserie, säg av 5-10 års längd. Skillnaden mellan uppmätt och beräknat flöde under de kraftigare flödesperioderna kan användas för att grovt uppskatta vad som rimligen borde ha bräddat. Genom att rangordna uppmätta och beräknade flöden, se figur 6:7, kan man få fram en uppskattning av bräddvolymen, (Gävle gatukontor 1992)

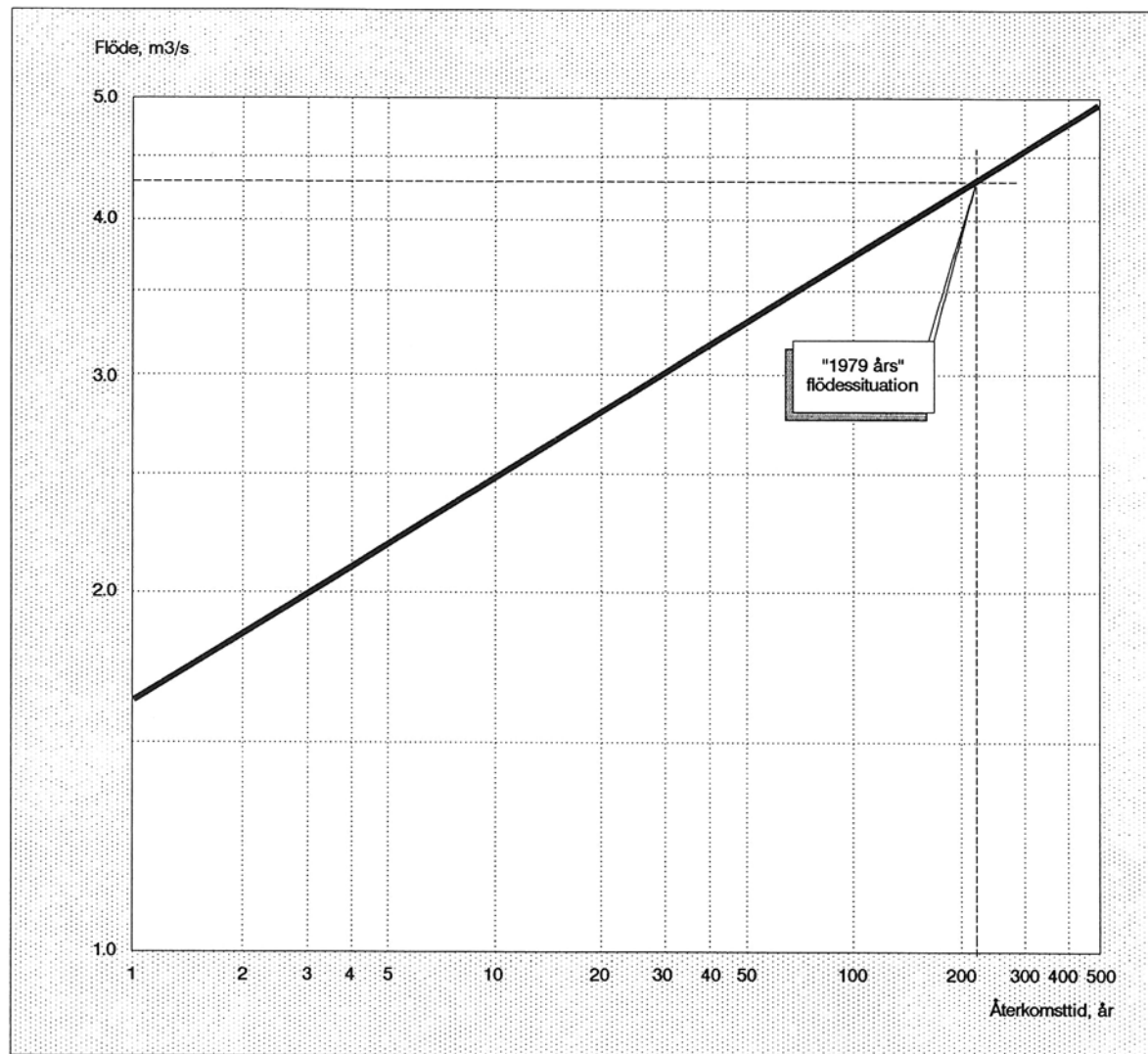
Varaktighetskurvor från NAM-modellen kan också utnyttjas för att studera effekten på årsbasis av olika typer av åtgärder. I figur 6:8 visas som exempel effekten på bräddningen vid pumpstation BRUN i Hedesunda om man med en rensning av tryckavloppsledningen lyckas återställa pumpkapaciteten till ursprungliga 38 l/s.



Figur 6:8 Simulerade bräddsituationer i pumpstation BRUN, Hedesunda i Gävle kommun, före och efter rensning av tryckavloppsledning.

Ur denna typ av diagram, figur 6:8, går det också att bestämma och överskådligt presentera erforderlig magasinvolym för olika bräddkrav.

Med NAM-modellen kan man även skapa bättre och mer trovärdiga samband mellan återkomsttid och flödeseffekt. I figur 6:9 visas en figur hämtad från BFR-rapporten R69:1991, (Gustafsson, Olsson 1991). Där visas att den mycket kraftiga nederbördssituationen i Gävle 1979, vilken utgjorde bakgrunden till detta projekts tillkomst, hade en återkomsttid på över 200 år. Beräkningen är baserad på en 130-årig mätserie av dygnsnederbörd från SMHI i Gävle.



Figur 6:9 Erhållet samband med NAM-modellen mellan flödet till Duvbackens reningsverk för Gävle centralort och återkomsttiden.

En utveckling pågår där man försöker koppla ihop driftövervakningssystem för avloppssystem med datormodeller. En välkalibrerad NAM-modell används för prognos av flöden i ett avloppssystem. Prognoserna skall användas för styrning och reglering av avloppsnätet för att optimera magasinvolym, minimera bräddad föroreningsmängd samt att förbereda reningsverket på ett alternativt driftsätt för att klara en kraftig flödestopp.

7 STRATEGI FÖR ATT LOKALISERA KÄLLOR TILL OVIDKOMMANDE VATTEN

7.1 Vikten av att ha tillgång till erfarna va-tekniker

Fram till detta kapitel har främst diskuterats olika arbetsmetoder och hjälpverktyg för att ringa in sjuka områden och friskförklara andra. Det har till stor del handlat om att på olika sätt försöka beskriva det ovidkommande vattnet både till omfattning och karaktär. I detta kapitlet gäller det att istället på ett metodiskt sätt fastlägga källorna till det ovidkommande vattnet i områden som visat sig vara kraftigt påverkade av ovidkommande vatten. Även på denna nivå är det mindre lämpligt att ensamt försöka studera den indirekta nederbördspåverkan utan tanke på övrigt ovidkommande vatten.

De undersökningsresurser och kostnader, räknat per meter ledning, som nu krävs för att fastlägga källor till ovidkommande vatten är mycket högre jämfört med de resurser som krävs för att "bara" studera flödesförlopp. Här finns det tyvärr få genvägar men man bör åtminstone se till att undvika omvägar och återvändsgränder. Försök beakta nedanstående punkter:

- * Utnyttja erfarna va-tekniker, både som va-detektiver och som stöd för tolkning av undersökningsresultat.
- * Dra Er ej för att arbeta med det "besvärligare" privata ledningsnätet. Betänk att i många fall genereras merparten av det ovidkommande vattnet på privat mark!
- * Arbeta stegvis och välj inte kostsamma metoder på ett för tidigt stadium.
- * Invänta perioder med hög grundvattenyta vid undersökningar av hydrologiskt beroende källor.
- * Var väl medveten om begränsningarna i undersöknings- och utredningsmetoder, ifrågasätt och var kritisk till undersökningsresultaten.
- * Arbeta utan "skygglappar" och med en stor känsla för ett va-tekniskt "sunt förnuft"

Det kan inte nog understrykas vikten av att ha tillgång till en stabil och erfaren va-organisation som med goda resurser kan arbeta metodiskt för att lösa även dessa besvärliga va-problem samt undvika att framöver göra om gamla misstag.

7.2 Planeringen av fältundersökningarna på lokalplanet i projektet

I planeringen av detta projekt avsågs att genomföra fullständiga undersökningar av vissa begränsade avloppssystem. I några områden med INE-problem installerades ett antal grundvattenrör och några fastighetspumpstationer instrumenterades. Tanken var att man stegvis skulle besluta om mer ingående undersökningar när väl de inledande resultaten hade pekat ut vägen.

I projektet fick vi tyvärr en tydlig påminnelse om variationerna i den hydrologiska situationen och därav medföljande utredningsproblem. Mätningarna påbörjades 1989 och den extrema torkan under fältmätningssperioden stälpte planerna. 1989 förekom ingen snösmältning, inga nämnvärda regnmängder föll under sommaren och även hösten var torr. Vid ett projektmöte i september 1989 konstaterades att grundvattennivån var extremt låg samt att flera av de satta grundvattenrören var helt torrlagda.

Den extrema torkan medförde att projektet fick planeras om. Redovisningen i detta kapitel är därför en blandning av genomförda undersökningar, exempel på geohydrologiska beskrivningar från mätområdet Storhagen resp Forsby och övriga erfarenheter vilka hämtats från andra tillämpningar. I kapitlet ges också en samlad beskrivning av idéer, tips samt något om kunskapsläget för undersökningar på lokalplanet av va-näten. Erfarenheterna utgör också en sammanfattning av vad som framkommit vid de seminarier som genomförts under projektets gång.

7.3 Samordnat angrepp från två håll

När INE-problem uppträder kan man konstatera att det oftast rör sig om en olycklig kombination av svagheter eller felaktigheter i ledningssystemets uppbyggnad och de geohydrologiska förhållandena. Typiska sådana olyckliga förhållanden är:

- * Källarbebyggelse, vilket har medfört djupa dräneringssystem och ledningssystem, i områden med högt grundvatten.
- * Dräneringsvatten avleds till spillvattensystemet i områden med friktionsmaterial och tidvis hög grundvattenyta men med dålig naturlig avledning
- * En bristfällig eller obefintlig kontroll av ledningsutförandet på privat mark har medfört att felaktigheter och bristfälligt utförande ej upptäckts.

Det arbetssätt som krävs för att reda ut dessa komplexa problem på lokalplanet kan beskrivas som ett samordnat angrepp från två håll:

1. Teknisk kontroll av avloppssystem på kommunal och privat mark
2. Geohydrologisk bedömning och beskrivning av hur ett område avvattnas och dräneras

De två angreppssätten måste naturligtvis samordnas. Här finns det heller inga enkla "kokbokslösningar". Framgången torde bero på om man kan kombinera ett geohydrologiskt och ett avloppstekniskt tänkande.

Den **tekniska kontrollen** av avloppssystemen inriktas mot bland annat följande punkter:

- * Hur avleds hårdgjorda ytor på kommunal och privat mark?
- * Kan vatten från recipienten, vid högt vattenstånd, strömma bakvägen genom nöd-/bräddavlopp?
- * Finns husgrundsdräneringar och vart avleds dräneringsvatten från husgrunder?
- * Finns överläkningsflöden mellan dag- och spillvattensystemet?
- * Kan dagvattenledningen stå fylld med vatten, exempelvis beroende på kommunikation med ett vattendrag, och läcka över till spillvattenledningen?
- * Finns det brunnslöck i diken mm som kan stå överdämda?

Den **geohydrologiska beskrivningen** inriktas mot följande frågeställningar:

- * Hur mycket vatten kan genereras inom området och vart kan det förväntas avvattnas? Hur stort markområde medverkar i grundvattenbildningen?
- * Vilka dräneringsledningar och spillvattenledningar borde ur geohydrologisk synvinkel vara utsatta för stora grundvattenströmningar?
- * Har grundvattenmagasin punkterats genom ett ej naturanpassat ledningsdragande vilket leder in grundvatten i rörgravarna?
- * Är markplaneringen på fastigheterna så olämplig att markvatten kan strömma in mot fastigheterna och avledas via dräneringsystemet?

Geohydrologiska beskrivningar i urbaniserade områden kan också användas för att undersöka förutsättningarna för att tröga upp dagvattenavrinningen eller avleda dagvattenflöden på annat sätt än via det kommunala nätet.

Detta bör hanteras i särskilda "**dagvattenhanteringsplaner**" och har till syfte att klara ut dagvattenhanteringen i ett längre perspektiv för olika områden. Dessa planer får stor betydelse vid förnyelse- och utbyggnadsfrågor där man måste ta ställning till erforderliga rördimensioner, källargolvsnivåer, avledningsprinciper, anslutningsfrågor mm.

Många gånger sker förnyelsearbetet av va-ledningarna relativt punktvis och det kan då vara svårt att se till helheten av systemfunktionen. Därmed finns risken att man gradvis och kanske omärkbart glider mot eller permanentar en olycklig systemfunktion av avloppsnätet.

8 KONTROLL AV AVLOPPSSYSTEMENS UPPBYGGNAD OCH FUNKTION PÅ LOKALPLANET

8.1 De "besvärliga" privata servisledningarna.

Att söka ovidkommande vatten på privat mark är något som hittills praktiserats endast i mycket begränsad omfattning. Den enda aktivitet som skett i någon nämnvärd omfattning är anslutningskontroller av tak- och gårdsytor. Många gånger kan man se att mycket stora undersökningsresurser kan satsas på de kommunala nätet innan man, kanske motvilligt, ger sig på det privata servisledningarna.

Många anser att "det är för besvärligt" och "även om vi hittar felkällor så har vi svårt att kunna åtgärda". Ursäkterna kan vara många men om våra funktionskrav på avloppssystemen sätter press på att minska mängden ovidkommande vatten så går det inte att undvika att rätta till misstag/felaktigheter eller olyckliga systemlösningar också på privat mark. **Man får inte glömma bort att spillvattennäten är, i normala fall, konstruerade även som dräneringssystem för ett bebyggelseområde.**

I de följande avsnitten behandlas metoder och hjälpmedel för att spåra ovidkommande vatten på lokalplanet med särskild inriktning mot det privata servisledningsnätet.

8.2 Anslutningskontroller för att spåra direkt nederbörds- påverkan, DNE.

Anslutningskontroller av hårdgjorda ytor är den mest utförda undersökningsmetoden på privat mark. De anslutna ytorna ger vid nederbörd en snabb flödesökning som också relativt snabbt avklingar efter regnets slut. DNE-flödena är, betraktat som årsvolymer, normalt ej den dominerande typen av ovidkommande vatten. Däremot kan de korta toppflödena ställa till problem.

En tumregel för påverkan av anslutna ytor är att ett 2- årsregn resulterar i ett momentant tillflöde per ansluten fastighet på ca 1 l/s! (Räknat med en regnintensitet på storleksordningen 100 l/s och ha som faller på en fastighet med ca 100 m² hårdgjorda ytor)

Den direkta nederbördspåverkan kan endast skiljas ut från den snabba komponenten av den indirekta nederbördspåverkan med hjälp av anslutningskontroller av hårdgjorda ytor. Inom ramen för detta projekt genomfördes en mycket omfattande och konsekvent genomförd anslutningskontroll och bedömning av grönytor som kan avvattas till spillvattennätet inom området Sörby/Fridhem, se kapitel 5.4.

Vanligt förekommande metoder är att spola med färgat vatten eller salt på den yta som skall kontrolleras. I Gävle användes färgämnet Flourecein-natrium-reinst, $C_{20}H_{10}Na_2O_5$, vilket är ett mycket kraftigt grönaktigt färgämne. Vid höghusbebyggelse togs stuprören isär i markplanet. I andra fall borrades hål i stupröret. Efter anslutningskontrollen förseglades hålet med en gummipropp.

Anslutningskontrollerna krävde, för hela Sörby/Fridhems mätområde på totalt 223 ha, en arbetsinsats på ca 4 månader för ett arbetslag på två man. Vid en normal framdrift kunde ett arbetslag om två man hinna kontrollera ca 20 villafastigheter per arbetsdag.

Totalkostnaden för hela kontrollen i storlekordningen 330 kkr räknat med en timkostnad för arbetslaget på 550 kr. Priset per fastighet uppgick till ca 250 kr.

Kostnaderna för hela anslutningskontrollen inkl besiktningen av grönytor blir fördelat per meter spillvattenledning ca 15 kr/m (330 kkr/22 km). Kostnaderna ligger i detta fallet således i samma storleksordning som en TV-inspektion.

8.3 Undersökningar för att spåra läck- och dräneringsvatten, LÄC, samt indirekt nederbördspåverkan, INE.

Både LÄC- och INE-flöden är till stor del hydrologiskt beroende källor, dvs storleken på flödena påverkas av den hydrologiska situationen. Dessutom letar sig vattnet in i spillvattensystemet under mark. Detta gör att LÄC- och INE-flöden är väsentligt svårare att spåra än DNE-flödena.

Inom ramen för detta projekt har inga detaljerade undersökningar på lokalplanet kunnat genomföras till följd av den extrema torkan under mätperioden. Den följande beskrivningen av metoder blir därmed mer allmän än vad som hade varit önskvärt. Det är av stort intresse att alla försök med undersökningsmetoder, särskilt på privat mark, dokumenteras med en teknisk/ekonomisk uppföljning av såväl framgångar som motgångar.

Trots allt så finns det en del olika metoder för att spåra LÄC- och INE-flöden. Angreppssätten för dessa två typer av ovidkommande vatten är i vissa stycken likartade varför vi här behandlar dessa parallellt.

8.3.1 Okulär besiktning

Möjligheterna till att okulärt finna fel eller uppskatta flöden i ledningsnät är hos många en underskattad metod. Nyttan av de okulära metoderna är

dock kraftigt beroende av erfarenheten hos den person som genomför besiktningen. Man bör betrakta de okulära metoderna som ett komplement till övriga. Okulära besiktningar kan göras på många sätt och med olika ambitionsnivåer.

Det är mycket effektivt att använda okulära flödesuppskattningar när man skall spåra källor till långsamt avklingande flöden av ovidkommande vatten. Dessa undersökningar genomförs vanligen nattetid och benämns ofta som "nattmätning". För att kunna välja ut en lämplig period för nattmätningen, dvs med högt grundvattenstånd, bör man följa flödesvariationen i någon känd mätpunkt, lämpligen en pumpstation eller ha kontroll på grundvattensituationen via grundvattenrör.

En van va-detektiv kan med rimligt god noggrannhet bedöma flöden upptill någon/några liter per sekund. Det är vanligt att man har förberett en nattmätning under en torrvädersperiod genom att installera ett antal portabla mätöverfall eller mättrännor på strategiska punkter i avloppsnätet. Resultaten från dessa kontrollpunkter pekar då ut de avloppsgrenar där okulära flödesuppskattningar bör ske. Man följer därvid flödet uppströms tills källorna har ringats in.

Flödesuppskattningar på privat mark kan däremot göras under dagtid eftersom man lätt kan kontrollera att inget spillvattenutsläpp genomförs från en enskild fastighet.

Tyvärr så är möjligheterna till besiktning på servisledningar många gånger mycket begränsade till följd av att besiktningsbrunnar saknas eller är överfyllda med jord. Man kan då behöva utnyttja TV-inspektion eller sk avloppssperiskop/brunnskikare, dvs spegel i kombination med halogenlampa, för att från det kommunala nätet lokalisera strömmar av ovidkommande vatten från det privata.

8.3.2 Flödesmätning på fastighet.

Flödesmätning inne vid fastigheter kräver mycket stora, ofta orimliga, resurser och är dessutom förknippade med många mättekniska problem.

En kontinuerlig mätning av flöden från en enskild fastighet är normalt ej praktiskt realiserbar eller ekonomiskt försvarbar. Om det däremot finns en fastighetspumpstation ökar möjligheterna väsentligt för en flödesmätning.

Om man vill mäta flödet endast som ett momentanflöde och har tillgång till en dräneringsbrunn kan man behöva pumpa upp dräneringsvattnet och mäta flödet med hink och klocka.

8.3.3 Överläckningskontroll på huvudledningsnätet

Flera olika metoder att genomföra överläckningskontroll på huvudledningsnätet finns ingående beskrivna i rapporten "Överläckning från dag- till spillvattenledningar", (Bäckman 1985).

Kontrollen tillgår så att ett känt brandpostflöde får belasta den aktuella dagvattenledningen under torrväder. Inledningsvis kan man besiktiga nedströms liggande dagvattenbrunnar och okulärt bedöma eller mäta med mätöverfall om dagvattenflödet minskat. Man kan även parallellt försöka okulärt uppskatta om flödet samtidigt ökat i spillvattenledningen. Vid misstankar om överläckning kan såväl olika typer och system med portabla mätrännor installeras i spillvattensystemet eller spårämnesmetoder användas.

Alla metoder med simulering av relativt måttliga dagvattenflöden, med hjälp av exempelvis brandpostspolning, avslöjar endast överläckningssektioner där otätheter även finns i vattengången. Vill man simulera högre dagvattenflöden kan dagvattensystemet dämmas. Detta är dock tidsödande och innebär därmed att kostnaden per meter undersökt ledning skjuter i höjden.

8.3.4 Överläckningskontroll på servisledningar

Överläckningskontroll kan genomföras på den del av servisledningen som finns fram till en inspektionsbrunn genom att proppa och fylla upp dagvattenledningen. Tyvärr brukar dessa vara belägna omedelbart utanför huskroppen varför stora delar av serviserna ej kan kontrolleras på detta sätt. Många brister i fastighetsserviserna brukar dock finnas även i dagvattenservisen runt huset. Om denna ligger med dåligt fall, är otät eller igensatt finns en uppenbar risk att regnvattnet strömmar ut och kan söka sig ner i dräneringsskiktet.

Överläckningskontrollen på privat mark torde dock enklast kunna genomföras som en samlad kontroll av hela privata ledningsnätet genom att från huvudledningen, med hjälp av TV-inspektion, kontrollera flödet i spillvattenservisen vid samtidig spolning på takytor etc, se vidare under TV- inspektion.

8.3.5 Simulering av dräneringsvattenbildning

Metoder finns beskrivna i bla VAV P33, Kontroll på avloppsnät. Metoderna torde förutsätta att de naturliga förhållandena med hög grundvattenyta samt hög markvattenhalt i den omgivande marken är uppfyllda. Metoderna används sällan praktiskt.

8.3.6 Invändig ledningsinspektion

Utgångspunkten för metoden är att försöka finna möjliga inläckagepunkter. Tyvärr kan man ibland konstatera att spåren efter otäta fogar, järnutfällningar etc, direkt använts för att döma ut en ledning.

Det är ej rimligt att endast med spåren efter otätheter i rörfogar som underlag, utan att ha en aning om storleken på flödet, sätta igång stora reinvesteringar av huvudledningsnätet. Man löper dessutom en stor risk, om man endast tätar huvudledningen, att grundvattnet stiger och läcker in via, de med all säkerhet, minst lika otäta serviserna.

TV-inspektion och i viss utsträckning manuell inspektion i huvudledningsnätet kan dock användas i dessa sammanhang för att spåra:

- * större synbara inläckage
- * kraftiga dräneringsflöden från serviser
- * överläckningsflöden på privat mark
- * överläckningsflöden på huvudledning.

I de två senare fallen kombineras TV-inspektionen med att man från brandpost belastar takytor resp dagvattenledningen med vatten.

För att i detalj kunna konstatera var brister finns på fastighetsserviser kan det vara nödvändigt att utföra TV-kontroll av själva servisledningarna. De små TV-utrustningar som finns idag möjliggör även inspektion av ledningarna runt ett hus.

En svag punkt i många avloppsnät är också själva anslutningspunkten mellan fastighetens servis och det kommunala ledningsnätet. Inte sällan förekommer där bristfälliga tätningar till följd av ojämna sättningar, dåliga dimensionsövergångar, ej proppade anslutningar till obebyggda tomter etc.

9 GEOHYDROLOGISK BESKRIVNING AV ETT OMRÅDES AVVATTNING

Geohydrologin behandlar den del i den hydrologiska cykeln, som omfattar vattnets förekomst i marken. En geohydrologisk beskrivning utgör sammanvägda bedömningar utifrån kännedom om topografi, jordlager, berggrund, nederbördsförhållande, avdunstning mm. Det är oftast mycket svårt att utröna vattnets flöden, magasineringar mm i marken och det fordras omfattande undersökningar och mätningar som underlag för relativt säker beskrivning av förhållandena.

En grov översiktlig beskrivning, som ändå kan vara en värdefull komponent i arbetet att lokalisera källor till problem med ovidkommande vatten eller för riskbedömning vid nybebyggelse kan dock ofta göras med ledning av kartstudier och okulär granskning av terrängen.

Nyttig information kan exempelvis fås av:

- * Topografiska kartor, primärkarta eller grundkarta, både aktuella och äldre kartor, ger underlag för avgränsningar av avrinningsområden samt bedömning av strömningsriktningar för yt- och grundvatten
- * Jordarts- och berggrundskartor kan ge stöd för bedömning av jordlagrens sammansättning och möjlig mäktighet samt berggrundens karaktär
- * Kartor upprättade av orienteringsklubbar ger ofta mera ingående information om våtmarker, vattenförande stråk och ytor, som tidvis är vattentäckta

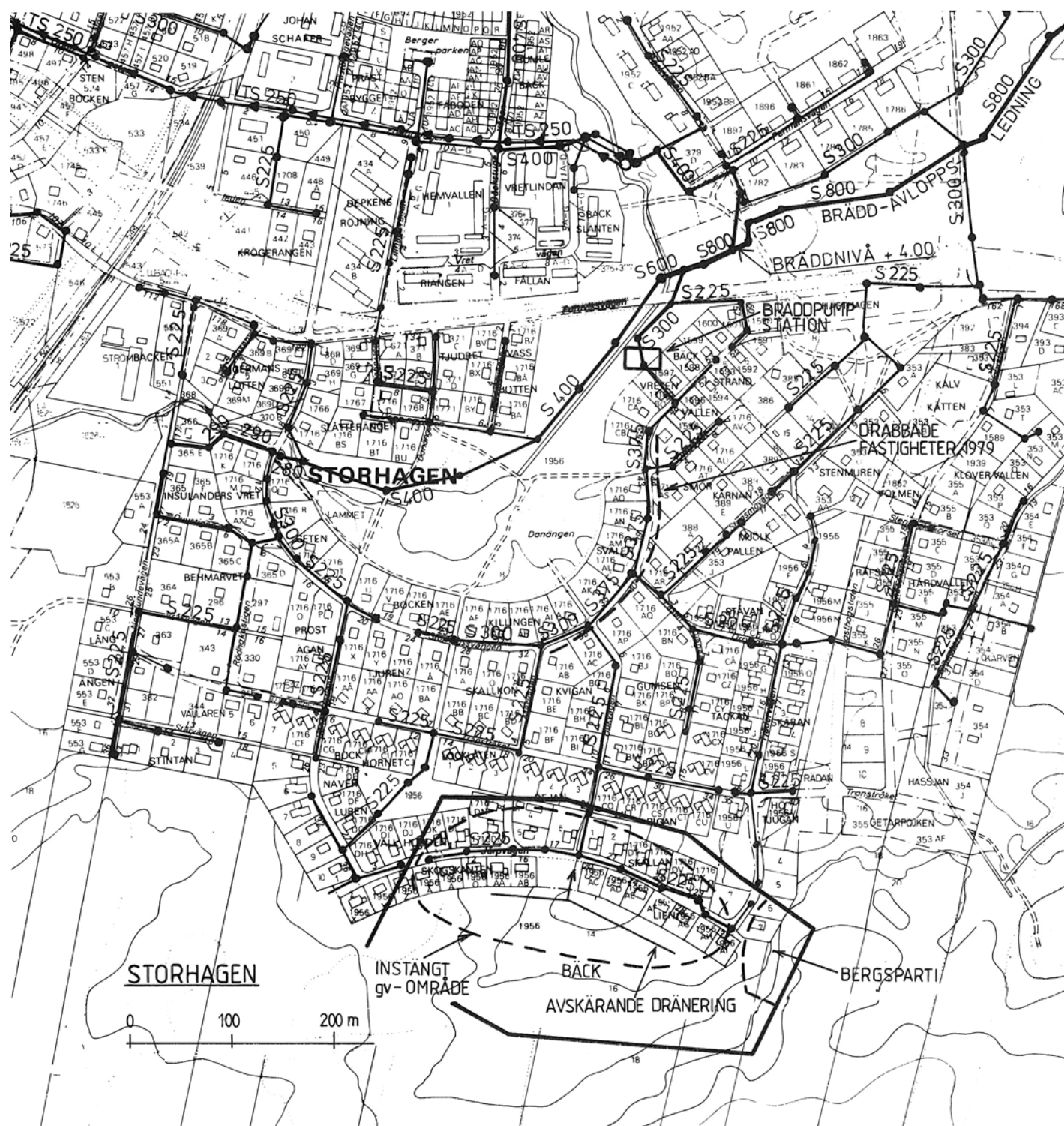
En erfaren geohydrolog kan ge översiktlig bild av hur ett område kan förväntas ha sin vattenavledning. Exempel på detta ser vi i de följande avsnitten där sådana beskrivningar gjorts inom ramen för detta projekt för Storhagen resp Forsby. De två exemplen inleds med en problembeskrivning.

9.1 Exemplet Storhagen

9.1.1 Problembeskrivning

Ett kortare ändledningssystem i Järpvägen, Storhagen, utvaldes för att mer i detalj studera möjliga markvattenströmningar mot bebyggelsen, se fig 9:1. Bebyggelsen i Järpvägen består av villor. Området angränsar mot högre belägen naturmark. Naturmarken består av ett bergsparti och skogsmark.

Spillvattensystemet i Järpvägen utbyggdes på 1940-talet och dagvattenssystemet anlades under 1960-talet. Fastigheterna är invid huslivet försedda med 400 mm:s inspektionsbrunnar till dräneringsledningarna.



Figur 9:1 Översikt över spillvattennätet i Storhagen. Ändledningssystemet i Järpvägen är inringat.

Omfattande källaröversvämningar inträffade under det kraftiga nederbördsdygnet 1979. De drabbade fastigheterna är belägna i de lägre områdena i Storhagen. En kraftig nederbördspåverkan hade konstaterats i Järpvägen. Längs med skogsmarken har ett avskärande dräneringsdike anlagts i syfte att minska belastningen av ovidkommande vatten till spillvattensystemet.

Den ursprungliga tanken i projektet var att genom flödesmätningar i det avskärande systemet visa på möjliga flödesnivåer till enskilda fastigheters dräneringar samt utvärdera effekten av dräneringsdiket. Ett flertal grundvattenrör sattes på en linje vertikalt mot den avskärande dräneringen. Under större delen av mätperioden var grundvattenrören, till följd av den extrema torkan, torra och inget flöde uppträdde i dräneringsledningen. Därav inriktades den geohydrologiska beskrivningen mer mot en spekulativ bedömning av möjliga flöden under olika förhållanden.

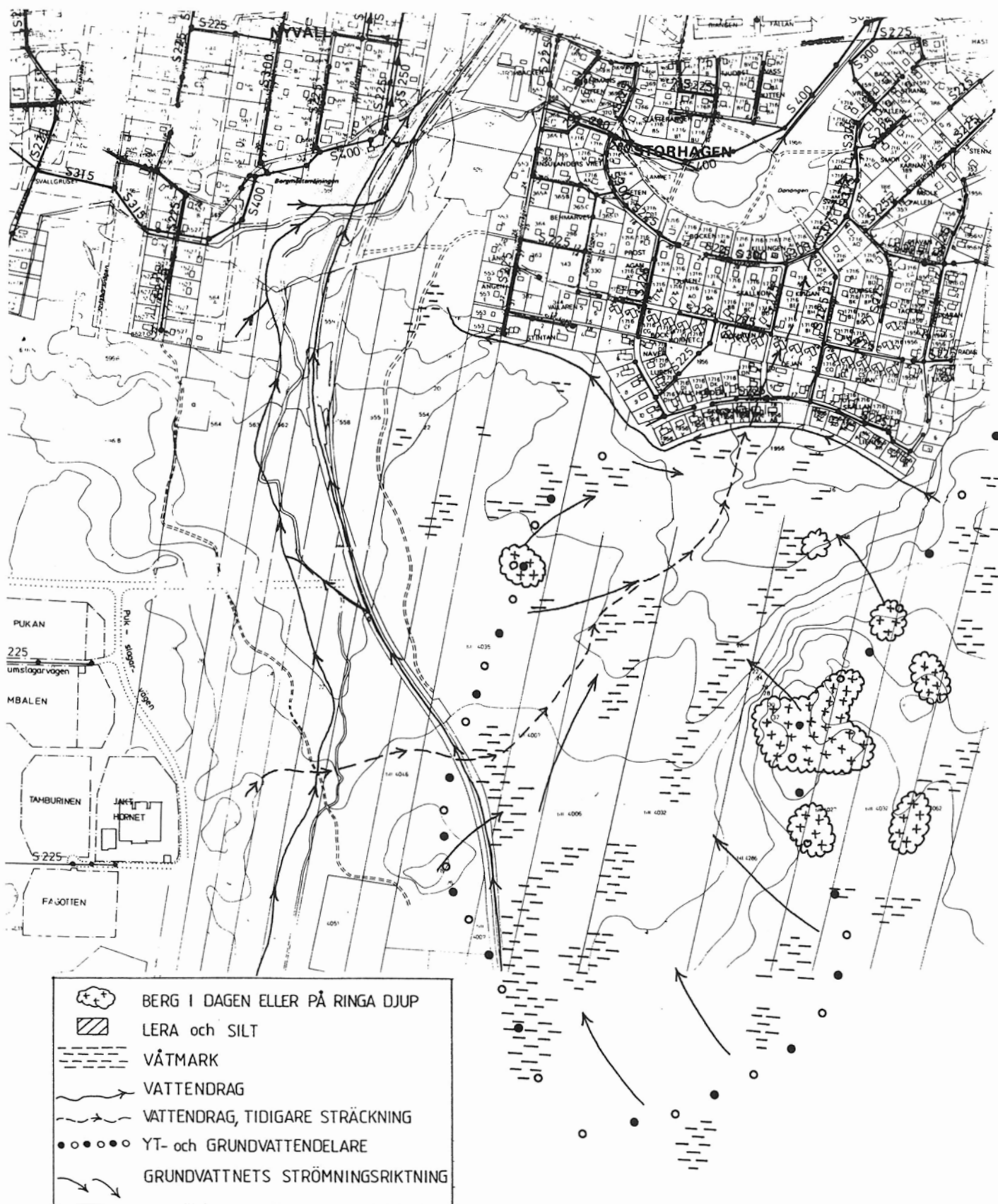
9.1.2 Geohydrologisk beskrivning av Storhagen

Storhagen är ett ca 50 ha stort, äldre villområde i den södra ytterranden av stadsdelen Bomhus. Södra halvan av området ligger på den nedre delen av en långsträckt sydlig moränsluttnings, som centralt i området gränsar mot ett parti nästan horisontell sedimentmark med en liten utgrävd damm. Från väster leder en större bäck till dammen och utflödet sker mot nordost.

Den långa moränslutningen har delvis oregelbunda lutningar. Bl a ligger drygt 200 m av Järpvägen, som är bostadsgatan längst i söder, i en svacka vinkelrätt mot slutningens huvudriktning. Den svackan når som en svagt uppåtsluttande, grund dalgång, delvis omgiven av berg i dagen, ungefär 1 km söderut i skogsbevuxen naturmark. Den utgör ett 50 ha stort avrinningsområde, från vilket det sker såväl ytvattenavrinning som interflow som grundvattenavrinning mot ett ca 200 m brett avsnitt av bebyggelsen. Med interflow avses en horisontell vattenström i det översta marklagret.

Markytan är ofta vattensjuk inom detta avrinningsområde och där finns ett par mindre kärr. På äldre kartor visas där ett mindre vattendrag, liten bäck, som leder vidare ner till nuvarande utflöde från dammen inne i bebyggelseområdet. Vattendraget leds numer en annan sträckning, innan det når det aktuella avrinningsområdet, men fåran finns kvar och i den rinner det tidvis fram vatten mot bebyggelsen.

Det finns ytlager av såväl torv som sedimentskikt med sand, silt, lera o dyl i lokala svackor inom den stora moränslutningen, exempelvis i kärrbildningarna, men till helt övervägande del består jorden där av morän.



Figur 9:2 Geohydrologisk översikt över området uppströms Järpvägen, Storhagen.

Inom sedimentavsnittet centralt i bebyggelseområdet kan det finnas ett relativt tjockt ytlager av sand. Jorddjupet bedöms mestadels vara mellan ca 1 och 4 m inom hela området.

9.1.3 Diskussion om avrinningsförhållandena i Storhagen

Vid de för området rimliga värdena 700 mm årsnederbörd och 400 mm total avdunstning leds på ett år sammanlagt 150 000 m³ vatten, genom ytvattenavrinning, interflow och grundvattenavrinning, från det ovan beskrivna avrinningsområdet söder om bebyggelsen fram mot ett ca 200 m brett gränssnitt av bebyggelsen. Det motsvarar i genomsnitt 4,8 l/s, med stora variationer beroende på varierande nederbörd och nederbördsföljder och på temperaturvariationer (påverkar avdunstning, magasinering som snö och snösmältning).

Grundvattenavrinningen torde variera måttligt: exempelvis 0,25-1,5 l/s vid likformig sammansättning och permeabilitet i hela jordtäckets ytskikt eller 2-10 l/s om det finns ett mer genomsläppligt skikt underst i jordtäckets (vilket inte är ovanligt). Ytvattenavrinning och interflow i det översta markskiktet kan variera mellan 0 och 100 l/s - ännu mer i extrema fall. Följande fiktiva beskrivningar visar exempel på variationer i magasinering och avrinning för lika nederbördsföljder vid olika årstider:

1. Efter en tids sommartorka sker det ingen ytvattenavrinning och ingen interflow mot bebyggelseområdet. Grundvattenavrinningen har avklingat till 2,5 l/s (om den kan variera 2-10 l/s). Det regnar då 20 mm under ett dygn och två dygn senare 10 mm på samma tid samt ytterligare 30 mm tre dygn därefter. Det har alltså fallit 60 mm regn på 8 dygn.

Det första regnet fyller ytmagasinet och det påbörjar fyllning av rotzonsmagasinet. Avdunstningen minskar dock magasinens volymer i perioden mellan de två första regnen och dessa två magasin är inte helt fyllda förrän i slutet av det andra regnet, efter 4 dygn. Efter ytterligare 4 dygn och totalt 60 mm regn kan regnvattnet ha transporterats vidare med denna fördelning:

- * 25 mm har avdunstat (total avdunstning)
- * 20 mm har fyllt ytmagasinet och mättat rotzonsmagasinet
- * 2 mm har runnit av som interflow
- * 13 mm har perkolerat till grundvattenytan och höjt den med genomsnitt 7 á 8 cm; långt ner i sluttningen, nära bebyggelsen, kan den dock ha höjts nära 1 m.

Grundvattenhöjningen har medfört att grundvattenavrinningens intensitet ökat till 4 l/s i det ca 200 m breda gränssnittet mot bebyggelsen. Då det under det sista regndygnet även sker avrinning genom interflow, kan den sammanlagda avrinningens intensitet vara ca 7 l/s under en kort tid.

2. Det har varit normala höstförhållanden med ett flertal regnperioder med måttligt stora regnmängder. Grundvatten- och rotzonsmagasinen är mättade och ytmagasinet nästan fyllt. Grundvattenavrinningen är 5 l/s i det ca 200 m breda gränssnittet mot bebyggelsen och det sker även avrinning genom interflow, säg 2 l/s.

Det regnar då 20+10+30 mm med samma fördelning som i exempel 1. Avdunstningen är obetydlig och praktiskt taget hela regnmängden kommer att rinna av mot bebyggelseområdet.

De två första regnen fyller ytmagasinet helt och skapar även översvämning på några lokala ställen inom avrinningsområdet; avrinningen mot bebyggelsen ökar betydligt och ytavrinningen svarar för den största andelen. Under slutskedet av det andra regnet kan avrinningskomponenternas intensiteter vara:

- * 10 l/s grundvattenavrinning
- * 5 l/s interflow
- * 50 l/s ytvattenavrinning

Under det tredje regnet ökar inte intensiteten i grundvattenavrinning eller interflow, men ytvattenavrinningen ökar och kan uppgå till genomsnittligt ca 80 l/s under hela regndygnet samt en utdragen avklingningstid.

Största sammanlagda avrinningsintensiteten i exempel 2 kan alltså uppgå till ca 95 l/s, att jämföras med ca 7 l/s i exempel 1.

Därtill kommer vatten, som genereras inom bebyggelseområdet och från andra, mindre tydliga avrinningsområden utanför bebyggelsegränsen.

9.2 Exemplet Forsby

9.2.1 Problembeskrivning

I Forsby har återkommande källaröversvämningar drabbat flera fastigheter. Detta har föranlett att 4 st av de mest utsatta fastigheterna har försetts med egna pumpstationer. Totalt i Gävle finns ett 10-tal fastighetspumpstationer. En av fastighetspumpstationerna i Forsby instrumenterades med händelseregistrering av pumptillslag och inledningsvis genomförde fastighetsägaren avläsningarna. Tre grundvattenrör sattes. Den ursprungliga tanken var att mätningarna skulle intensifieras när mer hydrologiskt intressanta perioder inträffade. En nederbördsräknare installerades vid avloppspumpstationen i Forsby och kopplades in på Gävle kommuns övervakningssystem.

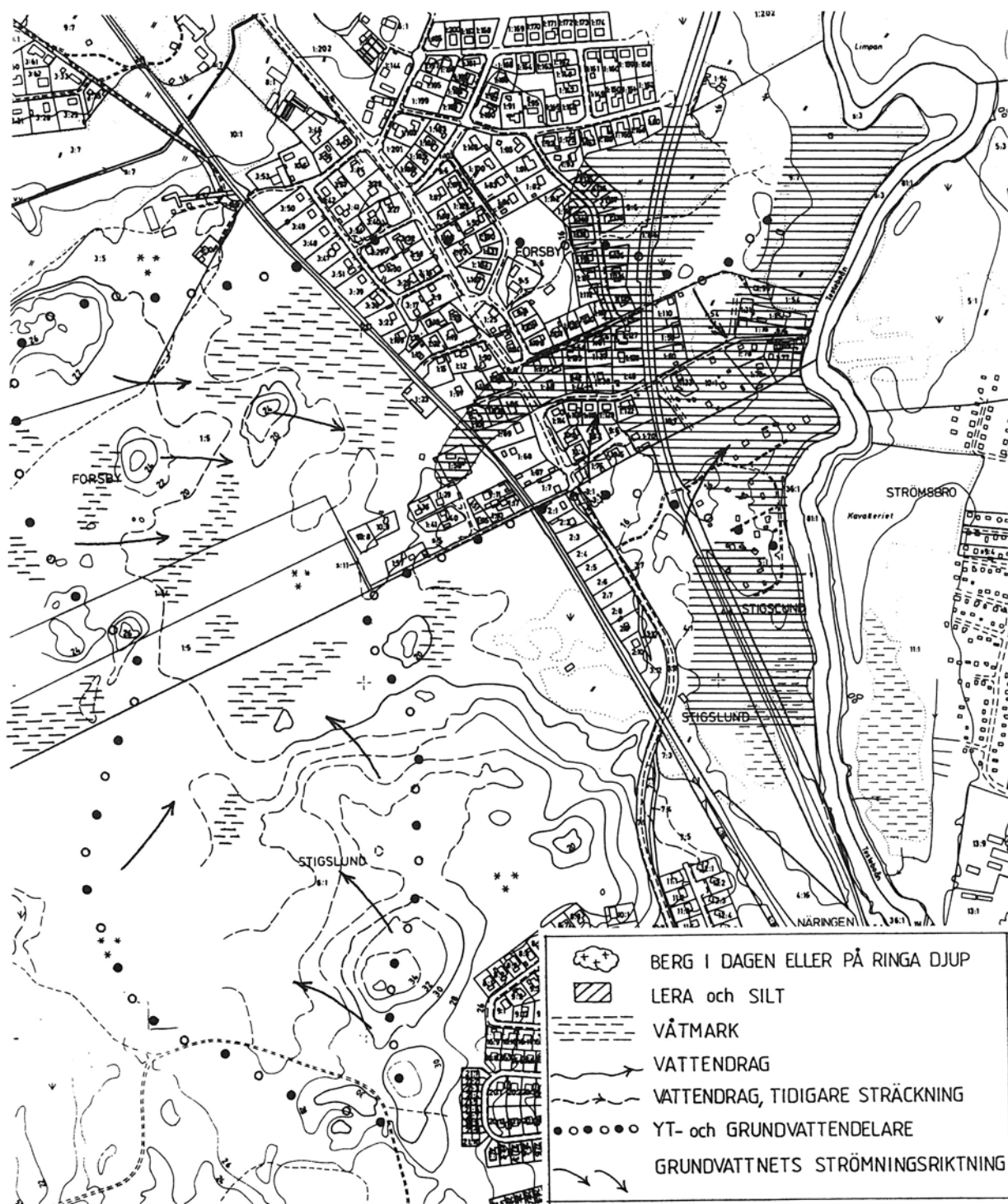
Syftet med mätningarna i fastighetspumpstationen var att försöka verifiera driftuppgifter om extrema flöden från enskilda dräneringssystem vid mycket blöta perioder. Uppgifter finns om att en dräneringspump om 4 l/s (!) ej höll undan dräneringsflödet från en enskild fastighet vid ett kraftigt nederbördsstillfälle. Kapacitetsprov på pumparna visade att de ej hade någon nedsatt kapacitet. Därefter har en kraftigare pump installerats.

Den geohydrologiska beskrivningen syftar till att försöka förklara vilka förutsättningar som finns i Forsby som kan resultera i de beskrivna extrema dräneringsvattenflöden. Den extrema torkan medförde att inga uppseendeväckande flöden noterades i fastighetspumpstationen. I grundvattenrören uppmättes mycket låga nivåer. Därav blev det tyvärr aldrig meningsfullt att genomföra steg två i mätningen med kontinuerligt registrerande flödesmätare i såväl spillvattennätet som i fastighetspumpstationen.

9.2.2 Geohydrologisk beskrivning av Forsby

I Forsby finns ett ca 30 ha stort område med koncentrerad villabebyggelse. Det ligger väster om Testeboån och gränsar nära mot ån på två ställen, i övrigt är det mestadels låglänta strandängar mellan bebyggelsen och ån. Det ligger två tydliga väst-östliga moränryggar inom området och mellan dem ett lägre sedimentparti som en utlöpare från strandängarna in i bebyggelseområdet.

Denna lägre sedimentdal har ett ca 50 ha stort avrinningsområde i skogsmark sydväst om bebyggelsen. Avrinningsområdet utgörs till stor del av relativt flack moränmark med enstaka, branta kullar och ryggar och med flera, relativt stora mossar och kärr - framförallt i närheten av bebyggelseområdet.



Figur 9:3 Geohydrologisk översikt över Forsby

Förhållandena liknar dem i Storhagen men med vissa markanta skillnader:

- * Det angränsande avrinningsområdet har ojämna lutningar med branta kullar och ryggar längst från bebyggelseområdet och nästan horisontella våtmarkspartier närmast bebyggelsen.
- * Sedimentsvackan i bebyggelseområdet har i en ände kontakt med moss- och kärrmarker, där marken mestadels är vattenmättad, och i motsatt ände gränsar den mot Testeboån. Flera källargolv ligger mycket lägre än moss- och kärrmarkerna och några av dem ligger lägre än normal högvattennivå i ån. En stor del av spillvattennätet ligger lägre än medelvattennivån i ån.

Det kan antas att jorddjupet är minst 3-4 m i sedimentsvackan och att sedimenten till stor del utgörs av silt och lera, som vilar på morän. Moränen kan ha betydligt högre permeabilitet än silt- och lersedimenten och här kan också finnas linser eller stråk med grovkornig, mycket genomsläpplig jord i övergångszonen mellan sediment och morän.

Grundvatten-, rotzons- och möjligen även ytvattenmagasinet i till bebyggelsen gränsande del av det stora avrinningsområdet i sydväst är mättade större delen av året. Grundvattenavrinningen därifrån mot sedimentsvackan i bebyggelseområdet är troligen relativt jämn - exempelvis mellan 2 och 4 l/s. Inom sluttningarna ner mot sedimentsvackan, inne i bebyggelseområdet, kan det dock, vid rikligt regn eller snabb snösmältning, genereras stora mängder grundvatten. Detta kan öka grundvattentryck och avrinningsintensitet väsentligt i morän och eventuella grovkorniga linser eller stråk under de tätare jordskikten i sedimentsvackan.

När en sådan situation sammanfaller med högvattenstånd i ån, fordras det mycket effektiva dränerings- och pumpanordningar för att undvika källaröversvämningar.

10 NÅGOT OM ÅTGÄRDSTEKNIK

Projektet har ej haft för avsikt att även behandla åtgärdsteknik mot INE-problematiken. Nedan punktas några principiella handlingsmönster för att förekomma eller åtgärda INE-problem.

Skall man ha en möjlighet att förekomma INE-problem i nya bebyggelseområden måste det vara en nära samverkan mellan stadsplanerare, va-tekniker, va-inspektörer och parkförvaltare.

Vi kommer dock att få leva med den befintliga urbana bebyggelsestrukturen under överskådlig tid men påföras skärpta funktionskrav för avloppssystemen. Därav kommer inriktningen, i huvudsak, att vara förbättringar av funktionen i befintliga avloppssystem.

Med tanke på de enorma resurser som krävs vid genomgripande förändringar i va-näten är det rimligt att anta att förnyelsen även fortsättningsvis kommer att ske till största delen punktvis. Det är då särskilt viktigt att alla små och stora åtgärder som genomförs under lång tidsperiod samverkar och arbetar mot samma långsiktiga mål.

Åtgärder mot INE-problem i befintliga avloppssystem kan grovt grupperas enligt följande:

- * Tätning av inläckage till spillvattenledningar
- * Tätning av utläckage från dagvattenledningar vid överläckningsproblem
- * Sänka grundvattentryck
- * Påverka sättet för avledning av dräneringsvatten
- * Påverka markplanering
- * Utjämning av spillvattenflöden

Det bör avslutningsvis framhållas att ovanstående åtgärder naturligtvis måste sättas in vid källan till problemen, oavsett om dessa är belägna på privat eller kommunal mark.

11 FORTSATT ARBETE

Vid INE-projektets slutseminarium den 9-10 feb 1993 i Sigtuna diskuterades denna rapport i konceptform. Det var en bred uppslutning bakom den beskrivning som ges i rapporten av detta problemfält. Många konkreta synpunkter har erhållits vilka nu inarbetats i slutrapporten.

Seminariet avslutades med en diskussion om behovet av fortsatt arbete. Det konstaterades att det största arbetet framöver torde vara att sprida kunskapen om detta arbetsfält och få den omsatt i praktisk handling. Det föreligger således ett stort utbildningsbehov.

Det är också viktigt att det finns personella resurser i kommunerna att ta sig an dessa besvärliga problem och förebygga att nya kommer till. Begreppet va-detektiver belyser bra karaktären på en mycket viktig personalkategori för va-förvaltaren. En del komuner har relativt goda resurser i form av va-detektiver under det att andra har så lite resurser att man borde ifrågasätta om det är möjligt att professionellt axla rollen som va-förvaltare.

Det behövs ett mer organiserat erfarenhetsutbyte kring va-detektivernas vardagliga arbetsuppgifter. Formen kan variera från ett enkelt pärmsystem till elektronisk post kompletterat med mötesaktiviteter. Ett nordiskt samarbete om dessa frågor borde också vara intressant.

Det föreligger ett behov av ett ingenjörsmässigt arbetsverktyg för en automatisk nyckeltalsbearbetning av den stora informationsmängd om flöden, nederbörd etc som kan genereras från övervakningssystem. Ett viktigt användningsområde för sådana välförankrade nyckeltal kan vara att underlätta formuleringar av funktionskrav avseende ovidkommande vatten på kort och lång sikt.

De nya datorbaserade arbetsverktygen MouseNAM och ytfördelningsmodellen som tagits fram respektive testats i detta projekt är redan allmänt tillgängliga inom etablerade koncept.

För att underlätta upphandling och jämförelser av resultat från olika flödesmätningar är det angeläget att kvaliteten på mätningarna beskrivs. En mall bör upprättas för kvalitetsbeskrivningar av flödesmätningssatser på några olika ambitionsnivåer. Om flödesmätningarna används för att verifiera en MOUSE-modell bör det dessutom tydligt framgå i kvalitetsbeskrivningen variationen i nyckeltal enligt flödesbearbetningarna samt vilka ytuppskattningar som valts vid modellberäkningarna.

Många aktiviteter pågår kring naturanpassad bebyggelse och va-planering, LOD-frågor mm. Här är det angeläget att kunskapen sprids så att detta framöver betraktas som det naturliga arbetssättet och ej endast som intressanta försök.

12 REFERENSLISTA

- Bäckman, H, Svensson, G (1983): Flödesmätningar i avloppsnät med portabla utrustningar. - Mätnoggrannhet under kontrollerade förhållanden i en 225 mm:s betongledning. Geohydrologiska forskningsgruppen. Meddelande nr 69, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Bäckman, H (1984): Avloppsledningar i svenska tätorter i ett historiskt perspektiv. - Ett sammandrag av tekniska förutsättningar, idéer och diskussioner under 1900-talets ledningsbyggande. Geohydrologiska forskningsgruppen. Meddelande nr 74, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Bäckman, H (1985): Överläckning från dag- till spillvattenledningar. -Metoder för att påvisa och kvantifiera överläckning samt redovisning av mätresultat från kommunala avloppsnät. Geohydrologiska forskningsgruppen. Meddelande nr 77, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Bäckman, H (1985): Infiltration/Inflow in Separate Sewer Systems. -Some Aspects on Sources and a Methodology for Localization and Quantification of Infiltration into Sanitary Sewers caused by Leaking Storm Sewers. Dissertation no 6. Inst. f. va-teknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Bäckman, H, Marklund, B, Olsson, R, Wästlin, T, Peterson, B-L (1990): Indirekt nederbördspåverkan i avloppsnät - en utmaning för va-detektiven! Bygg&teknik, nr 5, Stockholm.
- DHI (1983): A short description of NAMS11-A comprehensive river basin model. Dansk Hydraulisk Institut, Hörsholm, Danmark.
- DHI (1992): MouseNAM - Reference Manual and User's Guide. Dansk Hydraulisk Institut, Hörsholm, Danmark.
- Gustafsson, L G, Kjellgren, E (1987): Hydrografanalys med ytför delningsmodellen. Inst. f. vattenbyggnad, Examensarbete 1987:2, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Gustafsson, L G, Olsson, R (1991): Indirekt nederbördspåverkan i duplikata spillvattensystem. - Metodik för flödessimulering, BFR-rapport R69:1991, Byggeforskningsrådet, Stockholm.
- Gustafsson, L G (1993): Simulering av hydrologin inom urbana områden. Metodikmanual - MouseNAM. VA-FORSK nr 1993-04, Svenska vatten och avloppsverksföreningen

- Gävle gatukontor (1980): Rapport över källaröversvämningar i samband med nederbörd 26-27 aug 1979. Gatukontoret, Gävle kommun.
- Gävle gatukontor (1992): Hedesunda avloppsnät - Hydrologisk analys av bräddavloppsförhållanden. Gatukontoret, Gävle kommun.
- Peterson, B L (1984): Sanering av avloppsnät inom mindre tätorter. Byggforskningsrådet, T9:1984. Stockholm.
- SGU (1985): Svenskt vattenarkiv. Grundvattennätet Sveriges Geologiska Undersökning. Rapporter och meddelanden nr 43, Uppsala.
- SKTF (1947): Normer för beräkning av allmänna avloppsledningar och anvisningar om ledningars utförande. Svenska kommunaltekniska föreningens handling nr 5.
- MOVIUM 1990): Plats för regn. Stad och land nr 86, MOVIUM och VA-FORSK, Svenska vatten- och avloppsverks föreningen.
- VAV (1976): Anvisningar för beräkning av allmänna avloppsledningar. Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, publikation VAV P28.
- VAV (1978): Kontroll på avloppsnät, Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, publikation VAV P33.
- VAV (1979): Skötsel och underhåll av va-nät, Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, publikation VAV P39.
- VAV (1982): Dränering av bebyggelse. Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, Rapport 2/82, Stockholm.
- VAV (1985): Källaröversvämningar - Ansvar, Åtgärder, Ersättning. Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, Publikation VAV P49, Stockholm.
- VBB VIAK (1992): Låt naturen ta hand om dagvattnet - där dropparna faller. En idéskrift om LOD. VBB VIAK.

Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien – 1993-06-15

- 1992-01 Hydraulisk analys av vattenledningsnät, *Lennart Andersson*
1992-02 Samverkan mellan avloppsnät och reningsverk, *Claes Hernebring*
1992-03 Lukt- och smakstörningar i dricksvatten, *Kjell Kihlberg, Roger Sävenhed*
1992-04 Artificial Groundwater Recharge – State of the Art, *Cristina Frycklund*
1992-05 Analysmetod för klordioxid, klorit och klorat, *Mats Lindgren, Einar Pontén*
1992-06 Undersökning av förfilter för järn- och manganreduktion vid dricksvattenrening, *Tibor Nemeth, Åke Elgemark*
1992-07 Inventering av datorbaserade system för övervakning och styrning inom kommunal teknik, *Bengt Zagerholm*
1992-08 Bräddning – Problemets omfattning i svenska tätorter, *Mats Andreason, Johan Larsson*
1992-09 Lokal dagvattenhantering — Erfarenheter från några anläggningar i drift, *Eva Jansson, Bo Lind, Björn Malbert*
1992-10 PRISEK Prioritering Samhällskonsekvenser Ekonomi – Ekonomisk modell och systematisk effektreddovisning för värdering och prioritering av va-åtgärder, *Bertil Gustafsson, Gilbert Svensson*
1992-11 Konditionsstabilitet hos avloppsledningar av betong, *Viveka Lidström*
1992-12 Skadefall på nylagda betongledningar, *Ann-Christin Sundahl*
1992-13 Konstgjord grundvattenbildning, *Bertil Sundlöf, Lars Kronqvist*
1992-14 Trädrötter och ledningar, *Örjan Ståhl*
1992-15 Naturliga system för avloppsrening och resursutnyttjande i tempererat klimat, *HB Wittgren, Kenth Hasselgren*
1992-16 Vattenboken – En bok för mellanstadiet om vårt svenska vatten, *Accurat Information AB, VAV*
1992-17 Vattenboken – Lärboken, *Accurat Information AB, VAV*
1992-18 Utvärdering av VA-FORSK, *Björn Svedinger*
1992-19 Hårdgöring av dricksvatten med krita-kolsyra – ett alternativ till kalk-kolsyra, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
- 1993-01 Alternativ va-teknik – Exempelsamling, *Per-Arne Malmqvist, Agneta Samuelsson*
1993-02 Luft- och sedimentansamlingar i tryckledningar – Inledande studie, *Lennart Jönsson*
1993-03 Algtoxiner i dricksvatten – en undersökning vid två svenska vattenverk samt litteraturstudie, *Heléne Annadotter*
1993-04 Simulering av hydrologin inom urbana områden. Metodikmanual – MouseNAM, *Lars-Göran Gustafsson*
1993-05 Användning av klordioxid — Reaktorstudier och halter i distributionssystemet vid nio vattenverk, *Mats Lindgren, Einar Pontén*
1993-06 Slamspridning på åkermark, *Per-Göran Andersson, Peter Nilsson*
1993-07 Analys av tillförselgrad till avloppsverk — svårigheter och möjligheter. Tillämpning på tillrinningen till Tivoliverket i Sundsvall, *Claes Hernebring*
1993-08 Indirekt nederbördspåverkan i spillvattensystem, *Hans Bäckman, Björn Marklund, Rune Olsson, Bengt-Lennart Peterson, Tore Wästlin*

Övrig Publicering

Video Vatten och Avlopp för låg- och mellanstadiet

Påverkan på vattenkvaliteten i Stångån för utsläpp inom Linköpings tätort, Stadsb 2, 1991

Plats för regn. VA-FORSK och MOVIMUM, 1990

Klororganiska föreningar från disk- och blekmedel. Naturvårdsverket Rapport 4009, 1992

Kartläggning av förekomsten av legionella i svenska vattensystem, Byggforskningsrådet R9:1993

Förbättrad behandlingsteknik för tvättvatten från bilvårdsanläggningar, IVL B 1093

