



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

ISSN 0347 - 8165

Dagvattenavrinning från stora urbana områden. Simuleringsmetodik exemplifierat på Göteborgsregionen.



Sven Lyngfelt · Gilbert Svensson



CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

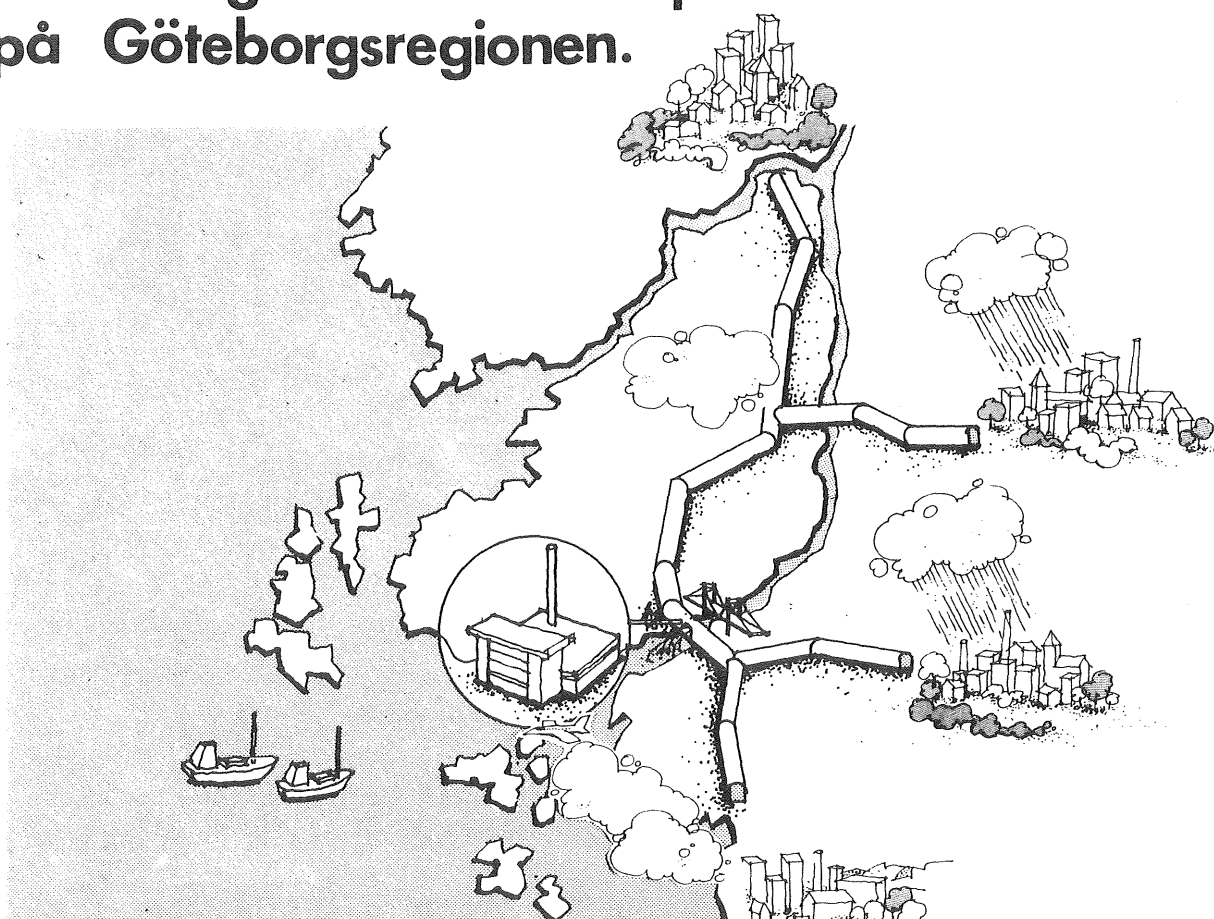
Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

ISSN 0347 - 8165

Dagvattenavrinning från stora urbana områden. Simuleringsmetodik exemplifierat på Göteborgsregionen.



Geohydrologiska forskningsgruppen
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 GÖTEBORG

Sven Lyngfelt · Gilbert Svensson

FÖRORD

SAMMANFATTNING

i-iv

1. BAKGRUND	1
1.1 Problemställning	1
1.2 Utvecklingen av beräkningsmodeller	2
2. MÅLSÄTTNING - METODIK	5
3. ANALYSMODELLER - VAL AV OMRÅDESINDATA	7
3.1 Allmänt om analysmodellers uppbyggnad	7
3.2 Beräkningsmetoder för yt- och ledningsnätsflöde	8
3.3 Samspelet modellval-detaljeringsnivå i indata	10
4. TILLGÄNGLIGA ANALYSMODELLER - EGENSKAPER OCH MÖJLIGHETER	15
4.1 Val av analysmodeller för projektet	15
4.2 NIVANETT	19
4.3 En jämförelse mellan NIVANETT och den verklighet modellen skall simulera	25
4.4 Kompletteringar av NIVANETT	26
4.5 Analys av dämningarnivåer - DAGVL-DIFF	27
5. AVLEDNINGSSYSTEMEN - INSAMLING AV DATA	30
5.1 Avrinningsområdet	30
5.2 Delområdets storlek	30
5.3 Sammanställning av data - samarbete	32
5.4 Områdesbeskrivningar	35
5.4.1 Allmänt	35
5.4.2 De mindre kranskommunerna	36
5.4.3 Partille, Mölndal	39
5.4.4 Östra stadsdelarna	40
5.4.5 Övriga stadsdelar	40
5.4.6 Regionen	43
5.5 Tunnelsystemet	43
5.5.1 Allmänt	43
5.5.2 Hydrauliska egenskaper	45
5.5.3 Funktion och driftförhållanden	46
6. MÄTNING OCH UTVÄRDERING AV NEDERBÖRD - AVRINNING	48
6.1 Nederbördsräkningar	48
6.1.1 Korttidsnederbörd	48
6.1.2 Nederbörd med lång varaktighet	51
6.2 Avrinningsräkningar	53
6.2.1 Syfte med avrinningsräkningarna - metodik	53
6.2.2 Mätpunkter - mätperioder - typ av flödesinformation	54

	SID
7. REDOVISNING AV SIMULERINGSMETODIK - OMRÅDEN MED MÄTNINGAR	56
7.1 Grundläggande antaganden för simuleringarna	56
7.2 Torrvädersavrinning	57
7.2.1 Kungälv	57
7.2.2 Partille	58
7.2.3 Mölndal	59
7.2.4 Kortedala - Bergsjön plus Partille	60
7.2.5 Östra stadsdelarna plus Partille	62
7.2.6 Västra stadsdelarna	63
7.2.7 Centrala stadsdelarna	64
7.2.8 Torrväderstillrinning - sammanfattning	65
7.3 Regnavrinning	65
7.3.1 Bearbetningsmetod - förutsättningar	65
7.3.2 Kungälv	68
7.3.3 Partille	70
7.3.4 Mölndal	72
7.3.5 Kortedala - Bergsjön plus Partille	74
7.3.6 Östra stadsdelarna	76
7.3.7 Centrala stadsdelarna	78
7.3.8 Övriga stadsdelar - regionen	80
7.4 Diskussion av simuleringsansatsen	82
8. FLÖDESSIMULERINGAR I TUNNELSYSTEMET	83
8.1 Modellindata - struktur	83
8.2 Val av tunnelsektion, delfyllnadsfunktion, råhet	85
8.3 Dykarledningar, spärrvägg	87
8.4 Flödes- och nivåförhållanden vid Rya-verket	88
8.5 Simulering av torrvädersflöde	88
8.6 Simulering av regn	92
8.7 Simulering av pumpstopp	99
8.8 Sammanfattning	103
9. SAMMANFATTANDE SYNPKTER	106
9.1 Inledning	106
9.2 Information om avledningssystemet	107
9.3 Mätning av nederbörd och avrinning	109
9.4 Analys av icke dämnda system	110
9.5 Analys av dämnda system	111
9.6 Rekommendationer - metodik	113

BILAGOR

I	DAG- OCH SPILLVATTENAVRINNING I GÖTEBORGSREGIONEN. ETT GRYAAB - CTH-PROJEKT Blanketter nr 1-7	I:1 - I:8
II	KUNGÄLV	II:1
IIIa	MÖLNDALSÅSYSTEMET	IIIa:1
IIIb	SÄVEÅSYSTEMET	IIIb:1

FÖRORD

Denna rapport avser projektet "Dagvattenavrinning från stora urbana områden - simuleringsmetodik exemplifierat på Göteborg". Rapporten utgör huvudrapportering av projektet. Projektet är ett samarbetsprojekt mellan Göteborgsregionens Ryaverks AB (GRYAAB) och Geohydrologiska forskningsgruppen vid CTH. Finansieringen sker till lika delar av GRYAAB och BFR. Arbetet påbörjades hösten 1978.

GRYAAB består av sju kommuner av vilka idag sex stycken renar sitt avloppsvatten i GRYAAB:s avloppsreningsverk, Ryaverket. Dessa sex kommuner utgör det geografiska område till vilket arbetet är begränsat.

Projektets genomförande har varit helt avhängigt ett stort datamaterial, som insamlats av personal i respektive kommuner. Detta material kan på grund av omfång inte redovisas i denna rapport utan har lagts i internrapporter vid Chalmers och Göteborgs va-verk, /8/ och /9/. Allt material, som behövs, för förståelsen av de resultat som redovisas finns emellertid i denna rapport.

Ansvariga för projektets genomförande har varit från CTH projektledarna Sven Lyngfelt och Gilbert Svensson samt forskaren Henriette Melin. Bernt Persson från Göteborgs va-verk har aktivt deltagit vid flödessimuleringarna med NIVANETT. Till ovärderlig hjälp vid tunnelsimuleringarna har varit Anders Sjöberg och Håkan Strandner, CTH. Fältmätningarna har utförts av Lars-Ove Sörman, CTH och Bernt Persson, Göteborgs va-verk.

Ansvarig från GRYAAB har varit Sören Hallqvist. Övriga medarbetare inom GRYAAB med medlemskommuner har varit:

Ale kommun: Hans Bergdahl

Göteborgs kommun: Olle Ljunggren och Bernt Persson

GRYAAB: Sven-Gunnar Pettersson

Härryda kommun: Stefan Lindroth

Kungälv kommun: Kenneth Gustavsson

Mölndals kommun: Rolf Jonson

Partille kommun: Roland Brandshage och Mikael Björkeborn

Dessutom har vid arbetssammanträden och besök på Rya-
verket och i berörda kommuner ett stort antal personer
deltagit och lämnat värdefulla synpunkter på vårt ar-
bete.

Vi framför härmed vårt tack till alla berörda personer.

Göteborg i november 1982.

Sven Lyngfelt

Gilbert Svensson

SAMMANFATTNING

Projektets syfte har varit att demonstrera att avrinningsmodeller är lämpliga för funktionsstudier och analys av åtgärder i befintliga avloppssystem. Tidigare har detta visats för dagvattensystem i mindre avrinningsområden, varför denna studie inriktats mot den spillvattenförande ledningen i avrinningsområden av varierande storlek. Det största avrinningsområdet är hela Göteborgsregionen som sammanbinds med ett tunnelsystem. Syftet har även omfattat att simulera tillrinningen till regionens reningsverk, Ryaverket.

Regionen, som omfattar 6 kommuner, har indelats i delområden i storleksordningen 10-100 ha. Mindre storlek för kombinerade områden och större för duplikata områden.

Varje delområde har beskrivits med: Total areal, hårdgjord areal ansluten till ledningssystemet, befolkningstäthet, specifik vattenförbrukning etc. Delområdena har förbundits med existerande ledningsnät, som beskrivits detaljerat med lutning, dimension och längd. Stadsdelar och motsvarande har förbundits med existerande tunnelsystem, som också beskrivits detaljerat.

Datainsamlingen har genomförts med personal från respektive kommuner. Denna har med hjälp av en gemensam mall tagit fram alla ingångsvärden för modellberäkningarna.

Två olika modelltyper har kommit till användning i projektet: a) NIVANETT som använts för att simulera tillrinningen från delområdena och även de delar av tunnlarna som inte påverkas av dämning. NIVANETT representerar en analys för icke dämnda system. b) DAGVL-DIFF som använts för analys av de delar av tunnelsystemet som påverkas av dämning.

Förenklningar har måst göras vid beskrivningen av delområdena, varför mätning av nederbörd och avrinning utförts för 7 stadsdelar i syfte att verifiera ingångsdata till NIVANETT.

Simuleringen av avrinningen från delområdena har baserats på antagandet att NIVANETT och andra modeller av denna typ beskriver hydrografer som överensstämmer med de verkliga om indatabeskrivningen är korrekt. Orsakerna till avvikelser mellan uppmätta och simulerade hydrografer bör således sökas i beskrivningen av delområdena snarare än i modellerna. De simulerade avrinningarna har uppdelats i:

- a) Torrvädersavrinning, som motsvarar summan av vattenförbrukningen och den kontinuerliga dränvattentillrinningen.
- b) Indirekt avrinning, som utgör ökningen av dränvattentillrinningen under regn.
- c) Dagvattenavrinningen, som utgör den direkta avrinningen från anslutna ytor.

Skillnaderna mellan simulerade hydrografer och uppmätta förklaras i stor utsträckning med att andelen anslutna ytor underskattats, vilket givit för liten dagvattenavrinning. Underskattningen av andelen anslutna ytor är mest markant för duplikatsystem. Delområden med stor andel kombinerade ledningar ger den bästa överensstämmelsen mellan simulerade och uppmätta hydrografer. Det största osäkerhetsmomentet för de kombinerade områdena är bräddavloppen, vilka är svåra att hydrauliskt riktigt beskriva.

NIVANETT och andra modeller av denna typ har också en starkt förenklad delmodell för bräddavlopp. Verifiering av andelen anslutna ytor kan dock göras för regn med relativt låg intensitet eftersom bräddavloppen vid dessa regn inte skall träda i funktion.

Analysen med DAGVL-DIFF i den dämnda delen av tunnelsystemet har innefattat modellfunktionsstudier, kontrollsimuleringar och systemfunktionsstudier. Avsikten med de två första momenten var att visa relevansen av modellen och använda indata. Härvid simulerades avrinningen vid några tillfällen då nederbörd respektive avrinning registrerats. Vid simulering med dämningssmodell måste i dessa fall den uppmätta variationen i vattenståndet nedströms ingå i lösningen. Detta försvårade i hög grad tolkningen av kontrollsimuleringarna. Systemfunktionsstudierna omfattade analys

av händelseutvecklingen i samband med pumpstopp, dels vid torrväder dels vid ett regn. Dessutom undersöktes några alternativ för pumpning av torrvädersflödet samt torrväderstillrinningens dygnsvariation. Trots att tunnelsystemet är tämligen speciellt bedöms erfarenheterna från analysen av detta i hög grad giltiga för dämnda system i allmänhet.

Projektarbetet har givit underlag för följande synpunkter och rekommendationer att beaktas vid problem med dagvatten i spillvattensystem.

En allmän uppfattning om nivån på dagvattenproblemet fås genom kontinuerlig flödesmätning vid några separata nederbördstillfällen. Om torrvädersflödet samt indirekt avrinning avskiljs och återstående volym jämförs med uppmätt regnvolym kan en ungefärlig separeringsgrad uppskattas.

En analys som siktar till lokalisering av problempunkter och åtgärder bör innehålla följande punkter.

- Sammanställning av data om avledningssystemet (databank)

- Kontinuerlig mätning av nederbörd och avrinning vid några nederbördstillfällen

- Uppbyggnad av avrinningsmodell

- Kontrollsimuleringar med modell

- Systemfunktionsstudier

- Simulering av effekter av åtgärder

Sammanställningen bör innefatta en systemplan och därtill knutet register med uppgifter om systemets delar. Viktiga parametrar är till delområdena anslutna ytor, innevånare och industrier. Sammanställningen och helst också mätningarna bör utföras av kommunens personal. Har en databank upprättats innebär uppbyggnaden av en avrinningsmodell en förhållandevis liten arbetsinsats. Kontrollsimuleringarna utgör en effektiv kontroll av relevansen i uppgifterna i databanken. De sista punkterna ger med en liten

arbetsinsats ett beslutsunderlag för åtgärder som över huvud taget inte kan uppnås utan modellsimuleringar.

De flesta avledningssystem kan vid analysen betraktas som odämda. Lämpligen används då ILLUDAS- eller NIVANETT. Systemfunktionsstudier och åtgärdsplanering kan också utföras i dämnda system. Härvid är dämningssmodellen DAGVL-DIFF lämplig. Modellen kommer inom kort att presenteras i en form som är anpassad för praktiskt bruk av VA-ingenjörer. Allmänt gäller dock att även om praktiskt tillämpbara dämningssmodeller så småningom kommer att bli tillgängliga är dämningssanalys principiellt svårbemästrad.

1 BAKGRUND

1.1 Problemställning

Dagens avloppssystem har projekterats och byggts huvudsakligen under 1900-talet. Den totala ledningslängden fördelar sig på ca 20% anlagda före 1950 och ca 50% anlagda efter 1965. Fram till 1950 byggdes i princip endast kombinerade avloppssystem, dvs spillvatten och dagvatten avleds i samma ledning. Därefter skedde en successiv övergång till duplikatsystemet, dvs en ledning för spillvatten och en för dagvatten. Dräneringsvatten från husgrunder och motsvarande har under en lång övergångsperiod anslutits till den ledning som legat djupast i ledningsgraven, spillvattenledningen.

Avloppsreningsverkens utbyggnad har påverkat den takt i vilken övergången från kombinerat system till duplikatsystem skett. Anledningen har varit, och är fortfarande, att dagvattnet utgör en besvärande hydraulisk belastning på reningsverken.

Den växande omtanken för den yttre miljön har medfört ökade krav på avloppsreningen samtidigt som den avlastning som skett via bräddavloppen minskats. Belastningen på reningsverken har således ökat samtidigt som behandlingen av avloppsvattnet blivit mer omfattande vid avloppsreningsverk med kemisk fällning och filttering.

Ambitionen att minska direktutsläppen av spillvatten till recipienterna har medfört omfattande omläggningar av de kombinerade systemen till duplikatsystem. Många gånger har duplikatsystem byggts i samband med sanering av bebyggelse, omläggning av vattenledningar etc. Resultatet har blivit att öar av områden med duplikatsystem inneslutits i områden med i övrigt kombinerat system. De flesta av landets reningsverk har på detta sätt kommit att betjäna ett ur funktionssynpunkt komp-

licerat avloppsledningssystem. Alla mellanformer från rena kombinerade system till rena duplikatsystem finns och medför att en funktionsbeskrivning för ett avloppssystem inte låter sig göras, utan ingående kartläggning av systemet. Denna funktionsbeskrivning måste sedan uppdateras i takt med att avloppssystemet förändras.

Driften vid avloppsreningsverken ställer emellertid krav på ökad kontroll av inkommande flöde, både av drifttekniska och ekonomiska skäl. Det finns således starka skäl för att göra funktionsbeskrivningar för avloppssystemen. Till en början statiska, dvs vid en viss tidpunkt, senare dynamiska med möjlighet till prognoser för den närmaste framtiden.

De naturvårdande myndigheternas krav på minskade direktutsläpp av spillvatten till recipienterna liksom minskad dagvattenbelastning på reningsverken medför också behov av funktionsbeskrivningar av avloppssystemen.

På basis av en funktionsbeskrivning är det möjligt, att med hjälp av beräkningsmodeller ta fram nuvarande och framtida belastningar på reningsverk och recipienter. Det blir också möjligt att aktivt styra tillflödet genom att effekterna av förebyggande åtgärder kan förutsägas.

1.2 Utvecklingen av beräkningsmodeller

Under främst 1970-talet har ett stort antal beräkningsmodeller anpassade för datorberäkning utvecklats för att dimensionera och analysera avloppssystem. De enklaste har i princip samma tillämpningsområde som rationella metoden och tid-area metoden för att dimensionera dagvattenledningar. Beräkningsmässigt mer omfattande modeller har utvecklats för att analysera sammansatta avloppssystem med både dag- och spillvattenbelastning. Modellerna ger en förenklad bild av verkligheten, men

graden av förenkling kan varieras beroende på syftet med beräkningen.

Beräkningsmodellerna har kommit att indelas i följande fyra grupper beroende på tillämpningsområde.

- o Dimensionerings/analysmodeller (dimensionering av ledningar, utjämningsmagasin, pumpstationer, bräddavlopp etc i nya ledningsnät och analys av funktionen i existerande nät.
- o Planeringsmodeller (preliminär översiktlig analys av olika kombinationer av behandlingskapacitet och magasinsutnyttjande för beräknade avrinningar med avseende på både kvantitet och kvalitet).
- o Driftmodeller (styrning av avloppsvattnet till behandling, bräddning eller magasinering under pågående dagvattenavrinning).
- o Optimeringsmodeller (teknisk-ekonomisk optimering vid dimensionering av nya ledningssystem).

De modeller som främst kommit till användning i Sverige är dimensionerings/analysmodeller och i viss mån planeringsmodeller. Dimensioneringsmodellerna behandlar den kvantitativa delen av avrinningsförloppet medan vissa analysmodeller även har förmågan att behandla den kvalitativa delen av avrinningsförloppet.

Utveckling pågår ständigt, men antalet nya avrinningsmodeller, som presenteras har minskat. Arbetet är mera inriktat mot att förbättra existerande modeller och framför allt att lära sig hur modellerna bäst tillämpas.

Bruket av beräkningsmodeller för praktiskt ingenjörsarbete inom kommunala förvaltningar och hos konsulter kommer att ställa krav på anvisningar för när, var och hur modellerna skall användas. Dessa anvisningar kommer att dels tas fram i pilotprojekt av den typ som

föreliggande projekt utgör dels arbetas fram utifrån den erfarenhet som vinnas varje gång en beräkningsmodell tillämpas. Lärpengar måste spenderas innan beräkningsmodellerna blir ett fullgott verktyg för praktiskt ingenjörsarbete.

Utvecklingsarbetet när det gäller bruket av beräkningsmodeller måste vara inriktat på att bland annat besvara följande frågor.

- o När är det lämpligt att använda en beräkningsmodell?

Vilken typ av problemställningar lämpar sig för analys med beräkningsmodeller?

Vilken omfattning skall arbetet ha för att det skall löna sig att utföra datorberäkning?

Vilken typ av resultatredovisning motiverar bruk av beräkningsmodeller?

- o Hur skall arbetet läggas upp?

Vilka ingångsvärden behövs för att genomföra en beräkning?

Hur skall ingångsvärdena organiseras?

Vem kan ta fram ingångsvärden?

Var hittar man nödiga ingångsvärden?

Vilken noggrannhet måste ingångsvärdena ges med?

Har problemställningen betydelse för hur ingångsvärdena bör organiseras?

- o Vilken typ av resultat får man och hur tolkas dessa?

Vilka resultat behövs för att bedöma olika problemställningar?

Vilken noggrannhet får resultaten - relation mellan indatabeskrivning och resultatens noggrannhet?

Hur kan resultatens noggrannhet påverkas?

2 MÅLSÄTTNING - METODIK

Projektets målsättning har varit att demonstrera att avrinningsmodeller är praktiskt användbara verktyg, vid funktionsstudier och analys av åtgärder i befintliga avloppssystem.

Denna allmänna målsättning har uppfyllts tidigare i andra projekt för relativt små avrinningsområden och för i huvudsak dagvattensystem. Detta projekt har inriktats mot den spillvattenförande ledningen i avrinningsområden av varierande storlek; det vill säga antingen en kombinerad ledning eller en spillvattenledning i ett separatsystem.

Det har dessutom varit ett mål att koppla samman de enskilda avrinningsområden för en större region för att påvisa avrinningsmodellernas möjligheter även för mycket omfattande avloppssystem.

Avrinningsmodellerna kan sägas vara praktiskt användbara för den typ av system som beskrivits ovan om följande går att uppfylla: Ingångsvärdena till modellerna skall kunna hämtas i huvudsak ur redan existerande datamaterial hos de kommunala förvaltningarna. Uppgifterna skall kunna sammanställas av personal i den kommunala förvaltningen efter en uppgjord mall. Detaljeringsgraden vid beskrivningen av områdena måste kunna varieras så att insamlingen av ingångsvärden inte blir orimligt kostnadskrävande. Noggrannheten vid simuleringarna måste kunna säkras även för områden med låg detaljeringsgrad. Antagandena som görs vid indatabeskrivningen skall kunna kontrolleras med hjälp av nederbörds- och avrinningsmätningar i strategiska punkter i nätet.

Göteborgsregionen valdes som försöksområde för projektet eftersom den erbjuder avrinningsområden av olika storlek och sammansättning. Det finns också möjlighet

att koppla samman avrinningsområdena och simulera tillrinningen av avloppsvatten till ett tunnelsystem, som förbinder de olika delarna i regionen. Mätning av nederbörd och avrinning med sådan noggrannhet och tidsupplösning att de lämpar sig för verifiering av modeller görs kontinuerligt vid ett flertal mätstationer.

Regionen har indelats i delområden i storleksordningen 10 - 100 ha beroende på om området har kombinerat eller duplikat ledningssystem. Varje sådant delområde har beskrivits med avseende på dess avrinningskaraktistika, dvs arealer, befolkningstäthet, ledningsnät etc. Delområdena har förbundits med existerande ledningsnät, vilket beskrivits detaljerat med lutning, längder och dimensioner. Till sist har stadsdelar eller motsvarande förbundits med existerande tunnelsystem, vilket också beskrivits detaljerat.

Alla insamlade data har omformats till ingångsdata för beräkningsmodellerna. En typ av beräkningsmodell har använts för delområdena och det klenare huvudledningssystemet medan en annan typ använts för tunnelsystemet.

Insamlingen av ingångsvärden har skett genom medlemskommunerna i GRYAAB, vilka tagit fram alla data enligt en standardiserad metod, som tagits fram i projektet. Denna finns redovisad i bilaga 1.

3. ANALYSMODELLER - VAL AV OMRÅDESINDATA

3.1 Allmänt om analysmodellers uppbyggnad

Användning av avrinningsmodeller i samband med analys av befintliga avloppssystem har två viktiga syften:

- o att genom simuleringar "lära känna" avlednings-systemets egenskaper, identifiera kritiska nederbördssituationer och kritiska punkter i systemet
- o att studera effekten av alternativa åtgärder i systemet som t ex utjämningsmagasin.

För att uppnå dessa syften bör modellen kunna beräkna flöde och vattenstånd vid alla tidpunkter och i alla viktigare ledningar. Önskemålen om en bestämd noggrannhet i analysen bör vara bestämmande för både valet av modell och "upplösningen" i indata.

Analysmodellerna beskriver dagvattnets rörelser på ytor-na och i ledningssystemet (här även spillvatten). Beskrivningen kan vara mer eller mindre "detaljerad" beroende på vilka delprocesser som modelleras. Till ytavrinningen kan knytas delmodeller som beaktar:

- o infiltration
- o ytmagasinerings
- o avdunstning

och till ledningsnätetsmodellen

- o pumpstationer
- o bräddavlopp
- o utjämningsmagasin osv

Beskrivningen kan också vara mer eller mindre "detaljerad" med avseende på den matematiska lösningsmetod som används. För beräkningen av yt- och ledningsflöde hör

denna detaljeringsgrad samman med noggrannheten i de indata som beskriver avrinningsområdets ytor och ledningssystem. Grunden för dessa beräkningar är ett system av differentialekvationer som är mycket svårlöst. Ett stort antal matematiska lösningsmetoder för yt- och ledningsflöde genererat av nederbörd har utvecklats och är mer eller mindre väl kända; tid-area metoden, Muskingum-Cunge metoden, magasinsmodellen, kinematisk vågmodell osv. Metoderna omfattar numeriska lösningar av ekvationssystem som i allmänhet svarar mot någon form av förenkling av grundekvationerna. Varje lösningsmetod kan därmed ledas tillbaka till grundekvationerna och jämförelsen mellan dessa ger ett bra underlag för förståelsen av metodernas egenskaper.

Sammanfattningsvis gäller alltså att analysmodellen består av delmodeller där varje delmodell omfattar en beräkningsmetod. Analysmodellens möjliga detaljeringsnivå bestäms dels av vilka delmodeller som ingår, dels av nivån på använda lösningsmetoder. Vi skall i nästa avsnitt diskutera några viktiga egenskaper hos de beräkningsmetoder för yt/ledningsflöde som finns i nu använda analysmodeller.

3.2 Beräkningsmetoder för yt- och ledningsnätsflöde

De metoder som används vid beräkning av yt- och ledningsnätsflöde kan i huvudsak indelas i tre grupper. Varje grupp motsvarar en bestämd "noggrannhets nivå". Låt oss kalla grupperna A, B och C /1/. Varje grupp har sina karakteristiska egenskaper med avseende på användningsområde, indata och noggrannhet. För beräkningsmetoder inom varje grupp gäller att skillnaderna är marginella och saknar betydelse vid praktisk tillämpning.

Grupp_A omfattar beräkningsmetoder där de grundläggande ekvationerna löses med hänsyn tagen till alla ingående termer. Vi får en komplicerad metod som ställer stora krav på användaren. Endast ett fåtal personer i Sverige har tillräcklig erfarenhet för att kunna använda

denna modelltyp. Dessutom erhålls höga beräkningskostnader som gör användning olämplig i stora system (många ledningar). Beräkningsmetoderna ger emellertid hög noggrannhet i resultatet och är framför allt de enda som på ett riktigt sätt kan simulera avrinningsförloppet i dämnda system. Lämpligt användningsområde för metoder inom denna grupp är i speciella delar av större ledningssystem där man önskar studera dämningseffekter.

Grupp B omfattar beräkningsmetoder som baseras på en förenkling av grundekvationerna, vanligen kallad kinematisk vågteori. Metoderna inom denna grupp är lättare att använda (ger sällan numeriska problem) och ger dessutom snabba och billiga beräkningar. Främsta skillnaden mellan grupp A och grupp B metoderna är att de senare inte kan simulera avrinningsförloppet i signifikant dämnda system med godtagbar tillförlitlighet. Den noggrannhet i resultatet som grupp B metoderna ger i icke dämnda system är endast obetydligt sämre än motsvarande för grupp A metoder. Exempel på metoder inom grupp B är icke linjär magasinsmodell och diffusiv kinematisk vågmodell (t ex Illudas ledningsnätsmodell). Någon av dessa metoder används i de allra flesta analysmodeller. Metoderna är datorbaserade och utnyttjas för flödesberäkningar såväl på ytor som i ledningsnät.

Behovet av indata är detsamma för grupperna A och B. I detta avseende kan därför inte grupp B metoderna anses vara enklare.

Grupp C omfattar beräkningsmetoder med ytterligare ett stegs förenkling. Jämfört med grupp B metoderna innebär dessa att vattenhastigheten dessutom föreskrivs, variabel inom avrinningsområdet men konstant i tiden. Härigenom kan indatabeskrivningen av området göras på ett mer schablonartat sätt vilket förenklar användningen. Noggrannheten i resultatet jämfört med grupp B metoderna blir därigenom med samma information om området sämre. Valet mellan grupp B och grupp C metoder är av stort intresse och kommer vidare att diskuteras nedan. Den s k

tid-area metoden tillhör grupp C. Indata beskrivningen som används för denna metod utgörs av ett sk tid-area diagram samt en koncentrationstid. Tillsammans representerar dessa den föreskrivna hastigheten. Tid-area metoden används ofta som handberäkningsmetod men flera analysmodeller innehåller denna metod, som då utgör en datorbaserad delmodell /2/.

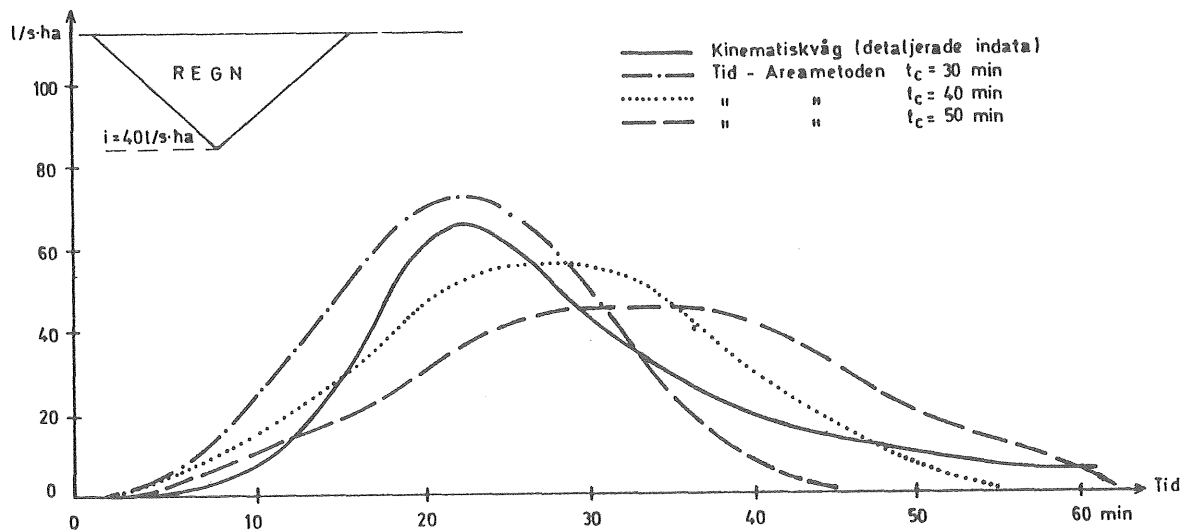
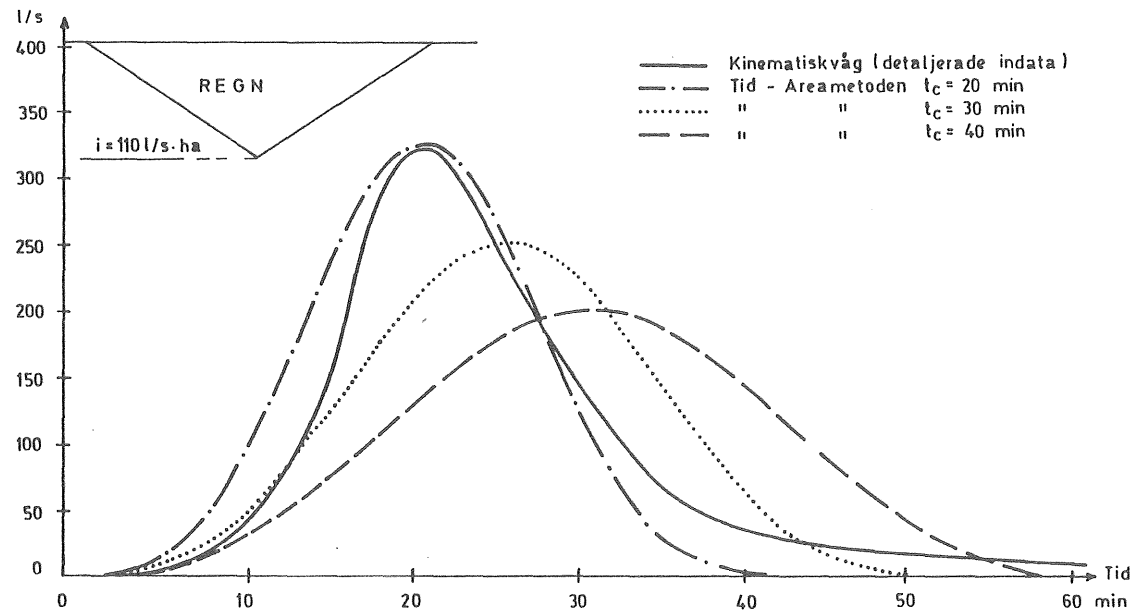
Figur 3.1 visar exempel på skillnaden vid simulering mellan typ B och typ C metoder. De heldragna hydrograferna svarar mot flöden simulerade med en typ B modell och en noggrann uppsättning med indata. Övriga kurvor svarar mot hydrografer simulerade med typ C modeller för några val av koncentrationstid. Detta val måste som framgår av figurerna göras med hänsyn till regnets intensitet. För ett intensivare regn väljs kortare koncentrationstid och tvärtom. Hydrograferna som simulerats med tid-area metoden har genererats med en standard form på tid-area kurvan. En form som väl överensstämmer med den heldragna hydrografen erhålls med ett lämpligare val av tid-area kurva.

Vid institutionen för vattenbyggnad har en typ A modell utvecklats som är baserad på en förenkling av grundekvationerna, men som trots detta med god noggrannhet kan simulera flödesförloppet i dämnda system. De numeriska problemen och körningskostnaderna har dessutom reducerats.

3.3 Samspelet modellval - detaljeringsnivå i indata

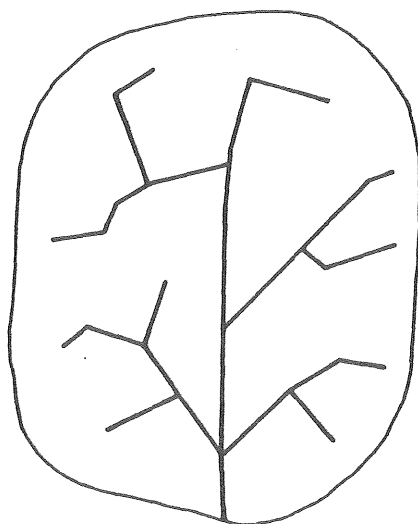
Betrakta som exempel ett dagvattensystem enligt figur 3.2 som avvattnar ett område på säg 15 ha. Vår uppgift är att analysera utflödet från systemet. Med vilken detaljeringsgrad skall då nätets struktur och avrinningsytorna beskrivas? Två extrema val av detaljeringsnivå kan urskiljas.

Detaljerad beskrivning av ledningsnät och yta. Varje ledning och yta som servisledningar, takytor osv ingår



Figur 3.1

Simulering av avrinning från ett bostadsområde (10 ha) med Tid-area metoden och kinematisk vågteori.



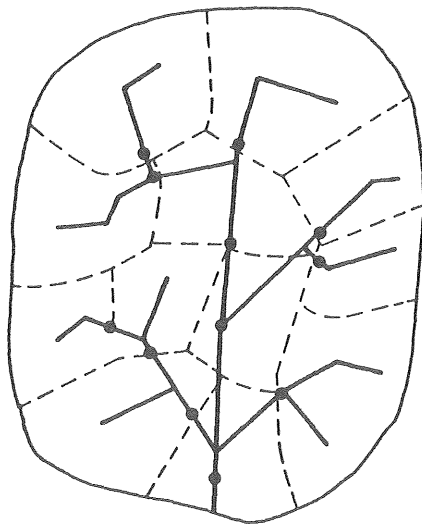
Figur 3.2 Avrinningsområde med dagvattennät.

i systembeskrivningen. Används genomgående en typ B modell fås en mycket god noggrannhet i simuleringen (dock ej vid signifikant dämnda system). Även om typ C modeller används för ytavrinningen erhålls en god noggrannhet.

Starkt förenklad beskrivning av systemet. Hela systemet betraktas som en yta. Förenklingen innebär att flödet i ledningarna nu antas ske som ytflöde. Om en typ B modell används måste en anpassning av ytans längd/bredd/lutning göras så att flyttiden för ytan blir densamma som för det verkliga systemet. Detta kan icke göras optimalt och det simulerade resultatet får en tämligen dålig noggrannhet. Sannolikt erhålls ett lika bra resultat med tid-area metoden (typ C modell). Skälet är att hastigheten här kan föreskrivas fritt och därmed ges värden (med tid-area diagrammet och koncentrationstiden) som bättre sammanfaller med ledningars flythastigheter. Förutsättningen är då att koncentrationstiden noggrant anpassas till den aktuella regnintensiteten. Ett alternativt val av struktur med typ B modell är att betrakta systemet som en yta som avvattnas lateralt till en ledning med samma längd som ytans bredd. Härvid måste

förutom ytans längd/bredd/lutning också ledningens lutning bestämmas. Om detta alternativ generellt ger bättre resultat än tid-area metoden kan för närvarande inte bedömas. Modellanvändarens förmåga att bedöma rätt längd/bredd/lutning (vid typ B modell) eller tid-area diagram och koncentrationstid har sannolikt större betydelse än valet av modelltyp.

Mellan de två extrema strukturansatserna enligt ovan kan alla grader av detaljeringsnivå väljas. Låt oss dela området i 12 stycken delområden enligt figur 3.3 och anta lämpliga utlopps punkter för dessa. Indelningen innebär att en del av ledningsnätet kommer att ingå i indata. Härigenom fås möjlighet att med en typ B modell noggrant simulera avrinningsförloppet i denna del av ledningsnätet utan att mängden indata ökar särskilt mycket. Möjligheten att bestämma tid-area kurva och koncentrationstid (längd/bredd/lutning vid typ B modell) mer noggrant är större ju mindre delområdet är. Detta beror dels på att större enhetlighet i området



Figur 3.3 Avrinningsområdet enligt figur 3.2 indelat i 12 delområden.

uppnås, dels på att andelen ledningar som antas ingå i ytvavrinningsmodellen minskar. Noggrannheten i varje delområdes utloppspunkt kommer därför relativt sett att vara större än i extremfall två enligt ovan.

Indelningen i delområden innebär således förutom möjligheten att simulera flöden i ytterligare punkter i systemet att noggrannheten vid utloppspunkten ökar. Speciellt förbättras resultaten om indelningen utförs så att den analyserade delen av ledningsnätet har flyttiden lika eller större än koncentrationstiden för respektive delområden t ex system där det centrala ledningssystemet är flackt.

Allmänt gäller att när avståndet (flyttiden) mellan delyta och den punkt i systemet som skall analyseras ökar, kommer formen på den simulerade avrinningshydrografen från delytan att få mindre betydelse. Noggrannheten i den simulerade volymen är dock fortsatt viktig. Vid analys av stora områden där intresset är knutet till de centrala grövre delarna av ledningssystemet borde därmed tämligen stora delytor kunna utnyttjas. Detta förutsätter att en noggrann bestämning av deltagande ytor genomförts (så att noggrannheten i avrunnen volym bibehålls). Vid analys av spillvattensystem tillkommer svårigheter vid bräddavlopp. I varje bräddavlopp måste den inkommande simulerade hydrografen ha en acceptabel noggrannhet för det skall vara möjligt att bibehålla noggrannheten i avrunnen volym. Bräddavloppen begränsar således möjligheterna att få enkla indata till stora system.

4. TILLGÄNGLIGA ANALYSMODELLER - EGENSKAPER OCH MÖJLIGHETER

4.1 Val av analysmodeller för projektet

De senaste tio åren har medfört en kraftig ökning av antalet beräkningsmodeller för dagvattenavrinning i urbana områden. Sammanställningar över olika modeller och dessas lämplighet för att lösa olika typer av problem har utförts av olika författare. Se /2/, /3/ och /4/. De modeller, som för närvarande finns tillgängliga för praktiskt ingenjörsarbete i Sverige utgör ett litet fåtal av alla existerande modeller. Alla modelltyper är emellertid representerade bland dessa.

För analys av avloppssystem finns följande modeller tillgängliga:

- o ILLUDAS /19/:
(Grupp B modell)
Den svenska versionen av ILLUDAS (Illinois Urban Drainage Area Simulator) är i huvudsak avsedd för dimensionering och analys av rena dagvattensystem.
- o NIVANETT /5/:
(Grupp B modell)
Modellen är utvecklad vid NIVA i Oslo och är avsedd för dimensionering och analys av både dagvattensystem och kombinerade eller blandade avloppssystem. Beräknar även förorenings-transport.
- o CTH-MODELLEN /15/:
(Grupp B modell)
Modellen är utvecklad i USA, men modifierad och förbättrad vid CTH. Den är avsedd för dimensionering och analys av rena dagvattensystem.

- o MAGRÖR /20/:
(Grupp B modell)
Modellen utvecklad vid högskolan i Luleå och är avsedd för dimensionering och analys av rena dagvattensystem.
- o SWMM /21/:
(Grupp A/B modell)
Modellen är utvecklad i USA. Förkortningen står för Storm Water Management Model och modellen utgör ett paket av följande delmodeller: RUNOFF, TRANSPORT och EXTRAN. SWMM är avsedd för analys (ej dimensionering) av avloppssystem (kombinerade och duplikata). Modellen kan med EXTRAN-blocket räkna på dämnda avloppssystem. Beräknar även föroreningstransport genom systemet.
- o DAGVL-A /1/:
(Grupp A modell)
Modellen är utvecklad vid CTH och är avsedd för analys av dämnda avloppssystem.
- o DAGVL-DIFF /4/:
(Grupp A Modell)
Modellen är en modifierad version av DAGVL-A (förenklade grundläggande ekvationer), också utvecklad vid CTH.

Modellerna finns tillgängliga på högskolor och hos privata konsultfirmor. ILLUDAS och NIVANETT är de två modeller som kommit mest till användning och de har båda bra manualer, vilket underlättar användandet av dem. De övriga modellerna har mest kommit till användning för forskning och undervisning vid de tekniska högskolorna. SWMM är det mest kompletta, men också mest komplexa programpaketet, vilket gör det relativt svårtillgängligt jämfört med övriga modeller.

Utöver ovanstående modeller finns intressanta modeller lämpade för analys av avloppssystem tillgängliga utom-

lands. En av dessa är QQS, vilken utvecklats av Dorsch Consult i München. Den har dock inte kunnat användas annat än genom uppdrag till konsultfirman, vilket begränsar intresset för svensk del. Under 1980 har emellertid modellen gjorts tillgänglig i USA, varifrån den även är tillgänglig för svenskt vidkommande.

Valet av beräkningsmodeller styrs inte bara av vilka modeller som finns tillgängliga, utan också av hur det avloppssystem som skall simuleras är utformat. Generellt sett består befintliga avloppssystem av en blandning av systemlösningar. Det går sällan att karakterisera ett avloppssystem som endast kombinerat eller endast duplikat. Detta är också fallet för områdena i Göteborgsregionen.

Det har visat sig praktiskt att i samband med simulering av avloppssystem med datormodeller skilja mellan enledningssystem och tvåledningssystem. Dessa definieras på följande sätt.

Enledningssystem - är avloppssystem med endast en avloppsledning. Detta innebär att systemet kan vara kombinerat eller separerat. I det senare fallet med ett öppet dagvattensystem, diken eller motsvarande.

Tvåledningssystem - är avloppssystem med två avloppsledningar. En för spillvatten plus eventuellt dräneringsvatten samt en för dagvatten.

Den eller de modeller som används i detta projektet skall kunna simulera både enledningssystemet och spillvattensystemet i ett tvåledningssystem. Detta innebär att modellen skall kunna beräkna torrvädersflöden för spillvatten inklusive dräneringsvatten, dagvattenavrinning samt kunna räkna sig igenom pumpstationer, bräddavlopp och utjämningsmagasin. Dessutom måste beräkningar kunna genomföras för dämnda system, vilka förekommer i tunnlar och vissa huvudledningar.

Dessa krav är svåra att förena i en modell utan att

göra arbetet mer komplicerat än nödvändigt. En modell som klarar att räkna på dämnda system kräver mer beräkningstid och blir dyrare att använda än en modell som inte klarar det. Det är således rationellt att använda modellen för dämnda system endast då det finns risk för dämning.

Valet av beräkningsmodeller begränsas till ett fåtal med hänsyn till de krav som ställts upp ovan. Av de tillgängliga modellerna kan endast NIVANETT, SWMM, DAGVL-A eller DAGVL-DIFF komma ifråga.

NIVANETT klarar av de olika delarna i aktuella avloppssystem men inte dämnda system. Modellen måste således kompletteras med någon annan modell för de delar som riskerar dämning.

SWMM klarar av samtliga delar i aktuella avloppssystem inklusive dämning. En ur praktisk synpunkt stor nackdel är dock att modellen inte arbetar i SI-systemet utan arbetar med amerikanska enheter. Dokumentationen av modellen är omfattande, men svårtolkad, varför modellen inte kan anses lätt att använda.

DAGVL-A är avsedd för dämnda system och är alltså ingen fullständig beräkningsmodell för avloppssystem. Modellen skulle dock kunna komplettera NIVANETT. Emellertid är modellen tämligen svår (numerisk stabilitet) och dyr att använda vid större system.

DAGVL-DIFF är en modifierad version av DAGVL-A som är bättre anpassad för praktisk beräkning av flödesförloppen i dagvattensystem. Modellen är också betydligt billigare att använda.

De modeller som till sist valts för projektet är NIVANETT och DAGVL-DIFF. Modellerna presenteras närmare i avsnitten 4.2 och 4.5.

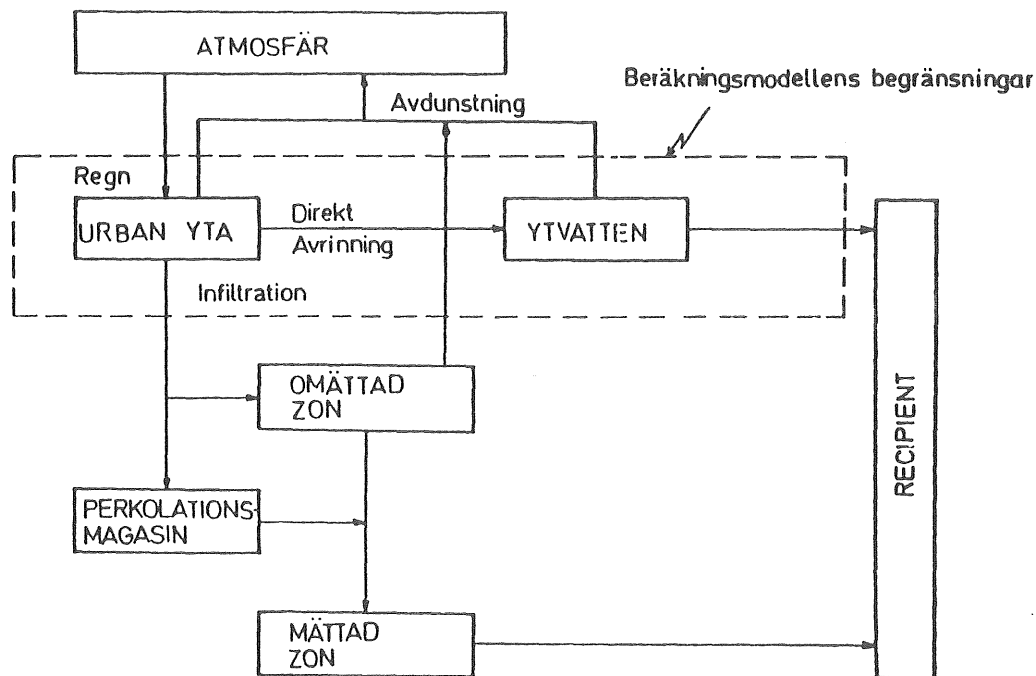
Bland de modeller som ännu inte använts i Sverige kan nämnas den tyska QQS-modellen som lämpar sig mycket bra för simulering av befintliga avloppssystem, speciellt när det gäller större urbana områden.

4.2 NIVANETT

NIVANETT är en beräkningsmodell för dimensionering och analys av avloppsledningar, dagvatten och spillvatten.

Utöver den rent kvantitativa delen kan NIVANETT utföra beräkning av föroreningstransport. Denna del kommer inte att användas i projektet, varför den inte kommer att diskuteras vidare. Se dock /7/.

De delar av vattenomsättningen i ett urbant område som kan simuleras med NIVANETT visas i princip i figur 4.1.



Figur 4.1 De delar av vattenomsättningen i ett urbant område som kan simuleras med NIVANETT, efter (Arnell 80) /3/.

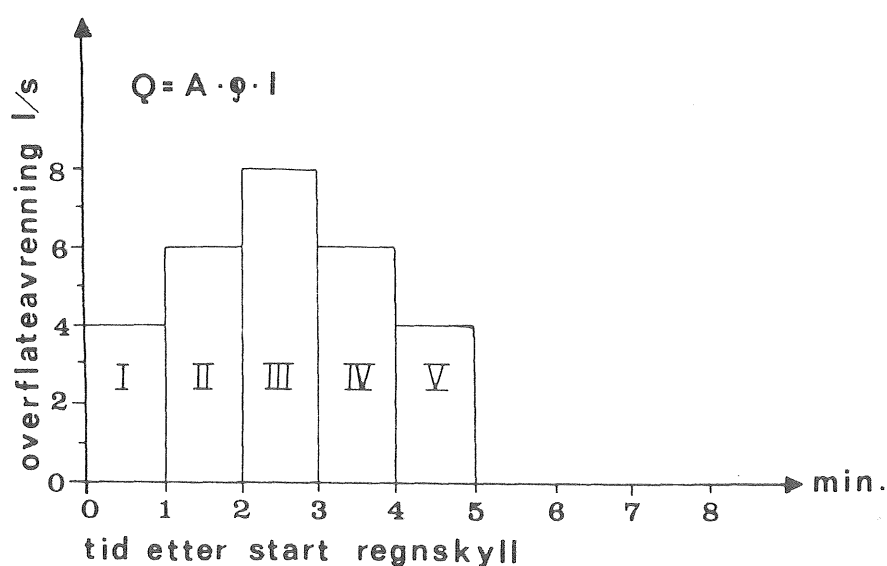
Nederbördsdata kan ges antingen i form av blockregn eller som historiska regn. Den kortaste varaktigheten för varje intensitet är en minut.

Ytavrinning kan beräknas enligt två olika metoder. Tid-areametod eller kinematisk vågteori.

- a. Tid-areametoden innebär att regnintensiteten transformeras till ett ytflöde med formeln

$$q(t) = A \cdot i(t) \cdot \phi(t) \quad (4.1)$$

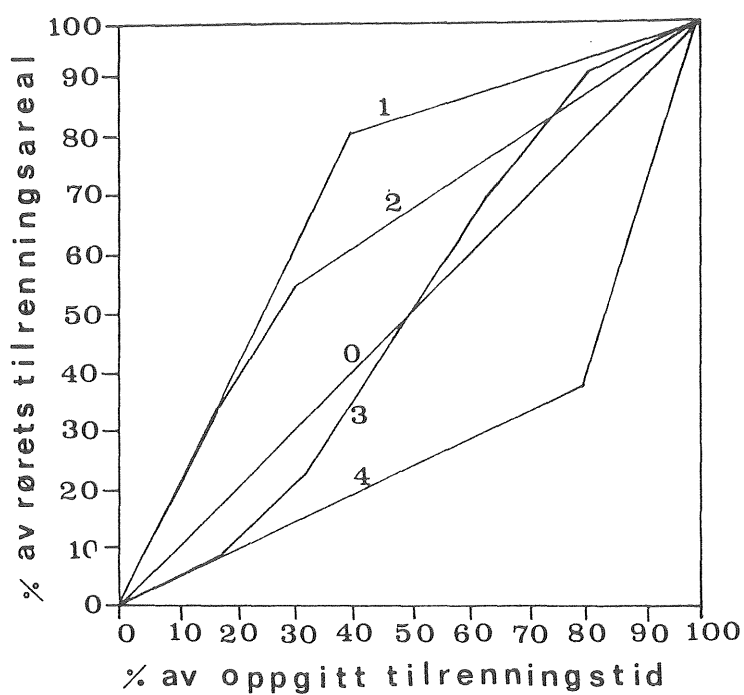
Med tidsintervallet Δt för beräkningen transformeras regnet enligt figur 4.2.



Figur 4.2 Transformation av nederbörd till avrinning enligt formeln $q(t) = A \cdot i(t) \phi(t)$, efter (Lindholm 1975), /5/.

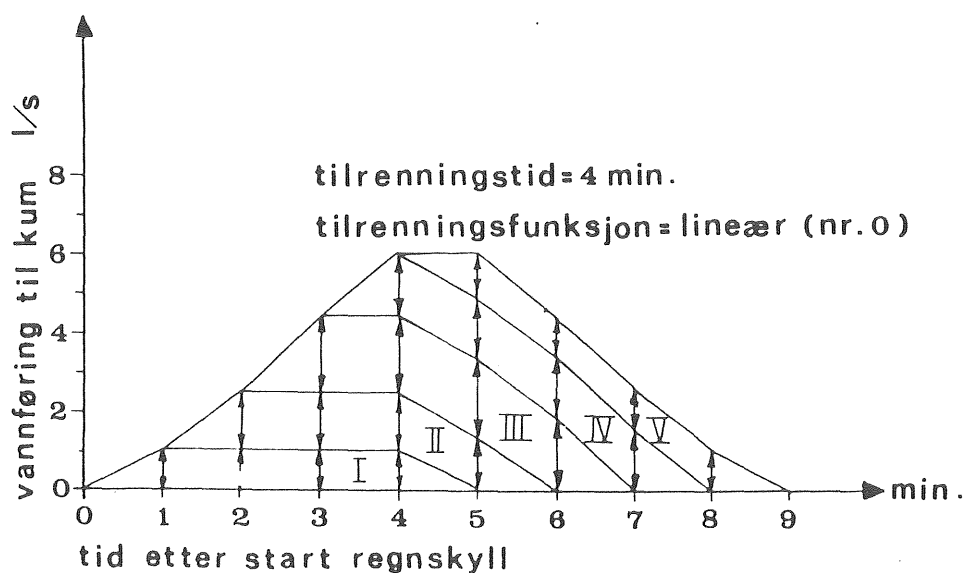
I ekvation 4.1 anges $q(t)$ som en funktion av delområdets area, regnintensiteten och en avrinningskoefficient. Arean (A) kan utgöra delområdets totala areal i vilket fall avrinningskoefficienten utgör ett medelvärde för hela delområdet. Arean (A) kan också motsvara delområdets hårdgjorda areal i vilket fall avrinningskoefficienten utgör en effektivitetsfaktor för denna areal, som varierar mellan 0 och 1.

Avrinningens fördröjning på ytan och även i klenare ledningar för större delområden beräknas med hjälp av en för delområdet given koncentrationstid och en på samma sätt given tid-areakurva. Tid-area kurvorna kan ges olika form enligt figur 4.3.



Figur 4.3 Tid-areakurvor för beräkning av fördröjd tillrinning till inloppsbrunnar, efter (Lindholm 1975), /5/.

Resultterande hydrograf i inloppsbrunnen får följande principiella utseende, figur 4.4.



Figur 4.4 Principiellt utseende för hydrograf i inloppsbrunn beräknad med tid-area metod, efter (Lindholm 1975), /5/.

För varje tidsintervall beräknas infiltrerad volym, det vill säga aktuell infiltrationskapacitet multiplicerad med tidsintervallets längd. Den infiltrerade volymen dras från nederbördsvolymen minskad med ytmagasinet.

Den för ytavrinning tillgängliga vattenvolymen blir således:

$$r(t) = i(t) - f(t) - s(t) \quad (4.3)$$

där $r(t)$ = tillgängligt vatten för ytavrinning

$i(t)$ = nederbördsintensitet

$s(t)$ = ytmagasinsförlust

Ytavrinningen, dvs vattnets rörelse över mark- och takytor beräknas med kontinuitetsekvationen och ett samband mellan flöde och vattendjup. Det är dessa två ekvationer som definierar den kinematiska vågteorin.

$$\frac{dQ}{dx} + \frac{dY}{dt} = r \quad (4.4)$$

$$Q = K \cdot Y^m \quad (4.5)$$

där Q = flödet

Y = vattendjupet

x = koordinat i flytriktningen

t = tid

K, m = konstanter

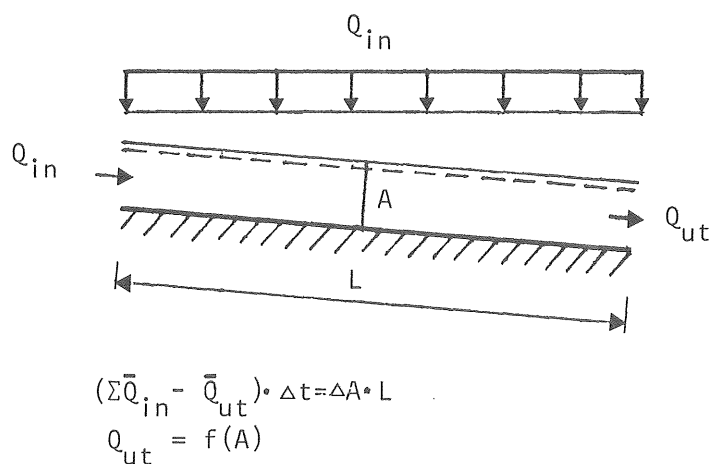
Konstanterna i ekvation (4.5) väljs i NIVANETT i överensstämmelse med Mannings ekvation.

Spillvattentillrinningen baseras på antal personekvivalenter i varje delområde och den specifika spillvattenproduktionen i liter per personekvivalent och dygn. Spillvattentillrinningen antas vara konstant under dygnet. En maxtimfaktor kan emellertid ges för att vid dimensionering åstadkomma det mest ogynnsamma

fallet. I spillvattentillrinningen skall också tillskottet av dräneringsvatten inräknas.

Spillvattnet från respektive delområde tillförs ledningsnätet i samma inloppsbrunnar, som ytvattenavrinningen från motsvarande delområden.

Ledningsflödet beräknas enligt en icke linjär reservoarmodell, typ B modell. Principen för beräkningen framgår av figur 4.6. Beräkningen utförs med en kontinuitets-ekvation och en förenklad rörelseekvation.



Figur 4.6 Principen för en icke linjär reservoarmodell, efter (Sjöberg, 1978) /4/.

Sambandet mellan tvärsnittsarea och flöde kan beräknas enligt Mannings, Hazen-Williams eller Colebrookes ekvationer. Ledningsrutinen kan inte analysera dämnda ledningar, eftersom den inte tillåter något nedströms randvillkor.

Beräkningsrutinen ger en realistisk dämpning av hydrografen i ledningsnätet om längden (L) väljs rimligt. Mycket stora avstånd mellan brunnarna i ledningsnätet, dvs stora L, medför en för stor dämpning av hydrografen. Motsatt ger ett kort avstånd mellan brunnarna en för liten dämpning av hydrografen, vilket dock är mindre allvarligt.

Pumpstationer kan placeras i knutpunkter i ledningsnätet. Beräkningsrutinen arbetar med två konstanta pump-

kapaciteter och fyra olika nivåer i pumpgropen, vars area ges. Vid nivå 4 bräddas vatten från pumpstationen.

Beräkningen utförs med en noggrann beräkning av när pumparna startar och stoppar. Det vill säga att tidsteget vid pumpstationsberäkningen alltid är mycket mindre än det som används för övriga beräkningar. Där- emot är utskriften baserad på det generella tidsteget Δt . Startar eller stoppar pumpen mellan t och $t + \Delta t$ kommer vattenföringen ut från pumpstationen att skrivas ut som $(\text{pumpad volym}) / (\text{tidsteget}, \Delta t)$.

Utjämningsmagasin kan placeras i knutpunkter i lednings- nätet. Anordningen beskrivs med magasinvolym och kapa- citet för utloppet. När inkommande flöde överskrider utloppets kapacitet börjar magasinet fyllas. Utloppets kapacitet antas inte vara beroende av magasinets fyll- nadshöjd, varför utgående flöde från magasinet alltid är lika med utloppsledningens kapacitet under den tid magasinet är i funktion.

Bräddavlopp kan också placeras i knutpunkter i lednings- nätet. Anordningen beskrivs med maximalt passerande flöde. Överskjutande flöde kommer att bräddas.

Externa hydrografer kan anslutas i vilken knutpunkt i ledningsnätet som helst.

4.3 En jämförelse mellan NIVANETT och den verklighet modellen skall simulera

Befintliga avloppssystem består, som nämnts tidigare, av ett otal varianter av systemlösningar. Det är inte rimligt att ha beräkningsmodeller, som klarar samtliga varianter, utan generaliseringar måste göras. För di- mensionering av avloppsledningar är NIVANETT tillräck- ligt detaljerad för att ge noggranna resultat. Analys av avloppsnät medför däremot att förenklingar måste göras och alla belastningssituationer kan helt enkelt inte klaras av. I det följande görs en genomgång av de

olika delmodellerna i NIVANETT med avseende på hur väl de speglar verkligheten.

Ytavrinningen kan simuleras med god noggrannhet. Här är valet av delområdesstorlek och noggrannhet i indatavärden av stor betydelse.

Spillvattentillrinningen beskrivs mycket schematiskt vilket påverkar noggrannheten betydligt. Torrväders-tillrinning och regn med låg intensitet är inte meningsfulla att simulera eftersom spillvattentillrinningen antas vara oberoende av tiden. Dessutom går det inte att skilja dräneringsvattenflöde från spillvattenflöde. Beräkningarna behöver inte bli lidande av denna orsak, men dräneringsvattenflödet måste knytas till befolkningstätheten. Bättre vore om dräneringsvattenflödet kunde knytas till ledningslängden i varje delområde.

Ledningsnätsflödet kan simuleras med god noggrannhet så länge en fri vattenyta upprätthålls i alla ledningar och ingen signifikant dämning nedströms ifrån påverkar flödet. Det vill säga att villkoren för kanalströmning är uppfyllda. Övriga belastningsfall kan simuleras men bedömningen av resultaten måste då ske kritiskt.

Anordningar i ledningsnätet såsom pumpstationer, utjämningsmagasin och bräddavlopp simuleras med förenklade antaganden när det gäller den hydrauliska funktionen. Förenklingarna påverkar i huvudsak de simulerade hydrografernas form. Volymen påverkas i mindre grad och i första hand genom bristande överensstämmelse mellan simulerad och verklig funktion hos bräddavloppen.

4.4 Kompletteringar av NIVANETT

Datorprogrammet NIVANETT har under projektets gång kompletterats vid CTH för att förbättra noggrannheten i simuleringarna och i någon utsträckning underlätta tolkningen av beräkningsresultaten.

Spillvattentillrinningen kan numera ges som sju olika dygnscykler, en för varje dygn under en vecka. Dygnet indelas i tvåtimmarsintervall och spillvattenföringen beräknas som produkter av en konstant för varje intervall och medelspillvattentillrinningen. Denna baseras som tidigare på specifik vattenförbrukning och antal personekvivalenter.

Dräneringsvattenflödet beräknas utgående från uppskattad eller uppmätt tillförsel i liter per meter ledning och den totala ledningslängden.

Beräkningsstart kan göras vid en viss tidpunkt under ett dygn för att ge ett riktigt torrvädersflöde.

Dessutom har vissa programtekniska förbättringar utförts i pumpstationsrutinen. Ett plotprogram, för uppritning av nederbörd och avrinning, som funktion av tiden har anpassats till NIVANETT. Detta möjliggör uppritning av hyetografer och hydrografer för valfria knutpunkter i ledningsnätet.

4.5 Analys av dämningarnivåer - DAGVL-DIFF

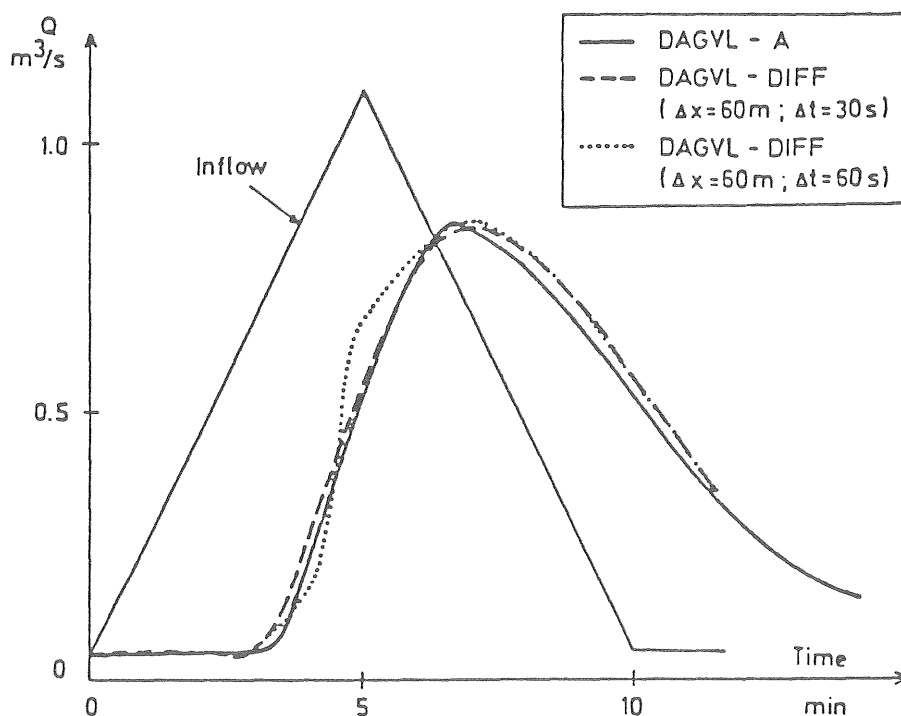
Ledningar som är dämnda eller går med fylld sektion vid en simulering bör som tidigare nämnts analyseras med en typ A modell. Den vid institutionen för vattenbyggnad utvecklade modellen DAGVL-A är ett exempel på denna typ. Modellen utnyttjar de grundläggande ekvationerna utan förenklingar vilket ger stor beräkningsmässig noggrannhet. DAGVL-A ger ofta instabila lösningar i samband med vattensprång. Eftersom vattensprång ofta förekommer i ledningssystemen vid dagvattenavrinning är detta en besvärande egenskap hos modellen.

En ny version, DAGVL-DIFF, har därför utvecklats. I denna har grundekvationerna förenklats något (två dynamiska termer försummas) och ett ekvationssystem som representerar en s k diffusiv våg erhålls. (B är bredden, S_0 är bottenlutningen och S_f är friktionslutningen).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \cdot \frac{\partial Y}{\partial t} = q \quad (\text{kontinuitetsekv}) \quad (4.6)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial x} = S_O - S_f \quad (\text{rörelseekv}) \quad (4.7)$$

Ekvationssystemet löses numeriskt med en differensmetod (box schema). Härvid erhålls stabila lösningar även i samband med vattensprång. En analys av den för- enklade rörelseekvationen visar att den alltid ger en kontinuerlig vattenlinje varför vattensprång beräkningsmässigt ej uppträder. Jämfört med DAGVL-A blir lösningen mer approximativ, men hittills gjorda jämförelser /6, 21/ visar att DAGVL-DIFF ger fullt tillräcklig noggrannhet för praktisk tillämpning, se figur 4.7.



Figur 4.7 Beräknade utflödeshydrografer för en ledning ($L=300$ m; $S_O=0,2\%$; $d=1,0$ m; $Q_{full}=1,11$ m³/s) efter Sjöberg /6/.

DAGVL-DIFF beräknar i ett godtyckligt ledningssystem vattenstånd och flöden i brunnar och ledningar. Ingångsvärden är hydrografer som tillförs systemet i knutpunkter och ändpunkter. Basflöde kan också ges i dessa punkter eller utmed ledningssträckningarna (t ex

läckvattenflöde). Modellen tar approximativt hänsyn till knutpunktsförluster (energiförluster) och flera alternativa nedströms randvillkor kan föreskrivas: normalvattendjup, bestämmande sektion, vattendjupet som en godtycklig funktion av tiden ($Y = f(t)$) eller en godtycklig avbördningsfunktion ($Q = f(Y)$ eller $Y = f(Q)$). Olika typer av "hinder" i systemet kan också simuleras t ex skarpkantat rektangulärt överfall och bottenluckor.

5. AVLEDNINGSSYSTEMEN - INSAMLING AV DATA

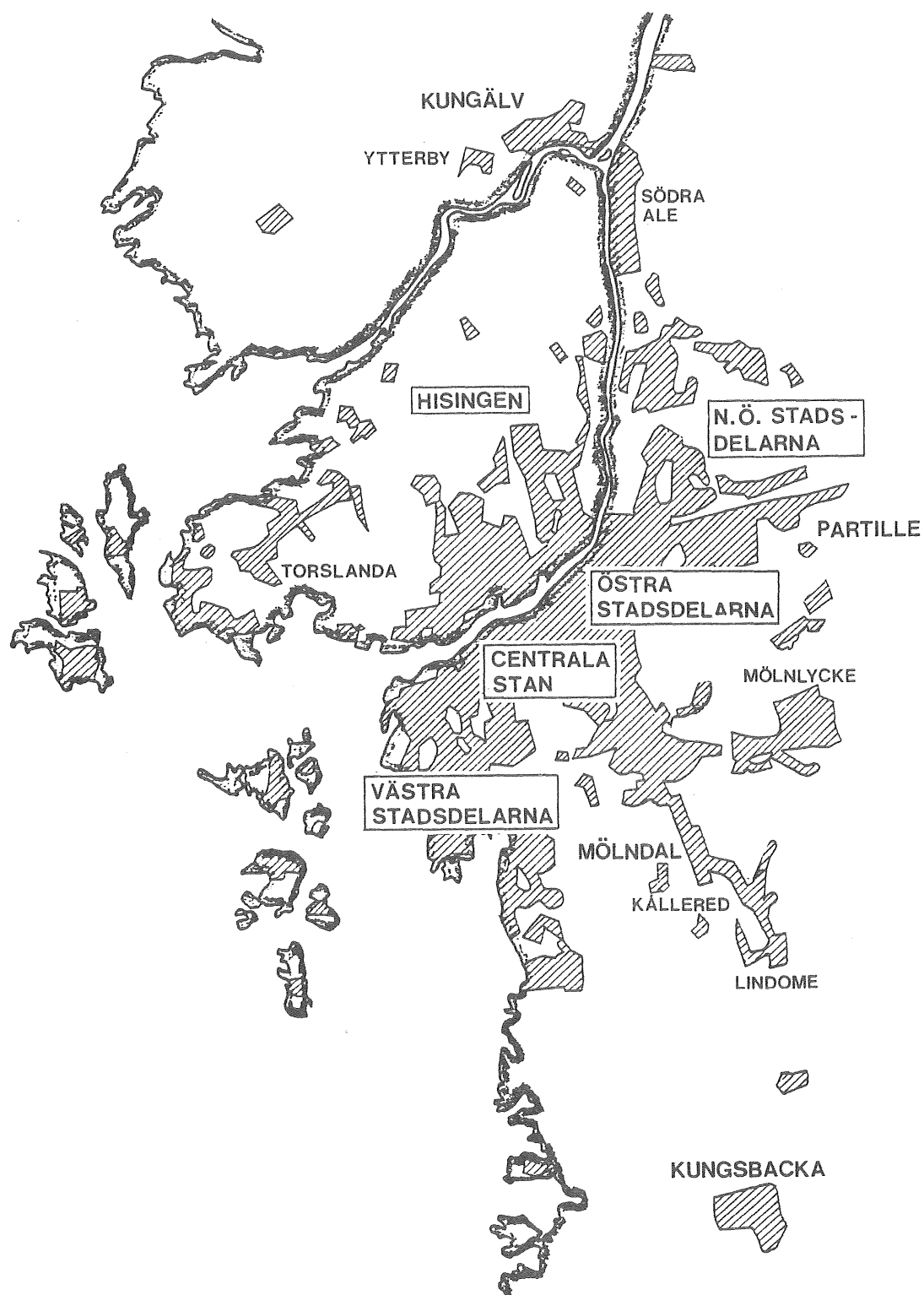
5.1 Avrinningsområdet

I tidigare avsnitt har vi diskuterat problemet att välja storlek på delområden och struktur på ledningsnätet vid indatabeskrivningen. Valet styrs av bl a det specifika problem som skall lösas, noggrannhetskrav och den modell som skall användas. När detaljeringsgraden bestämts återstår att anpassa utgångsmaterialet till denna nivå. Härvid behöver materialet ibland kompletteras med undersökningar i fält, ibland förenklas eller översiktligt bedömas. Att klarlägga hur detta arbete skall bedrivas och vilka svårigheter som kan uppstå ingår som en del i projektet.

För att få en överblick över svårigheterna är det viktigt att studera så många olika varianter av kombinerade och delvis kombinerade system som möjligt. I Göteborgsregionen finns en stor mängd olika typer av system av varierande ålder och funktion representerade. Ambitionen i projektet har varit att söka täcka så stor del av regionens avloppsnät som möjligt. Vi har valt att arbeta med de delar av Göteborgsområdet som är anslutna till det regionala reningsverket vilket innebär i stort sett hela regionen utom Lerum och områdena öster därom (se Figur 5.1). Genom denna avgränsning fås dessutom möjlighet att studera ett stort sammanhängande avlopssystem med långa tunnelsträckningar vilket är av allmänt hydrologiskt/hydrauliskt intresse.

5.2 Delområdets storlek

Detaljeringsnivån i indatabeskrivningen bestäms av delområdets storlek. När delområdena är definierade är i allmänhet ledningsnätets struktur given. Delområdet betraktas som en enhet, dvs ingen analys av flödet i punkter innanför delområdets gränser är möjlig. Valet av delområdenas storlek bör därmed som diskuterats tidigare bestämmas med hänsyn till det problem som skall



Figur 5.1 Göteborgsregionen med stadsdelar och kranskommuner.

lösas. För projektets del har detta val inte kunnat göras helt med hänsyn till analysmålsättningen eftersom vi är intresserade av både storskaliga analyser (t ex Sävås-systemet 600 ha) och mer småskaliga (t ex Ytterby 40 ha). Ambitionen att täcka hela regionen tillsammans med projektets begränsade resurser har därför i hög grad fått påverka valet av områdesstorlek. Oftast har dock bebyggelse och topografiska förhållanden medfört en tämligen naturlig indelning. För enledningssystem har delområdesstorlekar på 10-40 ha valts och för någorlunda väl utvecklade tvåledningssystem ungefär den dubbla (se bilagorna 2 och 3).

Valet av denna delområdesstorlek innebär att analysmöjligheterna begränsas till de större ledningarna i kommuner och stadsdelar. Med utgångspunkt från denna nivå på indata kan relativt enkelt detaljeringsgraden i indata ökas och analyser längre uppströms i ledningssystemen utföras. Detta ligger dock utanför projektmålsättningen. För simuleringen av flödet till Rya kan indelningen anses för detaljerad. Troligen är det dock nödvändigt att analysera delarna av ett så stort system först för att få underlag för en grövre delområdesindelning. Orsaken till detta är bl a svårigheterna med bräddavlopp (se kap 3).

5.3 Sammanställning av data - samarbete

Den mest tidskrävande och därmed kostsammaste deluppgiften vid analys med avrinningsmodeller är färdigställande av den indatamängd som beskriver avrinnings-systemets struktur, ytor etc. Modellanvändaren måste därför så effektivt som möjligt söka utnyttja de kunskaper hos kommunens ingenjörer och driftspersonal som finns om avledningssystemet. För projektets del var ett väl fungerande samarbete för överföring av kunskaper en förutsättning för att kunna täcka hela regionen. Samtidigt fick vi inom projektet en hel del erfarenheter av de möjligheter och svårigheter som hänger samman med detta arbete.

För kommunerna färdigställdes en PM (se bilaga 1) som beskrev projektet och vilka uppgifter om avlednings-systemet vi önskade. Med denna PM som underlag kunde vi i respektive kommun gemensamt komma fram till en lämplig form för insamling av de aktuella uppgifterna. I kommunerna organiserades arbetslag bestående av personal både från drifts- och planeringsenheterna för att få fram de efterfrågade uppgifterna. I flera kommuner gavs huvudansvaret till någon relativt nyanställd ingenjör. Kommunerna såg här en möjlighet vid sidan om insamlingsuppgiften att lära upp personerna på systemen och samtidigt skapa kontakter mellan drifts- och planeringspersonal. Arbetet innefattade följande moment:

- o bestämning av delområdesgränser
- o bestämning av anslutningspunkt för varje delområde
- o bestämning av ledningsnätets struktur nedströms anslutningspunkterna
- o bestämning av var i ledningsnätet pumpstationer, bräddavlopp och utjämningsmagasin finns

För varje "enhet" i systemet bestämdes därefter nödvändiga parametrar för att kunna simulera flödet.

Delområdet:	storlek
	hårdgjord yta
	dito ansluten till spillvattennätet
	flyttid (alternativt längd/breddförhållande och medellutning)
	ungefärlig uppgift på total ledningslängd inom området
	anslutna personekvivalenter
Ledningar:	nivå uppströms/nedströms
	dimension
	ålder
	kvalitet, inläckage etc

Pumpstationer: kapacitet

till/frånslagsnivåer

magasinsvolymer

Bräddavlopp: bräddnivå

vidareföringskapacitet

(om möjligt sambandet vattenstånd-
bräddat flöde)

Andelen hårdgjord yta ansluten till spillvattennätet är den viktigaste indataparametern. Denna bestämdes genom bedömning delområdesvis efter "pilot"undersökningar där små områden av olika karaktär undersöktes noga. Största svårigheten har varit beskrivningen av bräddavloppen som ofta har specialutformningar där bräddflöden är mycket svåra att bedöma.

Vid uppföljningen av projektet visade sig kommuningenjörerna mycket positiva till just datainsamlingen. Man fick här en systematisering och komplettering av befintlig kunskap som ansågs värdefull. Flera kommuner har arbetat vidare på materialet för andra ändamål. Slutintrycket av datainsamlingen är att man i allmänhet ansåg att den arbetsinsats som nedlagts var motiverad oavsett om materialet användes till analysmodeller eller ej.

Det finns således många skäl för en systematiserad insamling av data om avledningssystem. Den systematik som går tillbaka till modellanalys synes väl passa även andra syften. Det borde därmed vara möjligt att intressera kommuner i allmänhet för en sådan arbetsinsats. Härvid kan då modelltillämpningar ske utan särskilt stor arbetsinsats.

5.4 Områdesbeskrivningar

5.4.1 Allmänt

Ryaverkets avrinningsområde sträcker sig från Kungälvskommun i norr till Lindome i söder (ca 40 km) och från Torslanda i väster till Mölnlycke i öster (ca 20 km). Området omfattar en yta på 13 km² och ca 500 000 invånare (se figur 5.1). I det följande ges en beskrivning av de olika kommuner och stadsdelar som ingår i Ryaverkets avrinningsområde och därmed i undersökningen. I huvudsak har samma detaljeringsgrad i indatabeskrivningarna av systemen använts i hela regionen.

För att exemplifiera analyser på områden av olika storlek har några områden valts ut.

De mindre kranskommunerna Ale, Härryda och Kungälv (representerar små kommuner)

Partille, Mölndal (representerar medelstora kommuner)

Östra stadsdelarna

Resterande delar beskrivs här endast översiktligt.

Centrala Göteborg

Nordöstra stadsdelarna

Hisingen

Västra stadsdelarna

Mer detaljerade uppgifter ges i /8/ som behandlar kranskommunerna och Östra stadsdelarna medan övriga delar beskrivs i /9/.

5.4.2 De mindre kranskommunerna

I detta avsnitt beskrivs de minsta områdena som analyserats särskilt i projektet. Områdenas yta varierar mellan 200-500 ha och kan sägas väl representera typiska avloppssystem för mindre svenska tätorter. Kommunernas läge i regionen visas i figur 5.1. En översikt finns i tabell 5.1. Som exempel visas områdesindelning och nätstruktur för Kungälv i bilaga 2.

Kungälv (380 ha) har delats in i relativt små delområden (8-30 ha). De flesta delområdena har villabebyggelse, några områden har hyreshusbebyggelse. Både flacka och kuperade delområden finns representerade. Två områden har inslag av affärscentra och industri. Spillvattnet avleds nästan helt via tvåledningssystem. Endast mindre delar av den centrala staden har enledningssystem (< 5 ha). Det grövre ledningssystemet som sammanbinder delområdena ligger tämligen flackt och flera pumpstationer ingår i systemet med tillhörande nödutlopp. Ledningssystemen varierar från helt nybyggda ledningar till de äldsta områdenas ledningssystem på 40-50 år. Områdesindelning och nätstruktur återges i bilaga 2.

Ytterby (240 ha) har i stort sett samma typ av bebyggelse (dock ett större industriområde) och förutsättningar i övrigt. Ansluten hårdgjord yta är endast ca 0,2 ha och delområdena (5 st) har därför gjorts så stora som möjligt med hänsyn till läge, topografi etc. Områdesindelning och nätstruktur återges i /8/.

Södra Ale (180 ha) är ett långsmalt område där huvudledningen går i längsriktningen i en mycket flack dal. Ledningssystemet innehåller 5 pumpstationer med bräddavlopp. Avrinningsområdet till varje pumpstation har valts som delområde. Bebyggelsen är blandad; villor,

hyreshus, industri och affärscentra. Andelen ansluten hårdgjord yta är ca 3,2 ha. Områdesindelning och nätstruktur återges i /8/.

Mölnlycke (490 ha) har liksom områdena ovan en mindre central del med servicebyggnader och viss bebyggelse med flerfamiljshus. Bebyggelsen utanför den centrala delen domineras av en ganska spridd delvis äldre villa-bebyggelse. En regional pumpstation pumpar det samlade spillvattnet ca 3 km till tunnelsystemet. Tre av de fem delområdena har lokala pumpstationer. Ca 2 ha hårdgjord yta är direkt ansluten till spillvattensystemet. Några områden har ett öppet dagvattensystem, dvs dagvattnet avleds i diken eller infiltreras lokalt. Områdesindelning och nätstruktur återges i /8/.

Lindome (410 ha) har en central del med serviceanläggningar, affärer etc. Ansluten hårdgjord yta är 4,4 ha. I anslutning till centrumområdet ligger flerfamiljshus. Större delen av området består av friliggande enfamiljshus. Huvudledningssystemet ligger tämligen flackt medan flera delområden har betydande nivåskillnader mellan uppströms- och nedströmsdelarna. Områdesindelning och nätstruktur återges i /8/.

Tabell 5.1 Data om de mindre kranskommunerna (1979)

	KUNGÄLV	YTTERBY	S.ALE	MÖLNLYCKE	LINDOME
Totalarea (ha)	380	240	180	490	410
Antal delområden	18	5	5	5	4
Medelstorlek (ha)	21	48	36	98	103
Ansluten hårdgjord yta (ha)	4,2	0,2	3,2	2,0	4,4
Analyserat led- ledningsnät:					
Längd (km)	12,7	4,6	4,0	2,3	1,0
Längd/ytenhet (m/ha)	34	19	22	4,5	2,4
Antal pumpstationer	8	3	5	4	1
Antal bräddavlopp	10	3	5	4	-
Antal invånare	13000	7500	5400	10000	7000

5.4.3 Partille, Mölndal

Partille och Mölndal är större än i föregående avsnitt beskrivna områden (25 000 - 30 000 invånare) och har båda större sammanhängande city- och industriområden. Kommunerna representerar i undersökningen medelstora svenska kommuner. Läge i regionen visas i figur 5.1.

Partille (1020 ha) har en långsmal sträckning ca 12 km utmed Säveån. Förutom servicebyggnader i de centrala delarna domineras flera närliggande områden av flerfamiljshus. I uppströmsänden av området är flera större industrier belägna. I övriga delar överväger villabyggnader. Huvudledningsnätet har huvudsaklig sträckning i längsriktningen och är tämligen flackt med 3 pumpstationer. Ledningssystemet är delvis av äldre datum men en plan är under genomförande som syftar till att ersätta de kombinerade delarna med duplikatsystem. Hårdgjorda ytor anslutna till spillvattensystemet är tämligen spridda i avrinningsområdet. Delområdenas storlek har därför valts förhållandevis stora. Se /8/.

Mölndal (1947 ha) har en rundare form med ett ledningssystem som är mer förgrenat. Dock ligger en liten del av systemet på stort avstånd (Kållered ca 4 km) från Mölndals centrum. I Mölndals centrala delar är inslaget av större flerfamiljshus mer markerat än i Partille. Detta gäller också servicebyggnader. Mölndal har många industrifastigheter. Dessa är mer spridda över avrinningsområdet än i Partille. Huvudledningssystemet ligger flackt och på låg nivå i förhållande till Mölndalsån. Vid några tillfällen har delar av centrala Mölndal därför råkat ut för översvämningar. Delar av centrala ledningsnätet är av äldre datum med enledningssystem. Översikt se tabell 5.2 och /8/.

Tabell 5.2 Data om Mölndal-Partille (1979)

	MÖLNDAL	PARTILLE
Total area (ha)	1950	1020
Antal delområden	26	27
Medelstorlek (ha)	75	60
Ansluten hårdgjord yta (ha)	32	27
Analyserat ledningsnät:		
Längd (km)	15,2	10,8
Längd/ytenhet (m/ha)	7,8	10,6
Antal pumpstationer	2	5
Antal bräddavlopp	3	-
Antal invånare	37 000	27 000

5.4.4 Östra stadsdelarna

Östra stadsdelarna (ca 3.000 ha) omfattar den del av Göteborg som ligger mellan Partille, Mölndalsån och Göta älv, se figur 5.1. Den norra delen omfattar flera större bostadsområden. Bergsjön, ett relativt nybyggt område (60-talet) har en helt genomförd separering. Området är tämligen kuperat. Kortedala, ett något äldre område (senare delen av 50-talet) är det sista bostadsområdet i Göteborg som byggts med kombinerat ledningsnät. Övriga stadsdelar, Gamlestan, Härlanda och Örgryte är av äldre datum med i huvudsak kombinerat system. Gamlestan och Härlanda ligger delvis i det flackare området vid älven och Mölndalsån och har betydande bostadsområden. Översikt ges i bilaga 3 och tabell 5.3. Se även /8/.

5.4.5 Övriga stadsdelar

För övriga delar av regionen har insamling av indata, indelning i delområden och uppläggning av data för körning skett på samma sätt som tidigare beskrivna områden. Kontinuerliga flödesmätningar har däremot inte kunnat göras utan mätningarna har helt måst inriktas mot att

klarlägga basflödena. Områdena kan därför inte analyseras lika ingående som kranskommunerna och Östra stadsdelarna. Erfarenheterna från arbetet med insamling av indata och datauppläggning i de "övriga" delarna av regionen utgör ändå en viktig del av projektresultatet. Nedan ges en översiktlig beskrivning av övriga stadsdelar. Se även tabell 5.3, /8/ och /9/.

Centrala Göteborg (ca 1.100 ha) består av en tämligen flack del vid kanalerna med omfattande citybebyggelse. Södra delen är mycket kuperad med större inslag av bostadsområden. Ledningssystemet är till större delen mycket gammalt och kombinerade ledningssystem dominerar.

Hisingen (ca 3.000 ha) är med varven, hamnarna, raffinaderier och Volvo den stadsdel som mest domineras av industri. Dessutom finns flera stora bostadsområden. Ledningssystemens ålder är varierande från relativt nyanlagda till gamla kombinerade system i de centrala delarna.

Västra stadsdelarna (ca 2.500 ha) omfattar både bostadsområden och industriområden. Stora delar har byggts ut under 50- och 60-talen med duplikat system. Den där allmänt tillämpade läggningstekniken har medfört bitvis mindre väl fungerande duplikat system.

Nordöstra stadsdelarna (ca 1.100 ha) är det yngsta området (byggt under slutet av 60- och början av 70-talet) och domineras av ren bostadsbebyggelse. Området ligger i starkt kuperad bergig terräng. Avloppssystemet består av väl fungerande helt utbyggt duplikatsystem.

Tabell 5.3 Data om stadsdelarna (1979).

	NÖ STADS- DELARNA	HISINGEN	CENTRALA GÖTEBORG	Ö-STADS- DELARNA	V-STADS- DELARNA
Invånare:					
Boende	37.000	80.000	66.000	109.000	76.000
Total yta (ha)	1.140	3.010	1.120	3.060	2.440
Ansluten hårdgjord yta (ha)	-	469	519	637	3
Antal delområden	13	56	35	85	33
Medelstorlek (ha)	87	59	32	36	74
Analyserat led- ningsnät:					
längd (km)	11,7	30,6	7,5	36,3	21,1
längd/ytenhet (m/ha)	10	10	7	11,8	8,7
Antal pumpstationer	4	7	2		7
Industriflöde (l/s)	40*	260*		180*	190*

* Spillvattenflödet från industrin baserat på årsförbrukning fördelat på normal arbetstid.

5.4.6 Regionen

De kommundelar och stadsdelar som beskrivits i ovanstående avsnitt utgör delar i det regionala nätet. Regionen har ett gemensamt reningsverk till vilket spillvattnet förs i tunnlar (se avsnitt 5.5). Vid reningsverket mäts inkommande flöde och vattenstånd. I tabell 5.4 sammanfattas uppgifterna för regiondelarna.

Tabell 5.4 Data för regionen (1979).

Antal invånare	475 000
Total yta (ha)	15 440
Ansluten hårdgjord yta (ha)	1 695
Antal delområden	302
Medelstorlek (ha)	51
Analyserat ledningsnät:	
längd (km)	150
längd/ytenhet (m/ha)	9,7

5.5 Tunnelsystemet

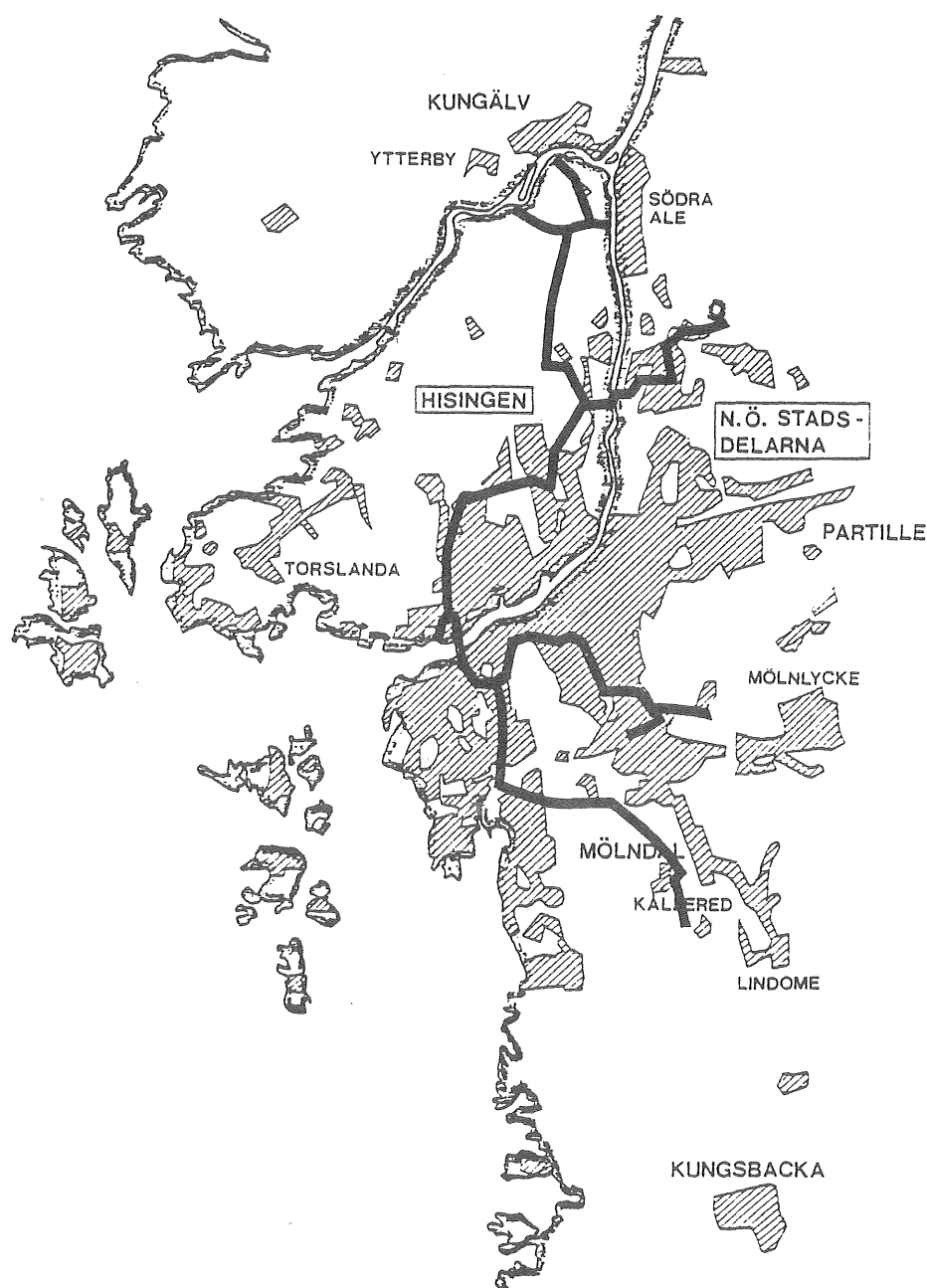
5.5.1 Allmänt

Den sammanbindande länken mellan kommundelarnas/stadsdelarnas spillvattensystem och det regionala reningsverket är ett bergtunnelsystem med en sammanlagd längd av över 60 km. Berggrunden i regionen har gjort det möjligt att lägga systemet på tämligen hög nivå (Göteborgs höjdsystem, - 2 - + 20 m). Tunnelarna har byggts dels med dels utan förinjektering av berget vilket påverkar inläckaget av grundvatten. Tunnelsystemen på de båda sidorna av älven sammanbinds i två punkter med dykarledning. Norra tunnelsträckningen innehåller också en dykarledning vid Kvillebäcken.

Tunneltvärsnittets area varierar mellan 5 och 18 m². Valet av areor har i allmänhet bestämts av tunneldriv-

ningsmetoder och inte av kapacitetskrav. Sidor och tak består av slätsprängt berg och botten av gjuten betongplatta med V-form. Systemet har i huvudsak byggts mellan 1965 och 1975.

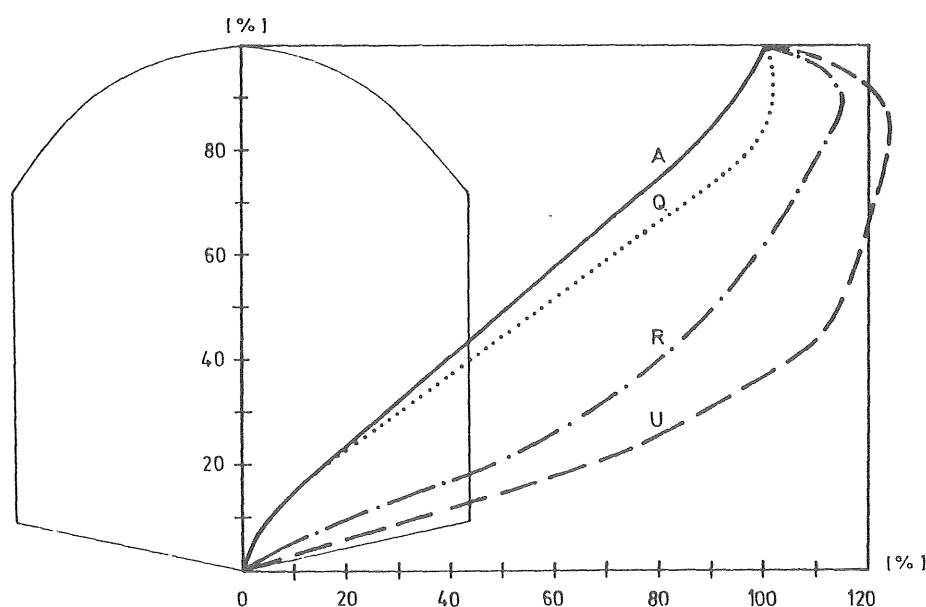
I figur 5.2 har tunnelnätets geometriska utsträckning i regionen lagts in. I internrapporten /8/ ges en schematiserad beskrivning av tunnelsystemets struktur som anger indelning i delsträckor och avståndet från Ryaverket.



Figur 5.2 Göteborgsregionen med tunnelsystemet för avloppsvattnet som transporteras till Ryaverket.

5.5.2 Hydrauliska egenskaper

Tunnelsträckningarna har i allmänhet en lutning av mellan 0,5 och 1,0 ‰. För mindre vattendjup medför denna lutning på grund av betongsulans låga råhet att stråkande vattenföring erhålls. För större vattendjup (säg tunneln fylld till mer än 1/3) kommer tunnelväggarnas större råhet att påverka flödet så att strömmande tillstånd erhålls. Allmänt kan sägas att betongsulan ökar tunnelkapaciteten väsentligt. Själva utformningen av bottensektionen varierar en del mellan olika tunnelsträckningar. Detta bedöms dock endast marginellt påverka sektionens hydrauliska egenskaper. Höjd/bredd förhållandet är för de flesta sträckningarna ca 1,0 (0,90-1,10). Sambanden mellan fyllnadsdjup, tvärsnittsarea, kapacitet, hastighet och hydraulisk radie för en typisk sektion visas i figur 5.3. Tunnelsystemet beskrivs mer i detalj i kapitel 8.



Figur 5.3 Delfyllnadsfunktioner för area (A), flöde (Q), hydraulisk radie (R) och hastighet (U), för en tunnelsektion.

5.5.3 Funktion och driftförhållanden

Förutsättningen för att ett avloppsreningsverk skall kunna uppnå god reningseffekt är att flödet genom reningverket är någorlunda konstant. Tunnelsystemets förmåga att utjämna flödets variationer är därför av intresse. Förutom den naturliga utjämning som erhålls på grund av de långa tunnelsträckningarna, utgör dykarledningarna punkter där utjämning av flödestoppar i viss mån erhålls. Dessutom finns i södra tunnelgrenen en spärrvägg som utjämnar högre flöden. I denna gren kan därför en betydande magasinering av vatten ske.

Trots dessa i systemet "inbyggda" dämpande faktorer kan flödet vid Ryaverket öka till det dubbla på endast några timmar. De snabba flödesökningarna kan alltid hänföras till nederbördstillfällena eller höga vattenstånd i havet. Sannolikt spelar de stora kombinerade spillvattensystemen i centrala Göteborg en stor roll. Andra faktorer förutom nederbörden som kan påverka tillrinningen är grundvattennivån och höga vattenstånd i älven.

För att i möjligaste mån hålla ett konstant flöde genom reningsverket används ett pumpningsförfarande av spillvatten från tunneln till verket som i princip motsvarar en dygnsreglering. Härvid utnyttjas de delar av tunnelsystemet som ligger närmast verket som utjämningsmagasin. Vid nederbördstillfällena kan ofta denna "reglering" inte följas utan flödet genom verket måste ökas. Förfarandet förbättrar reningen men vissa problem med slambildning i nedre delarna av tunnelsystemet erhålls i gengäld. Man har tidigare arbetat med pumpningsrutiner där utjämning av flödesökningar på grund av nederbörd i större utsträckning utförts. Härvid blev sedimenteringen av slam i de centrala delarna av tunnelsystemet så allvarliga att man återgick till dygnsregleringen.

En av målsättningarna för projektet är att visa att man med en analysmodell kan öka kunskaperna om hur tunnelsystemets olika delar fungerar och hur sammanlagringen

av flöden från olika delar av regionen sker. Dessa kunskaper är ett nödvändigt underlag vid planering av olika åtgärder för minskning av och/eller utjämning av dagvattenflödet till verket. De centrala delarna av tunnelnätet som är påverkat av "dygnsregleringen" har analyserats med en avrinningsmodell som kan ta hänsyn till dämning, DAGVL-DIFF /6/. Dessa analyser redovisas i kapitel 8.

6. MÄTNING OCH UTVÄRDERING AV NEDERBÖRD-AVRINNING

6.1 Nederbörds­mätningar

Sedan 1973 har Göteborgs VA-verk i samarbete med institutionen för vattenbyggnad kontinuerligt drivit nederbörds­mätningar i regionen. Stationsnätet består av 13 mätpunkter fördelade över Göteborg. Som framgår av figur 6.1 täcker nätet väl Göteborgs kommun. Medelavståndet mellan mätarna är cirka 6 km. Dessutom finns mätstationer för nederbörd i Kungälv och Ale kommuner samt i Sandsjöbacka.

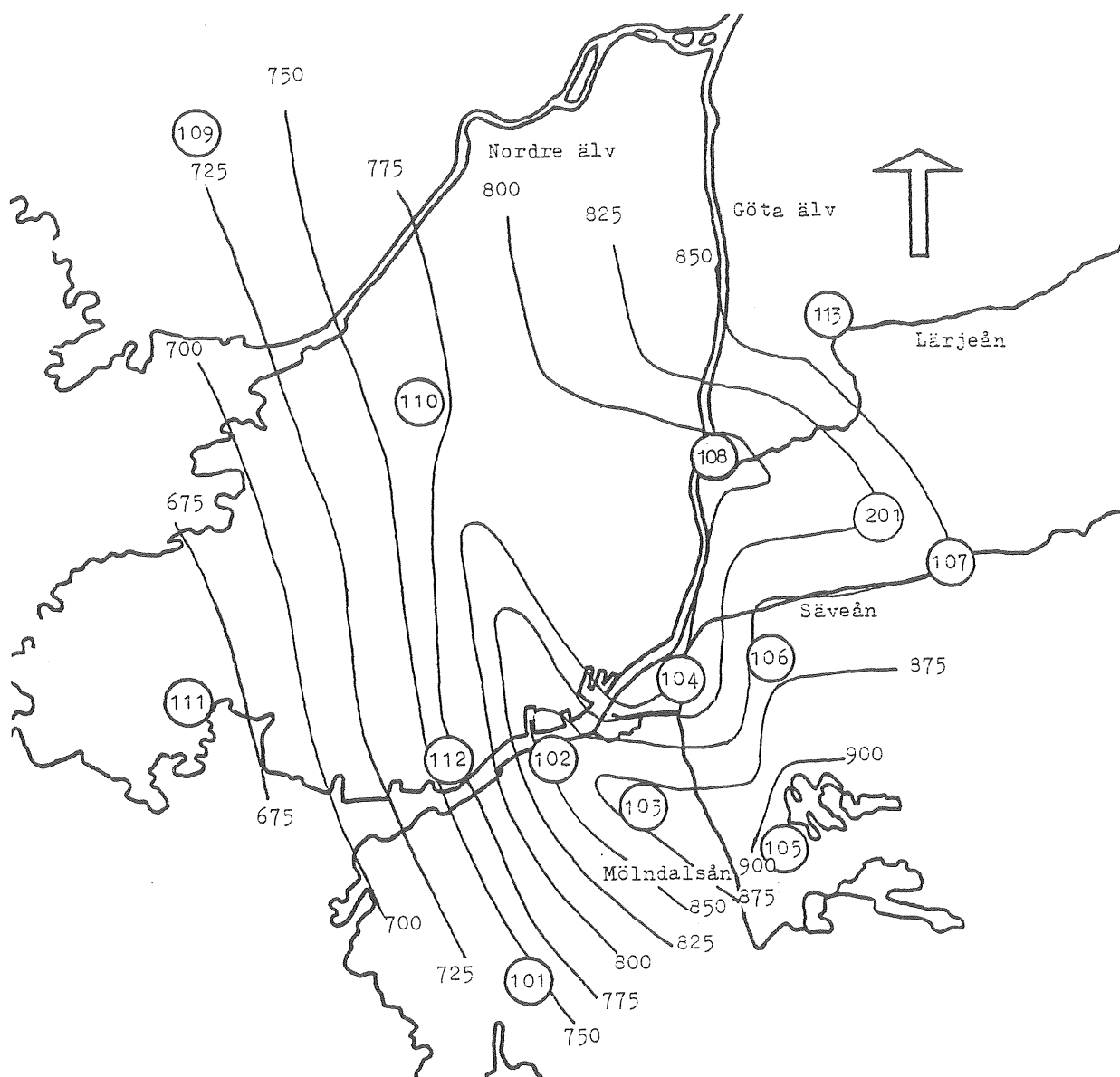
Nederbörds­mätarna är av märket Hellman. Mätarna som är av flottör­typ registrerar nederbörden på ett avlöpande diagram­papper. Härvid erhålls en kurva över den ackumulerade nederbörden som funktion av tiden. Ur denna kurva kan nederbörds­volymen för givna tidsintervall bestämmas. Regnintensiteten bestäms ur lutningen på kurvan. Papperets frammatnings­hastighet är 40 mm/h vilket möjliggör utvärdering av medelintensiteten över tidsintervall ned till ca 2 minuter. Med denna hastighet krävs pappersbyte var tredje vecka. Stationsnät och regnmätare beskrivs utförligt i /10/.

Göteborgs VA-verk utför rutinmässigt bearbetningar av registreringarna som publiceras i årsrapporter /11/. Bl a utvärderas årsnederbördens fördelning i regionen. I figur 6.1 visas som exempel denna fördelning för året 1980. Avsikten med stationsnätet är att studera den regionala fördelningen av nederbörden, dels på årsbas (som nu sker), dels också för kortare perioder (som underlag för dimensionering av dagvattensystem).

Stationsnätet har direkt kunnat utnyttjas i detta projekt vilket varit en av förutsättningarna för projektets genomförande.

6.1.1 Korttidsnederbörd

Nederbörds­mätningarna har i projektet främst använts



NEDERBÖRDSSTATIONER

101 Näsetverket	108 Lärjeholm
102 Barlastplatsens pumpstation	109 Kärna avloppsreningsverk
103 Chalmers tekniska högskola	110 Säve flygdepå
104 Gullbergsmotets pumpstation	111 Torslanda flygplats
105 Mölndals vattenverk	112 Ryaverket
106 Torpagatans brandstation	113 Gunnilse
107 Partille	201 Bergsjön

Figur 6.1 Årsnederbördens fördelning i Göteborgsregionen 1979 efter /11/.

för bestämning av regnintensitetens variation i tiden. Variationen beskrivs som en serie medelintensiteter bildade över ett bestämt tidsintervall. Regnintensiteter har utvärderats för utvalda regntillfällen där motsvarande avrinning uppmätts. Intensitetsvärdena har använts som ingångsvärden vid simulering av avrinning från olika områden. Jämförelsen mellan simulerade hydrografer och uppmätta ger underlag för bedömning av modell, geometriska indata och systemets funktion.

Vid simuleringen antas regnintensiteten i varje tidsintervall ha samma värde i varje delområde. Den verkliga nederbörden faller mer ojämt. Speciellt gäller detta de häftiga sommarregnen som härrör från konvektiva celler av vanligen ganska måttlig utbredning (storleksordningen 1 km) /12/. Lågtrycksregnen har större utbredning och allmänt lägre intensitet. Skillnaderna i intensitet mellan två punkter i ett område är därmed inte så markerade och främst kopplade till frontens rörelse samt nivåskillnader i området (stora områden). Vid simulering kommer därmed regntyp, val av tidsintervall och områdesstorlek att bli avgörande för inverkan av förenklingen i regnindata (konstant regnintensitet i planet).

Avrinningsområdena i regionen har i projektet valts stora. För att få minsta möjliga inverkan av den förenklade nederbördsbeskrivningen har i allmänhet nederbördsperioder med tämligen måttliga intensiteter valts för jämförelser med motsvarande avrinning. Ett annat skäl för detta val är att bräddning i allmänhet inte behöver beaktas i dessa fall (bräddavloppens funktion svåra att korrekt beskriva). Med hänsyn till områdenas storlek och regnens "måttliga" variation i intensitet har tidssteget 5 minuter bedömts som lämplig upplösning på nederbördsindata.

För varje område har en bedömning gjorts av vilka regnmätare som är representativa. Avgörande har härvid varit närheten till området och nivån vid mätstationen. I

några fall har flera mätare bedömts representativa för ett område. Då har medelintensiteten mellan stationerna använts, tabell 6.1.

Tabell 6.1 Använda nederbördsstationer för olika delområden.

Område	Regnmätare
Kungälv/Ytterby	Älvparksstationen
Södra Ale	- " -
Partille	107
Mölnlycke	105
Mölndal	105 (ev 101, lägst belägna delen)
Lindome/Källered	Sandsjöbacka stationen
Torslanda	111
Hisingen	112 ev 102 eller 104 östra delarna
Kärra	108
NÖ stadsdelarna	113
Kortedala	Bergsjö stationen
Bergsjön	- " -
Gamlestan	104
Örgryte/Härlanda	106
Centrala Göteborg	102
Guldheden	103
Västra stadsdelarna	101

De nederbördstillfällena som valts ut för analys i jämförelseområdena ges i avsnitt 6.2, tabell 6.2 och utgörs av i genomsnitt tre tillfällena per område. I figurerna 7.9 -7.15 beskrivs några av dessa tillfällena. Dessutom har tre regntillfällena valts för simulering av den samlade tillrinningen till reningsverket. Dessa perioder har valts så att de föregås av torrperioder på minst 1 vecka. Även för dessa perioder har tidssteget fem minuter valts (se avsnitt 7.3).

6.1.2 Nederbörd med lång varaktighet

Korttidsnederbörden används främst för analys av de en-

skilda systemens funktion. För det regionala systemet är regnintensitetens variation under längre tidsperioder av intresse. Vilka situationer orsakar "driftstörningar" vid det regionala reningsverket? Med "driftstörningar" menas här tillfällena då tillrinningen ökar hastigare och blir större jämfört med den normala dygnsvariationen av spillvattnet samt tillfällena med flöden som väsentligt överstiger verkets kapacitet. Dessa situationer medför sämre möjlighet till rening av avloppsvattnet.

Flödesökningarna kan främst hänföras till dagvatten men även grundvatten och ytvatten från vattendrag finns med i bilden. Ett starkt samband råder således mellan den för stationsnätet utvärderade dygnsnederbördens storlek och tillfällena med störningar, se figur 6.2. Nederbörd med jämn utbredning (över hela regionen) och lång varaktighet ger de största problemen. Intensiteten är jämfört med den av intresse i mindre områden mycket låg ($< 10 \text{ l/s}\cdot\text{ha}$). Mer information om vilken nederbördstyp som ger störningar kan fås genom ytterligare analys av nederbörden och motsvarande tillrinning men också genom analys av hur avledningssystemets delar samverkar, flyttider, magasinering etc. se kapitel 8. Den senare analysen visar att tiden från regnstart till maxtillrinning vid Rya är 3-6 timmar.

Karakteristiskt för det regionala systemet är således en förhållandevis lång "reaktionstid" och att vissa typiska nederbördssituationer ger störningar. Underlag finns därmed för att åtminstone 2 timmar i förväg prognostisera tillrinningen till verket. Det bör därvid också vara möjligt att för varje prognostiserat flöde ange fördelningen mellan spillvatten, dagvatten och grundvatten. En prognos av det kvalitativa innehållet med ovan nämnda tidsmarginal är därmed också möjlig. Prognosen skulle kunna tänkas ske via en tämligen enkel hydrologisk/hydraulisk modell som direkt matas med regndata via telenätet från t ex 4 st regnmätarstationer. Härvid utgör projektets utvärderingar ett lämpligt underlag både för val och placering av regnmätare och

också för utvecklingen av en driftmodell. Detta eventuella arbete ligger dock utanför projektets ram.

6.2 Avrinningsmätningar

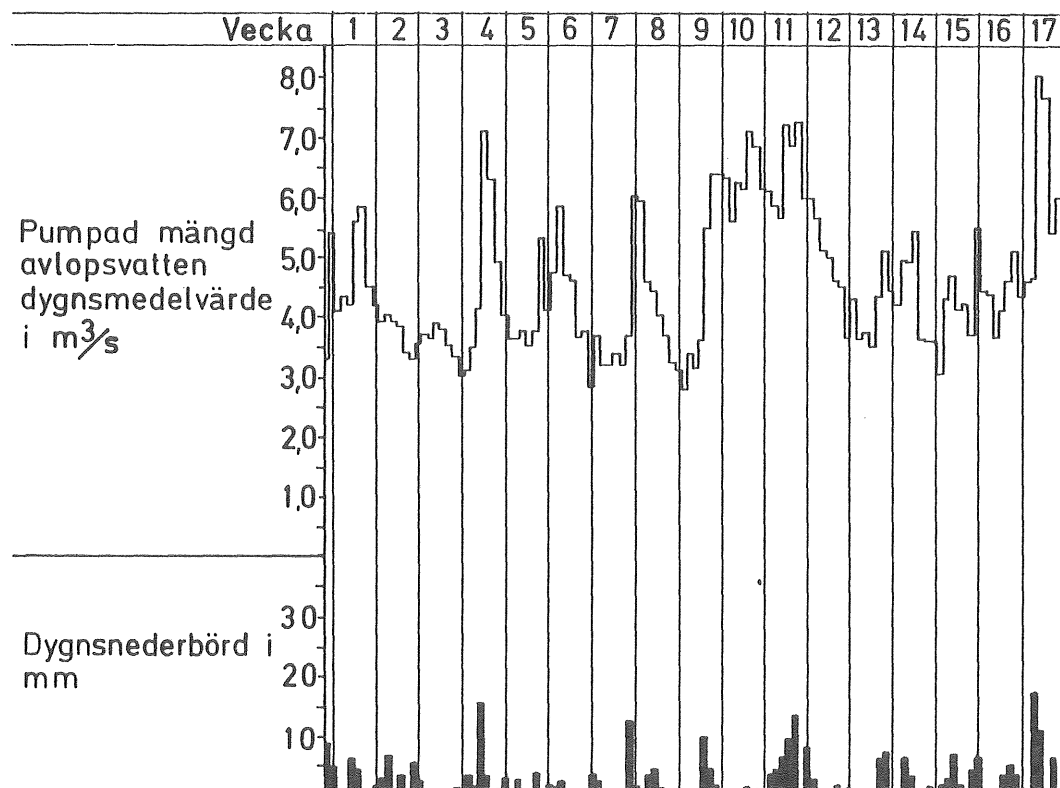
6.2.1 Syfte med avrinningsmätningarna - metodik

De beräkningsmodeller som används i detta projekt ger med hänsyn till den detaljeringsgrad som valts vid karteringen realistiska hydrografer i de olika delarna av ledningsnätet /15/. Det finns således inget motiv för att verifiera själva beräkningsmodellerna. Däremot finns alltid osäkerheter i beskrivningen av delområdena. En mycket viktig parameter är den anslutna hårdgjorda arealen, vilken har betydelse för dels maxflödet, dels den avrunna volymen. Jämförelser mellan uppmätta avrunna volymer och simulerade volymer är ett betydelsefullt moment för att kontrollera den karterade anslutna hårdgjorda arealen.

De nederbörds-avrinningsmätningar som utförts i detta projekt skall ses mot den bakgrunden att beräkningsmodellerna NIVANETT och DAGVL-DIFF inte i första hand behöver verifieras utan mätningarna används främst för att kontrollera antaganden om delområdena.

Flödesmätningarna har i huvudsak utförts i punkter där en bestämmande sektion upprättats med någon form av mätränna. Vattennivån i mätpunkten har mätts med nivåmätare av typ ekolod. Nivåsignalen har registrerats på avrullande papper. Flödet har erhållits via avbördningskurvor, som upprättats för mätpunkterna.

Mätrännornas funktion samt nivåmätutrustningen har kontrollerats före varje mättillfälle. För att kalibrera mätanordningarna utvecklades i samarbete med Göteborgs va-verk en spårämnesmetod baserad på litiumklorid. Denna bygger på /13/ och har senare utvecklats vidare av Göteborgs va-verk och finns dokumenterad i /14/.



Figur 6.2 Pumpad avloppsvattenmängd vid Ryaverket samt nederbörds-
mängd januari-april 1977 (dygnsvärden utvärderade vid
GRYAAB).

6.2.2 Mätpunkter-mätperioder - typ av flödesinfor- mation

Flödesmätningarna har av praktiska skäl koncentrerats till hösten 1979. Mätningarna har inriktats mot att ta fram information om torrvädersflöden och spillvattenflöden under perioder med regn. Torrvädersflöden har vanligen uppmätts under en vecka vid varje mätpunkt. Genom att mätningarna utförts under en höstperiod gäller olika yttre förutsättningar för torrvädersflödena vid de olika mätpunkterna. Torrvädersflödena i september är t ex i allmänhet lägre än i december. Spillvattenflödena under regn har i allmänhet uppmätts i anslutning till mätperioderna för torrvädersflödena.

I tabell 6.2 redovisas varje mätpunkt med tillhörande mätperioder. Uppmätta flöden för respektive mätpunkt redovisas i kapitel 7 i samband med att simuleringarna redovisas.

Tabell 6.2 Sammanställning av data för mätpunkterna.

MÄTPUNKT	DELOMRÅDE	MÄTPRINCIP	MÄTPERIODER	
			TORRVÄDER	REGN
Älvparken Kungälv	Kungälv	Prefab mät- ränna i glasfiber	79-08-28 - 09-02 79-10-23 - 10-28	79-08-21 79-08-26 79-09-02
Efter huvudpump- station Partille	Partille	Prefab mät- ränna i glasfiber	79-10-22 - 10-27 79-11-02 - 11-03	79-10-15 - 10-16 79-10-18 79-11-14 79-11-28
Ansl till tunneln i Mölndal	Centrala Mölndal	Platsgjuten betongränna	79-10-25 - 10-30	79-10-31 - 11-01 79-11-11 79-12-05
SKF i Göteborg	Partille Bergsjön Utby Kortedala Kviberg	Delfyllnads- funktion för cirku- lärledning	78-05-19 78-06-01 78-06-29 - 06-30	78-05-22 - 05-23 78-07-01
Kodammar- nas pump- station	Östra stads- delarna	Uppfyllnads- mätning i pumpgrop		79-05-23 79-06-15
Ryaverket	Hela regionen	Magnetisk flödes- mätning Nivåmätning i tunnel- magasin		79-05-23 79-06-15 79-07-29
Gamla Näset- verket	Högsbo Järnbrott Frölunda Askim	Delfyllnads- funktion för cirku- lärledning	79-10-03 - 10-09	79-11-09 - 11-19
Barlast- platsens pump- station	Centrala Göteborg	Bestämmande sektion	79-11-20	79-11-28 79-12-01 79-12-03 - 12-04

7. REDOVISNING AV SIMULERINGSMETODIK - OMRÅDEN MED MÄTNINGAR

7.1 Grundläggande antaganden för simuleringarna

De antaganden som använts vid simuleringen av dagvattenavrinningen från delområdena innebär att de modeller som används beskriver verkligheten med acceptabel noggrannhet. De skillnader som erhålls mellan simulerade värden och uppmätta värden förutsättes sålunda bero i huvudsak på att de ingångsvärden som givits till modellen varit bristfälliga. Att dessa antaganden är riktiga bekräftas bl a av /15/.

Såväl när det gäller kombinerade avloppssystem som separerade spillvattenledningar är torrvädersavrinningen volymmässigt den dominerande delen. För dessa system måste torrvädersavrinningen kunna simuleras med god noggrannhet. Hänsyn måste tas till framför allt dygnsvariationen i torrvädersflödet. Ett system som är påverkat av grundvattenläckage måste också ges en årstidsvariation.

Torrvädersavrinningen simuleras som ett långsamt varierande basflöde samt ett snabbare varierande spillvattenflöde. Basvattenflödets storlek är baserat på mätningar och har utvärderats som skillnaden mellan uppmätt torrvädersflöde och vattenförbrukningen. Spillvattenflödet simuleras med den uppmätta dygnsvariationen kombinerad med ett dygnsmedelvärde baserat på vattenförbrukningen.

I områden där mätningar av torrvädersflödet inte utförts kan en teoretisk torrväderskurva konstrueras med hjälp av en normal dygnsvariation /16/ och ett dygnsmedelvärde på vattenförbrukningen samt en antagen inläckning. I det följande redovisas uppmätta torrvädersflöden för några områden. För att visa att metoden enligt ovan är användbar har vi som en jämförelse redovisat teoretiska torrvädersflöden tillsammans med de uppmätta.

Differensen mellan simulerat flöde och uppmätt flöde härleds till faktorer knutna till delområdena. Exempel på faktorer som har stor betydelse för simuleringsresultatet är: Andel ansluten hårdgjord yta, fördelning mellan kombinerade och duplikata avloppssystem, utformning av så kallade separatsystem, bräddavloppsinställningar, bäckintag till avloppssystemet.

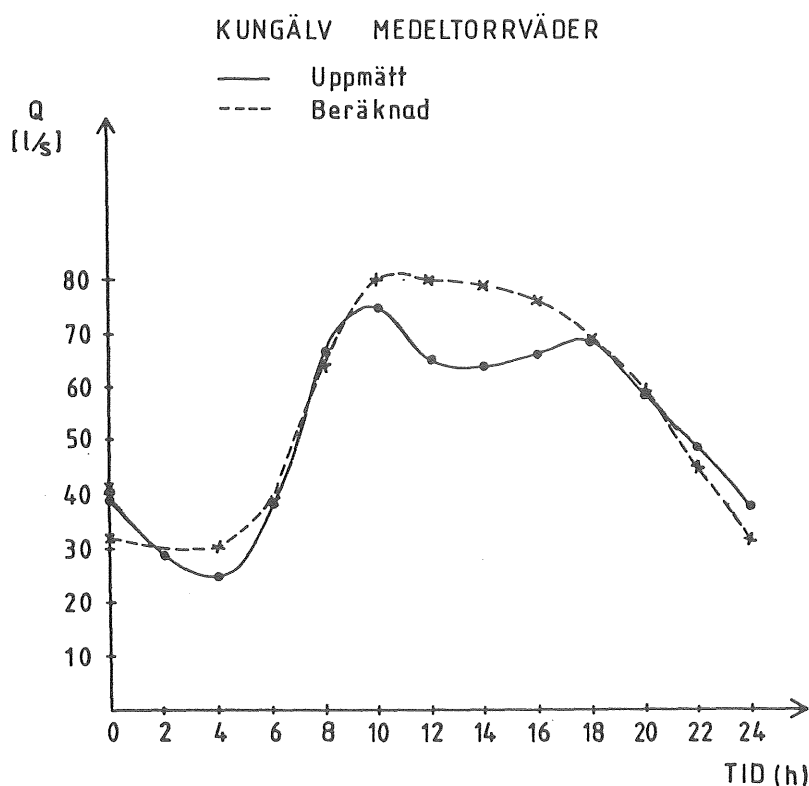
7.2 Torrvädersavrinning

7.2.1 Kungälv (380 ha)

Torrvädersavrinningen från Kungälv har mätts under två perioder 1979, dels i slutet av augusti, dels i slutet av oktober. Tillrinningen ökade under denna period med ungefär 30%, troligen på grund av ökat dränvattentillskott. Den uppmätta tillrinningen motsvarar i september 275 l/p.d och i oktober 350 l/p.d. Differensen mellan uppmätt dygnsvolym och en beräknad dygnsvolym baserad på vattenförbrukningen motsvarade i augusti 10 l/p.d och i oktober 90 l/p.d.

Dygnsvariationen för det uppmätta torrvädersflödet visas i figur 7.1. Den redovisade kurvan utgör ett medelvärde för oktoberperioden.

I figur 7.1 visas också en teoretisk torrväderskurva baserad på vattenförbrukningen, antal anslutna personer samt en antagen inläckning (100 l/p.d).

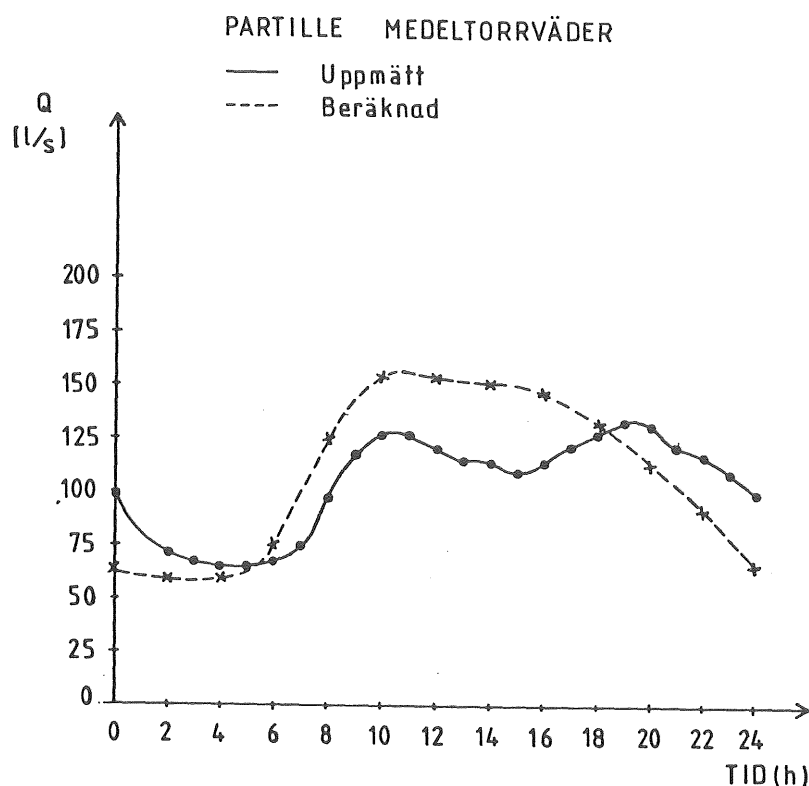


Figur 7.1 Dygnsvariation för torrväderstillrinningen från Kungälv, hösten 1979.

7.2.2 Partille (1020 ha)

Torrväderstillrinningen från Partille mättes i slutet av oktober 1979. Under veckan före mätperioden föll ca 40 mm regn och under september och oktober fram till mätperioden kom totalt ca 140 mm. Mätningen avspeglar således en period då en relativt hög dräneringsvattenstillrinning kan förväntas. Den uppmätta torrväderstillrinningen motsvarar 300 l/p·d. Skillnaden mellan uppmätt torrväderstillrinning och spillvattentillrinningen beräknad med hjälp av vattenförbrukningen var vid mätillfället 60 l/p·d.

Dygnsvariationen för uppmätt tillrinning liksom för en beräknad tillrinning baserad på vattenförbrukning och en antagen inläckning (100 l/p·d) visas i figur 7.2.



Figur 7.2 Dygnsvariation för torrväderstillrinningen i Partille, hösten 1979.

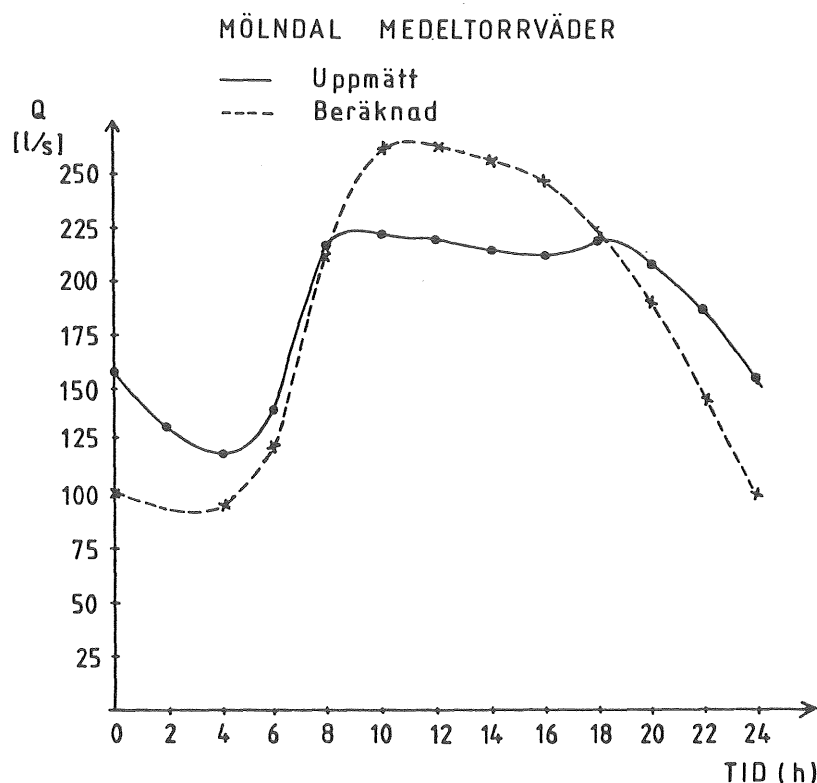
7.2.3 Mölndal (1950 ha)

Mölndals torrväderstillrinning uppmättes liksom i Kungälv och Partille i slutet av oktober 1979. Nederbördsvolymen under september och oktober fram till mätperioden var ca 150 mm. Relativt hög dräneringsvattentillrinning kan således förväntas.

Uppmätt torrväderstillrinning motsvarar 430 l/p·d. Skillnaden mellan uppmätt tillrinning och spillvattentillrinningen baserad på vattenförbrukningen var 120 l/p·d.

Variationen uttryckt som ett veckomedelvärde under mät-dygnen visas tillsammans med en beräknad torrväders-

tillrinning i figur 7.3. Den beräknade kurvan baseras på vattenförbrukningen och en antagen inläckning (100 l/p·d).



Figur 7.3 Dygnsvariation för torrväderstillrinningen från Mölndal, hösten 1979.

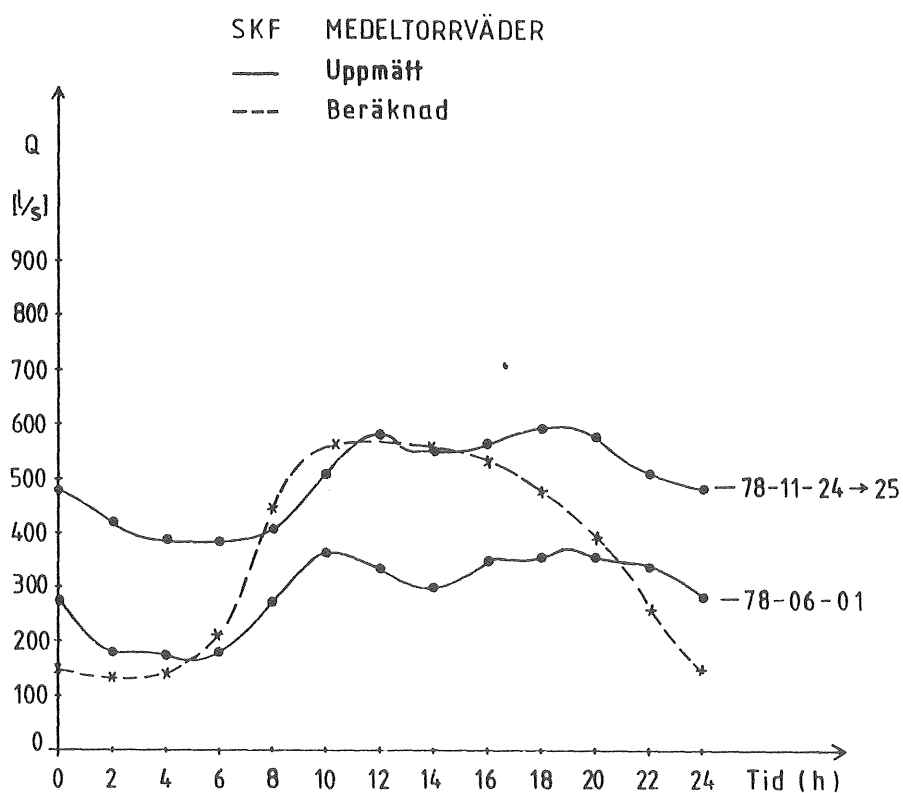
7.2.4 Kortedala-Bergsjön plus Partille (2480 ha)

Denna mätpunkt ligger på huvudledningen längs Säveån vid SKF. Partilles spillvatten leds denna väg till Ryaverket, varför Partille här återkommer som en del av området.

Torrväderstillrinningen mättes under ett dygn i början av juni 1978 samt under ett dygn i slutet av november samma år. Dygnsvolymen är nästan dubbelt så stor i november som i juni. Junidygnet hade föregåtts av åtta dygn utan regn och med en total regnvolym under april och maj på endast 32 mm. Novemberdygnet däremot föregicks av regn så sent som dygnet innan. Veckan före

mättillfället föll nästan 90 mm. Mättillfällena torde således representera extremvärden. Torrväderstillrinningen motsvarade i juni 295 l/p·d och i november 500 l/p·d. Spillvattentillrinningen baserad på vattenförbrukningen uppgick till 360 l/p·d varför ett visst utläckage verkar sannolikt vid långa torrperioder medan summan av in- och utläckage uppgår till 140 l/p·d vid novembermätningen.

Uppmätt och beräknat torrvädersflöde redovisas i figur 7.4. Det beräknade torrvädersflödet är även här baserat på vattenförbrukningen och en antagen inläckning av 100 l/p·d.



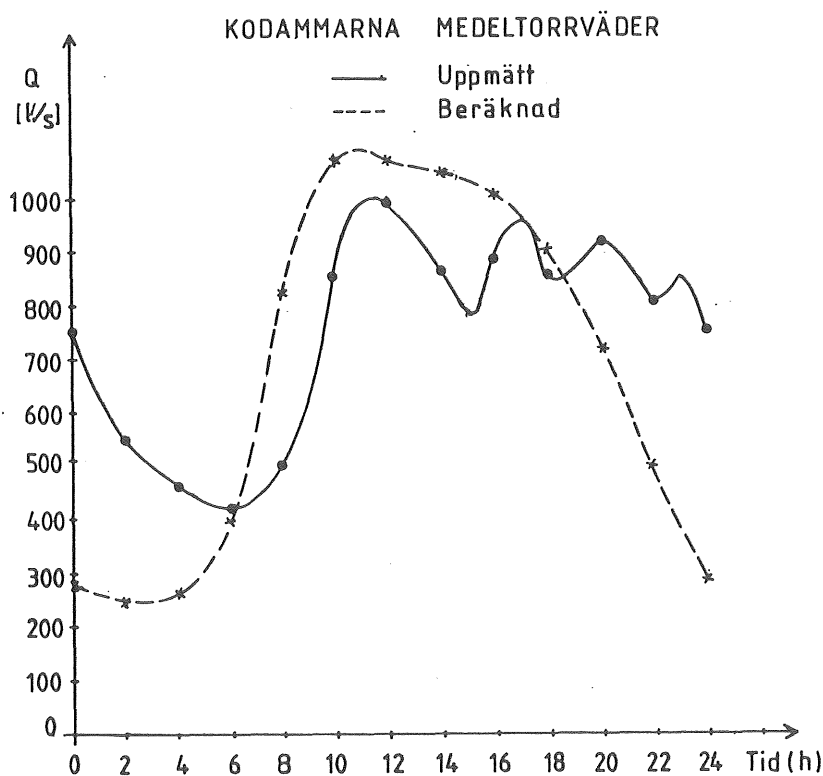
Figur 7.4. Dygnsvariation för torrväderstillrinningen vid SKF under ett dygn i juni och 2 dygn i november 1978.

7.2.5 Östra stadsdelarna plus Partille (3790 ha)

Mätpunkten är belägen i Kodammarnas pumpstation och tillrinningen kommer både från Mölndalsåsystemet och Säveåsystemet. Mätningen utfördes under slutet av maj 1979. Kortedala-Bergsjön plus Partille utgör ca hälften av detta område.

Den uppmätta tillrinningen motsvarade 465 l/p·d. Differensen mellan uppmätt tillrinning och spillvattentillrinning baserad på vattenförbrukning var vid detta tillfälle 50 l/p·d.

Dygnsvariationen för uppmätt torrväderstillrinning och en beräknad tillrinning baserad på vattenförbrukning och antagen inläckning (100 l/p·d) redovisas i figur 7.5.



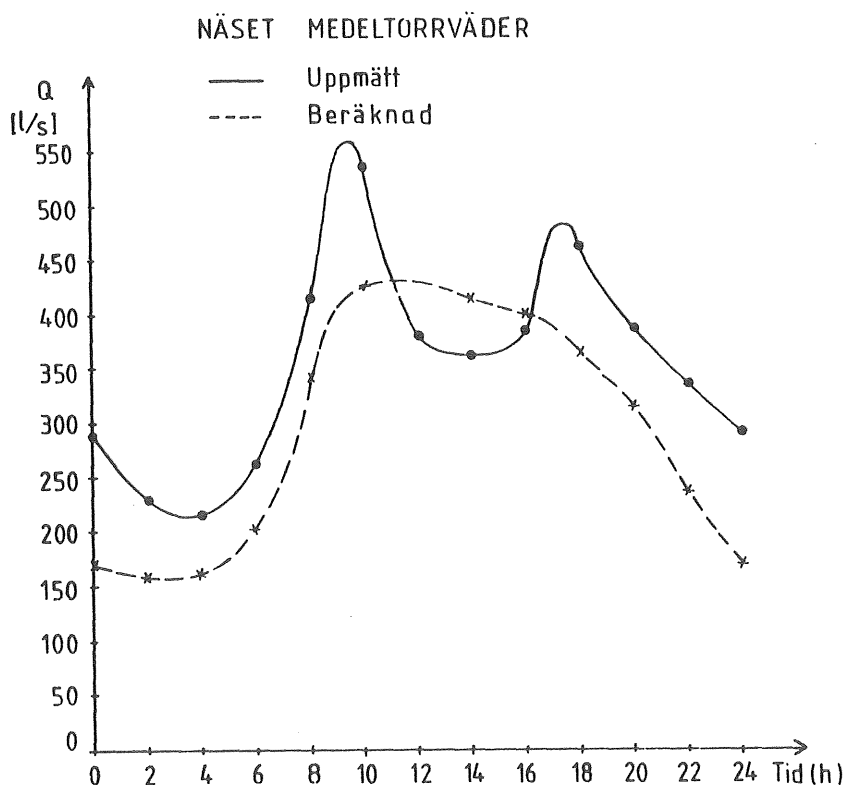
Figur 7.5. Dygnsvariation för torrväderstillrinningen för östra stadsdelarna och Partille, maj 1979.

7.2.6 Västra stadsdelarna (2280 ha)

Torrväderstillrinningen är uppmätt vid Näsets gamla reningsverk i början av oktober 1979. Mätperioden föregicks av en vecka utan regn. Under september månad föll totalt ca 90 mm regn. Den uppmätta tillrinningen bör alltså representera torrvädersflödet under relativt normala förhållanden.

Dygnsmedeltillrinningen under mätperioden var 450 l/p·d. Differensen mellan uppmätt tillrinning och spillvattentillrinning baserad på vattenförbrukning uppgick till 175 l/p·d.

Dygnsvariationen för uppmätt tillrinning och beräknad redovisas i figur 7.6. Den beräknade baseras förutom på vattenförbrukning på en antagen inläckning (100 l/p·d).

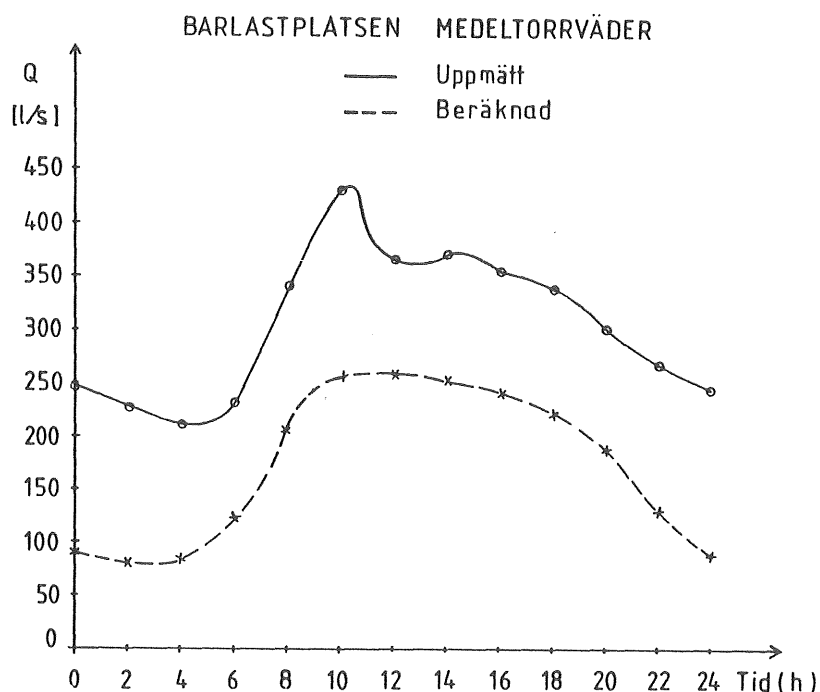


Figur 7.6 Dygnsvariation för torrväderstillrinningen för Västra stadsdelarna, oktober 1979.

7.2.7 Centrala stadsdelarna (630 ha)

Torrväderstillrinningen uppmättes i Barlastplatsens pumpstation under ett dygn i slutet av november 1979. Mätdygnet hade föregåtts av två regnfria dygn. Under närmast föregående 4-veckorsperiod föll totalt ca 120 mm regn. En förhöjning av dränvattenflödet jämfört med vår och sommar bör alltså förväntas.

Uppmätt torrväderstillrinning uppgick till 1100 l/p.d. Differensen mellan uppmätt tillrinning och spillvatten-tillrinning baserad på vattenförbrukning var 600 l/p.d. Dygnsvariationen för uppmätt och beräknad tillrinning redovisas i figur 7.7.



Figur 7.7 Dygnsvariation för torrväderstillrinningen för de centrala stadsdelarna, november 1979.

7.2.8 Torrväderstillrinning - sammanfattning

Torrväderstillrinningen har registrerats för totalt 7 delområden med varierande utformning av avloppssystemet. En sammanställning av vissa parametrar för de olika delområdena samt uppmätta torrvädersflöden finns i tabell 7.1.

*Tabell 7.1 Differens mellan vattenförbrukning och uppmätt torrväderstillrinning för alla områden.
(K = kombinerat och D = duplikat).*

Delområde	Typ	Antal inv p	Vatten- förbr l/p·d	Torrväders- tillrinning l/p·d	Differens l/p·d
Kungälv	D	13000	265	275-350	10-90
Partille	D	27000	240	300	60
Mölndal	K/D	37000	310	430	120
Kortedala- Bergsjön mm	K/D	83900	360	295-500	-65-140
Östra stadsd	K/D	136500	415	465	50
Västra stadsd	D	66100	275	450	175
Centr stadsd	K	24300	500	1100	600

7.3 Regnavrinning

7.3.1 Bearbetningsmetod - förutsättningar

I de mätningar som utförts (se tabell 6.2) har ett antal separata regntillfällen kunnat särskiljas. Dessa har analyserats dels med avseende på avrunnen volym dels genom simulering av avrinningen med NIVANETT.

Den totalt avrunna volymen vid varje regntillfälle består av direkt regnvattenavrinning från anslutna hårdgjorda ytor V_d och torrvädersavrinning V_t . Då flyt-

tiderna i systemen är förhållandevis väldefinierade kan tidpunkten då ytavrinningen upphört anges. I de här aktuella systemen har tider mellan 1 och 4 timmar efter regnslut valts. Vid tidpunkten för "ytavrinningslut" kan man vid de flesta system notera ett förhöjt torr-
vädensflöde. Detta flöde härrör från indirekt avrinning, t ex dräneringsvatten. I analysen har detta flöde antagits öka linjärt från regnstart till sluttidpunkten och motsvarande volym är

$$V_i = \frac{(Q_{\text{slut}} - Q_{\text{torrv}}) \cdot t_{\text{avr}}}{2} \quad (7.1)$$

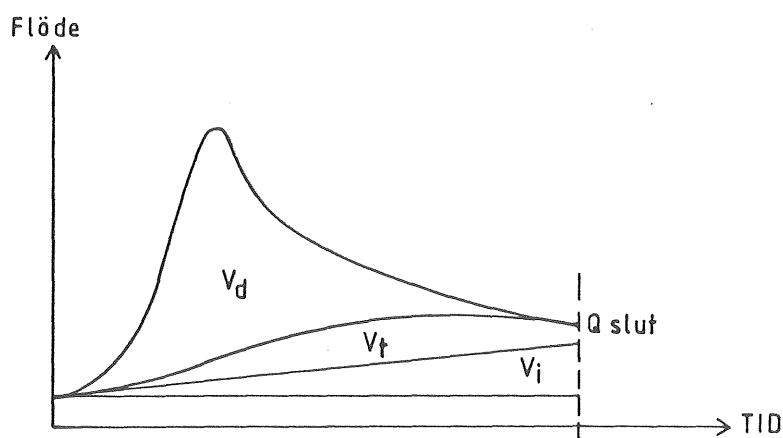
där

Q_{slut} = flödet vid sluttidpunkten

Q_{torrv} = torrvädersflöde vid motsvarande tidpunkt

t_{avr} = tiden från regnstart till avrinnings-
sluttidpunkt

Separeringen av totalflödet i de tre komponenterna framgår av principskissen nedan.



Figur 7.8 Principiell uppdelning av totalflöde: ytavrinning, indirekt avrinning och torrvädersavrinning.

Det bör observeras att analysen är mindre meningsfull i system där signifikanta avrinningsvolymen bräddas.

Vid ett antal nederbördstillfällen har avrinningen simulerats med NIVANETT. Härvid har områdesindelning, ledningsstruktur etc som anges i kapitel 5 använts (se även /8/). Vid simuleringen av avrinning från delområdena har den alternativa delmodellen som baseras på tid-area metoden använts. Enligt bl a /2/ har många områden en typisk S-formad tid-area kurva. Den av NIVANETTs standardkurvor som bäst överensstämmer med denna form har därför valts allmänt för delområdena. Ett samband för bestämning av koncentrationstiden t_c ges i /2/.

$$t_c = 0,49 \frac{L_{h80}^{0,5}}{i^{0,32} \cdot S_h^{0,26} \cdot A_{del}^{0,10}} \quad (7.2)$$

där

- t_c = koncentrationstid (min)
- L_{h80} = ledningslängd från nedströmsänden till längst uppströms belägna inloppspunkt +80 m (m)
- i = regnintensitet (l/s·ha)
- S_h = medellutning mellan ovan nämnda ändpunkter (m/m)
- A_{del} = deltagande hårdgjord yta (ha)

Sambandet är avsett för dagvattensystem av god kvalitet. Vid analys av system med förhållandevis

- låg regnintensitet
- liten andel anslutna ytor (tex ett ledningssystem)
- stort inläckage
- stort spillvattenflöde

kommer "tilläggsflödena" (spillvatten, dränvatten, inläckage etc) att påverka koncentrationstiden. Under förutsättning att de anslutna ytorna är fördelade någorlunda på samma sätt som de boende (alt. inläckaget) över området, kan hänsyn tas till det högre flödet genom korrigering av "regnintensiteten" enligt

$$i = i + \frac{1}{A_{del}} \left(\frac{Q_{spd} \cdot inv}{86400} + Q_{läck} \right) \quad (7.3)$$

där Q_{spd} = spillvattenflöde (l/p)
 inv = antal invånare
 $Q_{läck}$ = läckvattenföring (l/s)

Sambandet (7.2) har visat sig användbart tillsammans med rationella metoden. Eventuellt krävs en korrigering av denna koncentrationstid vid användning i tid-area metoden (modellanpassning). Denna korrigering samt den som anges i ekvation (7.3) påverkar emellertid inte simuleringsresultaten särskilt mycket och har därför ingen avgörande betydelse i den analys som utförs i denna rapport.

Dessa samband har i allmänhet utnyttjats vid simuleringarna, dock inte för centrala staden och västra stadsdelarna.

7.3.2 Kungälv (380 ha)

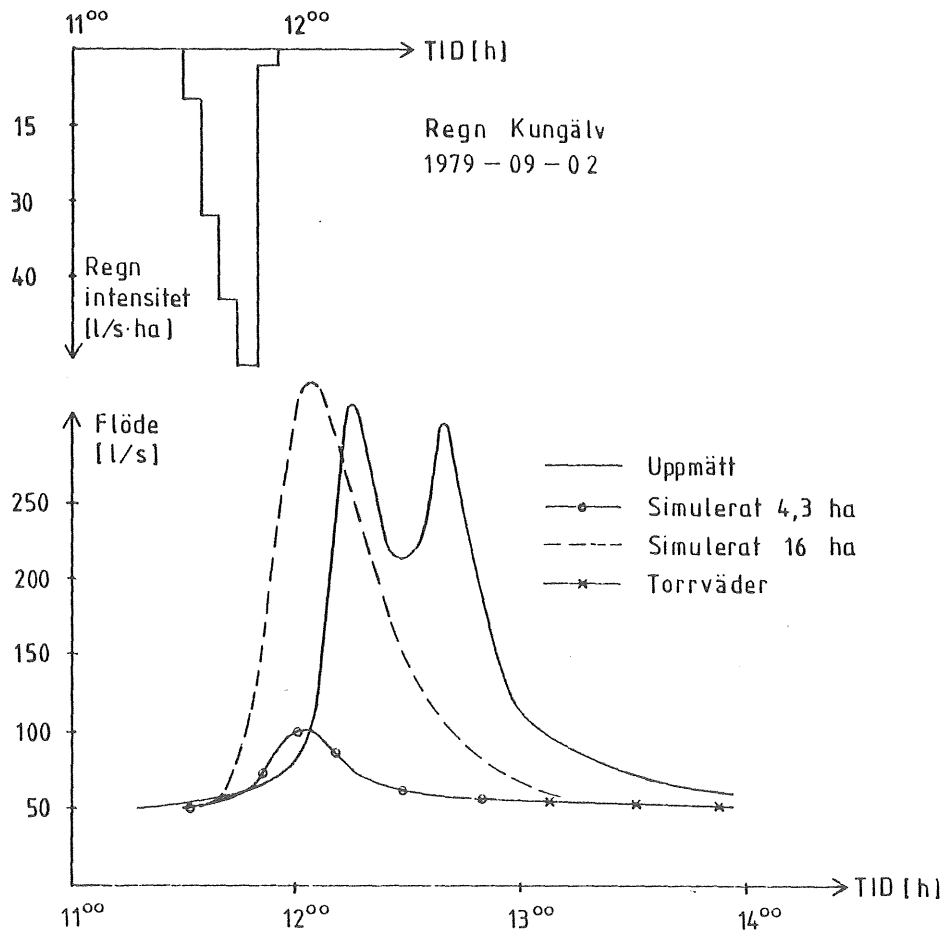
I Kungälv har fyra uppmätta nederbördstillfällen analyserats. Volymbearbetningen sammanfattas i tabell 7.2 nedan.

Tabell 7.2 Volymbearbetning för Kungälv. Mätår 1979.

Regn nr	Regn dat	Regn volym (mm)	Torrvädersflöde vid regnstart (faktor av normalt medelvärde)	Fördelning avrunnen volym (%)			Uppskattad direktansl yta (ha) *
				V_d	V_i	V_t	
1	09-02	5.8	1.0	56	6	38	15.4
2	09-02	12.7	1.0	60	9	31	18.7
3	09-03	3.2	1.0	71	3	21	19.7
4	09-14	4.2	1.0	59	9	32	16.4

* Karterad ansluten yta 4,3 ha

Tabellen visar regnvolymen vid de olika nederbördstillfällena, eventuell avvikelse från normalt torrvädersflöde vid regnstart samt fördelningen mellan direkt-, indirekt- och torrjädersavrinning. Dessutom har den bedömda direktavrinningen överförs till ett ytmått, dvs en uppskattad direktansluten yta. Denna är ca 13 ha större än den som bedömts via kartunderlag (kap 5). Denna skillnad framgår också tydligt vid jämförelse mellan uppmätt och simulerat flöde där det senare baseras på uppgifter enligt kap 5 (4,3 ha hårdgjord yta). Som exempel visas i figur 7.9 simulerad och uppmätt avrinning för regn nr 1. Det simulerade flödet för 16 ha hårdgjord yta visas också i figuren som jämförelse. Tilläggsytorna har här fördelats jämnt över hela avrinningsområdet.



Figur 7.9 Regnintensitet, simulerad och uppmätt avrinning för regn nr 1.

Det simulerade flödet innefattar enbart normalt torr-vädersflöde och avrinning från direkt anslutna ytor. Vi ser hur det simulerade flödet ökar vid regnstart och tämligen snart efter regnslut minskar och återgår till torrvädersflödet. Den snabba återgången återfinns också hos det uppmätta flödet. Detta tyder på ett jämförelsevis tätt system med begränsat inläckage av mark- och grundvatten. Samma tendens gäller även för de övriga regnen vilket framgår av de relativt låga andelarna in-direkt avrinning V_1 , se tabell 7.2.

Tidsförskjutningen mellan uppmätt och simulerade hydro-grafer beror sannolikt till största delen på dålig syn-kronisering mellan regn- och flödesmätaren. Formen på den simulerade hydrografen (16 ha hårdgjord yta) tyder på att "tilläggsytorna" är spridda över avrinningsområ-det. Troligen kan en stor del av dessa ytor spåras till de något mer perifert belägna stora duplikatområdena.

Några dimensionerande regn av typ Sifalda /17/ har ock-så använts för simulering av avrinning. Härvid har en-dast de uppgivna hårdgjorda ytorna medtagits i beräk-ningarna och dessa ger därför inga relevanta uppgifter om systemets kapacitet. Troligen kan de flesta punkter i systemet med kapacitetsproblem fastställas med hjälp av simuleringar där "tilläggs"ytorna medtagits enligt ovan.

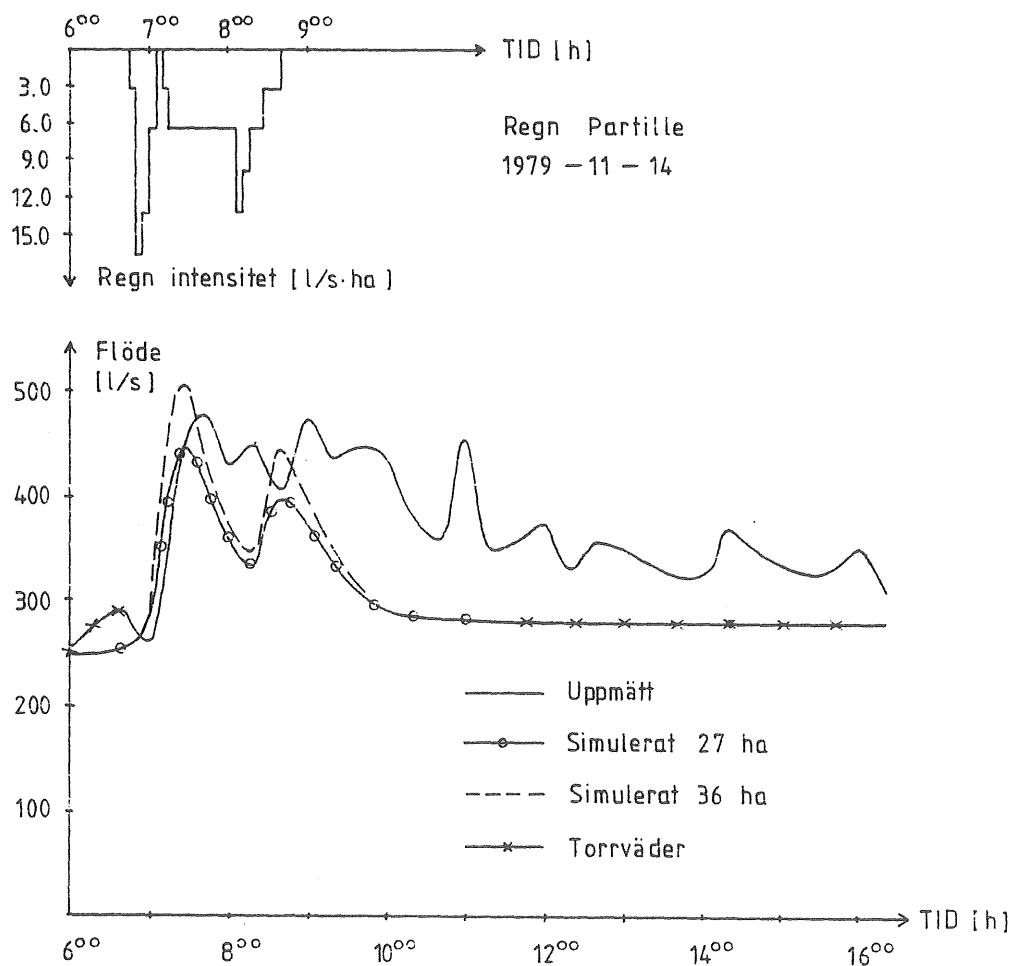
7.3.3 Partille (1020 ha)

I Partille har tre nederbördstillfällen analyserats. Volymbearbetningar sammanfattas i tabell 7.3. Tabellen visar samma parametrar som tabell 7.2 för Kungälv. I Partille är den ur mätningarna bedömda direktanslutna ytan ca 10 ha större än förutsett. Skillnaden framgår också tydligt vid jämförelse mellan uppmätt och simule-rat flöde, figur 7.10. En simulering där "tilläggs"-ytorna deltar redovisas också. Dessa ytor har fördelats jämnt över avrinningsområdet.

Tabell 7.3 Volymbearbetning för Partille. Mätår 1979.

Regn nr dat	Regn- volym (mm)	Torrvädersflöde vid regnstart (faktor av normalv)	Fördelning avrunnen volym i %			Uppskattad direktansl yta (ha) *
			V_d	V_i	V_t	
1 10-18	12,8	1,0	30	39	31	35
2 11-14	4,5	3,4	43	23	34	33
3 11-28	3,05	2,2	64	0	36	42

* Karterad ansluten yta 27 ha



Figur 7.10. Regnintensitet, simulerad och uppmätt avrinning för regn nr 2.

Den uppmätta kurvan uppvisar en större "ojämnhet" än Kungälvs. Detta beror sannolikt på inverkan från de pumpar som ligger uppströms i systemet. Den långsamma återhämtningen efter regnslut tyder på jämförelsevis höga inläckage från indirekt anslutna ytor. som framgår av tabellen är också fördelningen mellan indirekt och direkt avrinning mer jämn än för Kungälv (regn nr 1 och 2). Regn nr 3 avviker från denna tendens. Det bör dock noteras att detta regn föregåtts av en tredagarsperiod med extremt stor nederbörd (40 mm). Också regn nr 2 har föregåtts av en regnig period.

Läget för tilläggsytorna vare sig de direkt eller indirekt anslutna kan inte bedömas utgående från simuleringarna. Avsaknaden av markerade flödestoppar i anslutning till regnintensitetstoppar tyder dock på en någorlunda jämn fördelning av de direktanslutna ytorna (området långsmalt). Allmänt gäller att det långsammare avrinningsförloppet för de indirekt anslutna ytorna medför att dessa aldrig kan lokaliseras med hjälp av avrinningssimuleringarna.

Simuleringarna av avrinning vid dimensionerande regntillfällen har liksom för Kungälv mindre intresse eftersom dessa utförts med okorrigerade värden på direktansluten hårdgjord yta.

7.3.4 Mölndal (1950 ha)

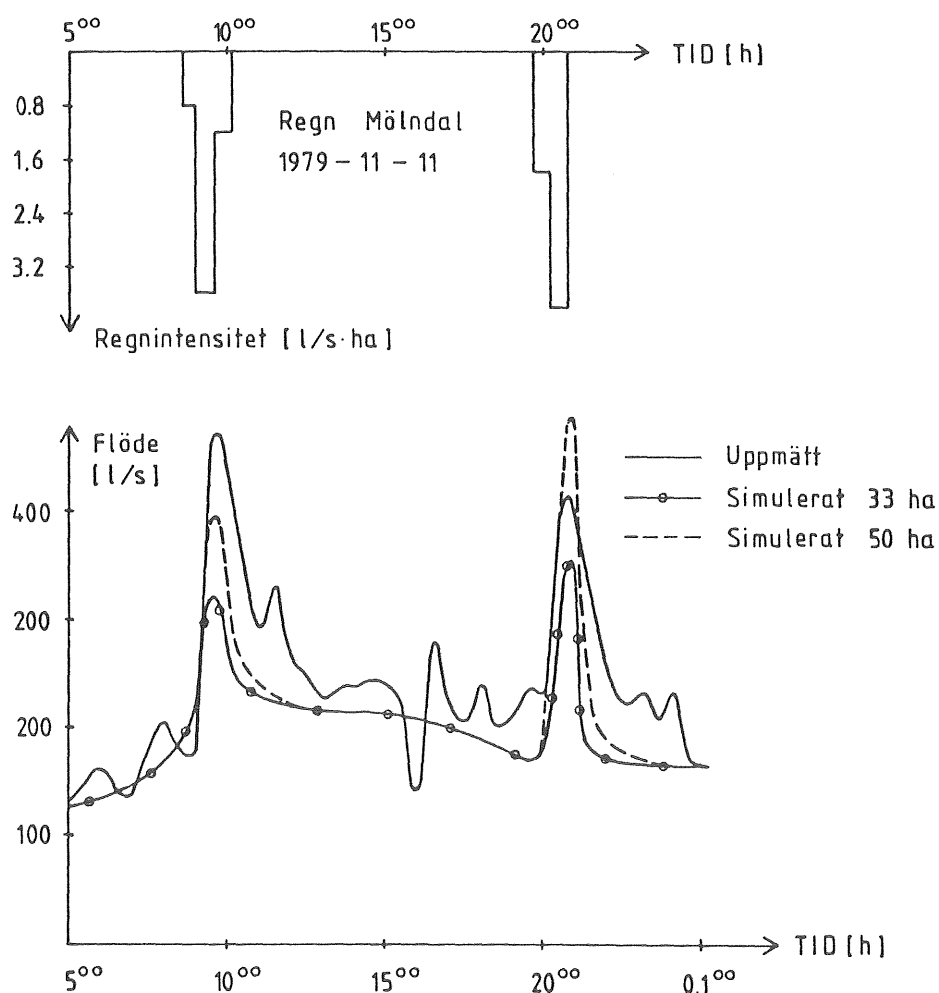
I Mölndal har fem nederbördstillfällen analyserats. Volymbearbetningen sammanfattas i tabell 7.4. Tabellen visar samma parametrar som tabell 7.2 för Kungälv. I Mölndal är den ur mätningarna bedömda direktanslutna ytan ca 20 ha större än förutsett. Det bör här betonas att systemet innehåller bräddavlopp. Detta medför en underskattning av de direktanslutna ytorna för regn där bräddning sker. De mest intensiva regnen är nr 2 och 3. Som framgår av tabellen ger dessa också de lägsta uppskattade direktanslutna ytorna. Skillnaden mellan regnen är dock inte större än att bedömningen 20 ha kan anses

Tabell 7.4 Volymbearbetning för Mölndal. Mätår 1979.

Regn nr	Regn dat	Regn volym (mm)	Torrvädersflöde vid regnstart (faktor av normalv)	Fördelning avrunnen volym i %			Uppskattad direktansl yta (ha) *
				V_d	V_i	V_t	
1	10-31	8,7	1,0	15	18	67	57
2	11-11	2,8	1,0	28	5	67	51
3	11-11	2,8	1,0	27	16	57	54
4	11-16	2,8	2,6	32	22	46	53
5	12-05	2,7	2,9	37	0	63	60

* Karterad ansluten yta 33 ha

realistisk. Bland kranskommunerna är Mölndal den kommun som vid simuleringen givit bäst överensstämmelse med uppmätt avrinning. Regn nr 2 visas i figur 7.11.



Figur 7.11 Regnintensitet, simulerad och uppmätt avrinning för regn nr 2.

7.3.5 Kortedala-Bergsjön plus Partille (2480 ha)

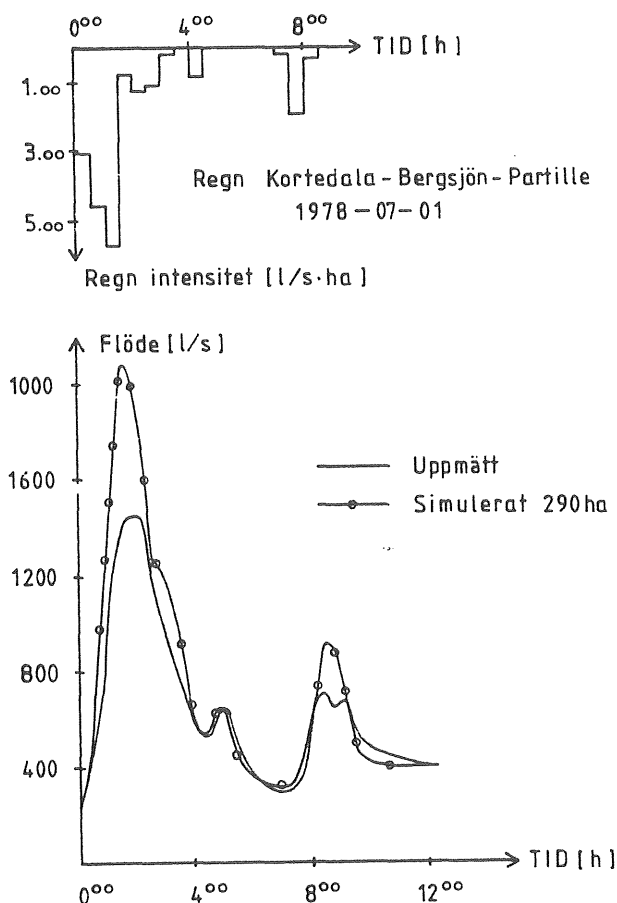
I de östra stadsdelarna (avsnitt 5.4.4) finns ungefär 40% av de till regionsystemet anslutna hårdgjorda ytor-na, dvs ca 600 ha. Avrinningen från området har stude-rats i tre punkter: vid Partilles utlopp (se ovan), i den samlade utloppspunkten för hela området och i en mellanpunkt vid SKF (Kortedala-Bergsjön-Partille).

Vid SKF har två regn analyserats med avseende på volym-innehållet, se tabell 7.5.

Tabell 7.5 Volymbearbetning för Kortedala-Bergsjön-Partille.
Mätår 1979.

Regn nr	Regn dat	Regn volym (mm)	Torrvädersflöde vid regnstart (faktor av normalv)	Fördelning avrunnen volym i %			Ur mätn erh dir ansl yta (ha)
				V_d	V_i	V_t	
1	05-22	4,8	1.0	28	2	70	147
2	07-01	14,4	1.0	60	4	36	120

Av tabellen framgår storleken på den ur mätningarna beräknade direkt anslutna ytan ca 130 ha. Denna kan jämföras med den ur kartmaterialet bedömda anslutna ytan, som är mer än dubbelt så stor, 290 ha. Skillnaden kan till största delen hänföras till bräddavloppen som uppenbarligen spelar en viktig roll i systemet. Volymbe-traktelsen ovan blir vid denna systemtyp mindre menings-full. Simulering av avrinningen ger däremot en ökad insikt i systemets funktion. De uppmätta och simulerade hydrograferna för regn nr 2 redovisas tillsammans med regnintensiteten i figur 7.12.



Figur 7.12 Regnintensitet, simulerat och uppmätt flöde för regn nr 2.

De simulerade hydrograferna stämmer väl överens med den uppmätta vid de tidpunkter få eller inget av bräddavloppen är i funktion. Detta tyder på att bedömningen av systemet m a p geometri anslutna ytor etc i huvudsak överensstämmer med verkligheten. Vid bräddtillfällena dvs vid de högre flödena är överensstämmelsen sämre. Det simulerade flödet är betydligt högre och skillnaden mellan simulerad och uppmätt avrunnen volym (exklusive spillvattnet) motsvarar ca 15% av tillförd regnvolym.

I NIVANETTS bräddavloppsmodell bräddas allt inflöde till bräddpunkten som överstiger ett givet maximalt värde. De flesta verkliga bräddavlopp har en mycket mer komplex funktion där bl a bräddningen startar före

inflödet uppnår maximal "vidareföringskapacitet". Denna kapacitet kommer att variera med inflödet till bräddpunkten. Noggrannheten i simuleringen av bräddavlopp är därför också beroende på vilken regntyp som simuleras.

Med hänsyn till bräddavloppens utformning i systemet och att det simulerade regntillfället ger tämligen snabba flödesvariationer bedöms modellen i detta fall ha en godtagbar noggrannhet. En sänkning av vidareföringskapaciteten vid samtliga bräddavlopp med 30-40% skulle ge en bättre överensstämmelse mellan simulerad och uppmätt hydrograf. En sådan felbedömning av bräddavloppens kapacitet är emellertid mindre sannolik. Avvikelserna mellan simulerad och uppmätt hydrograf kan därför inte förklaras med otillräcklig noggrannhet hos bräddavloppsmodellen eller indata till denna. En möjlig förklaring skulle kunna vara att vissa bräddavlopp förbisätts i inventeringen eller bräddning sker på annat sätt i någon eller några punkter i systemet. Den mest näraliggande förklaringen är dock att delar av systemet vid flödestopparna blir dämt. Om detta sker nedströms bräddavloppen får dessa en mycket reducerad vidareföringskapacitet. En simulering med DAGVL-DIFF i huvudledningssystemet skulle visa om dämningförhållandena är kritiska i de större bräddavloppen.

7.3.6 Östra stadsdelarna (3790 ha)

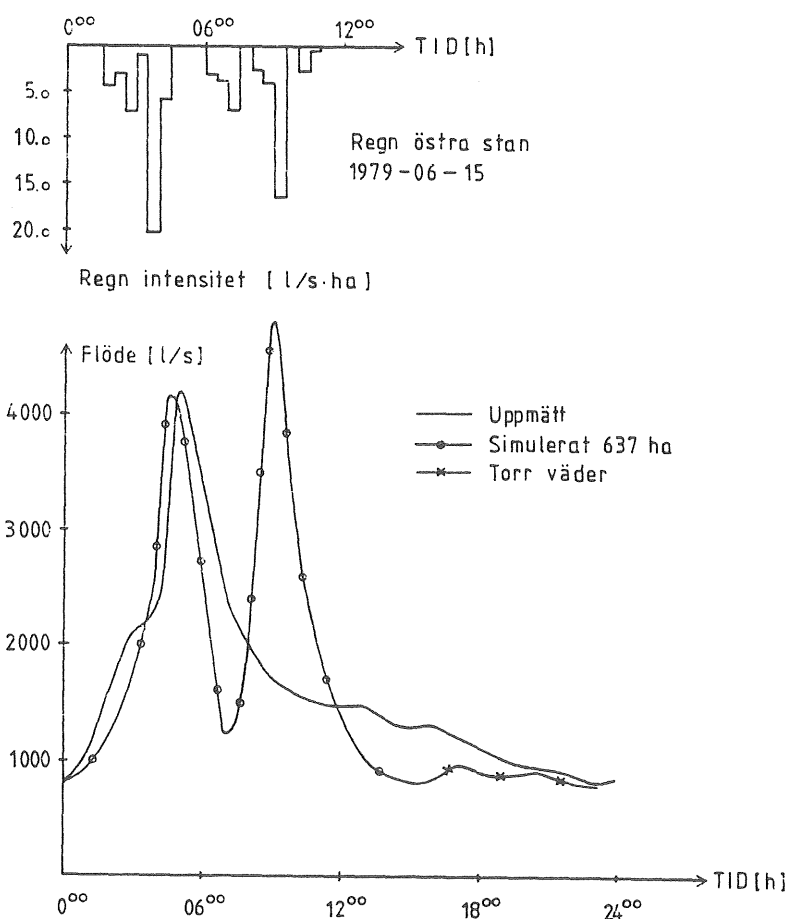
Vid Kodammarna har två regn analyserats med avseende på volymminnehållet, se tabell 7.6.

Tabell 7.6 Volymbearbetning för Östra stadsdelarna. Mätår 1979.

Regn nr	Regn dat	Regn volym (mm)	Torrvädersflöde vid regnstart (faktor av normalv)	Fördelning avrunnen volym i %			Ur mätn erh dir ansl yta (ha)
				V_d	V_i	V_t	
1	05-23	15,4	1,4	58	13	29	424
2	06-15	15,0	1,0	59	4	30	467

Området omfattar norra Sävås-systemet (mätpunkt SKF) samt ytterligare ca 300 ha anslutna ytor dvs totalt 610 ha. Som framgår av tabellen spelar bräddavloppen en fortsatt viktig roll i systemets funktion. En närmare jämförelse mellan mätningarna vid SKF och Kodammarna är inte lämplig eftersom då ej samma regn jämförs. Dessutom är mätningarna vid Kodammarna utförda 1 år senare (ingrepp i systemet gjorda under året). Vi kan dock konstatera att bräddvolymen omräknat i hårdgjord yta är ungefär av samma storlek som för enbart norra Sävås-systemet.

Avrinningen vid de två regntillfällena har simulerats med NIVANETT. Båda simuleringarna visar ett betydligt snabbare avrinningsförlopp med högre flödestoppar än mätningarna. Simuleringarna visar att dämningseffekterna för detta regn är av stor betydelse för avrinningsförloppet och därmed att systemets centrala delar bör analyseras med hjälp av en "dämningsmodell".



Figur 7.13 Regnintensitet uppmätt och simulerat flöde regn nr 2.

7.3.7 Centrala stadsdelarna (630 ha)

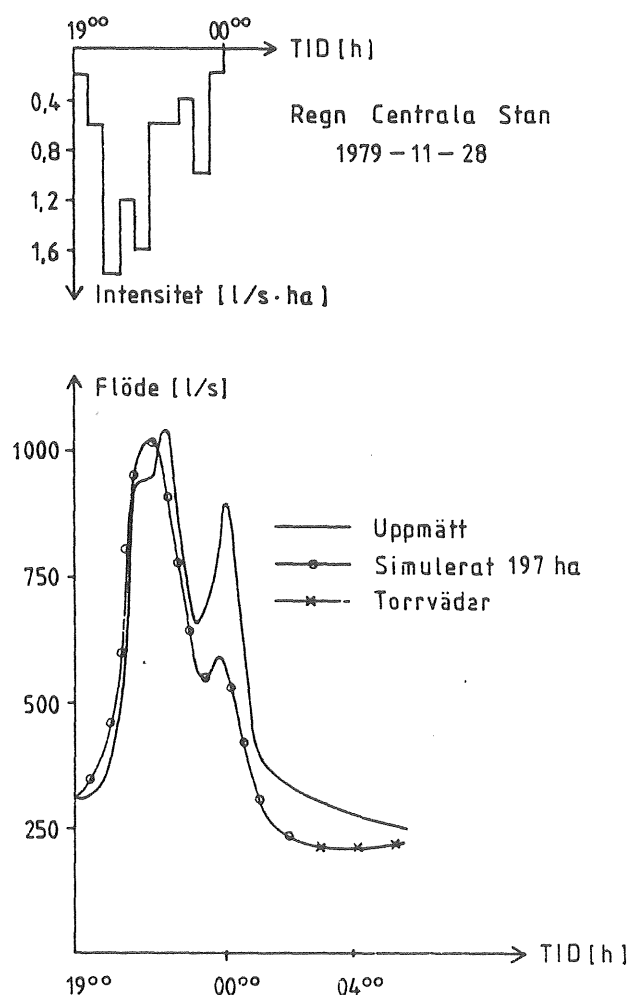
I centrala Göteborg har tre regn analyserats, se tabell 7.7.

Tabell 7.7 Volymbearbetning för centrala staden.
Mätår 1979.

Regn nr. dat	Regn volym (mm)	Torrvädersflöde vid regnstart (faktor av normalv)	Fördelning avrunnen volym i %			Ut mät erh dir ansl yta (ha)
			V_d	V_i	V_t	
1 11-28	4,1	1,0	49	6	45	225
2 12-03	3,1	1,08	57	0	43	286
3 12-04	3,4	1,32	67	0	33	310

Systemet är ett rent enledningssystem med i huvudsak samlad bräddning nedströms mätpunkten. Den ur mätningarna bestämda ytan kan därför jämföras med den ur kartmaterialet bedömda, 197 ha. Liksom tidigare system utan bräddavlopp indikeras en högre anslutning av ytor än vad som framgår av inventeringen. Den högre anslutningsgraden är proportionellt sett låg jämfört med Kungälv och av samma storleksordning som för Partille. I dessa nät finns stora anslutna områden med tvåledningssystem och därmed en potentiell möjlighet av felkopplingar, överläckning etc. I centrala Göteborg är alla de hårdgjorda ytorna redan anslutna och den högre anslutningsgraden måste därför hänföras till andra ytor. Som framgår av tabellen sker en markant ökning av beräknad ansluten yta under mätperioden. Detta indikerar påverkan av indirekt avrinning från permeabla ytor. Den i avsnitt 7.3.1 definierade indirekta avrinningen är emellertid låg för alla regnen.

Simulering av avrinningen har utförts för samtliga regn. I figur 7.14 visas resultaten från regn nr 1.



Figur 7.14 Regnintensitet, simulerat och uppmätt flöde, regn nr 1.

Som framgår av figuren har den simulerade hydrografen ett tidsförlopp som överensstämmer väl med den uppmätta. I senare delen av regn nr 1 samt vid regn nr 2 och 3 överensstämmer fortfarande tidsförloppet väl medan de simulerade flödesnivåerna är högre. Några väsentligare dämningseffekter föreligger därför inte för dessa regn. Enbart en ökning av deltagande yta vid simuleringen skulle därför ge god överensstämmelse. Som ovan nämnts svarar en sådan ökning sannolikt inte mot några verkligt anslutna hårdgjorda ytor. En påverkan av permeabla ytor är mindre sannolik då dels regnen har en tämligen liten volym dels återgången till torrvädersflödet sker mycket snabbt. Skillnaden mellan uppmätt och simulerat flöde är därför svårförklarad.

En viss risk för dämning nedströms mätpunkten finns. En alternativ förklaring kan var att nedströmsvattenytan i

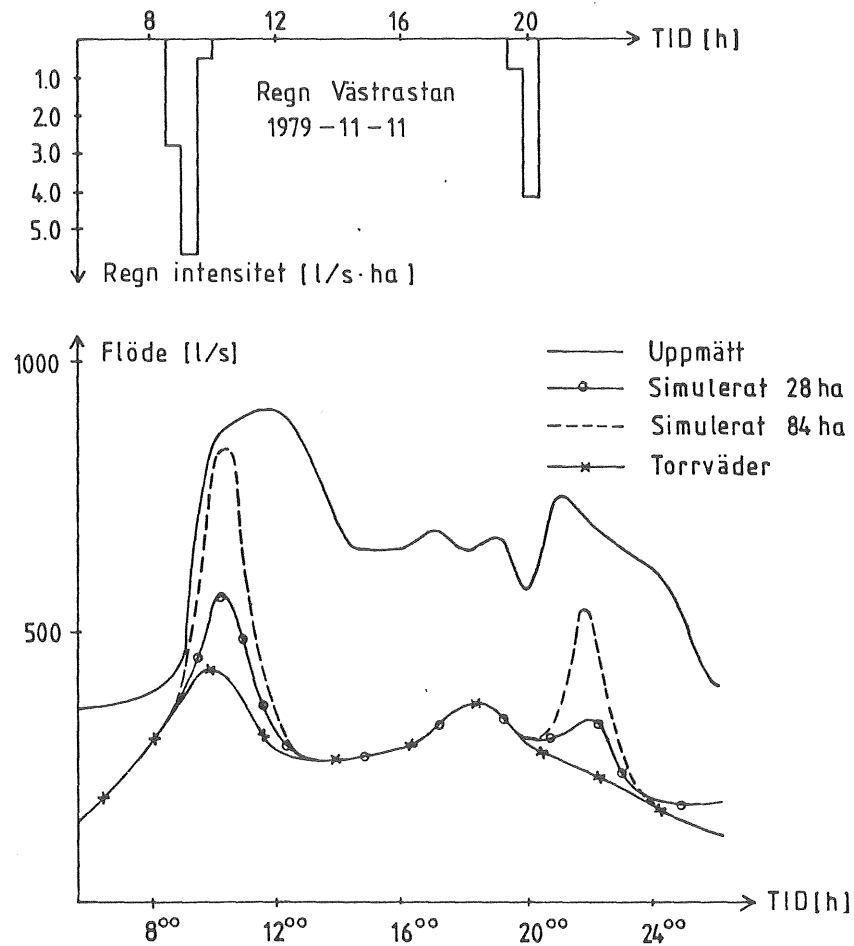
någon mån påverkar mätvärdena. Senare kontroller med nivågivare nedströms mätsektionen har visat att även detta alternativ är osannolikt med hänsyn till de måttliga regnvolymer som nederbördstillfällena representerar.

7.3.8 Övriga stadsdelar - regionen

Simulering av avrinningen från västra stadsdelarna (2440 ha) har också kunnat jämföras med motsvarande uppmätta flöden. Systemet är av tvåledningstyp och enligt inventeringen är inga hårdgjorda ytor anslutna. Figur 7.15 visar en mätserie av nederbörd och avrinning under ca 24 timmar. Vi ser att det uppmätta flödet är betydligt högre än motsvarande torrvädersflöde. Två simuleringar har också utförts där 28 resp 84 ha hårdgjord yta antagits anslutna spritt över området. Dessa är också inlagda i figuren. Av dessa framgår klart att det förhöjda flödet inte kan hänföras till direktanslutna ytor på grund av den långa responstiden. Därmed framstår den högre antagna anslutna hårdgjorda ytan som simulerats som orealistisk medan den lägre är mer sannolik. Responsen från detta område påverkas starkt av avrinning från naturområden. Det bör påpekas att den diskuterade avrinningen skett under en extremt våt period och att normala sommarregn ger endast marginella flödesökningar.

Övriga området i regionen har inte kunnat jämföras med mätningar och tas därför inte upp till diskussion här. En volymbetraktelse för hela regionen har dock gjorts för två regn på samma sätt som tidigare. Under båda regnen har bräddning skett i systemet. Den uppmätta avrunna volymen är också mindre än vad som kunde förväntas med hänsyn till anslutna hårdgjorda ytor. Totalt är ca 1700 ha hårdgjord yta anslutet till systemet. Uppmätt volym motsvarar ca 1120 ha. Detta svarar mot ca 35% bräddning av regnvattenvolymen. Eftersom fler ytor

belastar systemet än vad som framgår av inventeringen är bräddningen i dessa fall sannolikt i verkligheten större. Det bör här påpekas att regnet är tämligen intensivt ($12 \text{ l/s}\cdot\text{ha}$ under 3 timmar). Hur regnets intensitet varierar i tiden visas i figur 8.7.



Figur 7.15 Regnintensitet, simulerat och uppmätt flöde, västra stadsdelarna.

7.4 Diskussion av simuleringsansatsen

De redovisade simuleringarna visar att avrinningen från olika typer av områden kan beräknas med hjälp av avrinningsmodeller av typ NIVANETT. Ingångsvärdena för beräkningarna utgörs av data om avrinningsområdena, vilka framtagits av olika personer för de olika delområdena, men enligt en gemensam mall.

De resultat som erhålls vid simuleringar som baseras enbart på insamlat material om delområdena överensstämmer inte nödvändigtvis med verkligheten utan speglar den uppfattning som finns i kommunen om avloppssystemets funktion.

Genom flödesmätningar kan kommunens uppfattning verifieras eller vederläggas. Flödesmätningarna används för att korrigera ingångsvärdena i de fall skillnader föreligger mellan uppmätta och simulerade flöden. När det gäller torrvädersflödena bör dessa alltid verifieras genom mätningar. Skillnaden i dränvattenflöde under olika årstider är betydande varför mätningarna bör häröra från olika perioder av året. Spillvattenföringens dygnsvariation erhålls bäst genom flödesmätningar, men kan hjälpligt simuleras med hjälp av en standardkurva, till exempel enligt /16/.

Sammanfattningsvis har simuleringarna visat att flödes-simuleringar med avrinningsmodeller av typ NIVANETT kombinerade med flödesmätningar med fördel kan användas för att göra hydrauliska funktionsbeskrivningar för avloppssystem i vilka dämning nedströms ifrån inte påverkar flödesförloppet samt för flöden upp till dess att trycklinjen når ledningens hjässa. Avloppssystem med bräddavlopp däremot, kan för regn som medför bräddning inte simuleras med samma noggrannhet, som för regn med lägre intensiteter. För detta krävs detaljerade beräkningsmodeller för bräddavloppen samt noggrann beskrivning av utformningen.

8. FLÖDESSIMULERINGAR I TUNNELSYSTEMET

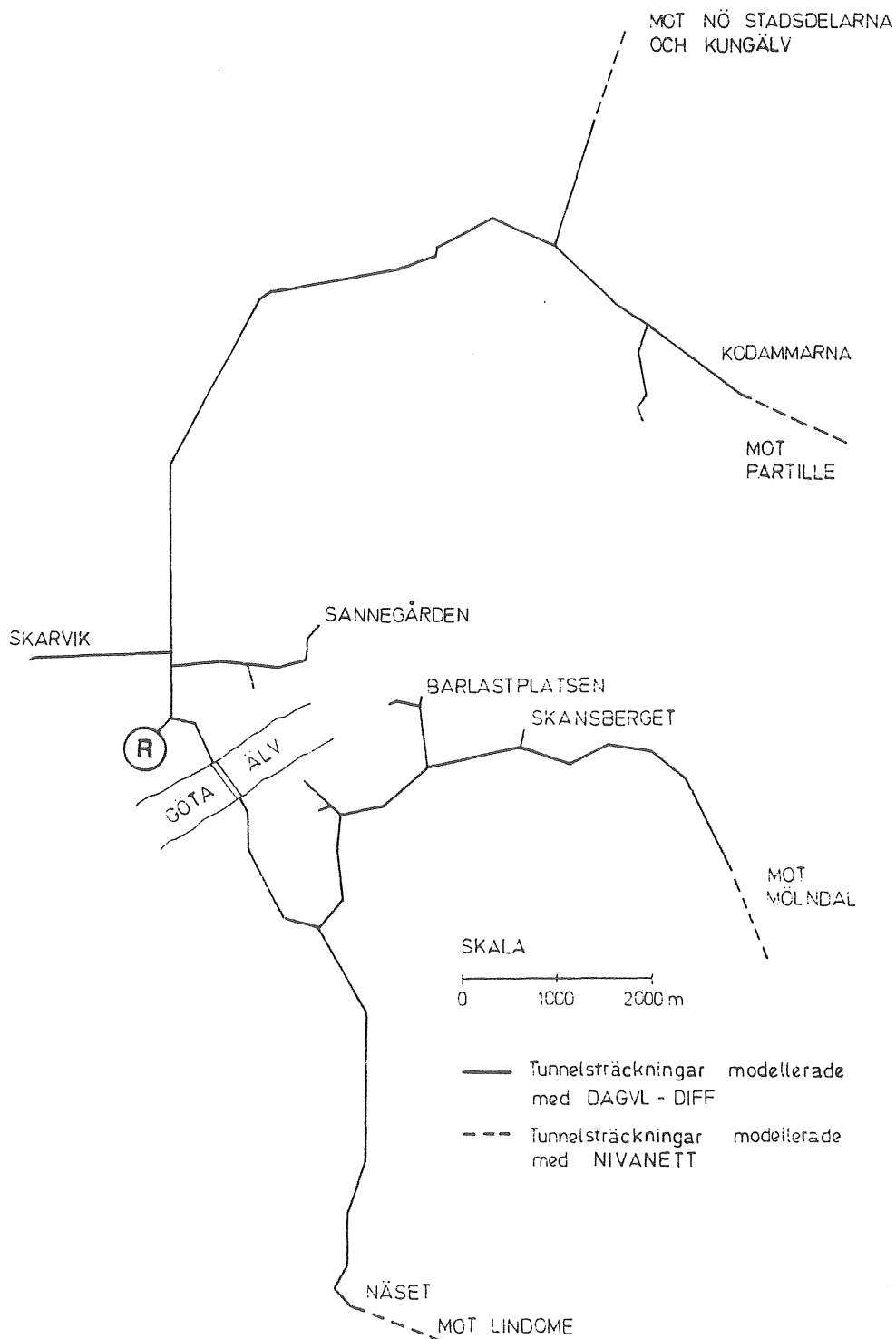
8.1 Modell-indata struktur

De simuleringar som redovisats i tidigare avsnitt har utförts under antagande att flödet inte påverkas av nedströmsförhållanden. Antagandet är relevant i de flesta fall som diskuterats. Flödet i det flacka tunnelsystemet styrs däremot på ett mycket markerat sätt av situationen vid utloppspunkten, Ryaverket. För att kunna spegla avrinningsförloppet i tunnelsystemet måste simuleringarna därför ske med en modell som tar hänsyn till dessa förhållanden, en dämningmodell. Därför valdes DAGVL-DIFF, för detta system, se kap. 4.

Stora delar av tunnelsystemets flöden är emellertid sällan eller aldrig påverkade av dämning. DAGVL-DIFF har därför inte använts på de längst uppströms belägna tunnelsträckningarna. Här har i stället NIVANETT använts. I NIVANETT finns möjlighet att räkna med tunnelsektioner av den typ som finns i Göteborg. Av figur 8.1 framgår vilken av modellerna som använts i respektive tunnelsträckning.

Tunnelsystemet har i modellindata inte schematiserats utan är noggrant beskrivet med avseende på längden, lutningar och sammanlänkning. De "dämda" tunnelavsnitten (43 km) har indelats i 77 ledningar med 78 knutpunkter. Varje ledning delas dessutom vid beräkningen upp i mellan 1 och 25 delsträckor beroende på längden. Nätet har 36 inloppspunkter till vilka 43 inloppshydrografer från tidigare beräkningar påförts.

Simuleringen utförs rent praktiskt i tre steg. Första steget innefattar simulering av avrinningen från alla avrinningsområdena med NIVANETT såsom kranskommuner, stadsdelar etc. Andra steget omfattar simulering av flödet från kranskommunerna Kungälv-Ytterby, Ale, Mölndal och Lindome genom det uppströms belägna tunnelnätet med NIVANETT. I de två första stegen har flödesutveck-



Figur 8.1 Modellval för olika tunnelsträckningar.

lingen fram till den dämnda tunneldelens inloppspunkter erhållits. De erhållna utloppshydrograferna mellanlagras och används därefter i det tredje steget som indata i dämningssmodellen.

8.2 Val av tunnelsektion, delfyllnadsfunktioner, råhet

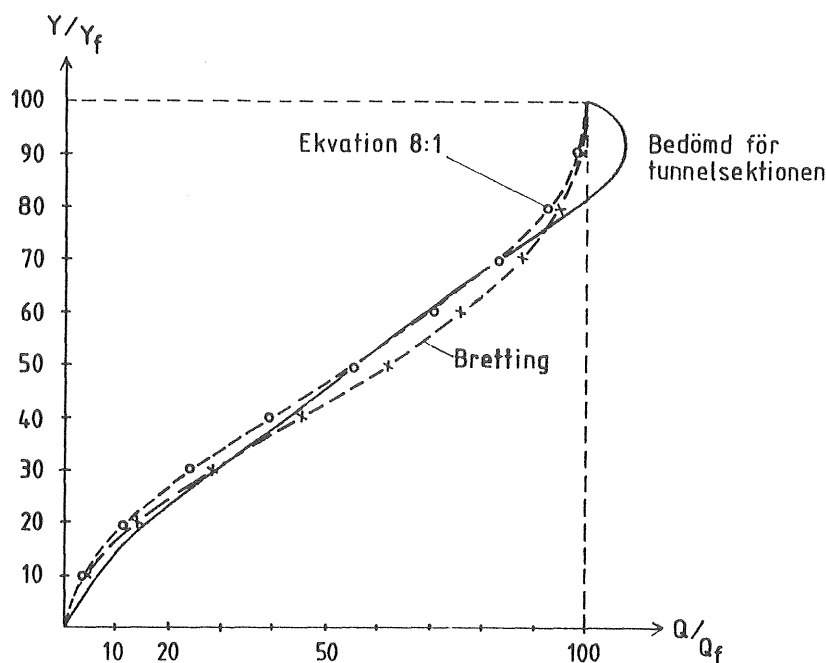
De tunnelsektioner som förekommer i systemet har som tidigare nämnts ett bredd/höjdförhållande som mestadels ligger nära 1. Förhållandet mellan fyllnadsgraden Y/Y_{full} och den våta arean A/A_{full} för en typisk tunnelsektion redovisades i figur 5.3 i kapitel 5. En jämförelse mellan motsvarande delfyllnadskurva för en cirkulär sektion visar att avvikelserna mellan funktionerna är små.

Under första delen av projekttiden fanns enbart möjlighet att arbeta med cirkulära sektioner i DAGVL-DIFF. Brettings delfyllnadsfunktion $Q/Q_{full} = f(Y/Y_{full})$ anpassades därför till motsvarande bedömda. Se /1/.

$$\frac{Q}{Q_{full}} = 5,529 - 0,5 \left(\frac{\pi \cdot Y}{Y_{full}} \right) + 0,029 \cos \left(\frac{2\pi \cdot Y}{Y_{full}} \right) \quad (8.1)$$

I figur 8.2 jämförs de bedömda och anpassade delfyllnadsfunktionerna. En godtagbar överensstämmelse erhålls med undantag för $Y/Y_{full} > 0,85$. Vid dessa nivåer är emellertid osäkerheten i både Brettings samband och det bedömda tunnelsektionssambandet så stora att en ytterligare utveckling av sambandet (8.1) inte är motiverad ur praktisk synpunkt.

De tunnelsektioner som använts vid indatabeskrivningen av systemet är baserade på projekteringsritningarna. Vid tunneldrivning erhålls normalt en större sektion. Vid Göteborgs VA-verk har en jämförelse gjorts mellan dessa "planerade" sektioner och motsvarande erhållna i några tunnelsträckningar. Man fann att de erhållna sektionsareorna var ca 12% större än de projekterade. Alla tunnelareor har därför schablonmässigt ökats med 12%.



Figur 8.2 Delfyllnadsfunktioner: Bedömd för tunnelsektionen, "anpassad", Bretting.

Vid bedömningen tunnelsektionssambandet har hänsyn tagits till att betongsulan och tunnelväggarna har olika råhet. De värden som använts är $M = 75$ och $M = 35$ för sulan respektive väggarna. Genom att välja en ekvivalent diameter som ger

$$(A_{\text{full}})^{\text{cirkulär sektion}} = (A_{\text{full}})^{\text{tunnelsektion}}$$

och ett ekvivalent Mannings tal som ger

$$(Q_{\text{full}})^{\text{cirkulär sektion}} = (Q_{\text{full}})^{\text{tunnelsektion}}$$

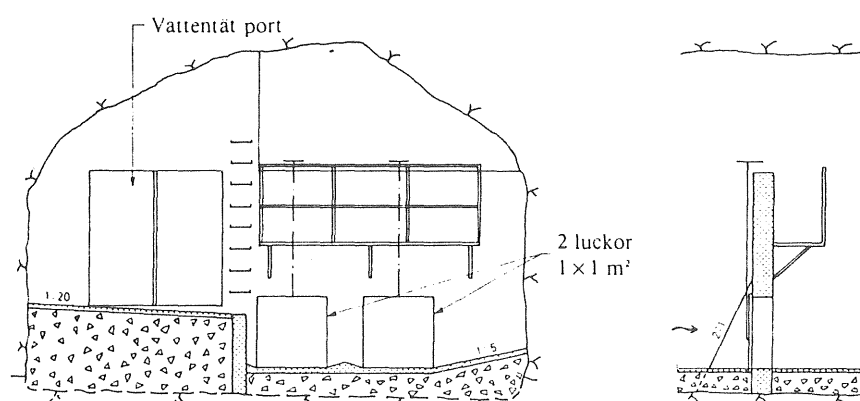
erhålls ett system där de beräkningsmässiga avvikelserna från den normala tunnelsektionen är acceptabel med hänsyn till den osäkerhet som råder beträffande tunnelsektionens verkliga form och storlek.

I projektets slutskede utvecklades en rutin i DAGVL-DIFF som innebär att modellen nu kan arbeta med de flesta typer av tunnelsektioner. Indata för tunnelsystemet gjordes i detta skede om och alla simuleringar som redovisas i detta kapitel är baserade på den verkliga tunnelsektionsformen.

8.3 Dykarledningar, spärrvägg

Dykarledningen mellan norra och södra tunnelgrenen, se figur 8.1, påverkar starkt förhållandena i den dämnda delen av tunnelsystemet. Normalt används två dykarledningar parallellt. Vid dykarledningarna finns trottelventiler som ökar energiförlusterna. Dessutom finns tendenser till igensättning av dessa, resulterande i ytterligare förhöjda förluster. Vid Göteborgs VA-verk har energiförlusten vid ett fall av igensättning uppmätts. Dessutom har totala teoretiska energiförlusten med ventiler bestämts. Genom att använda till dessa förluster anpassade Mannings tal i dykarledningen kan alternativa strypningar (igen-sättningar av ventilerna) simuleras i modellen.

I tunnelsträckningen mot Mölndal finns en spärrvägg enligt figur 8.3.



Figur 8.3 Spärrvägg vid Skansberget efter /18/.

För att kunna ta hänsyn till denna spärrvägg har en särskild beräkningsrutin utarbetats i DAGVL-DIFF. Beräkningsrutinen har formulerats mycket generellt så de flesta tänkbara typer av hinder kan simuleras.

De inledande simuleringarna visade att spärrväggen inte påverkar förloppet märkbart i det system som används i denna rapport, dvs det som gällde 1979. Spärrväggsrutinen har därför inte använts i de här redovisade simuleringarna. Systemet byggdes under 1980 om så att större

delen av centrala stan nu är kopplad på tunneln uppströms spärrväggen. Man kan därför förmoda att spärrväggen nu påverkar flödet på ett betydligt mer påtagligt sätt.

8.4 Flödes- och nivåförhållanden vid Ryaverket

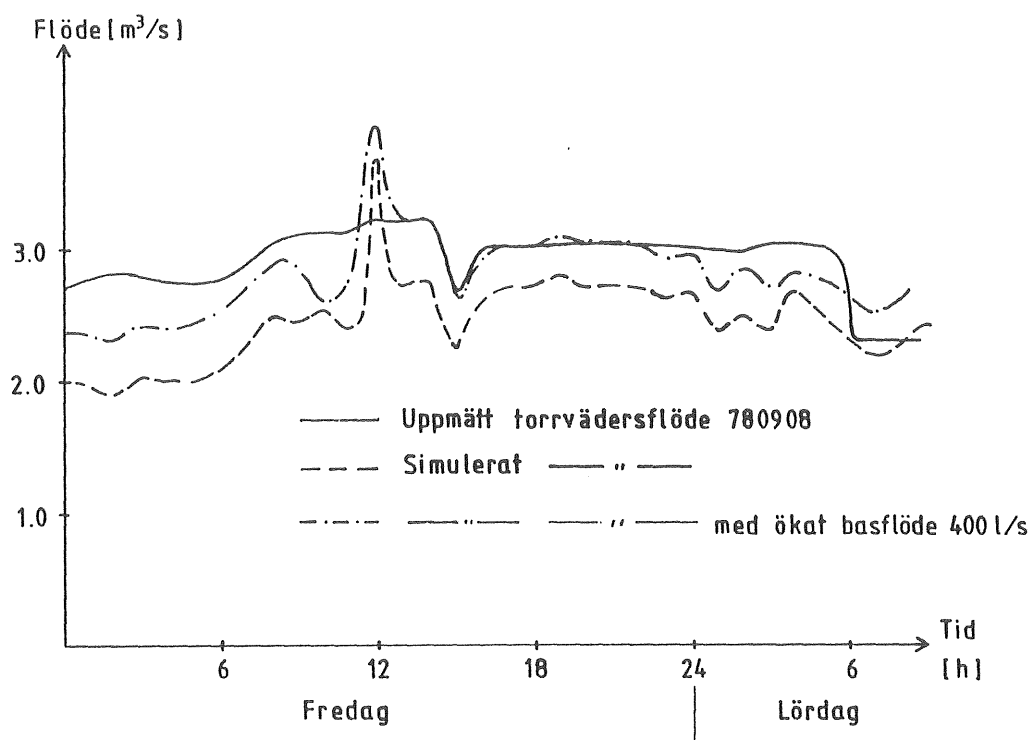
Tunnelsystemets slutpunkt är Ryaverket. Allt spillvatten som når verket via tunnarna pumpas från denna punkt vidare. Det pumpade flödet mäts med magnetiska flödesmätare och samtidigt registreras vattenståndet uppströms pumpgropen med tidsintervallet 1 timma. Hur styrningen av flödet sker berördes i kapitel 5. Vi går därför inte närmare in på styrningen utan konstaterar att uppgifter på vattenstånd och flöde finns i nedströmspunkten på systemet. Förhållanden i slutpunkten har naturligtvis en stor betydelse för förhållandena långt ute i tunnelsystemet och måste därför ingå som ett villkor vid simuleringen. I DAGVL-DIFF kan detta villkor väljas antingen till nedströms vattenstånd eller utflödet ur systemet.

En felkälla vid simuleringen är det via andra simuleringar beräknade inflödet till tunnelsystemet. Om utflödet väljs som nedströms randvillkor och det beräknade inflödet avviker från det faktiska erhålls snabbt felaktiga vattenstånd i hela systemet som i sin tur ger en felaktig bild av flödesförloppet. Lämpligare är därför att välja nedströms vattenstånd som villkor eftersom då vattenstånden i systemet kommer att ligga närmare de verkliga trots skillnaden mellan inflöde och utflöde. Som resultat av simuleringen erhålls då flödet som kan jämföras med det uppmätta.

8.5 Simulering av torrvädersflöde

I avsnitt 7.2 redovisades dygnsvariationen av torrvädersflödet från några områden. För övriga områden uppskattades motsvarande variation. Härigenom erhöles ingångsvärden för simulering av torrväderstillrinningen till Ryaverket. Denna tillrinning representerar en uppskattad "medel"variation under ett nederbördsfritt dygn. En simu-

lering där vattenståndsvariationen under ett bestämt torrvädersdygn används som nedströms randvillkor kan därför antas ge ganska stora avvikelser vissa dygn. En viss uppfattning om bedömda tillflöden och modellfunktionen erhålls dock. I figur 8.4 visas en torrväderssimulering av denna typ.



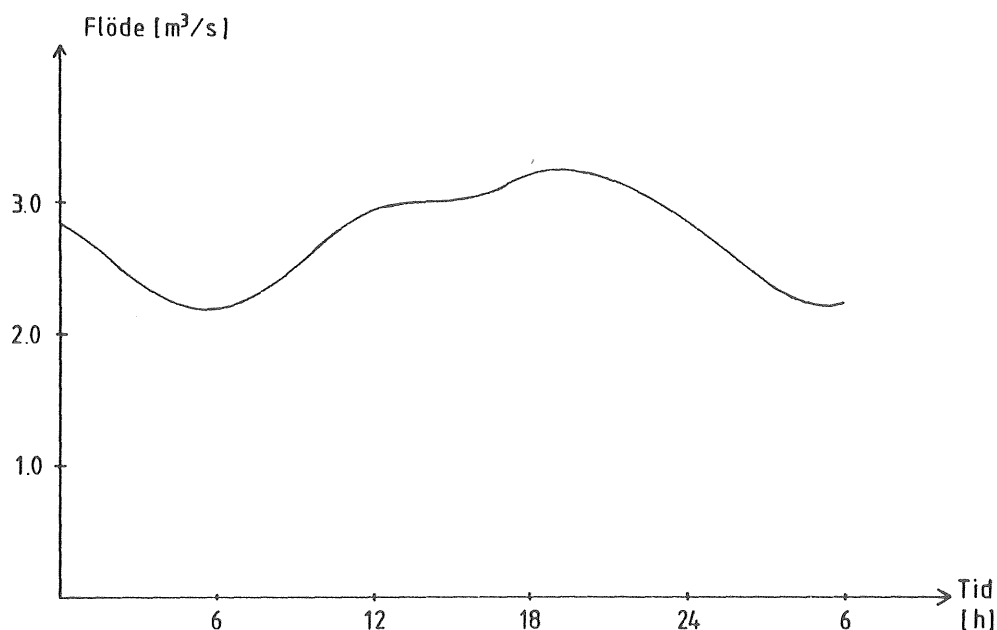
Figur 8.4 Torrväderstillrinning till Rya vid flödesreglering.

Den heldragna kurvan i figuren motsvarar uppmätt flöde och den streckade simulerat. Vi ser att detta speciella dygn har ett något högre genomsnittligt flöde. I en andra simulering ökades därför basflödet med 400 l/s och ett simulerat flöde enligt den streckprickade kurvan erhöles.

Vid simuleringsstart är utgångspunkten ett stationärt flöde baserat på basflödet i inloppspunkterna och det initiella vattendjupet vid Rya. Dessa förhållanden stämmer naturligtvis inte med de verkliga. Modellen behöver därför en "insvängningsperiod" på ca 6 timmar innan hela systemet har representativa flöden och vattenstånd. Vi ser också i figuren de stora avvikelserna de närmaste timmarna efter start.

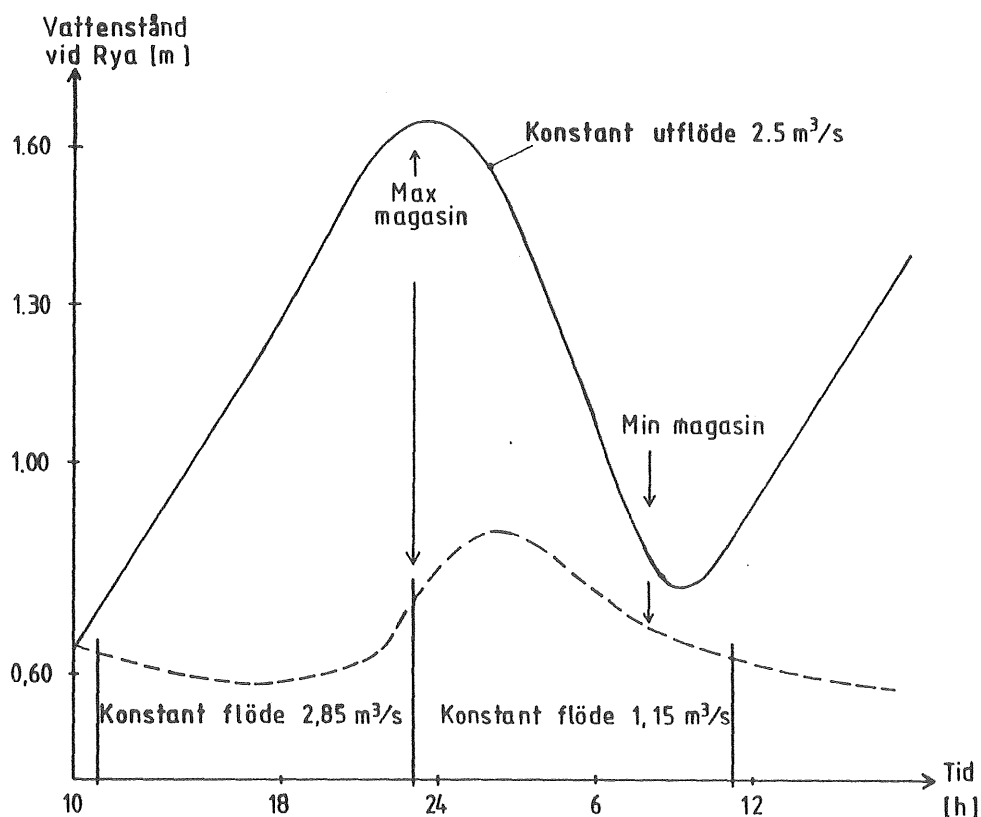
Den simulerade flödeskurvan är betydligt "oroligare" med några mycket markerade punktvisa flödesavvikelser. Dessa återkommer i alla simuleringar och diskuteras närmare i följande avsnitt. Efter midnatt sjunker det simulerade flödet under det uppmätta. Kl 24.00 motsvarar dygns-skiftet mellan fredag och lördag för den uppmätta flödeskurvan. Detta kan vara en förklaring till avvikelserna.

Simuleringen ovan ger ingen egentlig uppfattning om dygnsrytmen i torrväderstillrinningen till Rya. En bättre uppfattning fås om nedströms randvillkor väljs till ett konstant vattendjup motsvarande ett normalt dygnsmedelvärde vid torrt väder. Jämfört med simuleringen ovan innebär detta randvillkor att tunnelns förmåga till utjämning inte utnyttjas. Figur 8.5 visar den flödesvariation som erhålls vid detta randvillkor. Jämfört med t ex Kungälv eller Mölndal är dygnsvariationen tydligt utjämnad och dessutom tidsförskjuten.



Figur 8.5 Torrväderstillrinning till Rya vid konstant vattenstånd nedströms.

Torrvädersflödet kan "dygnsregleras" genom styrning av pumparna. En sådan styrning kan simuleras genom att flödet ges i stället för vattenståndet som nedströms randvillkor. Härvid erhålls vattenståndet som resultat av simuleringen. Figur 8.6 visar den vattenståndsvariation som erhålls vid torrvädersdygnet om ett konstant flöde pumpas (heldragen kurva). Variationen i magasinsvolym under dygnet blir i detta fall 25.000 m^3 . Den högsta magasinerade volymen erhålls omkring kl 23 och den lägsta kl 8.



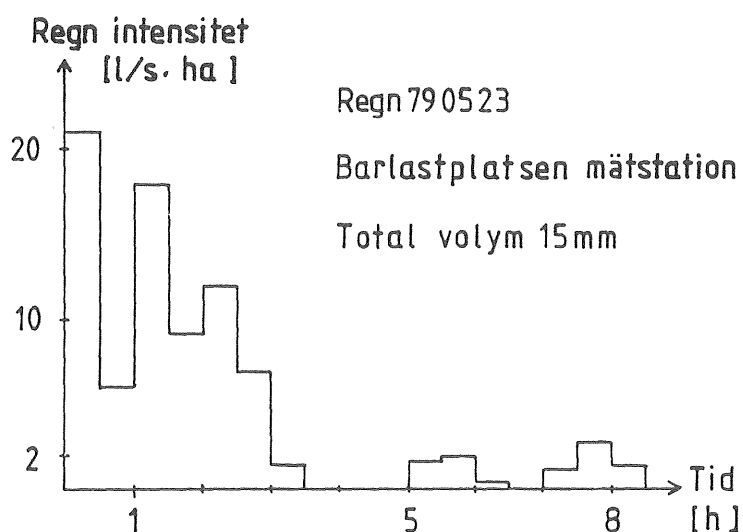
Figur 8.6 Vattenståndsvariation vid Rya för olika regleringsalternativ.

Den streckade kurvan visar vattenståndsvariationen vid körning av pumparna under 12 timmar med ett högre flöde och därefter 12 timmar med ett lägre. Som framgår minskas variationen i vattenstånd högst väsentligt. Variationen i magasinsvolymen ändras i motsvarande grad och blir 6.700 m^3 . Högsta och lägsta magasinerade volym erhålls också här kl 23 och kl 8.

Det bör noteras att de här diskuterade "reglerade" flödesvärdena motsvarar den "bedömda" tillrinningen. Som framgår av figur 8.4 och även följande avsnitt är "normalt torrväder" troligen något högre. Dygnsvariationen är dock sannolikt ganska nära den verkliga och därmed kan regleringsflödena direkt anpassas till olika bedömda torrvädersflöden.

8.6 Simulering av regn

Vid simulering av avrinning i samband med nederbörds-tillfällena överlagras torrvädersflödet enligt föregående avsnitt med det aktuella dagvattentillskottet i varje delområde. Därefter används samma beräkningsförfarande i tre steg som angivits i avsnitt 8.1. Undantag gjordes dock för inflödeshydrografen från östra stadsdelarna. I stället för den simulerade hydrografen användes här den uppmätta (se avsnitt 7.4). Tre nederbördstillfällena simulerades på detta sätt. Här kommer dock enbart ett av tillfällena att redovisas. Nederbördsintensitetens variation i tiden vid detta tillfälle vid en representativ mätstation visas i figur 8.7.



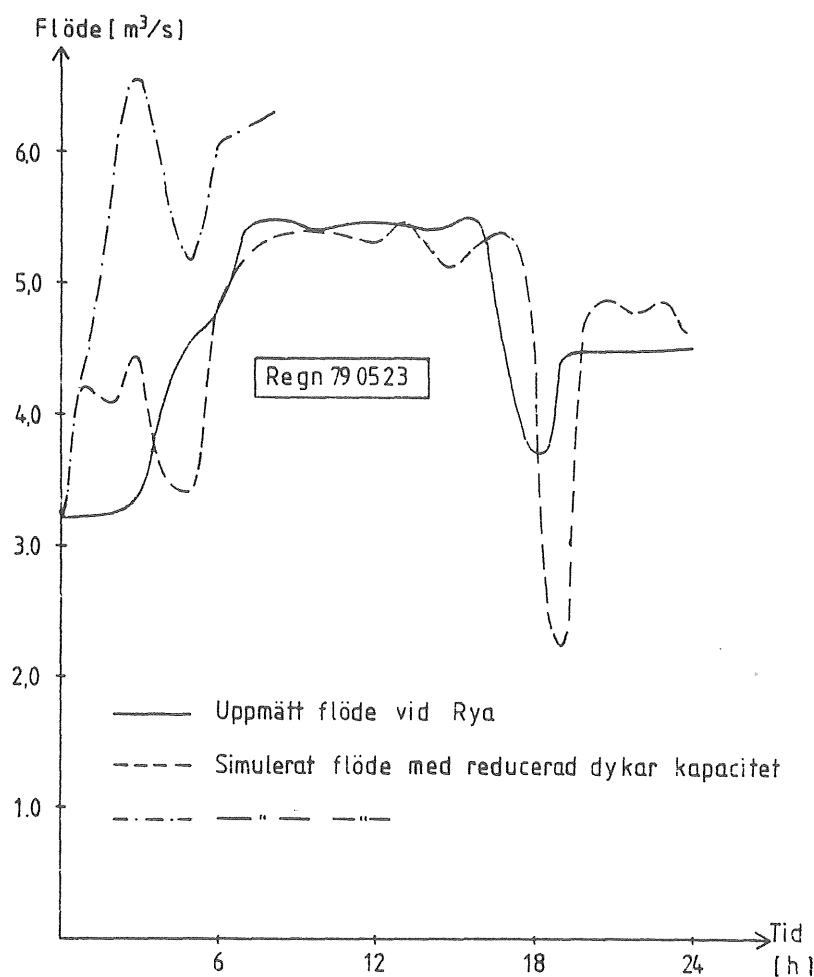
Figur 8.7 Nederbördsintensitetens variation vid station Barlastplatsen.

Vid första simuleringsförsöket anpassades modellens basflöde till det uppmätta basflödet vid starttidpunkten. Denna tidpunkt valdes samtidigt med regnstart. Som resultat erhöles en mycket kraftig flödesvåg i inledningsskedet som saknade motsvarighet i det uppmätta förloppet (Jfr figur 8.8 streckprickad linje). Tester med isolerade pulser sända från olika delar av systemet visade att merparten av vattnet i flödespulsen härrörde från södra tunnelsystemet, centrala Göteborg.

Södra tunnelgrenen är förbunden med Rya via två parallella dykarledningar. Vid diskussioner med representanter för Göteborgs VA-verk framkom att dykarledningen troligen haft en reducerad kapacitet under det aktuella regntillfället. Hur stor är dock inte känt. En mätning av tryckfallet över dykarledningen vid ett senare tillfälle visade att kapaciteten då var ca 25% av den "teoretiska". Denna strypning av dykarledningen infördes i modellen.

Hela systemets avrinning simulerades nu på samma sätt som tidigare med enda skillnaden att dykarledningen stryptes enligt ovan. I figur 8.8 redovisas denna simulering (streckad kurva). Vi ser att den tidiga flödesökningen har reducerats avsevärt. Skillnaden mellan uppmätt och simulerat flöde under de första timmarna är dock uppenbar.

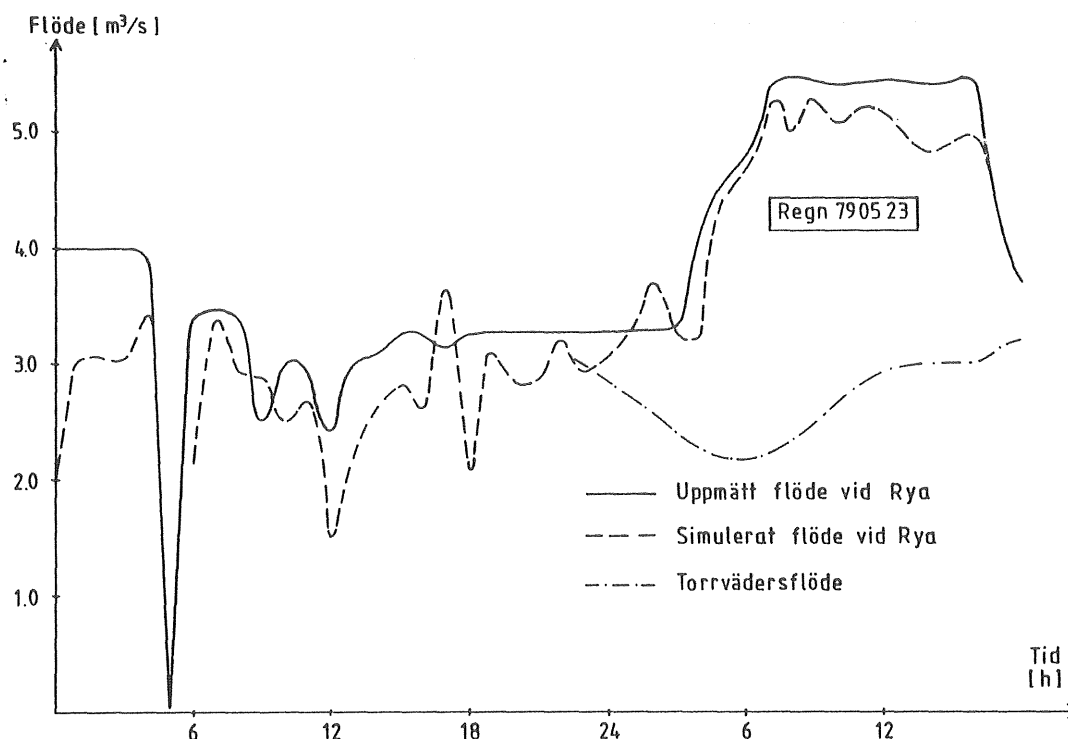
Som tidigare nämnts behöver modellen en insvängningsperiod för att erhålla representativa vattenstånd och flöden i hela systemet. Därför flyttades beräkningsstarten till en tidpunkt ett dygn tidigare. För detta dygn fanns vattenstånd registrerade vid Rya som kunde användas som nedströms randvillkor. Eftersom inget regn föll under dygnet användes torrvädershydrograferna enligt föregående avsnitt. Även för detta dygn utnyttjades dock uppmätta flödesvärden från östra stadsdelarna i stället för det normala torrvädersflödet. Skillnaden mellan dessa flöden var i genomsnitt 400 l/s. Den med dessa



Figur 8.8 Simulering av flödesförloppet i tunnelsystemet vid ett regntillfälle.

ingångsvärden simulerade flödesvariationen vid Rya ges i figur 8.9.

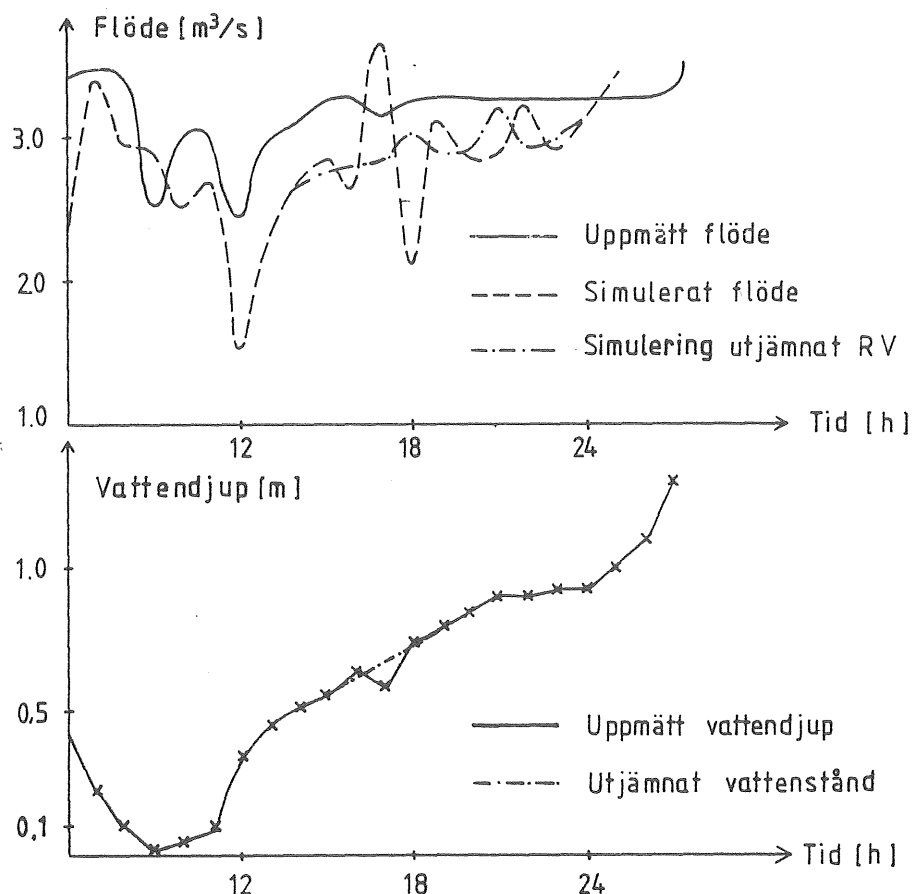
Vi ser de stora avvikelserna mellan uppmätt och simulerat flöde i inledningsskedet. Därefter följer den simulerade kurvan en flödesutveckling som liknar den uppmätta under torrvädersdygnet. Den simulerade torrväderskurvan ligger ca 300 l/s under den uppmätta trots att torrvädershydrograferna redan ökats med totalt ca 400 l/s. Skillnaden mellan de båda simulerade "torrvädersflödena" (jfr föregående avsnitt) är således stor.



Figur 8.9 Flödesvariationen vid Rya under en regnperiod.

De stora punktvisa simulerade flödesökningarna/sänkningarna som uppträder vid båda torrvädersflödena har ingen motsvarighet i det uppmätta flödet och är mycket osannolika förlopp. I figur 8.10 har en del av flödeskurvan från figur 8.9 åter ritats tillsammans med vattenståndsvariationen under samma tid.

Den uppmätta vattenståndsvariationen har ett plötsligt lågt värde kl 17.00. Som ett numeriskt experiment gjordes en simulering av flödet där vattenståndet utjämnades enligt den streckprickade linjen. Resultterande hydrograf har i figuren ritats streckprickad. Vi ser hur flödesvariationen (nästan $2 \text{ m}^3/\text{s}$) så gott som helt utjämnats på grund av justeringen i randvillkoret. En liten ojämnheter i vattenstånden som används som nedströms randvillkor påverkar således det simulerade flödet lokalt starkt. "Hackigheten" i de simulerade flödeskurvorna orsakas således av lokala "ojämnheter" i de vattenståndsvärden som utgör nedströms randvillkor. "Ojämnheter" har en amplitud på upp till $\pm 5 \text{ cm}$ och kan eventuellt vara genererade av lokala vågor runt mätpunkten.

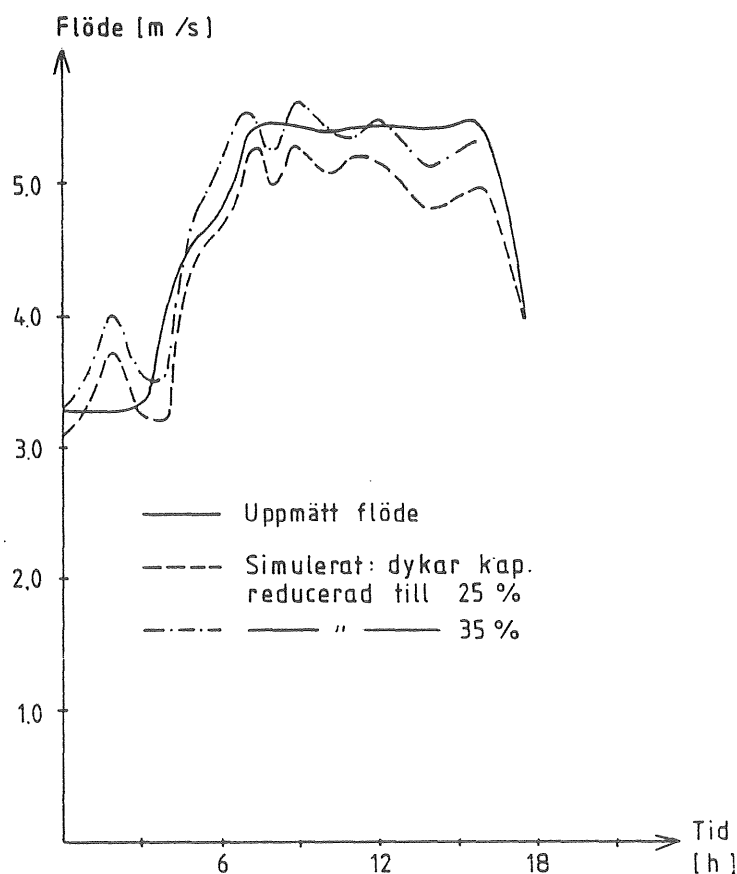


Figur 8.10 Randvillkorets inverkan på flödesutvecklingen.

Den tidiga flödestoppen som erhöles vid första körningsomgången (figur 8.8) återfinns också vid denna simulering om än något reducerad. Tester av pulshastigheten i systemet visade att den största delen av vattenvolymen runt flödestoppen härrörde från de nära liggande delarna av Hisingen (främst inloppspunkt Långströmsg.). Att denna puls inte alls avspeglar sig i de uppmätta flödesvärdena kan endast förklaras på två sätt. Antingen avvattnas inte dessa delar av Hisingen på det i indata bedömda sättet eller magasineras vattenpaketet i tunnel-systemet. Det senare fallet motsvarar ett högre värde på randvillkoret i en eller två punkter. Överensstämmelse med uppmätta flödesvärden kan alltså åstadkommas genom en förhöjning av något vattenstånd i randvillkoret på samma sätt som visats ovan.

Den förhöjning av flödet som registreras under senare delen av regntillfället kvarstår i ca 6 timmar efter regnets slut. Motsvarande flödesplatå återfinns också i det simulerade flödet. Skillnaden mellan uppmätt och simulerat flöde är ungefär 300 l/s både före och under regntillfället. De lägre flödesvärdena under regntillfället bör alltså ses som för lågt basflöde och inte genererat av för låg tillströmning av dagvatten.

För att ytterligare belysa betydelsen av dykarledningens strypning genomfördes en simulering där kapaciteten ökades från 25% till 35%. Skillnaden mellan de två strypningsfallen framgår av figur 8.11.

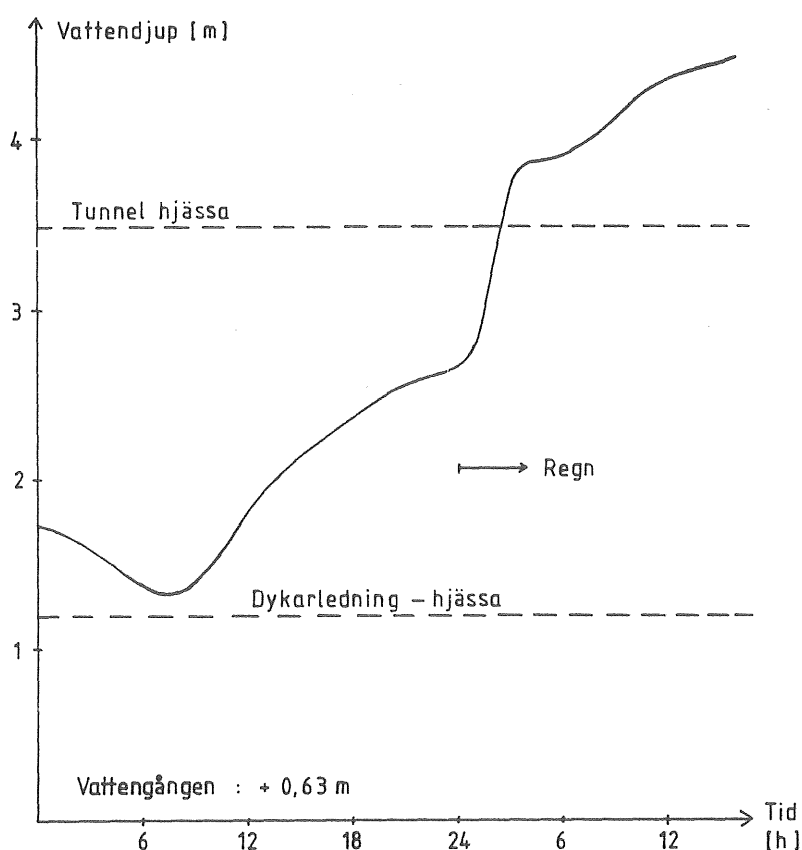


Figur 8.11 Jämförelse mellan två simuleringar med olika strypning.

Efter regnslut sker en gradvis nedgång av simulerat flöde. En skillnad mellan uppmätt och simulerat flöde i

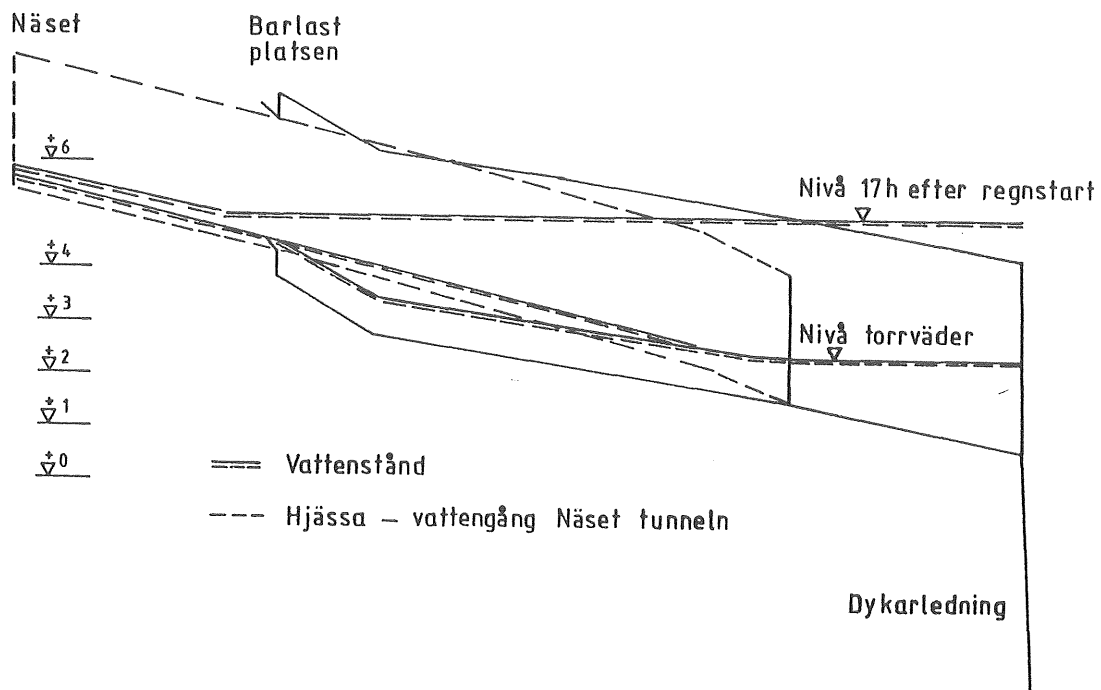
detta skede kan förväntas och indikerar bidrag från dränvattenflöden, vilka inte ingår i simuleringen. Med hänsyn till storleken på anslutna områden är skillnaden liten. Detta beror på att ingångsflödena från östra stadsdelarna innehåller eventuellt dränvatten och annat tillskottsvatten. Dessutom medför strypningen av dykarledningarna en omfattande magasinering som återverkar på flödesutvecklingen under lång tid (mer än ett dygn). Relevansen av använda ingångsvärden för södra tunnelgrenen kan därigenom inte klarläggas i någon större omfattning ur regnsimuleringarna. Vid normalt torrväder påverkar inte strypningen förloppet i någon större utsträckning (se föregående avsnitt) och det bedömda torrvädersflödet har därmed samma relevans för både norra och södra tunnelgrenen.

Vattenståndsutvecklingen uppströms dykarledningen under det aktuella nederbördstillfället visas i figur 8.12.



Figur 8.12 Beräknad vattenståndsutveckling uppströms dykarledning vid regntillfället.

Vattendjupet i en längdsektion uppströms dykarledningen för fallen torrvädersflöde och flödet 17 timmar efter regnstart visas i figur 8.13.



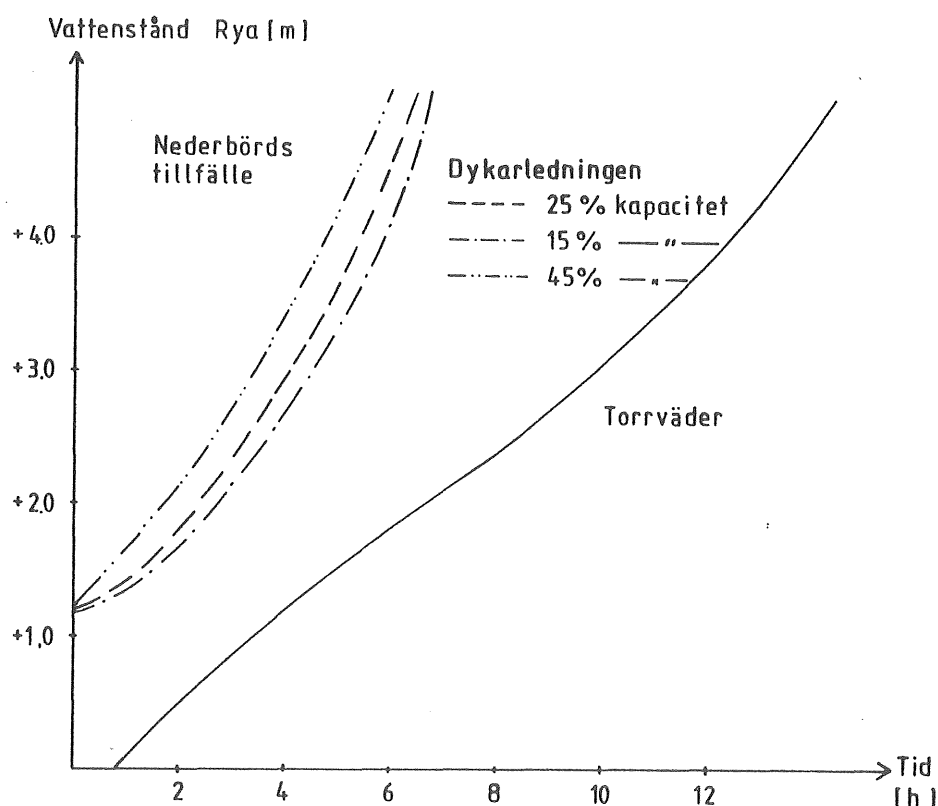
Figur 8.13 Beräknade vattenstånd uppströms dykarledning.

8.7 Simulering av pumpstopp

Analysen av magasineringseffekten vid två "regleringsfall" i avsnitt 8.5 är ett exempel på tillämpning av tunnelmodellen. Undersökning av vattenståndsutvecklingen i systemet för nedströms randvillkoret $Q = 0$, dvs pumpstopp vid Rya är ett annat exempel som tas upp i detta avsnitt.

Utgångspunkt vid simuleringen har varit den flödessituation som rådde under de två dygn som diskuterades i föregående avsnitt : ett torrvädersdygn följt av ett regndygn. I första omgången simulerades pumpstopp torrvädersdygnet kl 8. Under åtta timmar före pumpstoppet utfördes simuleringen med de i avsnitt 8.6 simulerade flödena som randvillkor. Detta för att erhålla motsvarande flödes/magasineringsförhållanden vid stoppet.

I figur 8.14 är vattenståndsutvecklingen vid Rya under timmarna efter pumpstoppet markerad med heldragen linje. Den kritiska nivån vid Rya anges till +4.10 m. I detta fall uppnås nivån efter drygt 12 timmar. Magasineringsen i tunnlarna var vid stoppet låg. Vid ett högt vattenstånd (med avseende på torrvädersförhållanden) hade den kritiska nivån uppnåtts drygt 2 timmar tidigare. Uppfyllnadstiden vid torrväder bedöms därmed ligga mellan 9 och 12 timmar.

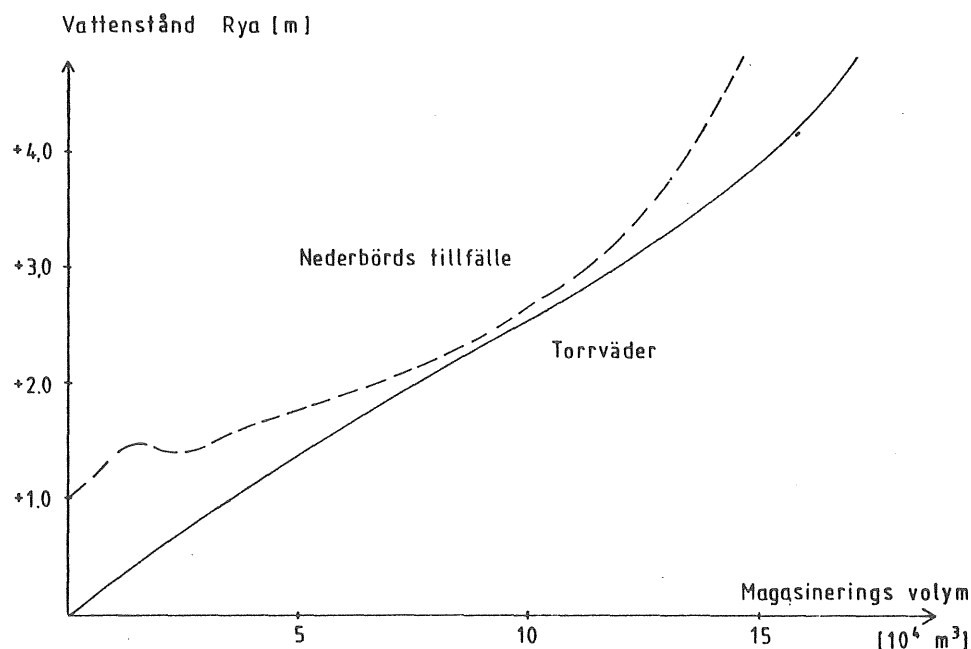


Figur 8.14 Vattenståndsutveckling vid Rya under pumpstopp.

I en nederbördssituation sker uppfyllnaden snabbare och i en takt som i hög grad bestäms av regnets volym och fördelning i tiden. Det regn som diskuterades i föregående avsnitt är kraftigt både volymmässigt och med avseende på fördelningen i tiden men kan inte betraktas som ett extremt nederbördstillfälle. I figur 8.14 visas den simulerade vattenståndsutvecklingen vid Rya under detta regn förutsatt pumpstopp vid regnstart ($\approx$ kl 24). I detta fall erhålls en uppfyllnadstid på ca 6 timmar.

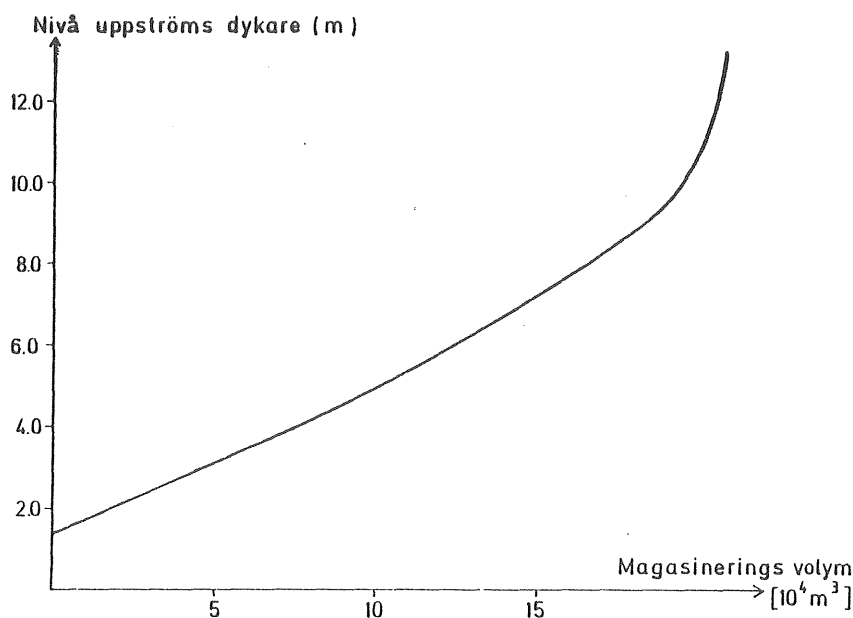
Både torrväders- och nederbördstillfället är simulerade under förutsättning att dykarledningens kapacitet varit reducerad till 25% (se föregående avsnitt). Några simuleringar där andra kapaciteter användes gjordes varav några visas i figuren. Vi ser att uppfyllnadstiden inte kan påverkas nämnvärt genom en strypning. Detta beror på att de kapacitetsnivåer som är av intresse för att öka magasineringsvolymen i södra tunnelgrenen orsakar dämning redan vid torrvädersflödena.

Förutsättningen för att uppfyllnadstiden vid pumpstopp skall kunna ökas genom strypning av dykarledningens kapacitet är därför att kapaciteten är minst 20 å 30% före stoppet och att kapaciteten minskas till en mycket låg nivå snart efter att stoppet inträtt. Detta fall kan inte direkt simuleras i modellen. Istället bestämdes den vattenvolym som passerat dykarna under tiden från pumpstopp till nivån i Rya når +4.10 m. För torrvädersfallet var denna volym $\approx 2,5 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ och för nederbördsfallet ungefär hälften. I figur 8.15 visas sambandet mellan vattenståndet vid Rya och motsvarande tillskott



Figur 8.15 Samband mellan nivå vid Rya och magasineringsvolym i hela systemet.

i magasinsvolym. Vi ser att de volymer som passerar dykarna är förhållandevis små. Detta beror dels på dämningen på grund av pumpstoppet, dels på att mindre än hälften av torrvädersflödet kommer från södra tunnelgrenen. Vinsten med att stänga dykarledningen vid pumpstopp är därför mycket måttlig. Södra tunnelgrenens stora magasineringsskapacitet (se figur 8.16) förefaller därför svår att utnyttja annat än för styrning på längre sikt via prognoser.



Figur 8.16 Samband mellan nivå uppströms dykare och magasineringsvolym i södra tunnelgrenen.

Sambanden i figur 8.15 har erhållits genom att magasinutvecklingen har följts under de båda pumpstoppssimuleringarna. Vid torrvädret sker tillrinningen förhållandevis lugnt och denna kurva svarar mycket nära mot punkter som representerar förhållandet vid stationärt flöde. Vid nederbördstillfället erhöles en mer böjd kurva. Detta svarar mot den större magasinering som erhålls mitt under regnet då stora vattenmängder befinner sig långt upp i systemet. Under förutsättning att de båda kurvorna har samma utgångsnivå kommer de att skära varandra i slutskedet, dvs då regnvattnet nått nedströmsdelarna av systemet.

8.8 Sammanfattning

De analyser som utförts med eller av tunnelmodellen är

- o modellfunktionsstudier
- o kontrollsimuleringar
- o systemfunktionsstudier

Modellfunktionsstudierna innefattar de tester som syftat till att klarlägga modellens egenskaper bl a vissa parametrars sensitivitet. Hit hör simuleringarna av enstaka hydrografer (pulser) från olika uppströmspunkter i systemet. I första hand användes pulshastigheterna för kontroll av sammankopplingen av systemets delar och nivådata. Allmänt visade de simulerade hastigheterna en god överensstämmelse med motsvarande uppskattade på annat sätt. Modellrepresentationen av störningshastigheter är en mycket viktig egenskap och avgörande för simuleringsresultatet.

Strypningen vid dykarledningarna visade sig vara en mycket viktig modellparameter. Vid de strypningar som sannolikt varit aktuella under analysåret har ingen dämning skett under normalt torrväder. Vid regnperioder magasineras vatten i södra tunnelgrenen vilket resulterar i lägre flödestoppar vid Rya.

De nivåregistreringar vid Rya som fanns tillgängliga användes i flera simuleringar som nedströms randvillkor. I dessa registreringar fanns små variationer som troligen kan hänföras till själva mätmetodiken. Dessa små fluktuationer befanns påverka det simulerade flödet starkt och ge orealistiska punktvisa max- och minvärden.

Kontrollsimuleringarna omfattar de beräkningar som utförts med avsikt att jämföra en uppmätt flödesutveckling med en simulerad. Med hänsyn till uppbyggnaden av modeller och resultaten av modellfunktionsstudierna är den mest osäkra punkten i simuleringen de valda ingångsvärdena:

inflöde, dykarledningens kapacitet och nedströms vattenstånd. Kontrollsimuleringarna är därför mer en analys av relevansen i indata än relevansen av själva modellen. Detta gäller de simuleringar som gjorts i föregående kapitel men blir i tunnelsimuleringarna än mer betonat just på grund av betydelsen av nedströmsrandvillkoret.

Simuleringarna av de två torrvädersdygnet baseras på de torrvädersflöden som bedömts utgående från uppgifter om befolkning m m samt mätningar (kap 5.6). I ena fallet erhålls en acceptabel överensstämmelse om det bedömda torrvädersflödet ges ett basflödestillskott på ca 400 l/s. I andra fallet är motsvarande tillskott ca 700 l/s. Simuleringarna tyder på att dygnsvariationen är någorlunda likartad medan den absoluta nivån varierar mellan olika perioder (främst årstider).

Simuleringen av regndygnet (ca 15 mm) visade att dykarledningens kapacitet för de aktuella flödena var begränsande. Flödet från södra tunnelgrenen bestämdes mer av själva strypningen än tillströmningen från de södra områdena. En bedömd kapacitet ansattes därför vid simuleringen. Härvid erhöles visserligen en någorlunda god överensstämmelse med uppmätta flöden men relevansen av inflödena till södra tunnelsystemet vid regn kan inte visas med det använda materialet.

Med systemfunktionsstudierna avses de analyser där modellen använts för att göra prognoser eller optimera ett visst driftsschema. Värderingen av resultatet från dessa studier måste givetvis ställas i relation till relevansen av modell/indata. Hit hör simuleringen av dygnsrytmen i torrvädersflödet (figur 8.8) som visar en utjämnad och något tidsförskjuten variation. Hit hör också analysen av magasineringseffekterna vid olika val av konstant utpumpning vid Rya under torrväder. Pumpning i intervall om 12 timmar med omväxlande ett lågt och ett högt flöde framstår som ett lämpligt pumpningsschema vid torrväder.

Pumpstoppsberäkningarna visar att vid normalt torrvädersflöde uppnås en kritisk nivå vid Rya efter ca 9-12 timmar beroende på under vilken del av dygnet pumpstoppet sker. Det bör dock påpekas att det torrväder som här förutsätts troligen ofta är förhöjt speciellt under hösten-vintern vilket då medför något kortare uppfyllnadstider. Vid regnväder beror uppfyllnadstiden till stor del på aktuell regnvolym och dennas fördelning i tiden. Kortare uppfyllnadstid än runt fyra timmar förutsätter ett tämligen extremt tillfälle eller att magasineringssituationen är olycklig vid tiden för pumpstoppet till exempel orsakat av ett regn tidigare under dygnet. För ett normalt nederbördstillfälle kommer uppfyllnadstiden att ligga mellan 5 och 8 timmar.

Det bör betonas att avsikten med tunnelsimuleringarna liksom övriga simuleringar i denna rapport främst är avsedda att visa på nyttan av den metodik som innefattar användning av urbanhydrologiska modeller. De analyser som utförts utgör endast exempel på vad den färdiga modellen kan användas till. Dessa analyser kan givetvis mångfaldigas men viktigast i detta sammanhang är ändå den kunskap om avledningssystemen som kan vinnas enbart genom applicering och jämförelse av simulerade och uppmätta förlopp.

9. SAMMANFATTANDE SYNPUNKTER

9.1 Inledning

På senare år har användbara avrinningsmodeller för dagvatten blivit tillgängliga för flertalet konsultföretag och kommuner. Många VA-tekniker behärskar modelltekniken åtminstone i princip. Som exempel kan nämnas att runt 400 ingenjörer i olika åldrar hittills utbildats i användning av ILLUDAS-modellen vid CTH. Liknande utbildningar förekommer också vid andra tekniska högskolor. En viss tveksamhet inför en mer omfattande användning synes dock finnas. Detta är inte särskilt förvånande: när, var och hur en avrinningsmodell skall användas är inte alls självklart. Den tillämpningserfarenhet som finns är svår att sprida.

Ett av de mest intressanta användningsområdena för avrinningsmodeller är analys av befintliga system, speciellt kombinerade system och rena "spillvattensystem", låt oss kalla det problemsystem. Tillämpning av avrinningsmodellteknik på ett "spillvattensystem" kan förväntas ge stora avvikelser mellan simulerade och uppmätta flöden. Modellanvändaren/konstruktören som gärna vill påvisa modellens och tillämpningens förträfflighet är inte så intresserad av dessa system. Erfarenheterna från detta tillämpningsområde är därför begränsade.

De skillnader som erhålls mellan simulerade och uppmätta flöden beror av

- o mätning av nederbörd och avrinning
- o indatabeskrivningen av systemet
- o modellens beskrivning av det hydrauliska förloppet

Vid ovan nämnda problemsystem är kunskaperna om systemets uppbyggnad/funktion som regel mycket dåliga. Vid användning av modeller av typ ILLUDAS eller NIVA, då större delen av ledningsnätet beskrivs utan förenklingar

är indata beskrivningen av systemet (punkt 2 ovan) den helt dominerande felkällan jämfört med modellens beskrivning av det hydrauliska förloppet (punkt 3 ovan). Modellen kan därmed tillsammans med mätningar direkt användas för att klarlägga systemets funktion med avseende på kopplingar, läckage, tillflöden etc. och utgör då ett effektivt analysredskap.

Användning av avrinningsmodeller enligt ovan har många sidor som t ex informationslagring av avledningssystem och åtgärdsanalys. Med modellen användning som bas kan då en mer allmän metodik formuleras. I denna projektredovisning har vi försökt att beskriva delar av en sådan metodik genom att ge tillämpningsexempel. Härvid är följande delar av speciellt intresse

- o insamling av information om systemet
- o mätning av nederbörd-avrinning
- o simulering av dämda/icke dämda system.

I följande avsnitt sammanfattas erfarenheterna från projektet med avseende på dessa punkter. I slutavsnittet ges några allmänt sammanfattande synpunkter och rekommendationer ur en allmän synvinkel.

9.2 Information om avledningssystemet

Framtagning av det material som beskriver avrinnings-systemet är den mest tidskrävande och därmed mest kostsamma deluppgiften vid analys med avrinningsmodeller. Det är därför viktigt att modellen användaren har en balanserad ambitionsnivå i detta avseende. Detaljeringsgraden måste givetvis huvudsakligen styras av målsättningen med analysen. Erfarenheterna från projektet pekar på att detaljeringsgraden i indata vanligen naturligt ges av geometri och systemets utformning allmänt. Allmänt kommer troligen en i något avseende skärpt målsättning (jämfört med projektmålsättningen) att ge en besvärligare avvägning av detaljeringsgraden. Projektet ger inget praktiskt underlag för en närmare diskussion

av hur detaljeringsgraden bör väljas. Indatamängderna kan om ett alltför översiktligt material erhållits kompletteras så att analysnivån höjs.

Modellanvändaren måste så effektivt som möjligt söka utnyttja de kunskaper som finns om avledningssystemet hos kommunens ingenjörer och driftspersonal. I projektet utformades en PM med anvisningar om vilka uppgifter som önskades och hur dessa skulle sammanställas. Kommunerna genomförde i huvudsak datainsamlingen efter dessa anvisningar. Vid projektuppföljningen visade sig kommunerna särskilt positiva till den databank som erhöles som sidoresultat till projektet. Uppläggningsen av informationen som dikterats av modelltänkande förefaller väl svara mot kommunernas behov både ur planerings- och driftssynpunkt. Två kommuner har bearbetat materialet vidare och använder detta för ändamål utanför projektmålsättningen.

Det finns således flera motiv för en systematisering av den information som finns om avledningssystemen. Både underlag och intresse borde därför finnas i de flesta kommuner för datauppläggningar av denna typ. Utgående från dessa är modelltillämpningen en förhållandevis enkel uppgift.

De indata som tagits fram i detta projekt redovisas endast översiktligt i kapitel 5. En utförligare redovisning av det insamlade materialet i Östra stadsdelarna samt kranskommunerna redovisas i en intern skrift /8/. Övriga områden som bearbetats av Göteborgs kommun redovisas i /9/.

9.3 Mätning av nederbörd och avrinning

Mätning av nederbörd och avrinning är nödvändiga för att ge noggranna simuleringar av dagvattenavrinning från urbana områden.

Mätningarna behövs för att verifiera de ingångsvärden som givits till simuleringsmodellen. Bristfälliga och ofullständiga kunskaper om hur avledningssystemen för dagvatten och spillvatten fungerar ger som resultat dålig noggrannhet hos ingångsvärdena till simuleringsmodellen. Med hjälp av nederbörds-avrinningsmätningar kan emellertid ingångsvärdena korrigeras med bättre simuleringsresultat som följd.

Mätningar av korttidsnederbörd och tillhörande avrinning har använts för att jämföra uppmätta avrinningar med simulerade för delar av det regionala avloppssystemet. Storleken på delområdena varierar mellan några hundra hektar och ungefär tre tusen hektar. Nederbördsintensiteten kan variera betydligt från plats till plats varför för de större delområdena flera nederbördsmätare använts för att utvärdera nederbördsintensiteterna. Konvektiv nederbörd (sommarregn) medför speciellt stor variation i planet. De regntillfällen som valts för simuleringarna har tämligen måttliga intensiteter, vilket medför att förenklingen i nederbördsbeskrivningen inte har avgörande betydelse för simuleringsresultatet. En ytterligare fördel som vinnas genom valet av regn med låga intensiteter är att bräddavloppen i de kombinerade systemen i huvudsak inte trätt i funktion. Dessa utgör ett stort osäkerhetsmoment vid simuleringarna på grund av att de är svåra att beskriva hydrauliskt korrekt.

Nederbörd med längre varaktighet från några timmar upp till ett dygn har använts för att studera magasineringsförmåga i avledningssystemet, främst tunnlarna, samt tillrinningen till det regionala reningsverket. Karak-

teristiskt för det regionala avledningssystemet är en relativt lång "reaktionstid" som ligger mellan tre och sex timmar från regnstart till maxtillrinning vid det regionala reningsverket.

9.4 Analys av icke dämnda system

En analys av ett icke dämt system kan genomföras om följande finns tillgängligt eller kan göras tillgängligt.

- o Avrinningsmodell av typ NIVANETT, ILLUDAS m fl. (Ledningsnätet simuleras med en icke linjär reservoarmodell.)
- o Kunskap om avledningssystemet och anslutande avrinningsområden.
- o Samtidiga mätningar av nederbörd och avrinning för några punkter i det system som skall simuleras.

Används en avrinningsmodell av typ NIVANETT, ILLUDAS eller motsvarande kommer simuleringsresultatets noggrannhet att i huvudsak vara beroende av ingångsvärdenas noggrannhet. Dessas noggrannhet eller kanske bättre trovärdighet kan påvisas med nederbörds-avrinningsmätningar. God överensstämmelse mellan simulerade hydrografer och uppmätta hydrografer innebär med stor sannolikhet att den som beskrivit delområden och avledningssystem i huvudsak uppfattat systemets funktion riktigt. Dålig överensstämmelse däremot kan ha många orsaker.

Avvikelse i volym beror på att den till avledningssystemet anslutna hårdgjorda arean feluppskattats. Detta kan för ett blandat kombinerat/duplikat avloppssystem innebära att separeringsgraden feluppskattats. Det vanligaste är att den anslutna hårdgjorda arealen underskattas. En tydlig tendens är att ju mindre andelen kombinerat system är ju större blir underskattningen av den anslutna hårdgjorda arealen.

Andra orsaker till fel i avrinningsvolymen är bräddavlopp. Dessa är svåra både att beskriva på ett hydrauliskt riktigt sätt och att beräkna. Avrinningsmodeller typ NIVANETT har dessutom en relativt enkel modell för att beräkna bräddning. Tillsammans taget kan detta ge stora fel i den simulerade volymen.

Ytterligare andra orsaker till fel i simulerad avrinningsvolym är bäckar som mer eller mindre kontrollerat leds till avledningssystemet. Med god kunskap om avledningssystemet bör emellertid dessa fel kunna undvikas.

Avvikelse i maximalt flöde under en avrinning beror dels på avvikelser i volym, dels på felaktigt antagna koncentrationstider för delområdena. Orsaken kan också vara att den hårdgjorda arealen "placerats" fel i förhållande till den punkt som simuleringarna görs för. Detta kan bero på att avledningssystemets funktion missuppfattats (avlastande ledningar).

9.5 Analys av dämnda system

I projektet används analysen av regionens tunnelsystem som exempel på analys av ett dämt system. Detta system kan förefalla mindre intressant för små och medelstora kommuner. Många av de erfarenheter som erhållits vid denna analys är emellertid i hög grad giltig för dämnda VA-system i allmänhet.

En analys av dämnda system måste ofta inkludera både mätning av vattenstånd och flöde i utloppspunkten. Simuleringen förutsätter att ett randvillkor i nedströmpunkten ges. Randvillkoret kan ges enligt något av följande alternativ:

- o vattenståndet Y som funktion av tiden
- o flödet Q som funktion av tiden
- o godtyckligt funktionssamband $Y = f(Q)$
(t ex normalvattendjup eller bestämmande sektion)

Exempel på ett system med randvillkor enligt första alternativet är ett kombinerat system som mynnar i en recipient vars vattenstånd varierar på ett känt sätt. Systemet analyseras inledningsvis med det uppmätta vattendjupet som nedströms randvillkor. Härvid kan det simulerade flödet jämföras med det uppmätta och utgöra bedömningsgrund för systemets funktion på samma sätt som analyserna av odämda system. Denna simuleringstyp genomfördes i tunnel-systemet. Härvid erhöles mycket kraftiga variationer i det simulerade flödet som kunde härledas till "ojämnheter" i det uppmätta använda randvillkoret. Allmänt gäller med största sannolikhet att resultaten vid denna typ av simulering är mycket känsliga för det använda randvillkoret. Trots denna svårighet kan i allmänhet systemets funktion analyseras t ex effekten av en extrem höjning av vattenståndet.

Exempel på ett system med randvillkor enligt tredje alternativet är ett flackt kombinerat system som mynnar i en punkt med fritt fall (bestämmande sektion). Ett sådant system kan analyseras tillsammans med enbart flödes- eller vattenståndsmätning på samma sätt som odämda system analyseras.

Ett spillvattensystem som mynnar i en pumpgrop varifrån vattnet på något reglerat sätt pumpas till reningsverket motsvarar ett system med randvillkor enligt det andra alternativet ovan. Denna systemtyp är ur analyssynpunkt mer komplex. Vid simulering svarar inflödet mot ett "bedömt" förlopp. Om då ett uppmätt flöde används som nedströms randvillkor får vi ett förlopp med obalans i inflöde och utflöde som snabbt kan ge en orealistisk magasinering i systemet. Ett sådant system måste därför först analyseras med vattendjupet som randvillkor varvid skillnaden mellan inflöde och uppmätt utflöde kan bedömas. Därefter måste på något sätt en sådan balans åstadkommas om flödet som randvillkor skall kunna införas.

Som exempel på en intressant analyssituation simulerades

händelseutvecklingen i tunnelsystemet vid ett pumpstopp, dels vid torrvädersflöde, dels vid ett regntillfälle. Ett andra exempel utgjordes av simuleringen av vattenståndsutvecklingen i systemet dels vid konstant utpumpning, dels vid en 12 timmars reglering (ett lägre och ett högre flöde växelvis med 12 timmars intervall).

9.6 Rekommendationer - metodik

Problem med dagvatten i spillvattennät är mycket vanligt i svenska kommuner. Svårigheterna gäller såväl en- som tvåledningssystem. Tvåledningssystemen har ofta inte den funktion som avsågs vid projekteringen. Många men inte alla kommuner arbetar redan aktivt med problemen.

Dagvatten indikeras enkelt med flödesmätning (ev nivåmätning) i någon nedströms belägen odämd punkt. Först uppmäts ett torrvädersflöde. Detta jämförs med motsvarande flöde uppmätt vid ett regntillfälle. Utförs dessa mätningar vid högt respektive lågt grundvattenstånd t ex i december och juni erhålls dessutom en uppfattning om grundvattnets inverkan. Ytterligare information om grundvattenpåverkan ges om torrvädrets variation (t ex genom 4 timmarsvärden) jämförs med den teoretiska (avsnitt 7.2).

En allmän uppfattning om nivån på dagvattenproblemet fås genom kontinuerlig flödesmätning vid några separata nederbördstillfällen. Om torrvädersflödet (uppmätt eller teoretiskt) samt indirekt avrinning avskiljs och återstående volym jämförs med uppmätt regnvolym kan separeringsgraden ungefärligen uppskattas (avsnitt 7.3).

All analys som siktar till lokalisering av problempunkter och åtgärder måste inbegripa en sammanställning av data om avledningssystemet, en databank. Denna bör bestå av en systemplan som visar nätstrukturen, delområdenas lägen samt speciella anordningar på ledningsnätet såsom pumpstationer etc. Exempel på en sådan ges i bilaga 2. Systemdelarna numreras och knyts på så sätt till ett register med uppgifter om systemdelarna t ex i den form som ges i bilaga 1 (blan-

kettdelen). Delområdenas storlek bestämmer noggrannheten i det beskrivna avledningssystemet. Oftast ger bebyggelse och topografiska förhållanden naturligt indelningen (avsnitt 5.2). Andra viktiga parametrar är ansluten hårdgjord yta samt anslutna innevånare och industrier (avsnitt 5.3). Sammanställning av materialet samt kontinuerlig komplettering och uppdatering bör utföras av kommunens personal. Härigenom gagnas speciellt i det längre tidsperspektivet både drift och planering oavsett använda analysmetoder.

Med en datasammanställning enligt ovan kan en avrinningsmodell färdigställas med en tämligen liten arbetsinsats. Modellanalys förutsätter kontinuerlig mätning av nederbörd och avrinning under några regntillfällen.

Modellsimuleringar kan utföras för att kontrollera om de egenskaper som tillskrivits avledningssystemet via indata stämmer med det verkliga systemet. Härvid behöver uppgifterna om systemet ofta revideras. Genom växelvisa kompletteringar av systemdata och simuleringar ökar kunskapen om systemet samt modellens tillförlitlighet. Modellen kan där efter användas för rena systemfunktionsstudier t ex kartläggning av kritiska punkter i systemet vid extrema regntillfällen. Vid driftsproblem ökar möjligheten att snabbt lokalisera felet om ovan nämnda databank och avrinningsmodell är tillgängliga. Effekten av åtgärder i samband med driftstörningar, nyexploateringar, omläggningar etc kan lätt utvärderas och ett bra beslutsunderlag för åtgärder erhålls.

De flesta avledningssystem kan ur analysynpunkt betraktas som odämda. I dessa fall kan med fördel SWMM, ILLUDAS eller NIVA-modellerna användas. Dessa är allmänt tillgängliga och används av många konsultföretag. Den version av NIVANETT som utvecklats inom projektet möjliggör enkelt simulering av torrvädrets dygnsvariation och är därmed den modell som för närvarande är bäst anpassad för analys av spillvattensystem (kapitel 7).

Systemfunktionsstudier och åtgärdsplanering med avrinningsmodeller kan också göras i dämda system. Mätningarna bör då kompletteras med nivåregistreringar i utloppspunkten. Analysen framstår som mer komplex både med avseende på modellanvändning och resultattolkning. Största svårigheten är kontrollen av systemfunktionen. Betydligt större krav ställs också på modellanvändarens förståelse av modellens sätt att arbeta. Modellen DAGVL-DIFF som använts inom projektet har visat sig väl lämpad för analys av dämda VA-system. Den kommer inom kort att kopplas samman med ILLUDAS-modellen så att ILLUDAS-användare i princip kan välja mellan dämd och odämd analys. Samtidigt kommer dämningssmodellen att förenklas ur användarsynpunkt vilket är nödvändigt om den skall användas kommersiellt. En allmänt tillgänglig alternativ modell för dämningssbevakningen är SWMM EXTRAN.

Det bör slutligen påpekas att även om praktiskt tillämpbara dämningssmodeller så småningom kommer att bli tillgängliga är detta analysfall principiellt komplicerat.

- /1/ Sjöberg A: Beräkning av icke stationära flödesförlopp i reglerade vattendrag och dagvattensystem. Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola. Meddelande nr 87. Göteborg 1976.
- /2/ Lyngfelt S: Dimensionering av dagvattensystem. Rationella Metoden. Chalmers Tekniska Högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, meddelande nr 56. Göteborg 1981.
- /3/ Arnell V: Dimensionering av dagvattensystem. Val av beräkningsmetod. Chalmers Tekniska Högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, meddelande nr 50. Göteborg 1980.
- /4/ Sjöberg A: On Models to be used in Sweden for Detailed Design and Analyses of Storm Drainage Systems. Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för vattenbyggnad, Report Series B:12, 1978.
- /5/ Lindholm O: PRA1: "Systemanalyse av avlopsanlegg". Projektkomiteén for rensning av avlopsvann. Oslo 1975.
- /6/ Sjöberg A: The Sewer Network Models DAGVL-A and DAGVL-DIFF. Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för vattenbyggnad. Rapportserie B, nr 28. Göteborg 1981.
- /7/ Svensson G, Ören K: Planeringsmodeller för avlopssystem. NIVA-modellen tillämpad på Torslanda avrinningsområde. Chalmers Tekniska Högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, meddelande nr 41. Göteborg 1979.
- /8/ Melin H: Dagvattenavrinning från stora urbana områden. Simuleringsteknik exemplifierat på Göteborgsregionen. Dataunderlag del I-II. Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för vattenbyggnad. Rapportserie C, nr 19 (internrapport). Göteborg 1981.

- /9/ Pehrson B et al.: Interndokumentation av delar av Göteborgs spillvattensystem. Göteborgs vatten- och avloppsverk, 1981.
- /10/ Arnell V, Sjölander B: Mätning av nederbördsintensiteter i Göteborgsregionen. Stationsbeskrivning Chalmers Tekniska Högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, meddelande nr 10. Göteborg 1974.
- /11/ Nederbörden i Göteborg. Årsrapporter 1974-1980. Projekterings- och utvecklingsavdelningen. Göteborgs VA-verk. Göteborg.
- /12/ Jönsson O, Niemczynowicz J: Extreme Rainfall Events in Lund 1979-1980. Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för teknisk vattenresurslära, Report No. 3044. Lund 1981.
- /13/ Wråle L: Vannföringsmåling med litium som sporstoff. Forprosjekt XT-17. Norsk institutt for vannforskning. Oslo 1976.
- /14/ Ljunggren O, Pehrson B: Flödesmätning i avloppsnät. Göteborgs vatten- och avloppsverk. Intern stencil 1981.
- /15/ Arnell V: Description and Validation of the CTH-Urban Runoff Model. Chalmers University of Technology, Department of Hydraulics, Report Series A:5, Göteborg 1980.
- /16/ Kompendium i VA-teknik. Grundkurs del 1. Chalmers Tekniska Högskola. Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik. Göteborg 1980.
- /17/ Sifalda V: Entwicklung eines Berechnungsregens für die Bemessung von Kanalnetzen. gwf-WASSER/ABWASSER 114 H 9 1973.
- /18/ Stahre P: Flödesutjämning i tunnlar. Kungl Tekniska Högskolan, Avdelningen för vattenvårdsteknik. Ratio-nella avloppssystem, meddelande nr 9. Stockholm 1977.

- /19/ Sjöberg S et al.: Manual för ILLUDAS (version S2).
Ett datorprogram för dimensionering och analys
av dagvattensystem. Chalmers Tekniska Högskola,
Institutionen för vattenbyggnad. Rapportserie B,
nr 14. Göteborg 1979.
- /20/ Bengtsson L: MAGRÖR. Manual för dagvattenprogram.
Högskolan i Luleå, Institutionen för vattenbyggnad.
Rapportserie A, nr 52. Luleå 1980.
- /21/ Huber W C et al.: Interim Documentation. Release
of EPA SWMM. Draft Report. National Environmental
Research Center, Office of Research and Develop-
ment, U S Environmental Protection Agency,
Cincinnati, Ohio. November 1977.

DAG- OCH SPILLVATTENAVRINNING I GÖTEBORGSREGIONEN. ETT
GRYAAB - CTH-PROJEKT

(För information om ekonomi och organisation hänvisas till ansökan till BFR)

BAKGRUND OCH SYFTE - KORT ORIENTERING

Ryaverket, Göteborgsregionens Ryaverksaktiebolags (GRYAAB:s) avloppsreningsverk, mottar i dag avloppsvatten från inalles fem kommuner med totalt 525.000 invånare. Reningsverkets upptagningsområde är av storleksordningen 200 km² och de mest avlägsna orterna ligger på ett avstånd av 25 km från reningsverket. Transportsystemet för avloppsvattnet är uppbyggt kring ett omfattande nät av tunnlar.

Ett transportsystem av ovan skisserad typ är av förklarliga skäl svårt att överblicka och inkommande flöde (dess intensitet och beskaffenhet) till Ryaverket styrs av ett otal faktorer.

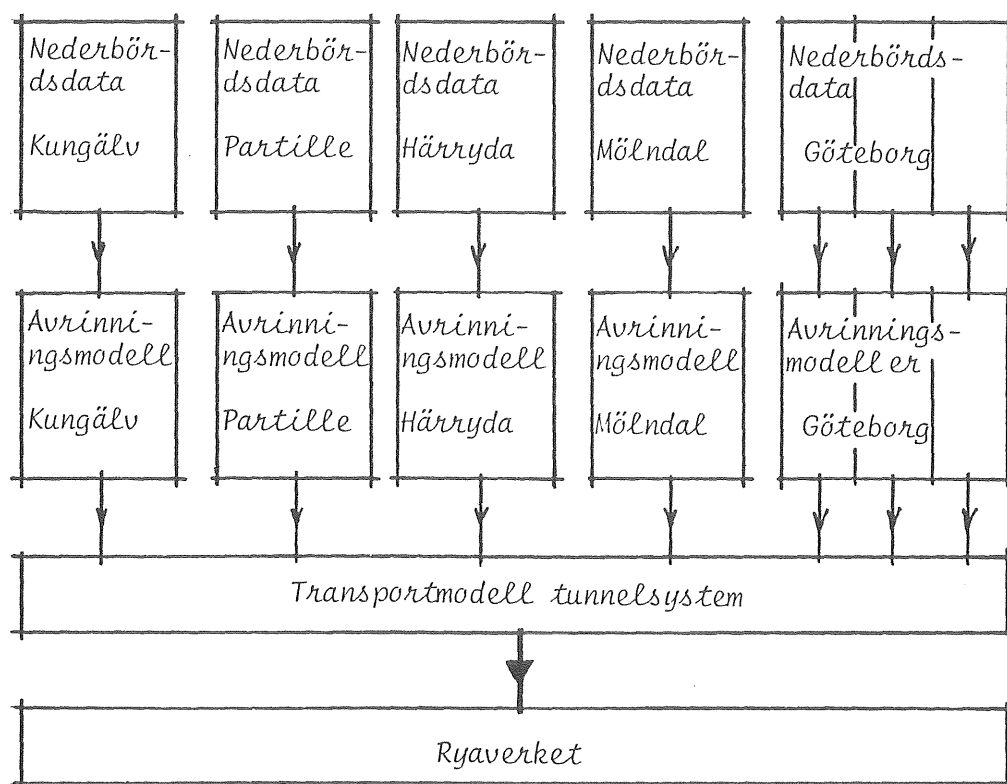
För att kunna beräkna tillrinningen måste man känna till:

- Tunnelsystemets och de större "lokala" ledningarnas hydrauliska funktion.
- Vilka delar som har kombinerat system och vilka som har duplikat system.
- Alla ledningars kondition.
- Anslutna personekvivalenter.
- Hur kombinerade områden är beskaffade med avseende på dagvattenavrinning, nederbördens fördelning areellt och tidsmässigt.

Det finns i dag datoranpassade beräkningsmetoder där hänsyn tas till ovan uppräknade faktorer vid beräkning av flöden i självfallsledningar. Metoderna förutsätter emellertid ett omfattande inventeringsarbete där transportsystem och avrinningsområde beskrivs.

Syftet med projektet är att genom inventering, mätning och tillämpning av datormodeller beräkna dag- och spillvattenavrinning dels från de enskilda kommunerna, dels från hela regionen. Beräkningarna skall utföras för både torrväder och regnväder.

Beräkningarna kommer att utföras dels med en ytavrinningsmodell - transportmodell för ett delområde i storlek motsvarande varje kranskommun, dels med en transportmodell för tunnelsystemet. De olika delmodellerna kommer att sammanfogas enligt figuren nedan.



Nyttan av projektet för de enskilda kommunerna, förutom ökad kunskap om inkommande flöde till Ryaverket, ges bland annat av följande:

- Avloppsvattenavrinningen från varje kommun kommer att beräknas.
- Effekterna av olika förändringar i bebyggelsen eller ledningsnätet kommer att kunna beräknas som exempelvis förändrad tillrinning till tunnelsystemet och förändrade bräddförhållanden.

GENOMFÖRANDE

projektarbetet kan indelas i tre faser. Den första fasen innefattar en sammanställning av de uppgifter om avrinningsområdet (ledningssystem, avrinningsområdenas karaktär, mätpunkter, utförda mätningar) som finns tillgängliga. Utförda nederbörds-avrinningsmätningar utnyttjas för studier av vilka nederbördsförhållanden som orsakar de största belastningarna på avledningssystemet och i reningsverket. Härigenom erhålles en bedömningsgrund för

- hur regionen bör delas upp i delområden
- vilka nederbördsstationer som är mest representativa för nederbörden i respektive område
- vilka modeller som bör utnyttjas
- vilken tidsbas som måste användas för att studera avrinningsförloppet
- vilken noggrannhet i kartunderlaget som krävs.

På grundval av dessa uppgifter upprättas ett kompletterande mät- och karteringsprogram. Detta skall ske i nära samarbete med GRYAAB och VA-verket. Mätprogrammet kommer att innehålla ca 7 mätstationer för flöde och vattenkvalitet som kan förläggas till förberedda mätpunkter. I de fall kartunderlaget är ofullständigt (ledningssträckningar, andel deltagande hårdgjorda ytor etc) kompletteras uppgifterna.

Under den andra fasen anpassas en "sammansatt avrinningsmodell" till avrinningsområdet. Avrinningsmodellen skall simulera kvantitativ och kvalitativ avrinning (dagvatten + spillvatten) från det område som avvattnas till Ryaverket. Avsikten är att utgående från varje delområdes speciella egenskaper samt uppsatta noggrannhetskrav välja, anpassa och sammanfoga lämpliga modeller. Exempel på modeller som kan komma att ingå i den sammansatta modellen är: enhetshydrografmetoden, STORM, CTH avrinningsmodellen, DAGVL-A (beräkning av dämnda flöden i tunnelsystemet) och NIVA-modellen. I samband med modellenanpassningen kan ytterligare karteringsarbete och mätningar ev göras som därefter avslutas i denna fas.

Under den tredje fasen utnyttjas modellen för studium av avledningssystemets funktion i olika situationer. Slutsatser bör kunna dras om vilka kombinationer av väderlekstyp-årstid-grundvattenförhållanden som ger höga flöden till reningsverket, vilka indirekt kan utnyttjas i driften av reningsverket. Ett biologiskt avloppsreningsverk fungerar bäst med ett jämnt tillflöde och en jämn och helst hög koncentration av organisk substans etc. Modellen kommer därför också att utnyttjas för att studera effekter av simulerade åtgärder i systemet i avsikt att minska andelen av dagvatteninflöde till verket. Exempel på sådana åtgärder kan vara anläggandet av utjämningsmagasin (påverkar också bräddningsförhållandena gynnsamt) eller att man leder dagvatten från vissa områden som är förberedda för separatsystem direkt till recipienten. Exempel på andra åtgärder som kommer att studeras är effekter av nyexploateringar.

Avrinningsmodellen kan även utnyttjas för bedömning av olika åtgärders effekt på bräddade vattenvolymer, säkerhetsmarginaler för överbelastning i kritiska punkter, m m.

RYAVERKETS AVRINNINGSOMRÅDE

För att kunna simulera avrinningen från stadsdelar och kranskommuner till Ryaverket krävs en överskådlig sammanställning av data. Göteborgs VA-verk har på kartblad i skala 1:10.000 utmärkt avrinningsområdena för de påsläppspunkter på tunnelsystemet som finns i Göteborgs kommun. På dessa kartor finns en särskild markering av områden med kombinerade ledningssystem. De sk basområdena är också markerade. För att underlätta insamlingen av data avser vi att använda denna kartering och dess numrering av avrinningsområden och basområden. Övriga anslutna kommuners avrinningsområden har vid karteringen givits beteckningarna:

Ytterby	191
Kungälv	194
Ale	193
Mölndal	521
Källered	731
Lindome	741
Mölnlycke	531

De olika arbetsmomenten som beskrivs nedan har indelats i etapper för att åstadkomma en lämplig arbetsordning. Flera av arbetsmomenten är redan utförda av några kommuner och det mesta av den information som skall insamlas finns troligen redan i form av minneskunskaper, utredningar etc.

Etapp_1 omfattar kartering och dokumentering av nederbörs- och avrinningsstationer (CTH, GRYAAB).

- Ritning som utvisar mätstationernas läge. Stationerna numreras och avrinningsstationerna beskrivs med blanketter enligt nedan.

Etapp_2 omfattar en kartering av avrinningsområden som berör Ryaverket och en uppdelning av dessa i delområden.

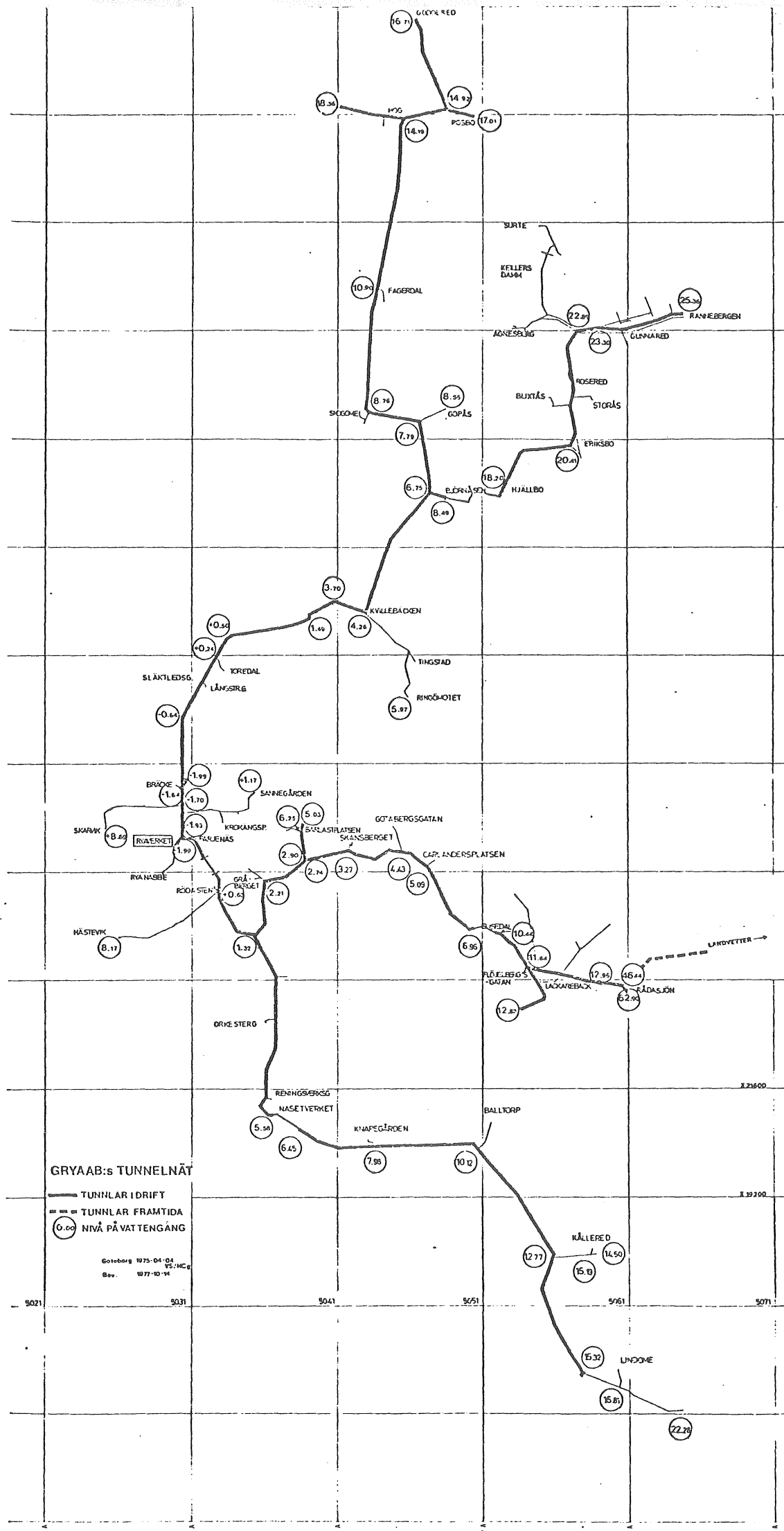
Uppgift för anslutna kommuner (vissa delar redan genomförda av några kommuner):

- Markera på översiktskarta (ej mindre än 1:10.000) de delar av kommunen vars spillvatten är anslutet till Ryaverket. Utmärk särskilt de delar som har kombinerat ledningssystem. I några fall har ett och samma avrinningsområde flera påslagspunkter till tunnelsystemet. I dessa fall bör avrinningsområdet till varje påslagspunkt avgränsas.
- Dela in de kombinerade områdena i delområden (om möjligt med likartad bebyggelse och efter det topografiskt mest lämpliga) med en yta på ca 10 ha. Delområdena motsvarar Göteborgs basområden och ges en åttasiffrig beteckning enligt blankett nedan.
- Resterande delar av avrinningsområdet enligt första punkten (duplikatsystemområdena) delas upp i delområden. Dessa kan väljas betydligt större än basområdena (upp till 100 ha) och ges beteckningar pss basområdena.

Etapp_3 omfattar en strukturering och dokumentering av avledningssystemet. Avledningssystemet omfattar dels själva tunnelsystemet som sträcker sig från Ryaverket till de s k påslagspunkterna (se Göteborgskarta), dels ledningssystemet mellan påslagspunkterna och basområdena.

Dokumentering av tunnelsystemet (GRYAAB, CTH)

- Ritning som anger tunnelsystemets utsträckning och geometri inklusive numrering av påslagspunkterna och knutpunkterna. Varje sträckning beskrivs med en blankett, se nedan.
- Ritning som anger läget av speciella anordningar som bräddavlopp, utjämningsmagasin och pumpstation. Data för varje anordning beskrivs med blankett, se nedan.



Dokumentering av det grövre ledningssystemet (anslutna kommuner)

- Utgående från påslagspunkterna inritas det grövre ledningssystemet i de kombinerade systemen upp mot basområdena. Denna del av systemet måste i de flesta fall beskrivas förenklat. Hur detta skall göras varierar från kommun till kommun och bör diskuteras med CTH. De schematiserade ledningssträckningarna beskrivs med blankett, se nedan.
- För varje basområde markeras på ritning en påsläppspunkt till det grövre ledningssystemet.
- Speciella anordningar t ex bräddavlopp utmärks och beskrivs med blankett, se nedan.

Etapp_4 omfattar insamlandet av data om basområdena (anslutna kommuner)

- Varje basområde i de kombinerade delarna beskrivs med en blankett enligt nedan.
- Varje basområde i de separata delarna beskrivs med en blankett enligt nedan.

MÄTSTATIONER - AVRINNING

Nr _____

Mätsektion* _____

Betyg** _____

Mätutrustning _____ Ja _____ Nej _____

Typ*** _____

Ström framdragen _____ Ja _____ Nej _____

Standard _____

Möjlighet till vattenkvalitetsmätning _____

* Mätsektion, exempel: venturikanal

** Betyg, exempel: välinstallerad, kalibrerad

*** Typ, exempel: akustisk nivågivare

TUNNLAR

Nr för tunnelsträckan _____

Nr uppströms knutpunkt _____

Nivå uppströms knutpunkt _____ m

Nr nedströms knutpunkt _____

Nivå nedströms knutpunkt _____ m

Lutning _____

Längd _____ m

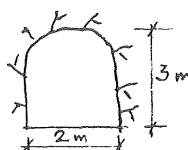
Tvärsektion *

Tvärsnittsarea _____

Råhet **

Kvalitet - inläckage ***

Anm _____



* Tvärsektion beskrivs med figur t ex _____ och mått.

** Råhet, exempel: asfalterad botten, slätsprängda väggar.

*** Inläckage, exempel: stort (krosszon)

medel

litet

PUMPSTATIONER

Nr *

Nivå för pumpgropens botten m

Pumpgropsarea m²

Påslagsnivåer 1 m

(höjd över
pumpgropens botten)

2 m

3 m

Pumpkapaciteter 1 l/s

2 l/s

3 l/s

Frånslagsnivåer 1 m

(höjd över
pumpgropens botten)

2 m

3 m

Mätanordningar

Anm

* Pumpstationen ges samma nummer som tryckledningens uppströms knutpunkt.
Komplettera gärna med en skiss över pumpstationen.

BRÄDDAVLOPP

Nr^{*}

Nivå för bräddbrunnens botten m

Bräddbrunnens area m²

Bräddningsnivå (höjd över brunnsbotten) m

Bräddskibordets längd^{**} m

Beskriv utloppet med:

Nivå vattengång m

Diameter eller motsv m

Längd strypning m

Lutning strypning

* Bräddavloppet ges samma nummer som uppströms knutpunkt hos nedströms liggande ledning.

Rita gärna en skiss över bräddbrunnen.

** Om bräddningen sker genom en ledning ange denna lednings vattengång som bräddningsnivå. Ange också dimension och lutning.

UTJÄMNINGSMAGASIN

Nr *

Nivå för magasinets botten

m

Tillgänglig fyllnadshöjd (h)

m

Magasinsarea

Nivå 1 (0,25 h)

m²

2 (0,5 h)

m²

3 (0,75 h)

m²

4 (1,0 h)

m²

Beskriv utloppet med:

Nivå vattengång:

m

Diameter eller motsv

m

Längd strypning

m

Lutning strypning

* Utjämningsmagasinet ges samma nummer som uppströms knutpunkt hos nedströms liggande ledning.

Rita gärna en skiss över utjämningsmagasinet.

GRÖVRE LEDNINGSSYSTEMET

Nr för ledningssträckan _____

Nr uppströms knutpunkt _____

Nivå uppströms knutpunkt _____ m

Nr nedströms knutpunkt _____

Nivå nedströms knutpunkt _____ m

Längd _____ m

Lutning _____ %

Diameter _____ m

Råhet _____

Kvalitet - inläckage^{*} _____

* Kvalitet, exempel: 30 år utsatt för sättningar

DELOMRÅDEN

Nr^{*}

Tvåledningssystem/enledningssystem

Typ^{**}

Total areal ha

Hårdgjord areal^{**} ansluten till
spillvattensystemet ha

Ange flyttlängden från den hårdgjorda arealens
(enl ovan) ungefärliga tyngdpunkt till anslut-
ningspunkten för området m

Medellutning (ledningar) %

Form (L/B)^{**}

Antal invånare

Längd spillvattenledningar^{**} (grovt) m

Ledningskvalitet^{**}

Finns bäckar som påverkar avrinningen
från området?

* Områdets nummer sammanfaller med numret för den knutpunkt i det grövre ledningssystemet till vilken området ansluter.

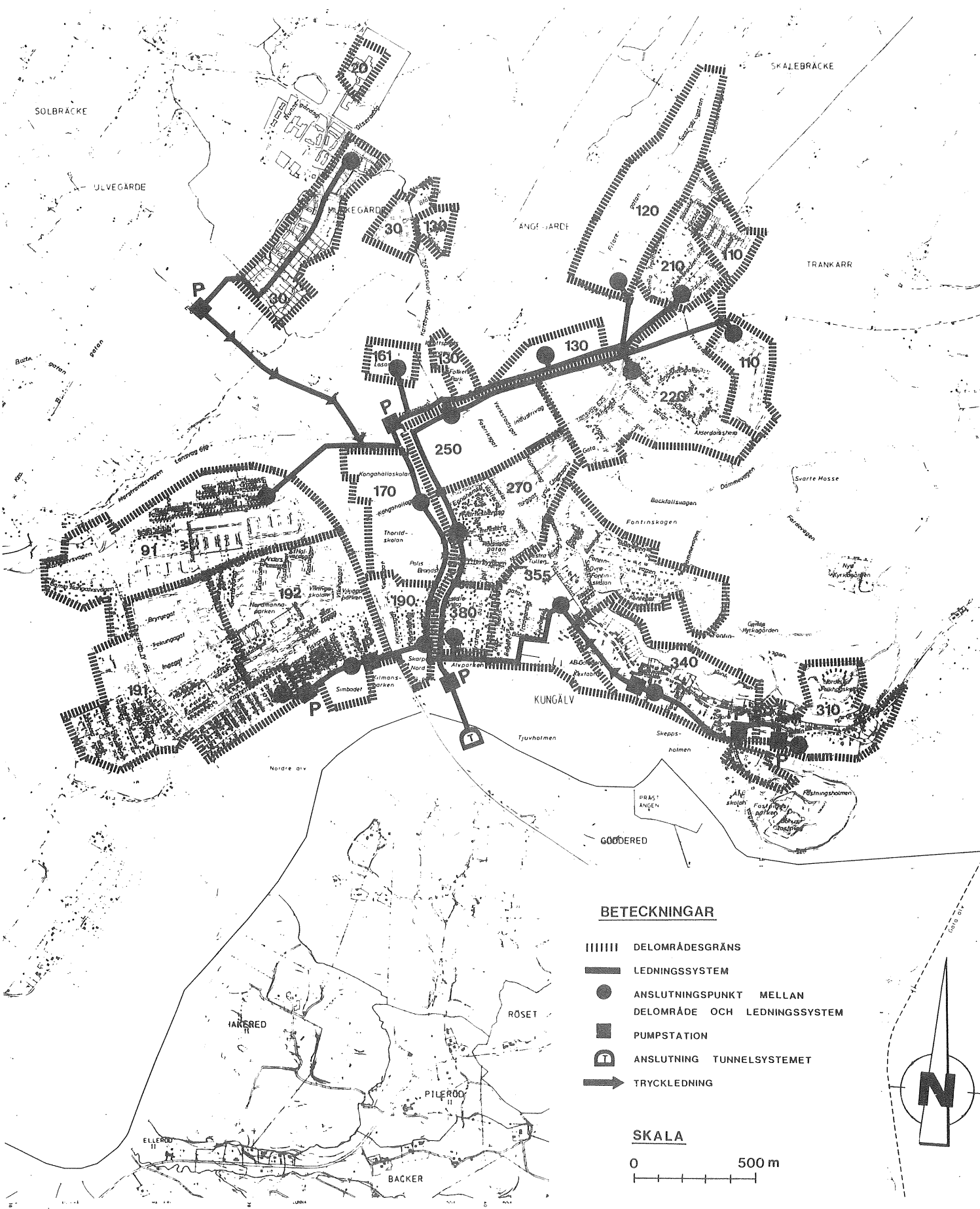
** Typ, exempel: gles hyreshusbebyggelse (3 vånings) 20 år.

Hårdgjord areal är en viktig uppgift.

Ledningslängd avser total ledningslängd (grovt) för bedömning av inläckage.

Ledningskvalitet anges med ålder, missänkta fel som sättningar etc
samt fyllnadsmaterial.

Form: L anger huvudsaklig flytriktning och B vinkelräta avstånd mot L.



BETECKNINGAR

- DELOMRÄDESGRÄNS
- LEDNINGSSYSTEM
- ANSLUTNINGSPUNKT MELLAN DELOMRÅDE OCH LEDNINGSSYSTEM
- PUMPSTATION
- T ANSLUTNING TUNNELSYSTEMET
- TRYCKLEDNING

SKALA

0 500 m

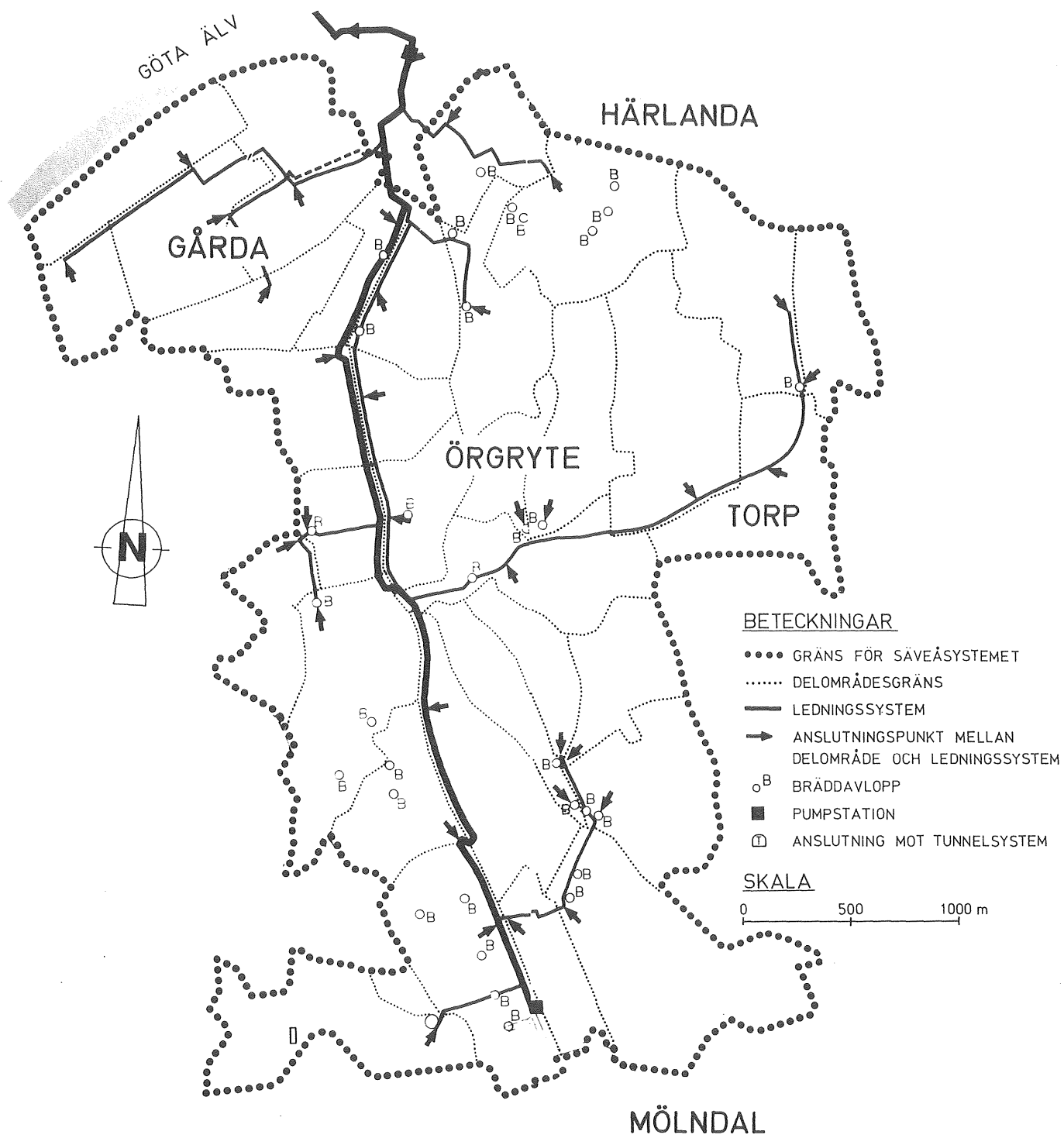
Kungälv

Upprättad på Gatukontoret, januari 1970
Rt. A Andreasson

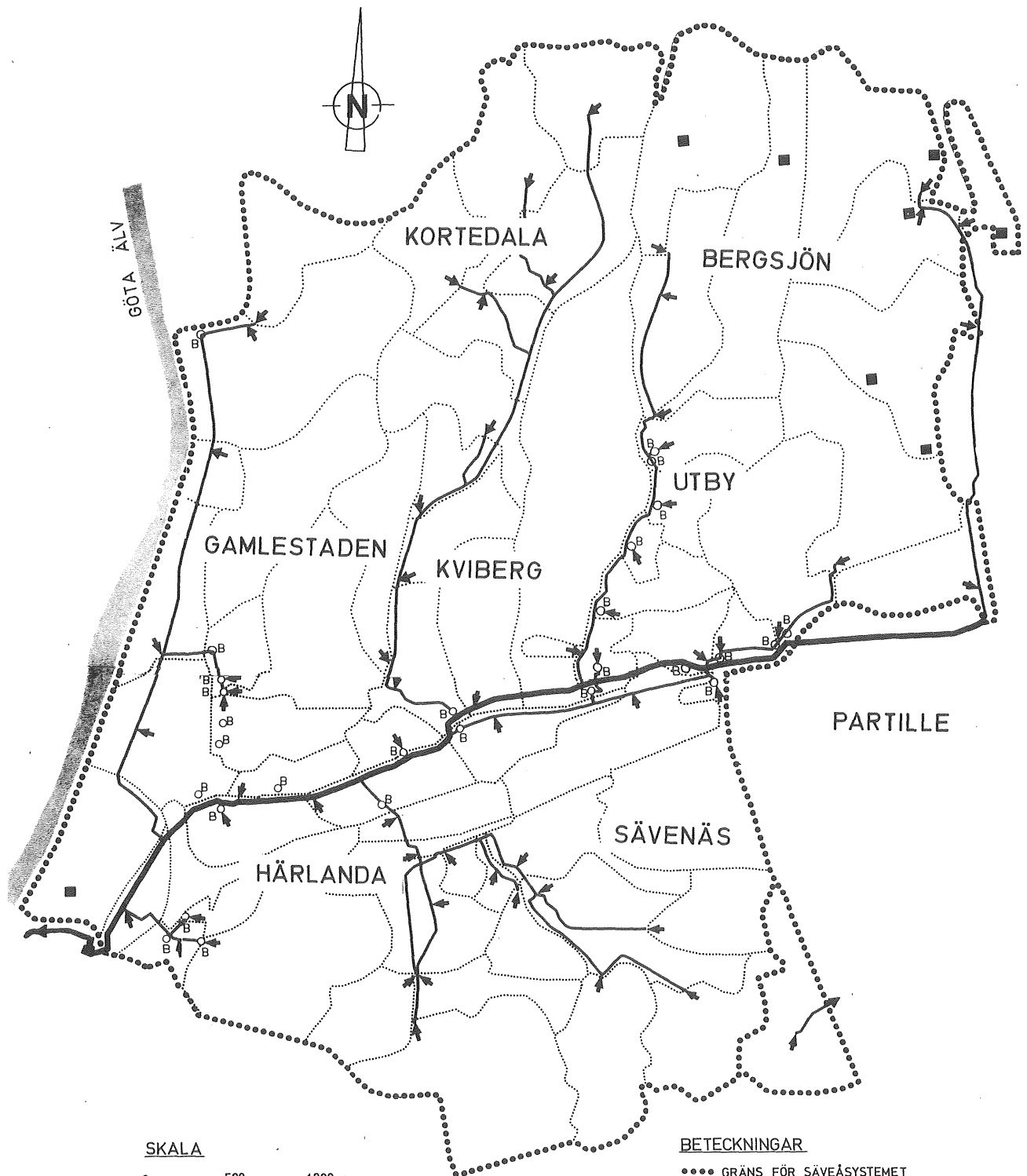
B 9

KUNGÄLVS KOMMUNS GATUKONTOR

MÖLNDALSÅSYSTEMET



SÄVEÅSYSTEMET



SKALA

0 500 1000 m

BETECKNINGAR

- GRÄNS FÖR SÄVEÅSYSTEMET
- DELOMRÅDESGRÄNS
- LEDNINGSSYSTEM
- ANSLUTNINGSPUNKT MELLAN DELOMRÅDE OCH LEDNINGSSYSTEM
- ^B BRÄDDAVLOPP
- PUMPSTATION
- ⊞ ANSLUTNING MOT TUNNELSYSTEM

Institutionerna för
Geologi
Geoteknik med grundläggning
Vattenbyggnad
Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

Meddelande:

- nr 1 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1972-07-01 - 1973-03-01). 1973. 100 sidor. (Utgången)
- nr 2 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 1. Evaluering av akviferers geohydrologiska data med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 67 sidor.
- nr 3 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 2. Evaluering av lågpermeabla lagers hydrauliska diffusivitet med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 17 sidor.
- nr 4 Viktor Arnell: Nederbördsräknare. En sammanställning av några olika mätartyper. 1973. 39 sidor. (Utgången)
- nr 5 Viktor Arnell: Intensitets-varaktighetskurvor för häftiga regn i Göteborg under 45-årsperioden 1926-1971. 1974. 68 sidor.
- nr 6 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1973-03-01 - 1974-02-01). 1974. 167 sidor.
- nr 7 Olov Holmstrand, Per O Wedel: Ingenjörsgelogiska kartor - litteraturstudier. 1974. 55 sidor. (Utgången)
- nr 8 Anders Sjöberg: Interim Report. Mathematical Models for Gradually Varied Unsteady Free Flow. Development and Discussion of Basic Equations. Preliminary Studies of Methods for Flood Routing in Storm Drains. 1974. 74 sidor. (Utgången).
- nr 9 Olov Holmstrand (red.): Seminarium om ingenjörsgelogiska kartor. 1974. 38 sidor. (Utgången).
- nr 10 Viktor Arnell, Börje Sjölander: Mätning av nederbördsintensiteter i Göteborgsregionen. Stations-beskrivning. 1974. 53 sidor. (Utgången).
- nr 11 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Dagvattnets beskaffenhet och egenskaper. Sammanställning av utförda dagvattenundersökningar i Stockholm och Göteborg 1969-1972. Engelsk sammanfattning. 1974. 46 sidor. (Utgången).
- nr 12 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Interimrapport. Beräkningsmodell för simulering av dagvattenflöde inom bebyggda områden. Geohydrologiska forskningsgruppen i samarbete med VA-verket i Göteborg, meddelande nr 12, 1975. 50 sidor.
- nr 13 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. 1975. 92 sidor.
- nr 14 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Delrapport. Dagvattnets sammansättning i Göteborg. Engelsk sammanfattning. 1975. 73 sidor.
- nr 15 Dagvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 33 sidor. 15:-. Följande uppsatser ingår:
Arnell V. Beräkningsmetod för analys av dagvattenflödet inom ett urbant område.
Lyngfelt S. Nederbörds-avrinningsstudier i Bergsjön, Göteborg.
Sjöberg A. CTH-ledningsnätmodell DAGVL-A.
Svensson G. Dagvattnets sammansättning, inverkan av urbanisering. (Utgången).
- nr 16 Grundvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 43 sidor. 15:-. Följande uppsatser ingår:
Andréasson L, Cederwall K. Rubbningar av grundvattenbalansen i urbana områden.
Carlsson L. Djupinfiltration i slutna akviferer.
Torstensson B-A. Följder av grundvattensänkning inom lerområden.
Wedel P. Exempel på dränering av jordlager på grund av tunnelbyggande. (Utgången).
- nr 17 Olov Holmstrand, Per Wedel: Markvattenundersökningar i ett urbant område. 1976. 127 sidor.
- nr 18 Göran Ejdeling: Beräkningsmodeller för prognos av grundvattenförhållanden. 1978. 130 sidor.
- nr 19 Viktor Arnell, Jan Falk, Per-Arne Malmquist: Urban Storm Water Research in Sweden. 1977. 30 sidor.
- nr 20 Viktor Arnell: Studier av amerikansk dagvattenteknik. Resa i december 1976. 1977. 64 sidor.
- nr 21 Leif Carlsson: Reserapport från studieresa i USA samt deltagande i 2nd International Symposium on Land Subsidence in Anaheim, USA. 29 nov-17 dec 1976. 1977. 61 sidor.
- nr 22 Per O Wedel: Grundvattenbildning, samspelet jordlager och berggrund. Exemplifierat från ett försöks-område i Angered. 1978. 130 sidor.
- nr 23 Viktor Arnell: Nederbördsdata vid dimensionering av dagvattensystem med hjälp av detaljerade beräk-ningsmodeller. En inledande studie. 1977. 29 sidor.
- nr 24 Leif Carlsson, Klas Cederwall: Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvatten-bildning. Geohydrologisk forskning vid CTH, Sektion V, under perioden 1972-75. 1977. 17 sidor
- nr 25 Lars O Ericsson (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport från första verksamhetsåret 1976-02-01 - 1977-01-31. 1977. 120 sidor.
- nr 26 Ann-Carin Andersson, Jan Berntsson: Kontrollerad grundvattenbalans genom djupinfiltration. En inven-tering av djupinfiltrationsprojekt. 1978. 273 sidor.
- nr 27 Anders Eriksson, Per Lindvall: Lokalt omhändertagande av dagvatten. Resultatredovisning av enkät rörande drift och konstruktion av perkolationsanläggningar. 1978. 126 sidor.
- nr 28 Olov Holmstrand (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport nr 2 från perioden 1977-02-01 - 1977-11-30. 1978. 69 sidor.

- nr 29 Leif Carlsson: Djupinfiltrationsstudier i Angered. 1978. 70 sidor.
- nr 30 Lars O Ericsson: Infiltrationsprocessen i en dagvattenmodell. Teori, Undersökning, Mätning och Utvärdering. 1978. 45 sidor.
- nr 31 Lars O Ericsson: Permeabilitetsbestämning i fält vid perkolationsmagasin. Dimensionering. 1978. 15 sidor.
- nr 32 Lars O Ericsson, Stig Hård: Infiltrationsundersökningar i stadsdelen Ryd, Linköping. 1978. 145 sidor.
- nr 33 Jan Hällgren, Per-Arne Malmquist: Urban Hydrology Research in Sweden 1978. Swedish Coordinating Committee for Urban Hydrology Research. 1978. 14 sidor.
- nr 34 Bo Lind, Göte Nordin: Geohydrologi och vegetation i Dalen 5, Karlskoga. 1978. 63 sidor.
- nr 35 Eivor Bucht, Bo Lind: Metodfrågor vid naturanpassad stadsplanering - erfarenheter från studie i Karlskoga. 1978. 65 sidor.
- nr 36 Anders Sjöberg, Jan Lundgren, Thomas Asp, Henriette Melin: Manual för ILLUDAS (version S2). Ett datorprogram för dimensionering och analys av dagvattensystem. 1979. 67 sidor.
- nr 37 Per-Arne Malmquist m fl: Papers on Urban Hydrology 1977-78. 99 sidor.
- nr 38 Viktor Arnell, Per-Arne Malmquist, Bo-Göran Lindquist, Gilbert Svensson: Uppsatser om Dagvattenteknik 1978. 30 sidor.
- nr 39 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - förutsättningar inom ett bergsområde, Östra Gårdsten i Göteborg. 1979. 32 sidor.
- nr 40 Per-Arne Malmquist (red.): Geohydrologiska forskningsgruppen 1972-78. Sammanställning av uppnådda resultat. 1979. 96 sidor. Kostnadsfri.
- nr 41 Gilbert Svensson, Kjell Øren: Planeringsmodeller för avloppssystem. NIVA-modellen tillämpad på Torslanda avrinningsområde. 1979. 71 sidor.
- nr 42 Per-Arne Malmquist (red.): Infiltrera dagvatten. Diskussioner och figurer från CTH-seminarium 1979-04-20. 1979. 86 sidor.
- nr 43 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - perkolationsanläggning i Halmstad. 1979. 58 sidor.
- nr 44 Viktor Arnell, Thomas Asp: Beräkning av bräddvattenmängder. Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Göteborg 1921-1939. 1979. 80 sidor.
- nr 45 Stig Hård, Thomas Holm, Sven Jonasson: Dagvatteninfiltration på grönytor - Litteraturstudie, kunskapssammanställning och hypotes. 1979. 278 sidor.
- nr 46 Per-Arne Malmquist, Per Lindvall: Dräneringsrörs igensättning - en jämförande laboratoriestudie. 1979. 44 sidor.
- nr 47 Per-Arne Malmquist, Gunnar Lannér, Erland Högberg, Per Lindvall: SÖDRA NÅSET - ett exempel på för-
enklad utformning av gator och dagvattensystem i ett upprustningsområde. 1980.
- nr 48 Viktor Arnell, Håkan Strandner, Gilbert Svensson: Dagvattnets mängd och beskaffenhet i stadsdelen Ryd i Linköping, 1976-77. 1980.
- nr 49 Lars O. Ericsson, Stig Hård: Termisk registrering, en metod att kartera markvattenhalt - Termovisionsförsök i klimatkammare. 1980. 65 sidor.
- nr 50 Viktor Arnell: Dimensionering och analys av dagvattensystem. Val av beräkningsmetod. 1980. 56 sidor, 22 figurer.
- nr 51 Lars O Ericsson: Markvattenförhållanden i urbana områden. Slutrapport. Göteborg 1980. 115 sidor. 25:- kr.
- nr 52 Olov Holmstrand (red): Ingenjörsgelogisk kartering. Seminarium 1980-04-17. 110 sid, 25:- kr.
- nr 53 Olov Holmstrand: Lokalt omhändertagande av dagvatten. Sammanfattning av forskning om dagvatteninfiltration vid CTH 1976-79. 90 sid. 25:- kr.
- nr 54 Olov Holmstrand, Bo Lind, Per Lindvall, Lars-Ove Sörman: Perkolationsmagasin i ett lerområde. Lokalt omhändertagande av dagvatten i Bratthammar, Göteborg. 172 sidor. 25:- kr.
- nr 55 Erland Högberg, Gunnar Lannér: Gatuplanering i bostadsområden i utlandet. Nya principer och lösningar i Danmark, Holland och England. 1981. 25:- kr. 110 sidor.
- nr 56 Sven Lyngfelt: Dimensionering av dagvattensystem. Rationella metoden. 1981. 25:- kr. 82 sidor.
- nr 57 Erland Högberg: Samband mellan gatustandard och trafiksäkerhet i bostadsområden. En förstudie. 1981. 25:- kr.
- nr 58 Jan A Berntson: Portryckförändringar och markrörelser orsakade av trädvegetation. 1980. 25:- kr. 121 sidor.
- nr 59 Per-Arne Malmquist, Stig Hård: Grundvattenpåverkan av dagvatteninfiltration. 1981. 25:- kr
- nr 60 Annika Lindblad: Infiltrationsmätningar utförda vid Geologiska institutionen, CTH/GU, 1972-1980. Sammanställning och statistisk bearbetning. 1981. 78 sidor. 25:- kr.
- nr 61 Lars O Ericsson och Stig Hård: Termisk registrering - en metod att kartera markvattenhalt Slutrapport. 1981. 18 sidor. 25:- kr.
- nr 62 Jan Pettersson, Elisabeth Sjöberg: SÖDRA NÅSET - En intervjuundersökning rörande två alternativa upprustningsförslag av gator och dagvattentransport. 1981. 36 sidor. 25:- kr.
- nr 63 Olov Holmstrand: Praktisk tillämpning av ingenjörsgelogisk kartering. 1981. 114 sidor. 25:- kr.
- nr 64 Anders Sjöberg, Nils Mårtensson: REGNENVELOPEMETODEN. En analys av metodens tillämplighet för dimensionering av ett 2-års perkolationsmagasin. 1982. 29 sidor. 25:- kr.
- nr 65 Gösta Lindvall: ENERGIFÖRLUSTER I LEDNINGSBRUNNAR - Litteraturstudie. 1982. 35 sidor. 25:- kr.
- nr 66 Per-Arne Malmquist: Lathund för beräkning av Dagvattnets föroreningar. 1982. 32 sidor. 25:- kr.
- nr 67 Sven Nyström: Kommuns skadeståndsansvar mot VA-abonnent för översvämningsskador. 1982. 71 sidor. 25:- kr.