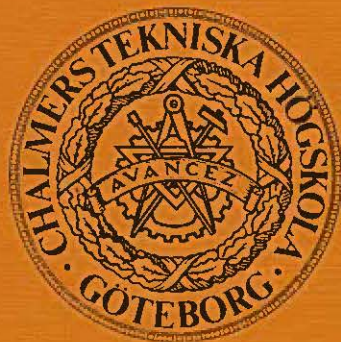




CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi
Geoteknik med grundläggning
Vattenbyggnad
Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

ISSN 0347 - 8165



HANS BÄCKMAN

Överläckning från dag- till spillvattenledningar

**Metoder för att påvisa och
kvantifiera överläckning samt
redovisning av mätresultat från
kommunala avloppsnet**



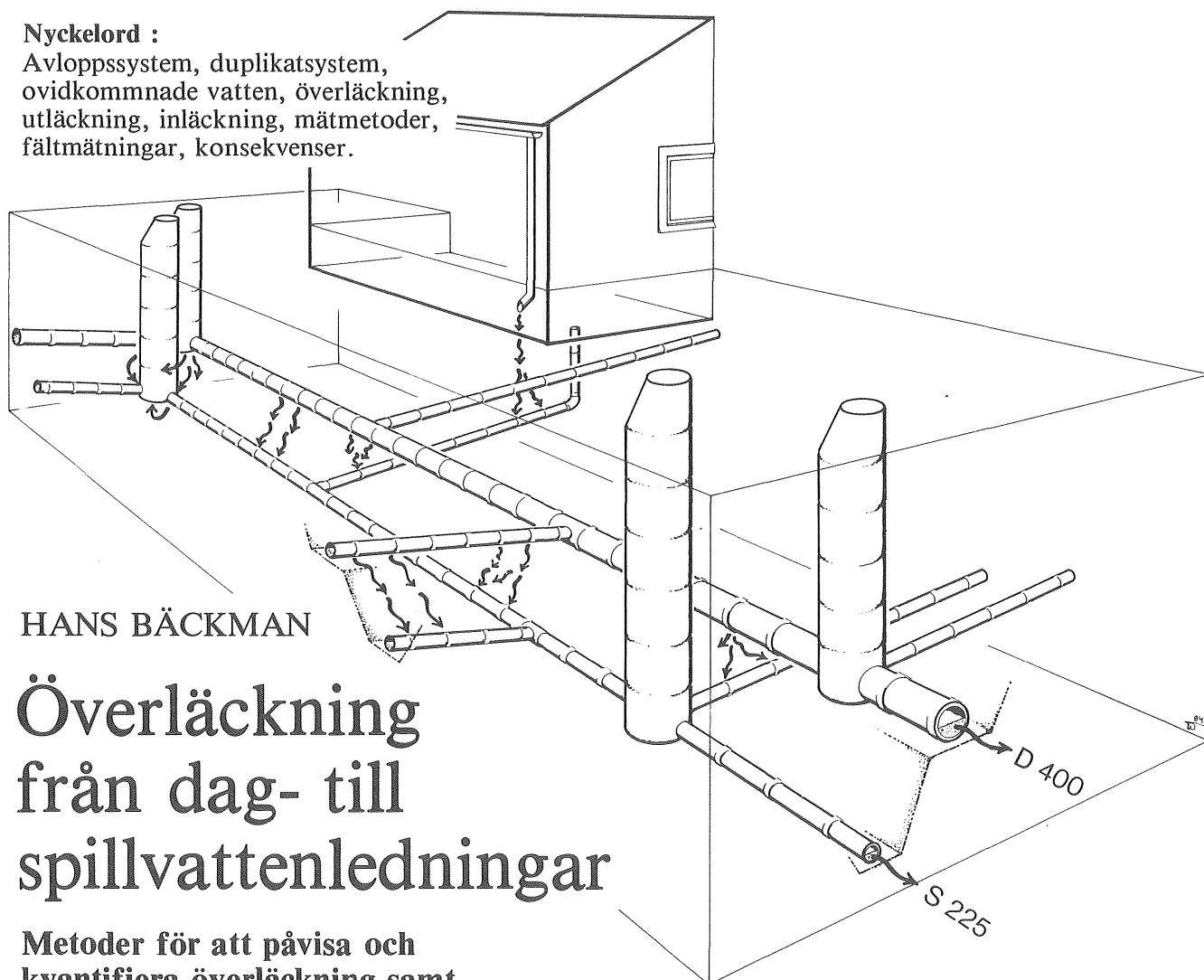
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi
Geoteknik med grundläggning
Vattenbyggnad
Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

ISSN 0347 - 8165

Nyckelord :

Avloppssystem, duplikatsystem,
ovidkomnade vatten, överläckning,
utläckning, inläckning, mätmetoder,
fältmätningar, konsekvenser.



HANS BÄCKMAN

Överläckning från dag- till spillvattenledningar

Metoder för att påvisa och
kvantifiera överläckning samt
redovisning av mätresultat från
kommunala avloppsnät

Adress :

Geohydrologiska forskningsgruppen
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg
Tel. 031 - 81 01 00

FÖRORD

Denna rapport behandlar överläckning mellan dag- och spillvattenledningar i duplikata avloppsnät. Rapporten utgör en redovisning av etapp 3 i projektet "Bristar i avloppsnät och dess konsekvenser". De två första etapperna är redan avrapporterade i Meddelande 74 respektive 69 i denna serie.

Materialet till denna rapport har framtagits genom omfattande fältmätningar. Börje Sjölander har svarat för framtagning av utrustning och har tillsammans med undertecknad genomfört fältmätningarna. Utan Börje Sjölanders entusiasm och insatsvilja hade det varit svårt att genomföra detta projekt.

Fältmätningarna har utförts i nära samarbete med Göteborgs, Borås och Växjö kommuner. Vi har där mötts av en mycket positiv och hjälpsam inställning, vilket i hög grad underlättat projektarbetet. Vi har också fått låna den utrustning som vi behövt. Jag vill härmed framföra mitt varma tack och då särskilt till dem som varit kontaktpersoner, nämligen:

Bernt Persson, Göteborgs va-verk
Karl-Åke Johansson, Borås kommun
Kjell Gustafsson, Växjö kommun.

Många värdefulla synpunkter har jag också erhållit under arbetets gång från:

Jan Adamsson, Göteborgs va-verk
Kent Alm, VBB/Backö-gruppen
Yngve Backlund, K-konsult
Erling Holm, Teknologisk Institut, Danmark
Steffen Häggström, Inst f vattenbyggnad, CTH
Sven Lyngfelt, Inst f vattenbyggnad, CTH
Bengt-Lennart Peterson, VBB/Backö-gruppen
Bertil Rithander, VAV
Ulf Säfwenbergs, VAV

I det dagliga arbetet vid Inst för va-teknik har jag erhållit mycket värdefulla synpunkter och stöd från särskilt Peter Balmér, Axel Björkman, Gilbert Svensson och Per Warnolf.

Rapportframställningen har också inneburit mycket omfattande arbete med framställning av figurer. Vid det arbetet har jag haft stor hjälp av Alicja Janiszewska, Jaakko Härmäläinen, Bo Segerberg och Tomas Wahlberg. Tomas Wahlberg har dessutom hjälpt mig med rapportens layout. Ann-Marie Hellgren har svarat för inskrivning och ordbehandling av denna rapport.

Projektet har finansierats med stöd från Byggforskningsrådet,

Jag vill varmt tacka alla dem som bidragit till detta projekts genomförande.

Göteborg i januari 1985

Hans Bäckman



INNEHÅLL	<u>Sid</u>
FÖRORD	I
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	III
KONKLUSIONER	V
SAMMANDRAG AV RAPPORTEN	VII
1. BAKGRUND	1
1.1 Vatten- och avloppssystemen - den svarta lådan	1
1.2 Funktionsstudier i avloppsnät på olika nivåer för att spåra ovidkommande vatten	2
1.3 Projektets syfte och avgränsningar	4
2. METODER FÖR ATT SPÅRA OCH MÄTA ÖVERLÄCKNING	5
2.1 Hur uppstår överläckning	5
2.2 En undersökningsstrategi på lokalplanet	6
2.3 Viktigt att fastställa typ av överläckning	9
2.4 Detaljerade metodbeskrivningar	11
2.4.1 Mätning av utläckande dagvattenflöde	11
2.4.2 Besiktning med avloppsperiskop	14
2.4.3 Mätning av överläckningsflöde genom kontinuerlig spolning i dagvattenledningen	15
2.4.4 Mätning av överläckning genom dämning i dagvattenledningen	22
2.4.5 Uppskattad undersökningskostnad	25
2.5 Andra metoder för överläckningsstudier - kortfattad litteraturgenomgång	31
3. UPPMÄTTA ÖVERLÄCKNINGAR I NÅGRA OLIKA AVLOPPSNÄT	33
3.1 Val av mätsträckor	33
3.2 Diskussion om presentations- och bearbetningsmöjligheter	34
3.3 Mätnoggrannhet i överläckningsmätningar	36
3.4 Redovisning av överläckningsmätningar	39
3.4.1 Mätsträckor i Göteborgs kommun	41
3.4.2 Mätsträckor i Borås kommun	49
3.4.3 Mätsträckor i Växjö kommun	57

4.	DISKUSSION OM ÖVERLÄCKNINGENS KONSEKVENSER	63
4.1	Faktorer som allmänt bör beaktas vid utvärdering av en defekt	63
4.2	Faktorer som bör beaktas vid utvärdering av en överläckningssituation	63
4.2.1	Kostnader för pumpning och rening av över- läckningsvolym	64
4.2.2	Risk för överbelastning i nedströms liggande spillvattenledningar	65
4.2.3	Risk för underminering	65
5.	REFERENSER	67
Bilaga 1	Diskussion om möjligheter till en grov uppskattning av årsvolym på basis av överläckningssimulering.	71
Bilaga 2	Beräkningsförutsättningar och formler vid beräkning av vattendjup i öppen ledning.	77
Bilaga 3	Redovisning av kalibrerade avbördningsformler för de utnyttjade mätöverfallen och mätrännan.	79

KONKLUSIONER

Överläckning från dagvattenledningar till spillvattenledningar utgör en av många möjliga källor till s k ovidkommande vatten. Problemet har visserligen varit känt sedan lång tid men mycket lite av konkreta beskrivningar finns i litteraturen.

I denna rapport diskuteras överläckningsproblematiken genom en redovisning av erfarenheter och mätresultat från överläckningsmätningar i drygt 5 km, i huvudsak äldre, duplikata avloppsledningar.

Resultaten från överläckningsmätningarna kan sammanfattas i följande punkter:

- * Överläckningen befanns vara mycket ojämnt fördelad. I många mätsträckor kunde ingen överläckning påvisas medan den i andra var mycket kraftig.
- * I flera mätsträckor om ett eller flera brunnssavstånd uppmättes överläckningsflöden från ett par och upp till 8 l/s av från brandpost till dagvattenledning nedspolat flöde på vanligen 8-20 l/s.
- * I mätsträckor med överläckningssektioner återfanns i spillvattenledningen ofta hela 20-90% av till dagvattenledningen nedspolat brandpostflöde.
- * Även om det är lätt att sätta upp nödvändiga kriterier för att överläckning skall uppträda medför den vanligen vaga kunskapen om ledningsgravens verkliga materialsammansättning och om kvalitén på arbetsutförandet att överläckningssektioner ofta förekommer till synes slumpmässigt.
- * En lednings ålder är inget tillräckligt kriterium för överläckningsrisk. Däremot är givetvis förutsättningarna för överläckning större om undermåliga fogningsmetoder utnyttjats.
- * Många mätsträckor med synbara fel och brister i form av svackor, mindre järnutfällningar i fogar etc visade sig trots detta ej innehålla överläckningssektioner.
- * De lokala geohydrologiska faktorerna inverkar stort på förutsättningarna för överläckning. En tät omgivning utanför ledningsgraven gör att utläckande dagvatten ej snabbt kan försvinna ned till grundvattnet.
- * I de fall kringfyllningen runt otäta duplikata avloppsledningar utförts med mycket vattengenomsläppligt material kunde mycket stora överläckningsflöden uppmätas.

- * I ledningsgravar där lera eller tät morän med stor sannolikhet använts till kringfyllning kunde också stora överläckningsflöden konstateras på en del håll. Överläckningssektionerna var då ofta koncentrerade till någon eller några fogar. De kraftiga överläckningsflödena måste förklaras med att gångar urspolats mellan ledningarna.
- * Den till synes slumpmässiga förekomsten av överläckningssektioner innebär att överläckningens förekomst endast kan fastställas genom fältmätningar.
- * Överläckningsflödenas tidsförlopp var för samtliga påvisade överläckningssektioner så snabba att överläckningssektionerna ej skulle ha kunnat särskiljas från till spillvattenledningen anslutna hårdgjorda ytor genom områdesvis flödesmätningar under perioder med nederbörd .
- * Det går ej att generellt uppskatta vad överläckningssektioner medför för maximala toppflöden eller årsvolymer av ovidkommande vatten. Dessa konsekvenser beror i hög grad exempelvis på var överläckningssektionen är belägen i ledningssystemet och under vilka tidsperioder som vatten avleds i den aktuella dagvattenledningen.
- * Konsekvenserna av ett kraftigt överläckningsflöde kan emellertid vara omfattande. Vid jämförelse med felkopplade tak kan överläckningssektioner i ett brunnssavstånd under regn lätt orsaka momentana flödesökningar i spillvattenledningen motsvarande flödet orsakat av ett mycket stort antal anslutna villatak.
- * Mycket stora årsvolymer med ovidkommande vatten kan också erhållas av kraftiga överläckningsflöden. Om dagvattenledningen under långa perioder dessutom avleder dräneringsvatten blir årsvolymen ovidkommande vatten genom överläckningssektionen än större.
- * För att kunna åtgärda överläckningssektioner måste dessa först noga lokaliseras. Om överläckningen exempelvis är koncentrerad till en överläckningssektion mellan dagvattenledningen och till en därunder korsande spillvattenservis erhålls givetvis ingen förbättring om enbart den kommunala spillvattenledningen foginjekteras.

För en riktig behandling av överläckningsproblematiken krävs en förståelse av överläckningens förutsättningar, möjliga konsekvenser, dess relativa betydelse och metoder för att snabbt och effektivt spåra och uppmäta överläckningsflöden.

SAMMANDRAG AV RAPPORTEN

OVIDKOMMANDE VATTEN - ETT VANLIGT PROBLEM I
DUPLIKATA AVLOPPSNÄT

Under början av 1950-talet övergick man allmänt till att anlägga avloppsledningar enligt det duplikata systemet där spillvatten och dagvatten avleds i separata ledningssystem. Ledningarna läggs då i samma rörgrav med dagvattenledningen normalt på en högre nivå än spillvattenledningen. Tidigare dominerade det kombinerade systemet där spill- och dagvatten avleds i samma ledning.

Övergången till det duplikata systemet vid nyanläggning var föranlett av att man önskade reducera föroreningsbelastningarna på recipienterna. Inför den då förestående utbyggnaden av avloppsreningsverken var det av processtekniska skäl önskvärt att försöka undvika alltför kraftiga och hastiga förändringar i avloppsvattenflödet orsakat av exempelvis nederbörd. Likaså var det önskvärt att undvika bräddningar av orenat vatten samt källaröversvämningar. Emellertid framhölls det redan på 1950-talet att de driftmässiga förbättringar som eftersträvades genom införandet av duplikatsystemet förutsatte att ledningarna utfördes täta.

Nu kan det konstateras att spillvattensystemen i många duplikata avloppsnät även avleder stora volymer av regn-, smält- och dräneringsvatten. I mycket dåliga duplikata avloppsnät kan flödesökningarna även under icke alltför häftiga regn vara så stora att källaröversvämningar eller bräddningar av orenat spillvatten förekommer.

Orsakerna till dessa problem är många. Spillvattenledningen kan exempelvis vara belastad med grundvatteninläckning, avrinning från anslutna hårdgjorda ytor, vatten från dräneringsledningar eller överläckning från otäta dagvattenledningar ned till otäta spillvattenledningar. Vatten som genom fel och brister avleds i spillvattensystemen brukar benämnas "ovidkommande vatten".

För att spåra och reducera mängden ovidkommande vatten utförs många ledningsnätundersökningar. Avloppsnäten kännetecknas emellertid av att ledningslängderna är enorma, att ledningarna är svåra att inspektera och undersöka och att undersökningskostnaderna därför blir höga.

Om syftet är att reducera nederbördsavhängig inläckning utförs områdesvisa flödesmätningar av spillvattenflödet kombinerat med registrering av nederbörd under perioder med regn. Härigenom kan de sämst fungerande delarna av avloppsnäten avslöjas och de fortsatta undersökningarna koncentreras till dessa.

Områdesvisa flödesmätningarna ger endast en samlad bild av alla de uppströms liggande fel och brister vilka orsakar det ovidkommande vattnet. För att kunna välja rätt förbättringsåtgärd måste fortsatta mätningar inriktas mot att lokalisera och fastställa vilka fel som är upphov till det ovidkommande vattnet. Andra undersökningsmetoder måste då utnyttjas och undersökningskostnaden per meter ledning ökar markant.

METODER FÖR ATT SPÅRA OCH MÄTA ÖVERLÄCKNING

I denna rapport diskuteras endast överläckning från dag- till spillvattenledningar i kommunala avloppsnät. Här behandlas ej det specialfall då dagvattenledningen däms upp genom hög vattenyta i vattendrag etc och därefter kan läcka över till spillvattenledningen.

De aktuella mätmetoderna har till uppgift att lokalisera och fastställa brister. Den specifika undersökningskostnaden (kr/m) blir då relativt hög. Därför är det viktigt att även på lokalplanet ha en för det aktuella syftet väl genomtänkt undersökningsstrategi så att ej resurser slösas på ointressanta ledningar.

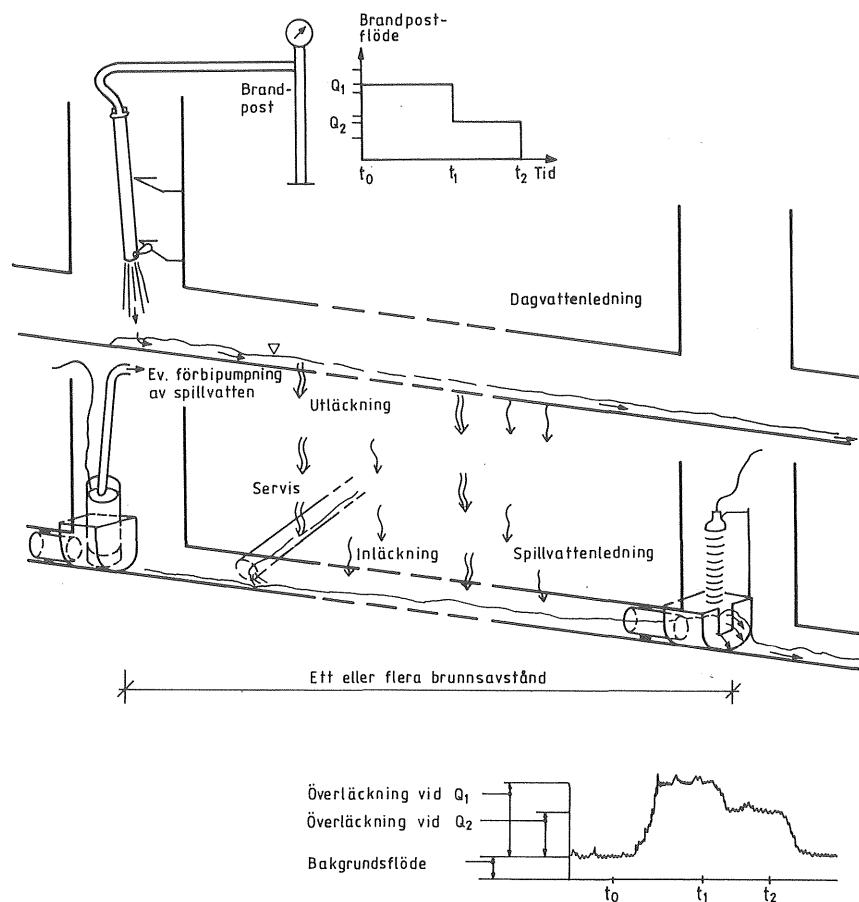
Överläckningsmätningar utförs under torrväder så att överläckningssektionerna kan särskiljas från andra källor till ovidkommande vatten. Dagvattenflödet erhålls enklast genom spolning från brandpost till dagvattenledningen.

Stora ledningslängder lämpligen omfattande ca 10-15 brunnnsavstånd kan "friskförklaras" till en relativt låg specifik kostnad om man i mätsträckans nedre mätpunkt kan uppmäta samma flöde i dagvattenledningen som uppströms nedspolas i densamma. Om däremot indikationer föreligger om överläckning besiktigas mellanliggande spillvattenbrunnar under fortsatt brandpostspolning. Ett enkelt avloppsperiskop möjliggör en, om än begränsad, okulär besiktning av spillvattenledningarna.

Vid relativt kraftiga överläckningsflöden och om bakgrundsflödet i spillvattenledningen är lågt kan överläckningssektionernas lägen avslöjas eller åtminstone inringas genom okulär bedömning av spillvattenflödet längs mätsträckan.

Med ledning av besiktningsresultatet kan misstänkta delsträckor utväljas och överläckningsflödet uppmätas genom noggrann flödesmätning i spillvattenledningen. Flödet mäts då med hjälp av små mätöverfall eller mätrännor före, under och efter en spolning från brandpost till dagvattenledningen. Utvärderingen av överläckningsmätningen underlättas om flödet registreras kontinuerligt. Om spillvattenledningen är belastad med ett kraftigt bakgrundsflöde kan detta reduceras genom att spillvattnet pumpas förbi mätsträckan.

De flöden som kan erhållas från en brandpost, ofta 10-15 l/s, utgör normalt endast en bråkdel av en dagvattenlednings kapacitet. Vid uppskattning av årsvolymer ovidkommande vatten orsakat av en överläckningssektion, erhålls de största bidragen från de volymmässigt dominerande regnen, dvs regn med låg intensitet och lång varaktighet. Dessa regn orsakar relativt låga dagvattenflöden, vilket också karakteriserar avrinning av smält- och eventuellt dräneringsvatten. För många mätsträckor, särskilt de som är belägna långt uppströms i ledningsnäten, kan därför maximalt tillgängligt brandpostflöde väl täcka in de här intressantaste flödena.



Mätuppställning för den mest utnyttjade undersökningsmetoden i dessa försök (fig. 2.9, sid 15).

Däremot går det ej att med spolning från brandpost simulera flödesförhållanden under toppbelastningar då dagvattenledningens fulla kapacitet tas i anspråk. Överläckningsflöden vid större fyllnadshöjder i dagvattenledningen kan grovt uppskattas genom extrapolering från överläckningsflöden vid lägre fyllnadshöjder. Ett bättre sätt är att proppa dagvattenledningen och fylla upp denna till önskad nivå.

Vid proppning och dämning i dagvattenledning erhålls olika dämningsslängder (=undersökningslängd) beroende på ledningens lutning och vald dämningshöjd. Om man ej vill dämna högre än till dagvattenledningens hjässa i nedströmsänden beror möjlig undersökningslängd på dagvattenledningens dimension och lutning. För många ledningar blir då undersökningslängden kort och den specifika undersökningskostnaden därmed relativt hög. Dessutom föreligger en del praktiska svårigheter och begränsningar vid utvärderingen eftersom vattendjupet varierar längs mätsträckan.

Flera andra metoder än de som här redovisats kan utnyttjas för att lokalisera överläckningssektioner. Här kan exempelvis nämnas TV-inspektion av spillvattenledningen under pågående spolning av brandpostvatten till dagvattenledningen samt mätmetoder där olika spårämnen tillsätts vattnet i dagvattenledningen och man därefter försöker spåra dessa i spillvattenledningen.

UPPMÄTTA ÖVERLÄCKNINGSFLODEN I NÅGRA OLIKA AVLOPPSNÄT

Överläckningsproblemen i duplikata avloppsnät har studerats i ett 35-tal mätsträckor hämtade från Göteborgs, Borås och Växjö kommuner. Ledningssträckorna har i huvudsak valts från områden utbyggda i tidigt 1960-tal eller tidigare. Den sammanlagda undersökta ledningslängden är drygt 5 km.

Överläckningen har ofta en mycket ojämn och till synes slumpmässig fördelning där kraftiga överläckningsflöden koncentreras till vissa begränsade delar av en mätsträcka såsom någon eller några fogar eller mellan brunnspår. I andra områden kan överläckningen däremot vara mer jämnt fördelad längs mätsträckan.

I ett stort antal mätsträckor kunde ingen överläckning uppmätas eller observeras trots att ledningarna gav ett allmänt åldrat intryck med en hel del mindre svackor, fogförskjutningar, järnutfällningar runt fogar etc.

Exempel på mycket stora uppmätta överläckningsflöden kan hämtas från Högsbo, Göteborgs kommun. Detta område var det enda område där överläckningsproblem redan var kända. Här uppmättes för två mätsträckor överläckningsflöden på 7.5 och 8 l/s vid brandpostflöden till dagvattenledningen av 13 resp 20 l/s. Förutsättningarna för överläckning var här mycket goda eftersom rörgraven var anlagd i berg och återfyllts med grus och troligen en del sönderskjutet berg. Dessutom var fogarna otäta.

I ett bostadsområde (Järnbrott, Göteborgs kommun) byggt på lera där ledningarna även kring- och återfyllts med lera uppmättes trots detta kraftiga överläckningsflöden. Området hade genom områdesvisa mätningar tidigare avslöjats mottaga stora flöden nederbördsavhängig inläckning. Överläckningssektionerna var här mycket tydliga och koncentrerade till någon eller några fogar eller brunnspår. Detta måste innebära att gångar urspolats i kringfyllningen. Överläckningsflödena var här som mest 4.1 l/s vid endast 6.1 l/s brandpostflöde. I ett försök då 2.8 l/s nedspolades i dagvattenledningen återfanns ca 90 procent av flödet i spillvattenledningen redan efter ca 25 m.

De mätsträckor som hämtades från Borås och Växjö kommun utvaldes relativt slumpmässigt från äldre avloppsnät, eftersom områdesvisa flödesmätningar under perioder med regn då endast hade utförts i begränsad omfattning.

I Sjöbo, Borås kommun, erhöles i tre till synes relativt likvärdiga mätsträckor ingen, måttlig resp kraftig överläckning. I Borås och Växjö kommun kunde många mätsträckor friskförklaras. I Växjö kommun uppmättes endast överläckning i 2 mätsträckor, vilka dessutom troligen härrör från samma relativt begränsade överläckningssektion kring ett brunnspår. Till spillvattenbrunnen forsade här vatten in från dagvattenledningen främst genom otäta brunnanslutningar. Totalt undersöktes i Växjö drygt 1.3 km ledningar.

Resultaten visar på att det är svårt att generellt förutsäga om överläckning förekommer i ett avloppsnät endast på grundval av vissa enkla parametrar såsom ålder, anläggningsmetoder etc.

Däremot måste ett antal förutsättningar vara uppfyllda för att överläckning skall vara möjlig. Dessa är otäta dag- och spillvattenledningar, möjlighet för vatten att transporteras mellan ledningarna samt hinder mot att vattnet helt tar andra vägar i marken.

Uppgifter om rörgravens verkliga uppbyggnad och innehåll, eventuella problem vid anläggandet och kvalitén på det utförda arbetet är emellertid normalt dåligt kända eller svårt tillgängliga. Därför måste överläckningssektionerna ofta betraktas som slumpmässigt förekommande. Naturligtvis gäller detta ej för avloppsnät där man vet att någon eller några av ovannämnda förutsättningar ej är uppfyllda. Så är exempelvis fallet i nyare områden där ledningarna fogats med gummiringar och man kontrollerat att arbetet blivit riktigt utfört.

Mycket nyttig information finns att inhämta hos äldre, erfarna ledningsanläggare, arbetsledare och kommuningenjörer. Deras samlade erfarenheter och kunskaper kan utnyttjas för att ringa in områden där förutsättningar kan misstänkas föreligga för olika funktionsproblem.

I denna rapport behandlas ej i vilken turordning som man bör söka efter felkopplade ytor eller överläckningssektioner. Denna avvägning måste göras på bedömning av de olika undersökningsmetodernas kostnadslägen samt eventuell befintlig kunskap om vilka källor som i första hand är att misstänka.

De områdesvisa flödesmätningarna utgör här inget pålitligt underlag. Samtliga överläckningssektioner som observerats i dessa undersökningar hade ej genom områdesvisa flödesmätningar kunnat särskiljas från felaktiga anslutna ytor till spillvattenledningen. Tidsförloppen för de uppmätta överläckningsflödena var således mycket snabba vid såväl överläckningens start efter påbörjad spolning från brandpost som vid avklingningen efter det att brandposten stängts.

ÖVERLÄCKNINGENS KONSEKVENSER

De konsekvenser som kan uppstå till följd av överläckningsflöden kan indelas i tre typer:

- * stora årsvolymer ovidkommande vatten
- * kraftiga toppflöden vid häftiga regn
- * risk för erosion av kring- och återfyllningsmaterial

Det kan vara intressant att relativt isolerat försöka betrakta konsekvenserna av en överläckningssektion så att underlag kan tas fram för bedömningen av om en förbättringsåtgärd är nödvändig.

Årsvolymen av den överläckning som enbart orsakats av regn uppskattades för en mätsträcka där ansluten area till dagvattensystemet bedömts vara endast 0.38 ha till ca 750-800 m³. (Beräkningsförutsättningarna ges i bilaga 1.) Därtill kommer överläckningsvolymer vilka orsakas av smältvatten- och dräneringsvattenflöden i dagvattenledningen. Detta kan jämföras med årsvolymen för ett felkopplat villatak (100 kvm) som blir ca 60 m³ om årsavrinningen sätts till 600 mm.

Det är här återigen viktigt att betona att överläckning endast utgör en av många möjliga källor till ovidkommande vatten. För bedömningar av orsakerna till exempelvis källaröversvämningar måste givetvis överläckningsflöden ses i kombination med övriga flöden av ovidkommande vatten som orsakats av andra fel och brister.

Beträffande momentana toppbelastningar så har fältmätningar, redovisade i kap 3, visat på många överläckningsflöden på mellan ett par och upp till 8 l/s redan vid mycket måttliga dagvattenflöden. Ett hustak på 100 m² kopplat till spillvattenledningen ger ett momentant flöde på drygt 1 l/s först vid ett regn med 2-års återkomsttid.

Detta visar på att konsekvenserna av en kraftig överläckning motsvarar konsekvenserna av ett mycket stort antal felkopplade hustak. Relationen mellan dessa två feltyper beror naturligtvis i hög grad på överläckningsflödets storlek samt om överläckningssektionen är belägen långt uppströms eller nedströms i ett avloppsnät. Det måste dock framhållas att kostnaden för att åtgärda ett felkopplat hustak är väsentligt lägre om utkastare kan installeras på stuprören jämfört med att tätta ett ledningssystem.

Risken för erosion och därmed underminering av ledningsgravar i samband med överläckningsflöden beror av om jordmaterialet är eroderbart samt om överläckningsflödena är tillräckligt kraftiga för en erosion. Samma problemställning gäller även för kraftig grundvatteninläckning eller om dricksvatten från otäta vattenledningar dräneras bort genom otäta avloppssystem. Risken för underminering i va-ledningsgravar till följd av kraftiga vattenflöden i kring- och återfyllningen har först nyligen uppmärksamats som ett forskningsområde. Kunskaperna är därför ännu så länge otillräckliga.

För att effektivt kunna åtgärda en överläckningssektion måste man noga fastställa var överläckningen förekommer. Exempelvis uppnås ingen effekt vid tätning av en spillvattenledning om överläckningen sker från dagvattenledningen till en korsande spillvattenservis. Likaså finns risken att i dränerande ledningsgravar det utläckande dagvattnet följer ledningsgraven till nästa otäthet. Detta torde ej vara fallet då överläckningssektionen är belägen i en rörgrav med relativt tät kring- och återfyllning och där gånger troligen urspolats.

Vid kraftiga överläckningssektioner måste man vid foginjektering i spillvattenledningar noga tillse att tätningsmassan ej trycks upp till dagvattenledningen.

1. BAKGRUND

1.1 Vatten- och avloppssystemen - den svarta lådan

De kommunala vatten- och avloppsledningsystemen i Sverige har en sammanlagd längd som motsvarar nästan 3 varv runt ekvatorn. Därtill kommer stora längder servisledningar.

Det är av stort samhällsekonomiskt värde att va-systemen förvaltas väl så att man effektivt kan utnyttja de befintliga anläggningarna samt säkerställa en lång livstid. En bra förvaltning förutsätter att man har en förståelse av ett va-systems funktion samt kan bedöma dess kondition. Va-systemen kännetecknas emellertid förutom av sin stora längd också av att de är svåra att studera och inspektera. Detta medför höga undersökningskostnader.

De förhållanden som karaktäriserar vatten- och avloppsledningsystemen kan mycket förenklat symboliseras med en svart låda. Lådan symboliserar den verkliga funktionen och konditionen av va-systemen samt det sanna utfallet av alla tekniska och ekonomiska prognoser.

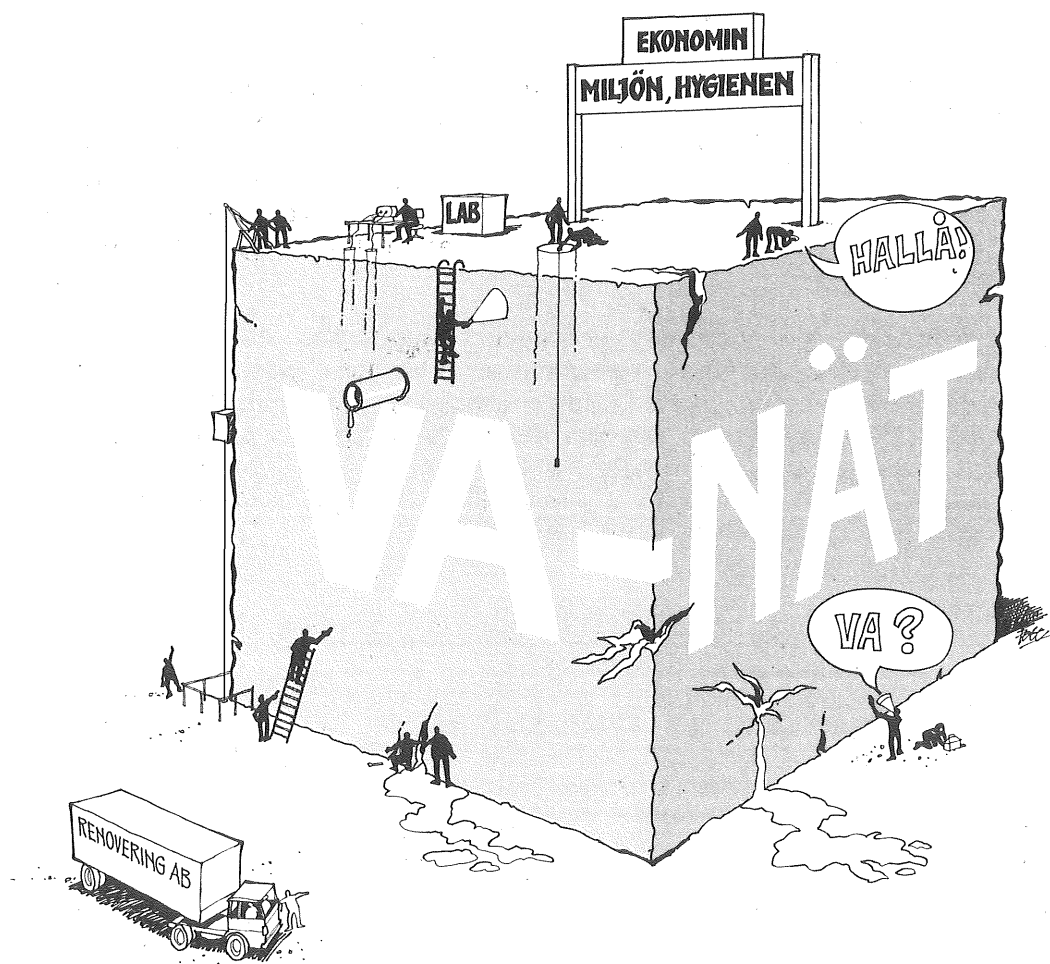


Fig 1.1 Va-systemen - den svarta lådan.

Olika ansatser och metoder prövas och fler kommer att prövas för att på bästa sätt undersöka och utvärdera va-systemens funktion och kondition. Det går att göra punktvisa inspektionsinsatser för att bedöma konditionen men resultatet är en ögonblicksbild som kan vara svår att tolka. Man kan försöka skaffa sig en bild av funktionen i va-ledningsnäten genom att simulera olika funktionsförhållanden i datorer med indata som av ovan redovisade skäl ofta är osäkra.

Vissa typer av bristande funktion kan lättare spåras exempelvis genom studier av vad som rinner ut ur "lådan". Det finns metoder för att hitta läckor och åtgärda brister. Många funktions- och konditionsförbättrande renoveringsmetoder finns och utvecklingen fortsätter.

För att kunna sälla ut de viktigaste problemen i va-ledningsnäten både på kort och lång sikt samt välja mest effektiva åtgärder måste bra informationskanaler finnas mellan de olika aktörerna runt "lådan". Detta kan gälla internt på kommunen, exempelvis mellan drift- och projekteringsavdelningar eller vid externa kontakter med konsulter, entreprenörer, forskare etc.

En förutsättning för att grunden, som håller uppe "Ekonomi", "Miljön" och "Hygien", skall förbli stabil är att man lyckas klargöra vad man behöver veta, hur kunskapen skall tas fram samt vilka åtgärder som krävs för att förebygga ett eventuellt sönderfall. Detta förutsätter att all mobiliserbar kreativitet och energi utnyttjas på samtliga nivåer samt att "hissen" i figur 1 mellan olika ansatser, arbetssätt och organisatoriska uppdelningar utnyttjas bättre. Dessutom måste effektiva system utnyttjas för hantering av befintlig och efter hand dyrbart insamlad information.

Den fortsatta problembeskrivningen begränsas till att endast omfatta funktionsstudier i avloppsnät. Man bör dock hålla i minnet att både vatten- och avloppsledningar normalt är förlagda till samma ledningsgrav. En bristande funktion i vattenledningsnätet i form av utströmmande vatten kan påverka även avloppsledningens funktion genom bl a ökade inläkningsflöden till den på en lägre nivå belägna spillvattenledningen.

1.2 Funktionsstudier i avloppsnät på olika nivåer för att spåra ovidkommande vatten

Med funktionsstudier av avloppsnät avses här undersökningar där man med ett bestämt syfte önskar klarlägga hur ett ledningsnät fungerar samt undersökningar för att finna orsakerna till en eventuellt bristande funktion. Med detta som underlag skall därefter lämpligaste åtgärd kunna vidtas.

Det finns många olika typer av brister i avloppsnät som medför problem i form av sedimentation, svavelvätebildning, bristande hydraulisk kapacitet, ovidkommande vatten m m. Med ovidkommande vatten avses vatten som på grund av fel och brister läcker in i spillvattensystemen och resulterar i ett ökat flöde. I det följande diskuteras enbart ovidkommande vatten.

Det ovidkommande vattnet kan skapa problem både som höga toppbelastningar och alltför stora volymer. Höga toppbelastningar av ovidkommande vatten till duplikata spillvattenledningar kan orsaka källaröversvämningar och bräddningar av orenat avloppsvatten eller störa processerna i reningsverken. För stora tillkommande volymer av ovidkommande vatten ger ökade kostnader för pumpning och rening.

För att spåra ovidkommande vatten genomförs funktionsstudier stegvis på olika nivåer så att tillgängliga undersökningsresurser utnyttjas effektivt. Detta är en i Sverige vanligt förekommande metodik (Peterson et al, 1978, SNV 1983, Peterson, 1984).

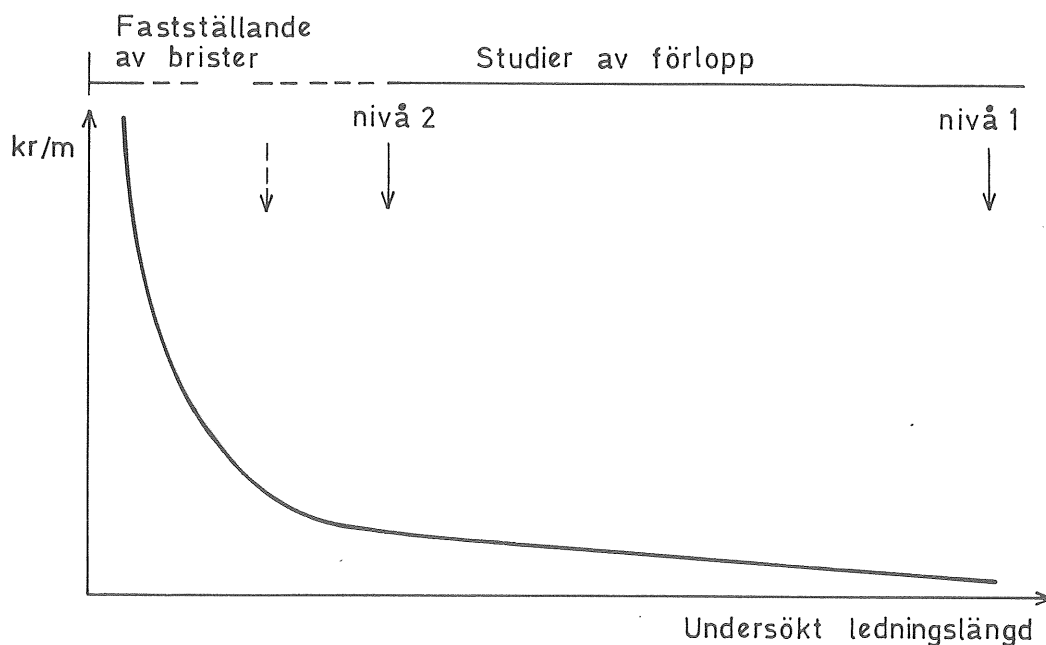


Fig 1.2 Principiellt samband mellan undersökningskostnad per meter ledning (specifik undersökningskostnad) och undersökningsmetoder på olika nivåer vid spårning av ovidkommande vatten.

Det principiella förhållandet mellan undersökningskostnad per meter ledning (specifik undersökningskostnad) och undersökningsmetoder på olika nivåer vid spårning av ovidkommande vatten framgår i fig 1.2.

Undersökningen inleds på nivå 1 där hela områden till en relativt låg specifik kostnad kan sjuk- eller friskförklaras genom områdesvisa studier av flöden och flödesvariationer under exempelvis regntillfällen eller perioder med högt grundvattenstånd. Resultaten från undersökningar på denna nivå ger en samlad bild av uppströms liggande problem. Mätresultatens karaktär gör att de endast kan utnyttjas om de ingår i en väl genomtänkt undersökningsstrategi och kan utgöra en grund för fortsatta studier.

De områdesvisa mätningarna återupprepas därefter i de sämst fungerande avloppsgrenarna, dvs de som erhåller för stora momentana flöden eller volymer av ovidkommande vatten. Successivt inringas områden med fel och brister samtidigt som den specifika undersökningskostnaden ökar.

Ju längre ut i ledningsnäten och ju mer metoderna inriktas mot att fastställa enskilda brister desto kraftigare ökar den specifika undersökningskostnaden. Det är nödvändigt att driva undersökningsarbetet ända fram till fastställandet av vilka brister som föreligger om undersökningen skall utgöra beslutsunderlag för åtgärder.

Mycket stora summor kan lätt gå förlorade till ingen nytta om man på bristande beslutsunderlag väljer fel åtgärd eller sätter in åtgärden i fel sträcka.

1.3 Projektets syfte och avgränsningar

Denna rapport begränsas till problemet överläckning i duplikata avloppsnät. Med överläckning avses här från dagvattenssystemet utläckande dagvatten som mer eller mindre direkt letar sig ned och in i lägre belägen spillvattenledning. Här behandlas ej det specialfall då exempelvis havsvatten eller vatten från annan recipient på grund av högt vattenstånd däms upp i dagvattenledning och genom överläckningssektioner rinner över till spillvattenledning.

Överläckningsmätningar innebär fastställande av brister och undersökningskostnaderna är relativt höga. Överläckningsmätningar utförs därför normalt först då stora flöden av ovidkommande vatten konstaterats i områdesvisa flödesstudier under perioder med regn.

Syftet med fältmätningarna som redovisas i denna rapport har varit att försöka fastlägga om överläckning är en brist värd att uppmärksamma samt att utprova mätmetoder för att påvisa och kvantifiera överläckningsflöden. Undersökningarna har utförts med högre noggrannhetskrav än vad som hittills varit vanligt i mera konventionellt "saneringsplanearbete".

Avgränsningen till ett speciellt problem har medfört att insatserna har kunnat koncentrerats på en relativt noggrann genomgång av detta problem, vilket ej hade varit möjligt om alla orsaker till ovidkommande vatten hade behandlats.

Ambitionen med denna rapport har varit att noga beskriva de erfarenheter som erhållits så att den kan utgöra en meningsfull grund för jämförande diskussioner av olika möjliga mätmetoder och tillvägagångssätt.

Även om denna rapport fokuseras mot överläckning från dagtill spillvattenledning i de kommunala avloppssystemen är det viktigt att framhålla att många andra typer av funktionsproblem också kan föreligga och ej får underskattas. Här kan som exempel nämnas årstidsberoende grundvatteninläckning och dåligt eller felaktigt anslutna servisledningar.

2. METODER FÖR ATT SPÅRA OCH MÄTA ÖVERLÄCKNING

2.1 Hur uppstår överläckning

De bristfälliga fogningsmaterial som användes på många håll långt in på 1960-talet, svåra arbetsförhållanden i ledningsgravar samt ett under lång tid svalt intresse för täthetskontroll har medfört att många fel och brister kan föreligga. Spillvattenledningar i duplikata avloppsnät får därför ofta mottaga stora mängder ovidkommande vatten vid regn.

Den i Sverige dominerande uppbyggnaden av duplikata avloppssystem med en spillvattenledning förlagd på en lägre nivå än dagvattenledningen utgör en potentiell risk för överläckning.

I Sverige påpekades risken för överläckning redan på 1950-talet (Cronström, 1954). Det framhölls då att övergången till att anlägga avloppssystemen enligt duplikata systemet i stället för det tidigare vanliga kombinerade systemet förutsatte att stort intresse ägnades åt att utföra spillvattenledningarna täta. Även senare har överläckning beskrivits av bl a Peterson et al (1978), VAV (1978), VAV (1979) och Peterson (1984).

I amerikansk litteratur finns mycket skrivet om problem med ovidkommande vatten i duplikata spillvattenledningar. Samlade problembeskrivningar har gjorts i många omgångar, exempelvis EPA (1970, 1971, 1975, 1977) och WPCF (1983). Där har även överläckning diskuterats som en av många orsaker till ovidkommande vatten.

Det finns i princip tre spärrar mot överläckning

1. Tätheten i dagvattenledningen
2. Tätheten i ledningsbädden
3. Tätheten i spillvattenledningen

De geohydrologiska förhållandena har stor betydelse för uppkomsten och storleken av överläckningsflödet. Gynnsamma förhållanden för överläckning råder om en lokal grundvattenyta kan bildas genom att omgivningen utgörs av ett tätt jordmaterial men återfyllningen är mer genomsläpplig. Om kringfyllningen är tät kan denna utgöra ett effektivt hinder mot överläckning. Emellertid kan överläckning även spåras i sådana miljöer. Detta kan förklaras med att vattengångar utbildats i från början dåligt packat material kring ledningarna, fig. 2.1.

Om omgivningen består av mycket permeabelt material och grundvattenytan är belägen under ledningarna torde utläckande dagvatten perkolera ned till grundvattnet. Denna geohydrologiska situation har emellertid ej studerats i de mätningar som redovisas i denna rapport.

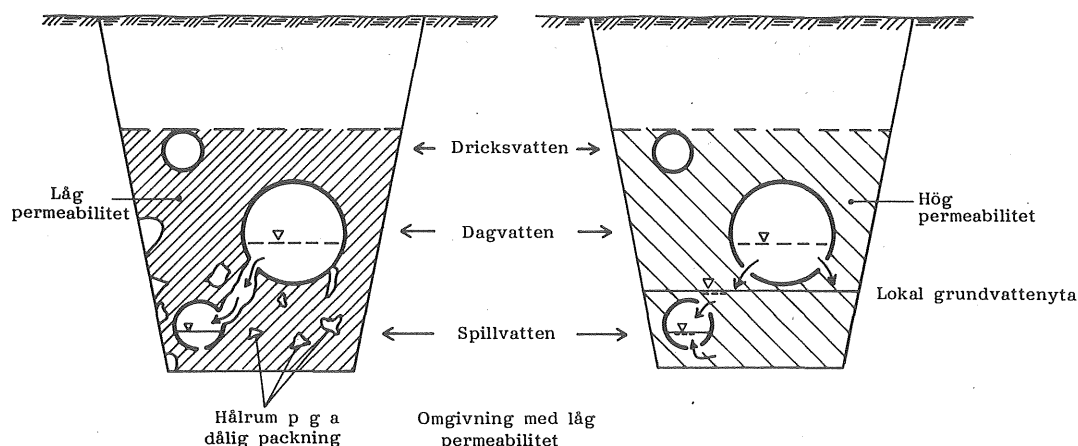


Fig 2.1 Överläckning i ledningsgravar med kringfyllning av material med låg resp hög vattengenomsläpplighet.

Även om metoder för att påvisa överläckning finns beskrivna principiellt i litteraturen (se kap. 2.5) så står lite att finna om olika metoders begränsningar, utvärderingsmöjligheter och ungefärliga undersökningskostnader.

Förklaringen är troligen att överläckningsmätningar i kommunala avloppsnät endast utförts i begränsad omfattning samt att då överläckningsmätningar utförts så har resultaten direkt avrapporterats till kommunen ifråga.

De erfarenheter som gjorts inom detta projekt pekar på att överläckningen kan vara mycket ojämnt fördelad. Långa ledningssträckor kan trots ett åldrat utseende visa sig, i praktisk mening, vara helt täta. Till synes slumpmässigt kan dock enstaka grova överläckningssektioner påträffas. I andra områden kan överläckningssektionerna vara mer utspridda.

Förklaringen till den ojämna fördelningen kan vara att överläckningen beror av många svårbestämda faktorer som var och en kan bli bestämmande. Exempelvis kan ett fogmaterial med sämre förutsättningar att ge en tät fog i äldre avloppsledningar uppvägas av ett noggrant arbetsutförande av såväl fogningen som vid packningen runt fogarna. Likaså kan nyttan av förstklassiga fogmetoder helt försvinna om arbetsutförandet är slarvigt.

2.2 En undersökningsstrategi på lokalplanet

Om ett område har befunnits erhålla kraftiga flöden av ovidkommande vatten under regn kan orsaken förutom eventuella överläckningssektioner även vara att hustak och garageinfarter har anslutits till spillvattenledningen.

I denna rapport behandlas ej frågeställningen om vilken turordning som bör råda mellan kontroll av servisanslutningar och sökande efter överläckningssektioner. Turordningen bör avgöras av eventuellt tillgänglig förhandsinformation om vilka problem

som främst misstänks föreligga samt de olika undersökningsmetodernas kostnadslägen. I det följande behandlas endast olika metoder för överläckningsmätning.

Överläckningsundersökningar bör uppläggas enligt en väl genomtänkt undersökningsstrategi så att ej resurser slösas på ointressanta sträckor. Likaså är det viktigt att välja undersökningsmetoder som är avpassade till den noggrannhet man vill uppnå.

I detta kapitel beskrivs en undersökningsstrategi där olika metoder förslås användas i en viss ordning. Strategin är framtagen på basis av praktiska erfarenheter som erhållits under fältmätningarna. En skiss över principiell arbetsgång vid sökandet och mätning av överläckning ges i figur 2.2. I praktiken kan det ibland vara svårt att strikt följa ett uppgjort schema. Avgörandet om vilken variant av metoderna som är lämpligast kanske först kan göras på platsen. Det är emellertid synnerligen viktigt att förstå de olika metodernas för- och nackdelar samt om den valda metoden ger ett resultat med tillräcklig noggrannhet. Valet av lämpligaste metod påverkas även av tillgänglig utrustning och resurser.

Det är viktigt att framhålla att de här beskrivna metoderna har utformats mot bakgrund av våra krav på mätnoggrannhet. Nedan ges endast en översiktlig genomgång av det principiella arbetsschemat. Varje steg belyses mer ingående i de följande kapitlen.

Överläckningssimuleringarna utförs under perioder med regnuppehåll. Om inga speciella misstankar finns mot någon eller några delar inom ett allmänt sjukförklarat lokalt spillvattennät, kan stora ledningslängder snabbt friskförklaras genom mätning av utläckt dagvattenflöde. Mätning av utläckande dagvatten sker genom en spolning från brandpost till dagvattenledningen. Brandpostflödet mäts noggrant på brandposthuvud. Längre ned i dagvattensystemet mäts kvarvarande flöde noggrant med överfall. Om dagvatten inte läcker ut innebär det att det inte finns några förutsättningar för överläckning. Metodik och begränsningar ges i kap. 2.4.1.

Då klara indikationer erhållits om att en utläckning förekommer inom en ledningssträcka, utförs en okulär besiktning av mellanliggande spillvattenbrunnar. Besiktningen görs under fortsatt brandpostspolning. Syftet med besiktningen är att försöka identifiera en ökning i spillvattenflöde mellan två på varandra följande brunnar samt om möjligt kunna observera överläckningssektionen. Besiktningen in i ledningarna underlättas om ett avloppssperioskop utnyttjas, kap. 2.4.2.

På grundval av besiktningsresultatet väljs någon eller några delsträckor om 1-5 brunnsavstånd. Överläckningen mäts genom noggrann mätning av den flödesökning i spillvattenledningen som sker vid en spolning av brandpostvatten till dagvattenledningen, kap. 2.4.3. Komplettera, om behov föreligger, med ytterligare okulära besiktningar i såväl spill- som dagvattenbrunnar.

Om det bedöms som intressant att studera överläckningen vid större fyllnadshöjd i dagvattenledningen än vad som ges av en brandpostspolning kan dagvattenledningen proppas i nedströms-änden och fyllas upp med vatten till önskad nivå, kap. 2.4.4.

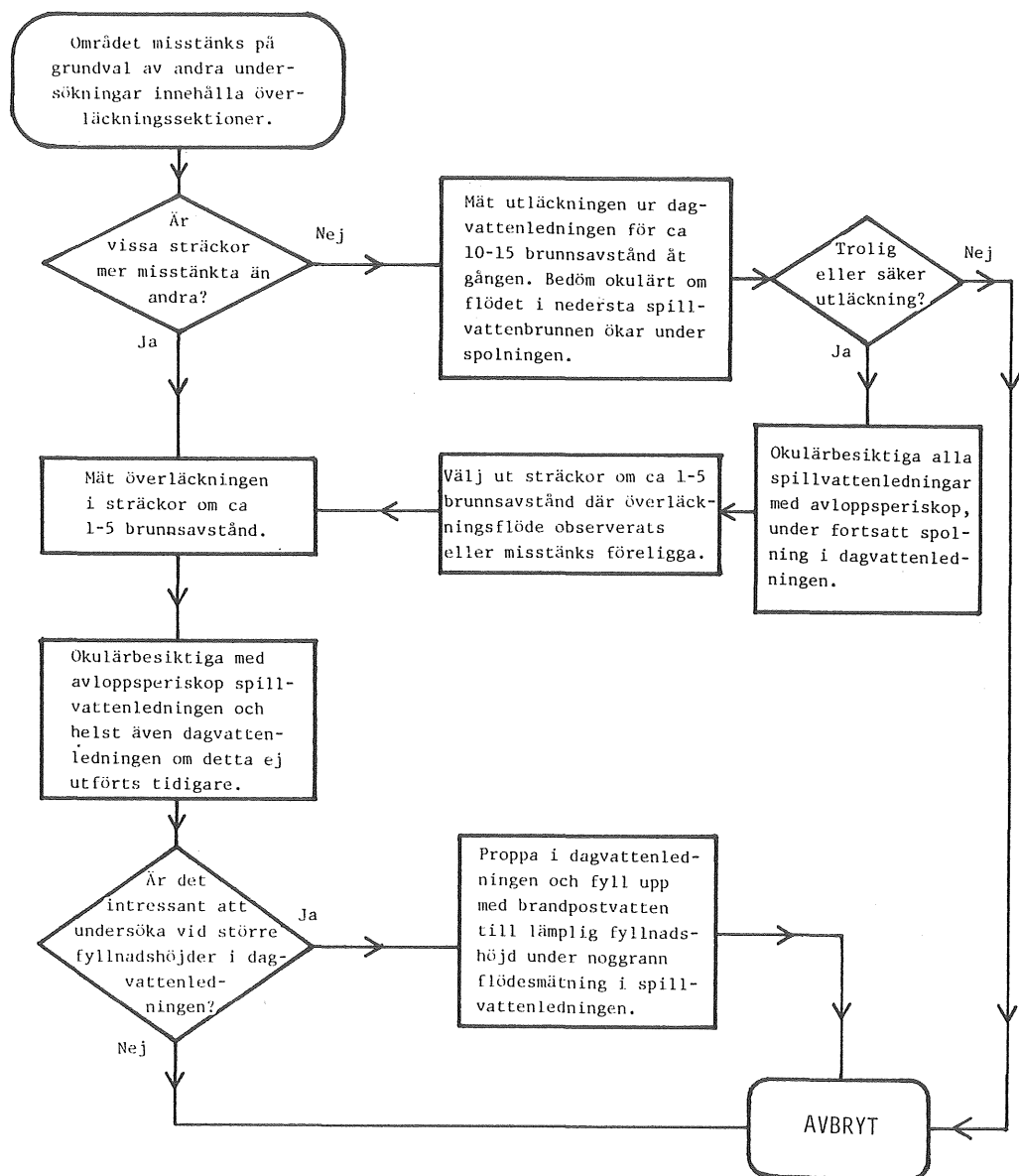


Fig. 2.2 Principiell arbetsgång vid sökande och mätning av överläckningsflöden från dag- till spillvattenledningar i kommunala avloppsnät.

De olika undersökningsstegen medför olika kostnader vilka närmare beskrivs i kap. 2.4.5. Undersökningskostnaderna per meter avloppsledning minskar om överläckningssimuleringen utförs för längre ledningssträcka med samma instrumentering och vice versa. Vid en längre mätsträcka kan det vara svårt att särskilja olika överläckningssektioner. Det är viktigt att känna de olika stegens kostnadsfunktioner så att mätresurserna kan utnyttjas på ett effektivt sätt.

2.3 Viktigt att fastställa typ av överläckning

Vid undersökning av överläckning är det viktigt att förstå hur och var överläckningen kan uppstå, eftersom man med här beskrivna mätmetoderna endast kommer åt vissa typer av överläckning. Likaså är det viktigt att fastställa vilken typ av överläckning som föreligger om man säkert skall kunna välja rätt förbättringsåtgärd.

En skiss över olika överläckningstyper framgår i fig. 2.3 och 2.4. Följande typer är där utritade:

- Typ 1: Från kommunal dagvattenbrunn till kommunal spillvattenbrunn genom otätheter i brunnsbottnar, brunnsringar eller anslutningar.
- Typ 2: Från kommunal dagvattenledning till kommunal spillvattenledning i parallell ledningsdragning.
- Typ 3: Från kommunal dagvattenledning till kommunal spillvattenledning då spillvattenledning korsar under dagvattenledningen.
- Typ 4: Från kommunal dagvattenledning till korsande spillvattenservis.
- Typ 5: Från korsande dagvattenservis eller ledning från rännstensbrunn till kommunal spillvattenledning.
- Typ 6: Från dagvattenservis till spillvattenservis.
- Typ 7: Från stuprör till spillvattenservis eller till dräneringsledning om dessa ansluter till spillvattensystemet. (I figur 2.4 är dräneringsledningen ansluten till dagvattensystemet.)

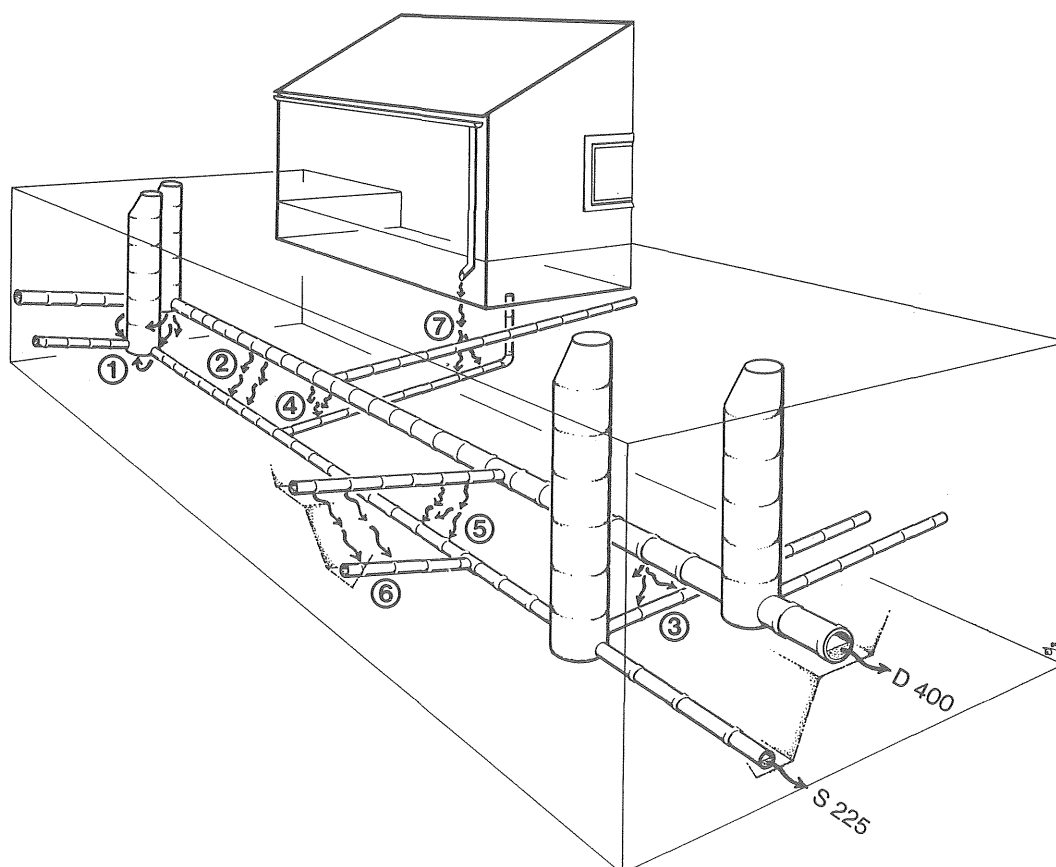


Fig. 2.3 Olika typer av överläckning, perspektivskiss.

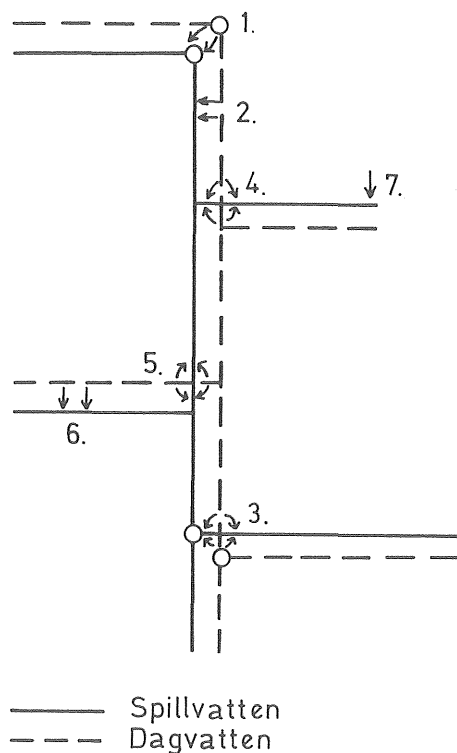


Fig. 2.4 Olika typer av överläckning redovisade i fig. 2.3, kartskiss i plan.

Den mätmetodik som översiktligt presenteras i kap. 2.2 och noggrant beskrivs i kap. 2.4 kan avslöja överläckningstyperna 1-4, om överläckningen uppträder vid de fyllnadshöjder i dagvattenledningen som kan uppnås med brandpostspolning. Typ 5 kan uppmätas om anslutningen av dagvattensservisen är utförd på en nivå så att vatten kan dämmas upp i dagvattensservisen. Däremot är det svårt att särskilja överläckning enligt typ 5 från typ 2. Misstanke om överläckning enligt typ 5 föreligger om överläckning observerats i en sektion precis under en dagvattensservis.

Överläckningstyperna 6 och 7 förekommer i servisledningarna. Dessa kan därför ej avslöjas med den här använda metodiken. Typerna får emellertid ej underskattas.

Vid okulärbesiktning under överläckningssimulering eller om inre inspektion utförs under samtidig spolning av brandpostflöde i dagvattenledningen är det viktigt att vara uppmärksam på alla ledningskorsningar, både i kommunalt nät samt vid servisanslutningar. I äldre nedstigningsbrunnar är såväl brunnsskarvar, anslutningar som bottenplatta känsliga punkter där otätheter lätt kan uppträda.

Från åtgärdssynpunkt är det viktigt att försöka lokalisera och fastställa överläckningstyperna. Exempelvis är typ 1 möjlig att åtgärda relativt billigt om arbetet kan utföras i brunnarna utan behov av mer komplicerad fjärrstyrd teknik. En tätning av den kommunala spillvattenledningen har däremot ingen effekt om överläckning sker enligt typ 4. Där sker överläckningen från kommunal dagvattenledning till korsande spillvattenservis och överläckningen kan fortgå såvida inte den kommunala dagvattenledningen och/eller spillvattenservisen tätas.

En ofta framförd åsikt är att tätningar av avloppsledningar lätt resulterar i att den lokala eller naturliga grundvattenytan stiger och det ovidkommande vattnet finner andra vägar in i systemet.

De geohydrologiska faktorerna spelar här en avgörande roll, varför generella uppfattningar i denna fråga är av mindre värde om de ej kopplas till de aktuella förhållandena för det diskuterade fogtätningsojektet. Det finns emellertid få noggranna uppföljningar exempelvis av grundvattennivån och flödesförhållanden före och efter foginjekteringar.

Uppföljande undersökningar bör utföras för att belysa effekten av fogtätningen, särskilt om man av kostnadsskäl väljer att endast täta en del av avloppssystemen, exempelvis enbart nedstigningsbrunnar eller enbart den kommunala spillvattenledningen.

En annan viktig aspekt vid fogtätning av överläckningssektioner, särskilt där gångar misstänks ha urspolats i kringfyllningen mellan ledningarna är risken för att pumpa tätningssmassan upp från spillvattenledningen och in i dagvattenledningen. Detta kan medföra att den hydrauliska kapaciteten i dagvattenledningen minskar.

2.4 Detaljerade metodbeskrivningar

Nedan beskrivs några olika metoder som kan användas vid sökandet av överläckningssektioner där kraftiga överläckningsflöden förekommer. De metoder som här beskrivs har praktiskt använts i de undersökningar som redovisas i kap. 3. De olika portabla mätinsatserna som utnyttjats beskrivs i bilaga 3. Där redovisas också de olika avbördningssambanden.

Om flera av dessa metoder skall användas bör detta ske i den ordning som är beskriven i avsnitt 2.2 "En undersökningsstrategi på lokalplanet".

2.4.1 Mätning av utläckande dagvattenflöde

Ledningsnätet indelas i sträckor om ca 10-15 brunnsavstånd. En principskiss över mätning av utläckande dagvatten ges i fig. 2.5. Tidsvinster kan göras om samma nederst belägna dagvattenbrunn kan användas för flera sträckor.

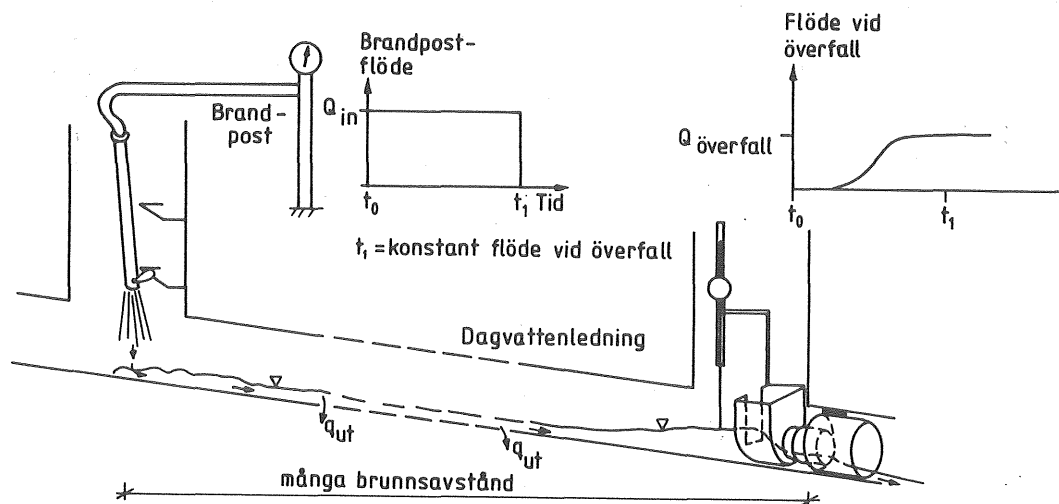


Fig. 2.5 Principskiss över mätning av utläckande dagvatten.

I den nederst belägna dagvattenbrunnen installeras ett mätöverfall. För att kunna använda samma mätöverfall vid olika dimensioner behövs ett adaptersystem. Fig. 2.6 visar ett provisoriskt adaptersystem som användes i projektet. Flera tätningsslangar måste utnyttjas för att täta större dimensioner. Detta ger en ostabil konstruktion och flera ventiler och därmed ökad risk för läckage ur tätningsslangarna. En stabilare och enklare utformning av dimensionsövergångarna bör tas fram.

Dagvattenflödet erhålls från en helt öppnad brandpostventil, vilket normalt resulterar i ca 10-15 l/s. Flödet mäts noggrant på brandposthuvudet, fig. 2.7. Vid behov av större flöden kan om möjligt flera brandposter utnyttjas.

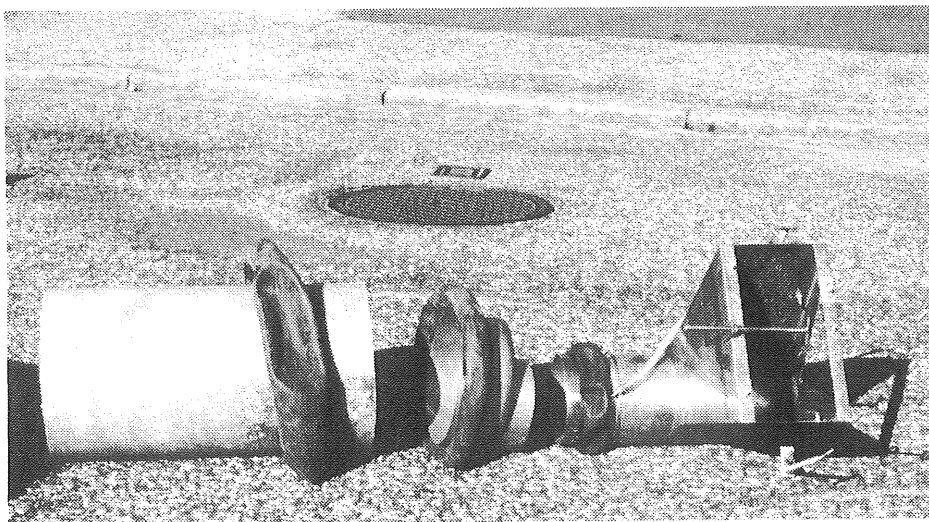


Fig. 2.6 Provisoriskt adaptersystem (ej att rekommendera) för anpassning av ett mätöverfall till olika dimensioner.

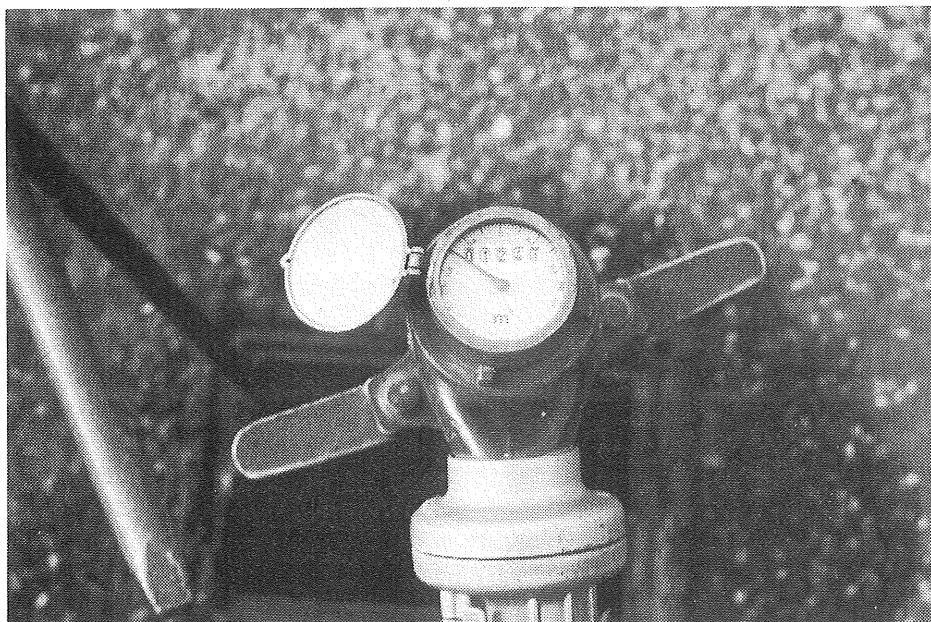


Fig. 2.7 Brandpostflödet kan mätas noggrant genom avläsning av en vattenmätare monterad på brandposten.

Vattendjupet vid mätöverfallet mäts då vattennivån stabiliserats. Eftersom flödet är konstant kan vattendjupet enkelt mätas med spetsmätare (noggrant mekaniskt nivåmättningsinstrument). Noggrannheten beror i första hand på rätt mätt nollnivå, korrekt avbördningssamband, helt täta gummimanschetter samt att lämplig utformning av överfallet valts.

Denna typ av utläkningsmätning aktualiserades först i slutet av projektets fältperiod. Därför valdes ett redan framtaget och kalibrerat triangulärt överfall. Den triangulära formen på överfallet innebär att en viss flödesförändring vid låga fyllnadshöjder resulterar i större nivåskillnader än vid höga fyllnadshöjder.

Den här aktuella frågan är emellertid att avgöra om utläckning förekommer, dvs differensen mellan brandpostflöde och överfallsflöde. Därför bör man använda ett överfall som ger bäst noggrannhet i intervallet 10-15 l/s. Bästa noggrannheten erhålls om nivåförändringarna för en given flödesförändring är så stor som möjligt i det eftersträlvade mätintervallet. I denna tillämpning hade därför ett rektangulärt överfall varit att föredra med en max. kapacitet av ca 15 l/s.

2.4.2 Besiktning med avloppsperiskop

Nyttig information kan erhållas genom besiktning av brunnar. Än mer information kan erhållas om även ledningarna kan inspekteras. Den bästa informationen erhålls med inre inspektion med TV- eller sekvensfilmning.

Det är av ekonomiska skäl svårt att i de här diskuterade sammanhangen ständigt ha tillgång till dylik utrustning och personal. Vi utvecklade därför ett enkelt avloppsperiskop, bestående av en spegel och halogenlampa, som visat sig vara mycket användbart (fig. 2.8). Avloppsperiskopets begränsningar beror främst på att inspektionen utförs från nedstigningsbrunnar. Sikt-längden begränsas då av bl a avvinklingar i sid- och höj-led. Vid gynnsamma förhållanden kan en relativt god besiktning utföras ca 10 m in i en 225 mm:s avloppsledning. Möjligheten till att på långt avstånd upptäcka olika fel påverkas också av storleken på det som skall observeras. En beskrivning av avloppsperiskopets utformning, möjligheter och begränsningar ges av Bäckman et al, 1984.

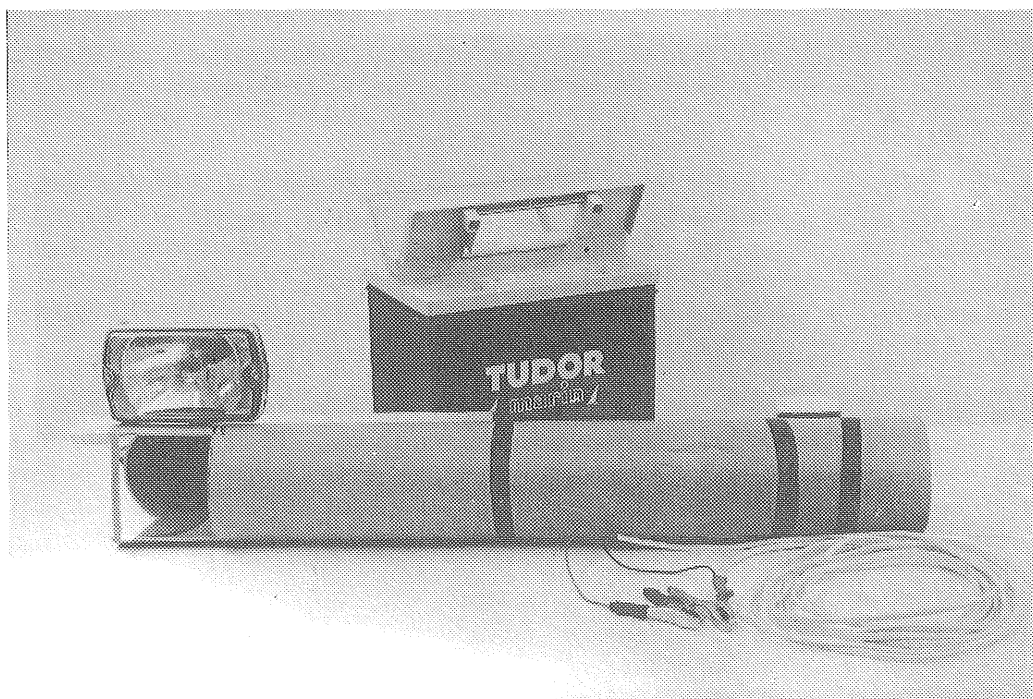


Foto: Thomas Eriksson

Fig. 2.8 Fotografi av avloppsperiskopet.

Om kraftig överläckning konstaterats men sektionen/sektionerna ej kunnat fastställas kan det vara väl motiverat att vid senare tillfälle utföra en inre inspektion med TV- eller sekvensfilmning. Filmningen skall då ske under samtidig spolning av brandpostvatten. Detta förfarande har emellertid ej använts i de här redovisade försöken.

2.4.3 Mätning av överläckningsflöde genom kontinuerlig spolning i dagvattenledningen.

Mätsträckor om 1-5 brunnsavstånd väljs där misstanke om överläckning föreligger. En skiss över mätförfarandet framgår i fig. 2.9. Valet av mätsträckans längd påverkas av vad som framkommit vid tidigare utförda undersökningar samt vilken ambitionsnivå man satt upp. Kortare avstånd medför högre specifik undersökningskostnad (kr/m) men man erhåller en tydligare bild av överläckningsflödenas fördelning längs en ledning.

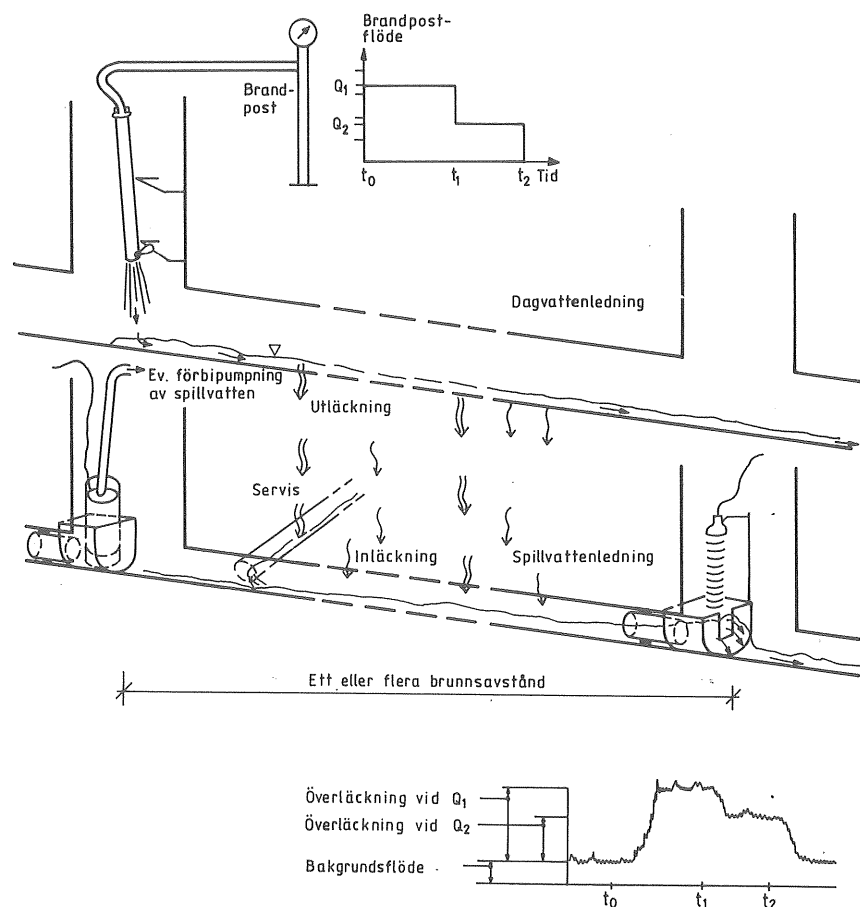


Fig. 2.9 Skiss över mätuppställning vid överläckagemätning genom kontinuerlig spolning i dagvattenledning och samtidig kontinuerlig mätning av spillvattenflödet med litet rektangulärt överfall och ekolod.

Det första arbetsmomentet är att installera flödesmätningstrustningen i den nederst belägna spillvattenbrunnen. Det är viktigt att flödesvariationen kan följas noggrant och kontinuerligt så att man kan särskilja kortvariga flödestoppar, exempelvis wc-spolningar och eventuella förändringar i spillvattenflödet som beror på en brandpostspolning i dagvattenledningen. Detta uppnås genom att använda en lämplig storlek av mätträna eller mätöverfall i kombination med exempelvis ett ekolod och skrivare.

Den mest användbara mätutrustningen för detta ändamål befanns vara ett överfall med utbytbar front som installeras i inkommande spillvattenledning, fig. 2.10. Fördelarna består i:

- * Den utbytbara fronten medför att mätområdet kan ändras utan att man behöver montera bort mätutrustningen.
- * Mätstosen monteras i inkommande ledning varigenom olika inkommande grenar kan mätas separat, brunnsbotten är torr och gummimanschettens tätning kan lätt kontrolleras.

En nackdel är att det är svårt att samtidigt besiktiga spillvattenledningen uppströms mätbrunnen. Detta kan man göra om en portabel Palmer-Bowlus mätträna används, fig. 2.11, eftersom denna installeras i brunnens utloppsledning. Emellertid kan även här svårigheter föreligga att okulärbesiktiga i motströms riktning om dämningshöjden på grund av mättrännans installation är stor i förhållande till ledningens diameter.

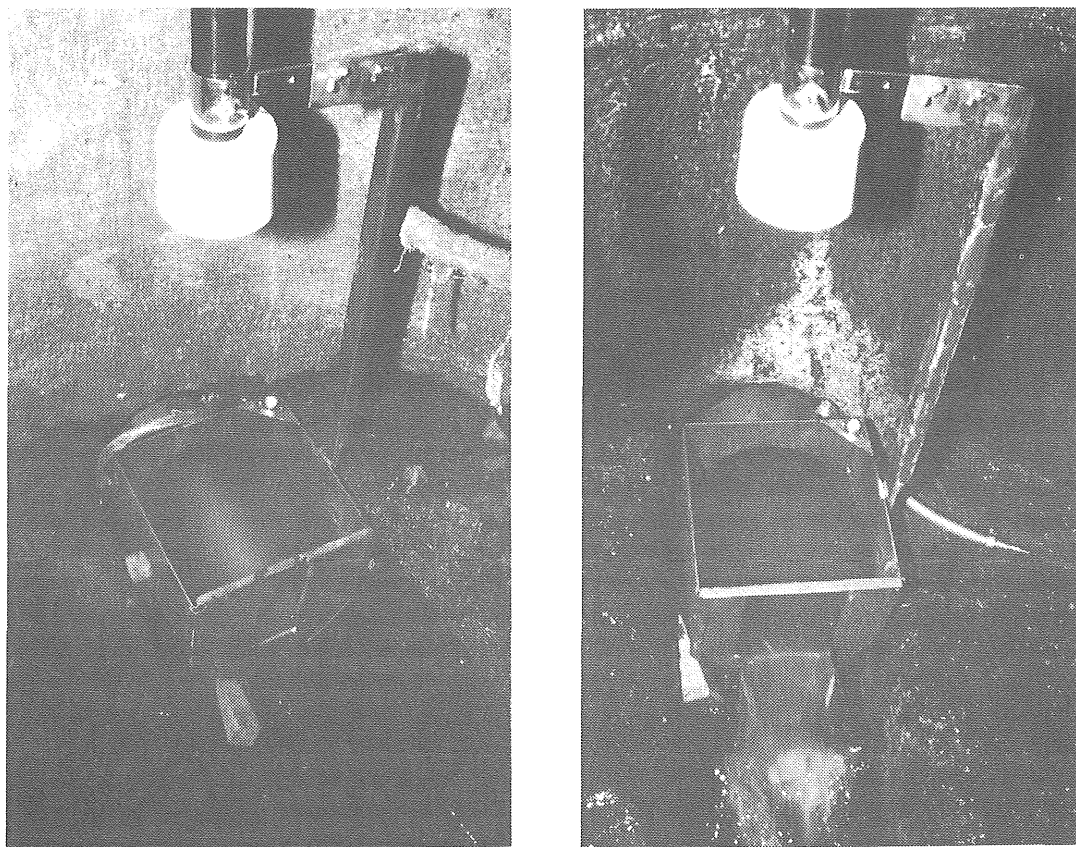


Fig. 2.10 Mätstos med utbytbart rektangulärt överfall, max. kapacitet ca 4 l/s (t.v.) och max. kapacitet ca 9 l/s (t.h.). Nivåmätning med ekolod.

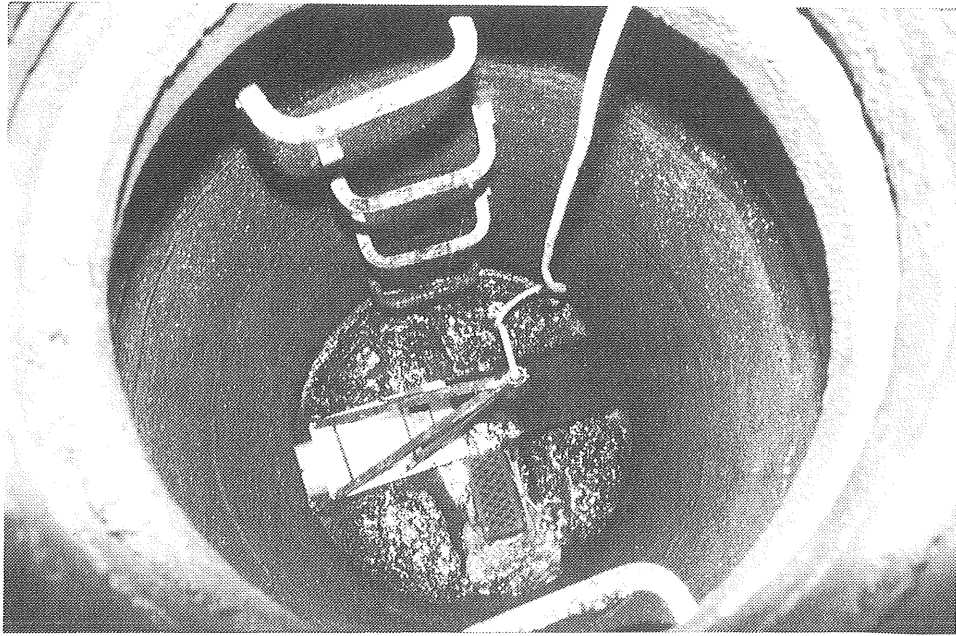


Fig. 2.11 Palmer-Bowlus mätträna, PB-6, max. kapacitet ca 10 l/s.

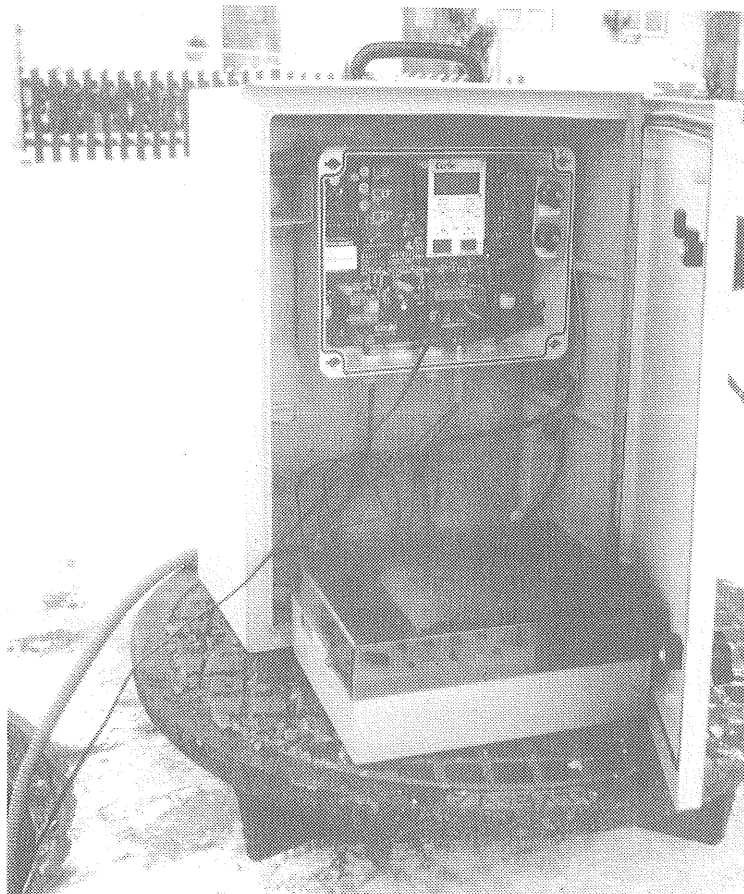


Fig. 2.12 Mätlåda med elektronik för omvandling av ekolodsignal till nivå samt skrivare för kontinuerlig registrering av nivåförändringar.



Fig. 2.13 Brandslangar leder vattnet från brandposten till dagvattenbrunnen.

Det bakgrundsflöde enligt fig. 2.9 som registreras innan spolningen av brandpostvatten består av spillvatten, eventuellt konstant inkommande dräneringsvatten och grundvatten. Om man befinner sig långt upp i ledningsnätet är flödet i spillvattenledningen ofta lågt under torrväder. I det fall flödet är så stort att effekten av ett överläckningsflöde troligen ej kan särskiljas måste bakgrundsflödet i spillvattenledningen sänkas, vilket kan göras genom att spillvattnet pumpas förbi mätsträckan.

Bakgrundsflödesvariationerna mäts under 10-20 min. Denna tid kan utnyttjas till att installera brandposthuvud och slangar till uppströms dagvattenbrunn.

Brandpostventilen öppnas helt och ett eventuellt ökat flöde i spillvattenledningen registreras. Ökningen i spillvattenflödet kommer vid grova överläckagesituationer mer eller mindre direkt om rinntiden räknas bort. Beroende på de geohydrologiska förhållandena kan dock längre tid krävas om man först måste fylla upp ett lokalt grundvattenmagasin. Om ingen ökning noterats efter ca 20 min kan mätningen normalt avbrytas. Längre tid kan motiveras om man vet från tidigare mätningar att dagvatten läcker ut, möjligheter till lokala grundvattenmagasin föreligger eller att mätsträckan är mycket lång.



Fig. 2.14 Ett tungt järnrörsmunstycke håller slangen kvar i brunnen. Vid högre flöden måste munstycket säkras mot stegring.

Om spolningen av brandpostvatten i dagvattenledningen resulterar i ett klart ökande spillvattenflöde inväntas jämviktsläget. Spolningen bör fortgå så att variationer i bakgrundsflödet exempelvis från toalettspolningar med viss säkerhet kan utläsas. Underlag för detta brukar föreligga efter ca 20 min. Det är viktigt att ha regelbunden tillsyn av dessa små överfall då toalettpapper kan fastna. Detta resulterar i en dämnd yta och en felaktigt registrerad flödesökning.

Tiden för denna första brandpostspolning brukar ofta bli upp mot ca 25-30 min eller längre i fall kompletterande okulärbesiktningar av mätsträckans spillvattenbrunnar utförs.

Om man önskar undersöka överläckningen vid olika flöden strypps brandpostventilen så att flödet ungefär halveras och nytt jämviktsläge inväntas, normalt max. 5-10 min. Om ingen nämnvärd reduktion av flödet i spillvattenledningen kan noteras innebär detta att det föreligger en begränsande sektion för överläckningsflödet redan vid låga dagvattenflöden. Detta kan vara nyttig information vid utvärderingen av överläckningsundersökningen, se vidare kap. 4.

För att underlätta utvärderingen och dokumentationen av mätningen bör alla förändringar i brandpostflöden eller annan information markeras på skrivaren.



Fig. 2.15 Överläckningsflöden tränger in i otät brunn och brunnsanslutning. (Sträcka nr 323, kap. 3.4.3)

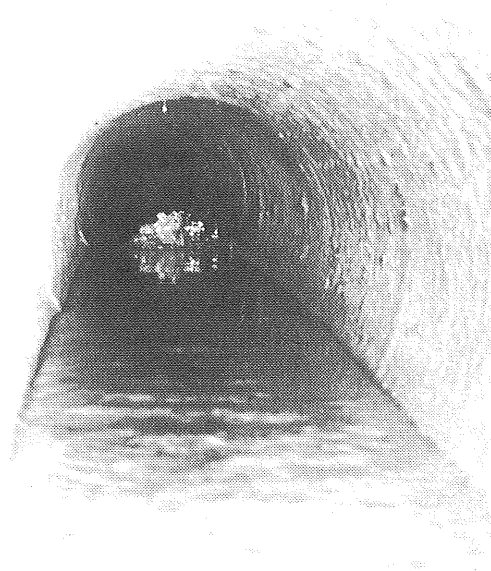


Fig. 2.16 Överläckningsflöde tränger upp i botten på en rörfog.
(Sträcka nr 102, kap 3.4.1)

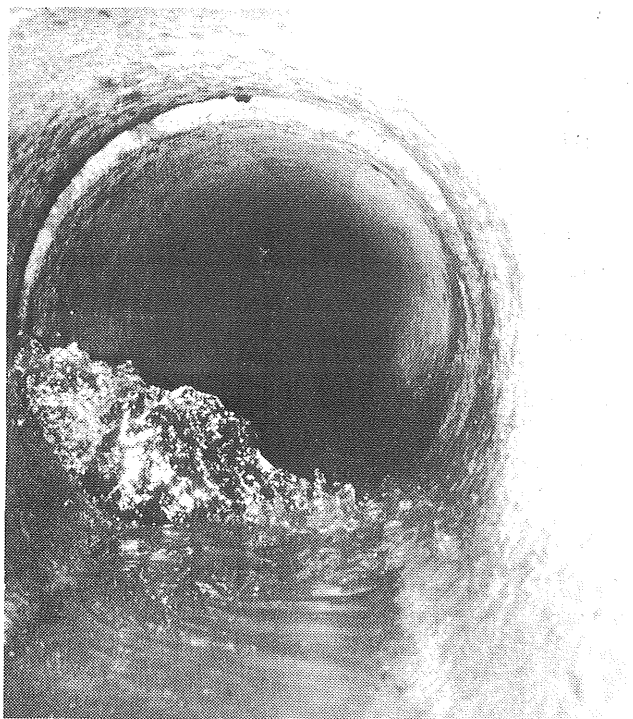


Fig. 2.17 Överläckningsflöde tränger in genom otät fog. (Sträck-
ka nr 115. del av nr 111. kap 3.4.1)

Slutligen stängs brandposten. Under tiden som brandslangarna rullas ihop bör flödesregistreringen fortsätta. Avklingningstiden för överläckningen ger en viss uppfattning om överläckningens karaktär. Vanliga avklingningstider under försöken var max. ca 15-25 min, vilket motsvarar ungefär rinntiden samt tiden för tömning av en uppdämd volym i spillvattenledningen genom ett litet mätöverfall. Man får också en ökad säkerhet i bedömningen av bakgrundsflödet om spillvattenflödet snabbt återgår efter brandpoststängningen till den nivå som fanns innan spolningens start. Några exempel på överläckningsmätningens tidsförlopp ges i figur 3.7 och 3.13.

Omvandlingen av höjd över överfallet till flöde görs med en till överfallet framtagen avbördningsformel på formen:

$$Q = A \cdot H^B$$

där

A och B är konstanter

H = höjd över överfallskant

Q = uppmätt flöde.

Avbördningsformlerna har framtagits genom kalibrering av mätöverfallen och mätrännan i en laboratorieanläggning vid Inst. för VA-teknik, CTH. Kalibreringskurvor och de olika avbördningsformlerna redovisas i bilaga 3.

Överläckningen för resp brandpostflöde erhålls då motsvarande spillvattenflöde minskats med bakgrundsflödet.

2.4.4 Mätning av överläckning genom dämning i dagvattenledningen

En överläckningsmätning vid större fyllnadshöjd i dagvattenledningen än vad som erhålls av spolning från en brandpost kan vara intressant att utföra om misstanke föreligger att överläckningen först börjar eller kraftigt ökar vid större fyllnadshöjder.

Om en strömning genom en otäthet förutsätts ha en fri utströmning ökar den vid ökad fyllnadshöjd. Teoretiskt kan flödet från en stillastående vattenvolym genom en begränsande sektion med konstant area beskrivas på formen:

$$Q = \text{konstant} \cdot \sqrt{H}$$

där

H = vattendjupet

Q = flödet genom hålet, se fig. 2.18.

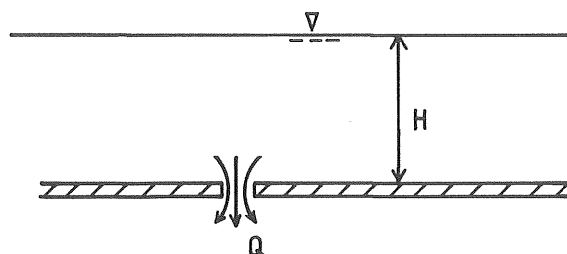


Fig. 2.18 Flöde genom hålighet med konstant tvärsnittsarea.

Teoretiskt sett så gäller formeln oavsett var den begränsande sektionen är belägen. Vattendjupet, H är däremot direkt bestämt av var den begränsande sektionen finns. I praktiken går det emellertid ej att med rimliga insatser avgöra om den begränsande sektionen ligger vid dag-, spillvattenledningen eller mellan dessa. Formeln gäller endast under förutsättning att strömningen i kringfyllningen är turbulent.

I praktiken är det också omöjligt att veta hur en otäthet i en fog fördelar sig, dvs om den för överläckningsflödet begränsande sektionen har en konstant area eller om arean ökas då vattendjupet ökar. Är fogmaterialet borta runt hela eller bara i delar av rörfogen? Om en fog observeras med "inhängande gummiring" kan fördelningen bättre uppskattas, eftersom detta innebär att gummiringen som skall tätta fogen endast delvis finns på plats.

Ytterligare svårigheter vid försök till teoretiska betraktelser är att en ökad utläckning ur dagvattenledningen ej behöver innebära en ökning i överläckningen om dagvattnet finner andra vägar i marken.

Ett större vattendjup kan erhållas genom proppning och uppfyllning i dagvattenledningen. Denna metod har dock flera praktiska begränsningar.

Den undersökta ledningslängden blir normalt relativt kort. Härigenom ökar den specifika undersökningskostnaden. Undersökningslängden (=dämningslängd) varierar dessutom för olika fyllnadshöjder.

Ju större lutning dagvattenledningen har desto kortare blir dämningslängden för samma tillåtna dämningsdjup i nedströms änden. Dämningslängden kan enkelt beräknas enligt formeln

$$DL = (H/I) \cdot 1000$$

där

DL = dämningslängd (meter)

H = dämningsdjup över vattengång i nedströms ände (meter)

I = ledningens lutning (‰)

Exempelvis blir dämningslängden, om dämning tillåts till hjässan i en 400 mm:s dagvattenledning, 80 eller 40 meter för en ledningslutning på 5 resp. 10 ‰.

Om överläckningsmätning utförs genom proppning och dämning i dagvattenledningen för att undersöka överläckningen vid högre fyllnadshöjder föreligger problem vid utvärderingen eftersom man ej vet var överläckningspunkterna är belägna eller hur de är fördelade. Dessa utvärderingsproblemen beskrivs i fig. 2.19, där 3 punktvisa överläckningssektioner är utritade (Q_1 , Q_2 , Q_3).

En kraftig ökning av flödet i spillvattenledningen vid en ökning av fyllnadshöjden från H_1 till H_2 kan förutom en ökning av Q_1 också bero på att överläckningsvatten nu även kommer från sektion 2.

Den överläckning som kan ske i överläckningssektion 3, Q_3 , missas i detta exempel helt eftersom den här maximala dämningshöjden, H_2 , och ledningslutningen ej möjliggör en dämning ända hit. Än värre är fallet om överläckning endast tänks förekomma i sektion 3.

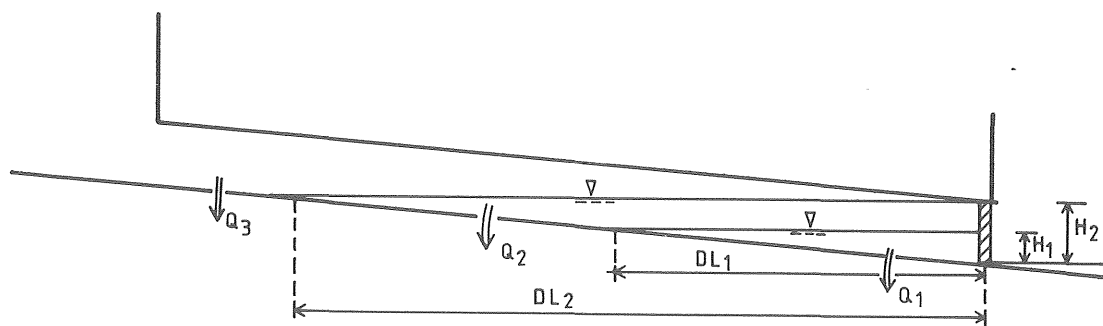


Fig. 2.19 Profil av dagvattenledning med 3 tänkta överläckningssituationer.

I detta projekt har även överläckningsmätning genom dämning utförts som några isolerade försök att jämföra metoderna med proppning resp. spolning i dagvattenledningen. De använda propparna, exempel fig. 2.20, var enkelt utformade men ej tillräckligt säkrade mot uttryckning. De här använda propparna bestod av en tunn cirkulär plåtskiva med falsar i periferin så att tätningsslang kunde ligga kvar. Det är ur arbetsskyddssynpunkt viktigt att uttryckning av proppen ej kan ske, särskilt vid stora uppdämda vattenvolymer. Dessutom måste de utformas så att avtappningen kan ske på ett säkert och snabbt sätt.

Om överläckningsmätningen utförs genom proppning kan det vara lämpligt att börja uppströms och efter en avslutad mätning i en sträcka släppa vattnet vidare till en nedströms installerad propp. Detta förutsätter att propparna tål den påfrestning som uppstår då vattnet återigen skall stanna upp vid den nya proppen. Detta förfarande med att effektivisera mätningarna genom att successivt släppa vattnet vidare från en proppning till en annan har ej prövats i dessa försök.

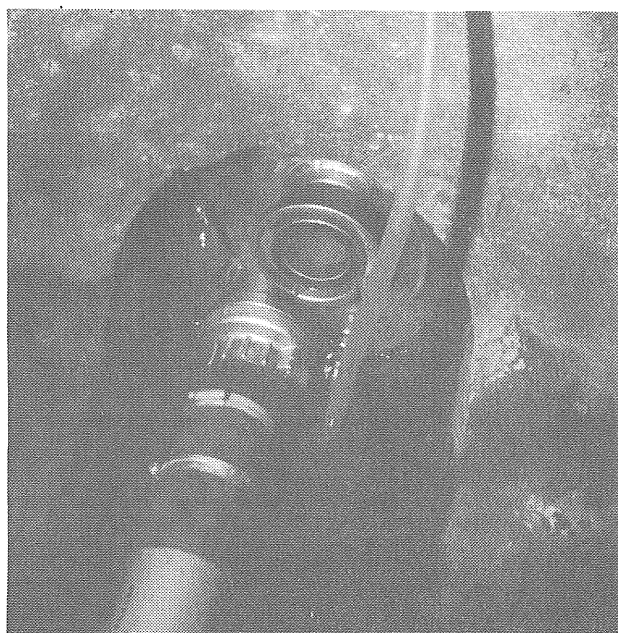


Fig. 2.20 Proppning i dagvattenledning och påfyllning av brandpostvatten. Klena proppar, ej att rekommendera.

2.4.5 Uppskattad undersökningskostnad

Vid strategisk planering av ledningsundersökningar är det lika viktigt att veta kostnaderna för olika metoder som att känna metodernas tekniska förtjänster och begränsningar.

För att kunna jämföra kostnaderna vid överläckningsundersökningar med andra undersökningsmetoder görs nedan en grov kostnadsuppskattning. Kostnadsuppskattningarna är gjorda för undersökningstillfällen där det mesta fungerat normalt. Samordningsvinster kan göras om exempelvis flera mätsträckor har gemensam utloppsbrunn. Mätningarna kan säkert också effektiviseras med ökad rutin, mer målinriktade undersökningar samt viss förbättring av material.

Undersökningarna kan lätt drabbas av kraftiga kostnadsökningar om mätningarna ej kan utföras som planerat. Orsakerna kan då vara:

- * Brandpostventilen är ur funktion, går ej att få upp eller går ej att stänga.
- * Svårigheter att få upp vissa typer av brunnslock.
- * Nederbörd - Mätningarna måste utföras under torrväder.
- * Ledningskartverket är felaktigt.
- * Någon outhärlig utrustningsdetalj har glömts hemma.
- * Problem med instrument eller utrustning.
- * Nedstigningsbrunnarna är belägna i starkt trafikerade gata, vilket kräver att speciella åtgärder vidtas.
- * Allmänt - oförutsebara överraskningar.



Fig. 2.21 Vissa typer av brunnslock kan bjuda hårt motstånd. Här är förhållandena extra besvärliga till följd av minusgrader.

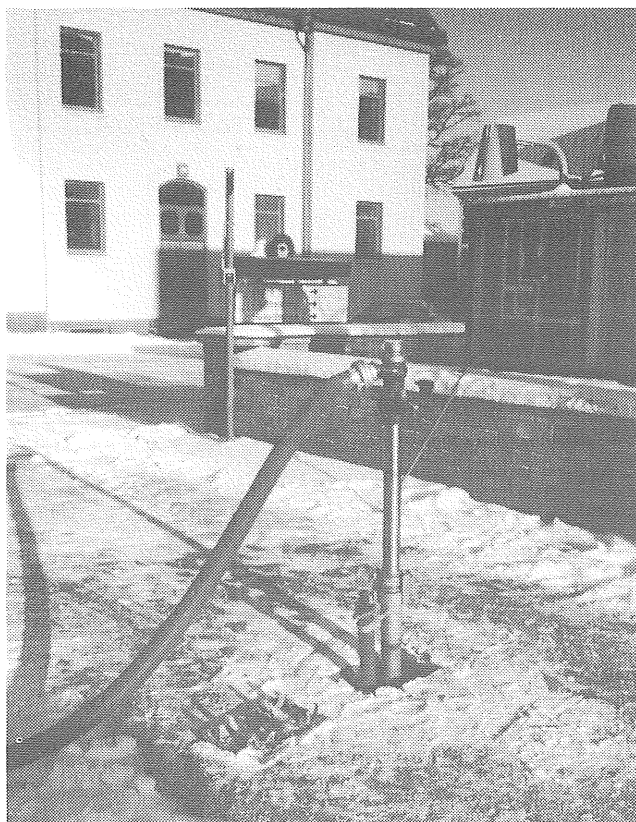


Fig. 2.22 "Teleskopbrandpost" där muttrarna ej dragits åt tillräckligt, vilket innebar att brandposthuvudet steg upp över marken då vattentrycket släpptes på och ventilen kunde ej nås med vår ventilstängare.

Den specifika undersökningskostnaden, dvs undersökningskostnad per meter undersökt ledning, (kr/m) för överläckningsmätningar påverkas i hög grad av:

- * ambitionsnivån - vad skall mätas, undersökas och dokumenteras samt vilken mätnoggrannhet som eftersträvas
- * mätsträckans längd.

Överläckningsmätningarna kräver måttliga investeringar i instrument och annan utrustning. Den största kostnaden utgörs därför av arbetstidskostnad. I kostnadsuppskattningarna nedan har följande förutsättningar valts:

- | | |
|---------------------------|----------|
| * 2 man à 150 kr/h | 300 kr/h |
| * Avskrivning av material | 50 kr/h |
| Totalt (1984 års priser) | 350 kr/h |
- * Restid och reskostnad är ej inräknade - kan normalt fördelas på flera mätsträckor.
 - * Kostnad för utvärdering, dokumentation och åtgärdsdiskussion tillkommer.

Materialkostnaden är grovt tilltagen då den verkliga kostnaden bl a beror på utnyttjandetiden under ett år samt av den arbets-

mässiga standarden. Av projekt-ekonomiska skäl valdes i vår undersökning att utnyttja en redan anskaffad släpvagn, fig. 2.23, och en personbil. Vid mer omfattande fältmätningar är dessa primitiva förhållanden ej att rekommendera. Materialkostnaden kan därvid bli högre, men kan också kompenseras genom en bättre effektivitet.

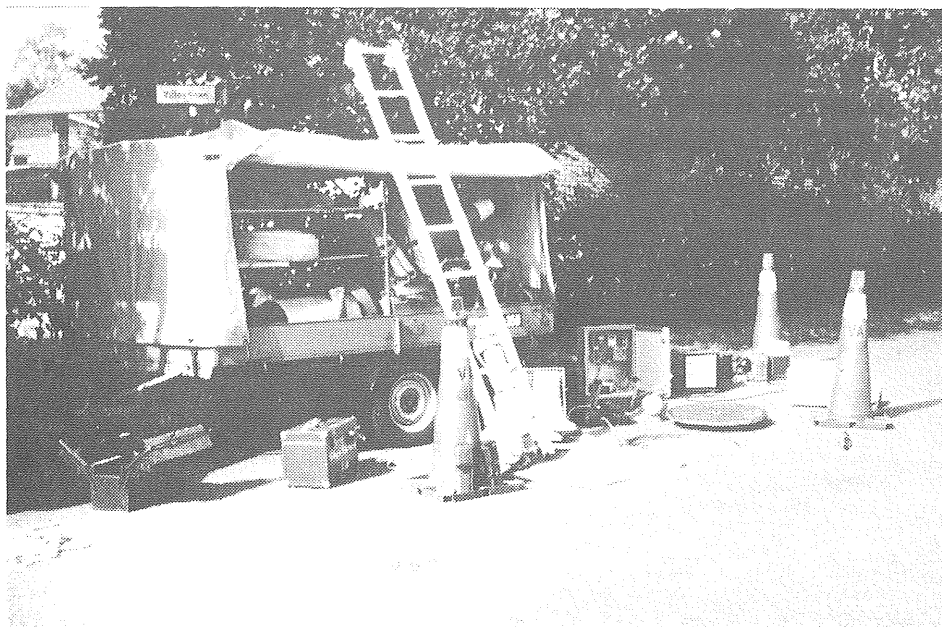


Fig. 2.23 Släpvagn för transport av instrument och kringutrustning.

Tidsåtgången för olika isolerade delmoment har för vältränad personal grovt uppskattats enligt följande:

- * Etablering på platsen och installation av mätöverfall:
20 min 2 man
- * Intrimning av ekolod för kontinuerlig flödesregistrering:
5 min 2 man
- * Installation av brandposthuvud och brandslang:
10-20 min 1 man
- * Grov inspektion med avloppsperiskop från nedstigningsbrunn, inkl gångtid. Per brunn: 5-10 min 2 man
- * Nedmontering och hopsamling av utrustning:
20 min 2 man

Därtill kommer väntetid för själva försöket, såvida olika moment ej kan utföras parallellt.

Som stöd vid uppskattningen av undersökningskostnaderna enligt fig. 2.24-2.26 har även den totala tidsåtgången hämtats från de i kap. 3 redovisade försöken. Tidsåtgången har då enkelt kunnat utläsas från tidsangivelserna på skrivarremssorna för registrering av ekolodssignal.

Uppskattad kostnad för mätning av utläckning ur dagvattenledningar

Utläckningsmätning ur dagvattenledningar används i första hand för att "friskförklara" ledningssträckor. En "friskförklaring" kan göras utan inspektion av mellanliggande brunnar. Om dagvatten befinns försvinna ut ur ledningen bör mellanliggande spillvattenbrunnar okulärbesiktigas med avloppsperiskop. Vid beräkning av inspektionskostnad har brunnsavstånden satts till 60 m.

Som framgår av fig. 2.24 bör relativt långa avstånd väljas om metoden används för att dirigera de efterföljande mätmetoderna.

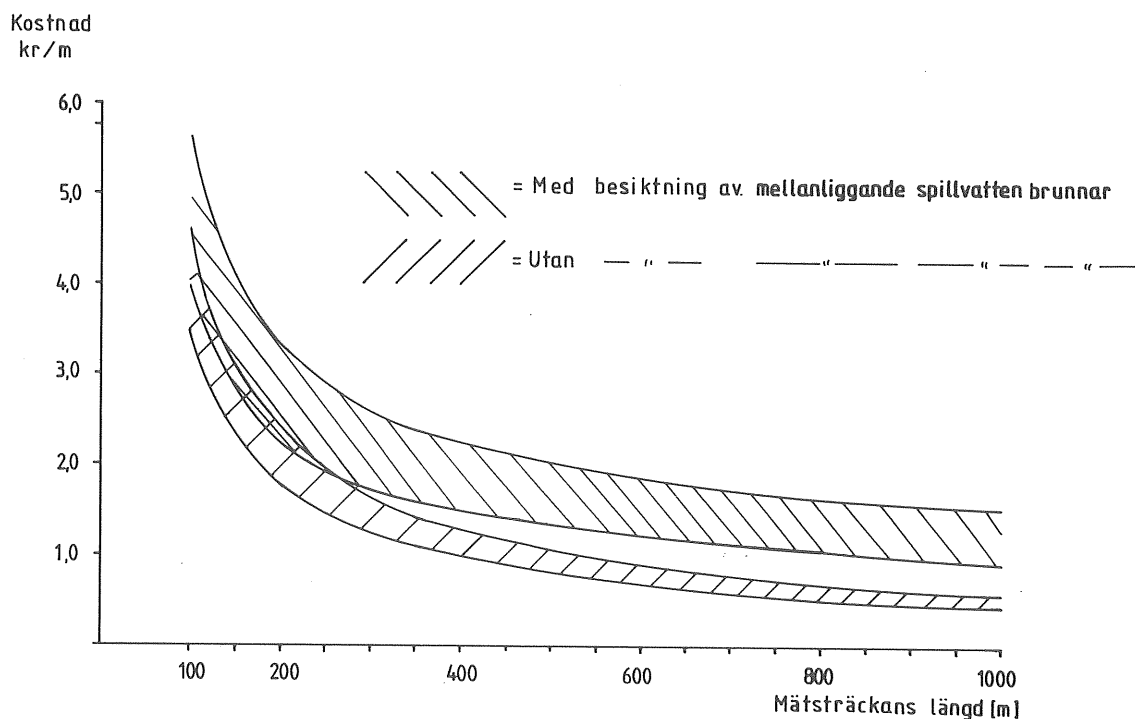


Fig. 2.24 Uppskattad specifik undersökningskostnad för mätning av utläckning ur dagvattenledning som funktion av mätsträckans längd enligt kap. 2.4.1. Besiktning utförs med avloppsperiskop. (Beräknat på total timkostnad av 350 kr för 2 personer, exkl restid, utvärdering etc.)

Uppskattad kostnad för överläckningsmätning genom kontinuerlig spolning från brandpost och samtidig mätning av spillvattenflöde

Den uppskattade specifika kostnaden för överläckningsmätning genom kontinuerlig spolning av brandpostvatten och samtidig noggrann mätning av spillvattenflödet framgår i fig. 2.25. Tidkostnaden för installation av pump och slangar för en eventuell förbipumpning av spillvatten är ej medräknade. Figuren gäller således i första hand för lågbelastade ledningsnät relativt långt upp i ledningsnäten.

Kostnaden påverkas också av överläckningsflödets rinntid samt av om flera försök med olika brandpostflöden utförs i samma sträcka.

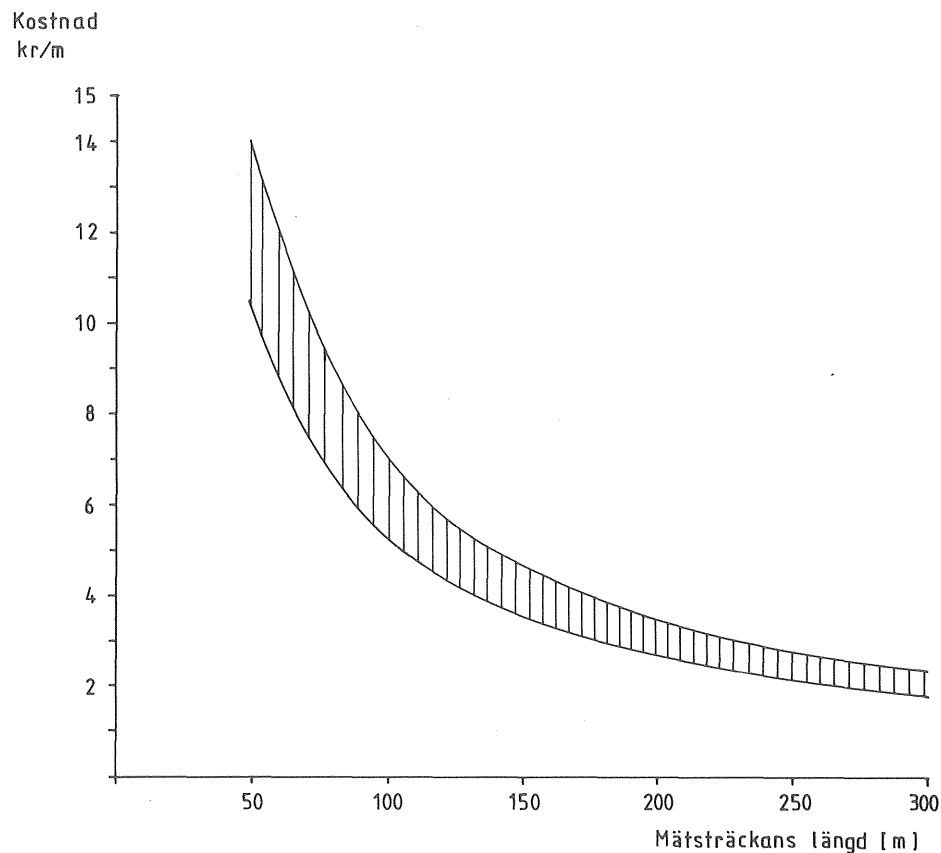


Fig. 2.25 Uppskattad specifik kostnad för överläckningsmätning genom kontinuerlig spolning av brandpostvatten och samtidig mätning av spillvattenflödet enligt kap. 2.4.3 som funktion av mätsträckans längd. (Beräknad på total timkostnad av 350 kr för 2 personer exkl restid, utvärdering, etc.)

Kostnad för överläckningsmätning genom dämning och samtidig mätning av spillvattenflöde

Den specifika kostnaden (kr/m) är här svår att uppskatta då undersökningslängden beror på vald dämningshöjd och ledningslutning. För stora dimensioner och svaga lutningar måste även fyllnadstiden av brandpostvatten beaktas. Fig. 2.26 får antas gälla för förhållanden då fyllnadstiden ej är dominerande.

Om flera dämningshöjder önskas studeras ökar tidsåtgången.

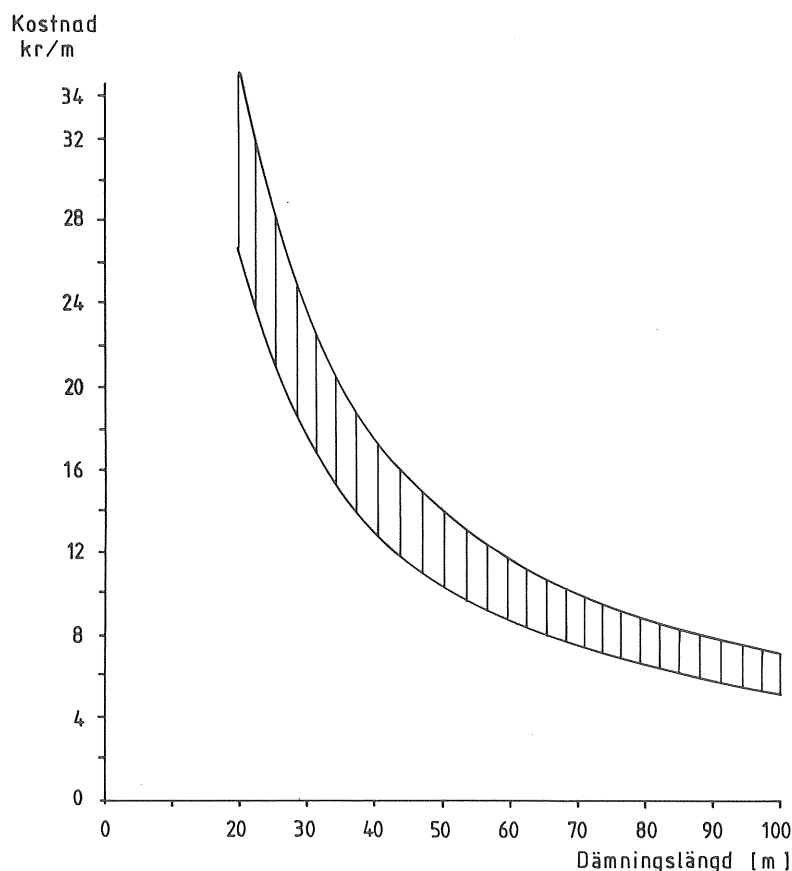


Fig. 2.26 Uppskattad specifik undersökningskostnad för överläckningsmätning genom dämning i dagvattenledning och samtidig mätning av spillvattenflöde, enligt kap. 2.2.5, som funktion av dämningens längd. (Beräknat på total timkostnad av 350 kr för 2 personer, exkl restid, utvärdering, etc.)

Kostnad för brandpostvatten

Kostnaden för brandpostspolning är normalt liten. Om en brandpost antas leverera 10 l/s under en timme har 36 m³ använts. Med en marginalkostnad för en kubikmeter vatten av säg 20 öre erhålls en kostnad av drygt 7 kr per timme brandpostspolning.

Kostnaden kan dessutom uppvägas av att vattenledningsnätet får en många gånger välbehövlig urspolning av järnhaltigt och grumligt vatten.

2.5 Andra metoder för överläckningsstudier - kortfattad litteraturgenomgång

I litteraturen finns många olika varianter föreslagna samt mer eller mindre ingående beskrivna (Baugh, 1964; EPA, 1971, 1977; VAV, 1978; Dahl, 1980; WPCF, 1983; Peterson, 1984).

Vid värderingar av i litteraturen framförda synpunkter på olika undersökningsmetoders lämplighet måste man känna vilka syften och tillämpningsnivåer som är kopplade till metodbeskrivningarna. Syftena kan variera beroende på hur en överläckningsmätning tänkts användas i förhållande till andra undersökningsmetoder. Stora skillnader kan också föreligga mellan olika länder beroende på att andra va-tekniska lösningar används eller att skillnader av mer administrativ art föreligger, exempelvis de miljövårdande myndigheternas ageranden.

Att klarlägga dessa förhållanden kan vara svårt, särskilt då det vanligen saknas kritiska genomgångar av olika metoders förtjänster, begränsningar, kostnader, utvärderingsmöjligheter och kopplingar till andra metoder.

De i litteraturen diskuterade metoderna kan beskrivas uppdelat i 3 steg. Många olika kombinationer kan därefter väljas.

- 1) Simuleringen av dagvattenflöden kan göras genom kontinuerlig spolning eller proppning och uppfyllning av vatten från vanligtvis brandpost men även från tankbil.
- 2) Eventuellt kan spårämnen tillsättas, exempelvis färg eller radioaktiva nuklider.
- 3) Dagvattenöverläckningen kan lokaliseras och uppskattas genom okulärbesiktning från brunnar, inre inspektion med TV- eller sekvensfilmning, flödesmätning eller med hjälp av detektorer vid användning av radioaktiva nuklider.

Nedan diskuteras endast några metoder som kan utgöra alternativ eller kompletteringar till de under kap. 2.4 redovisade metoderna.

Spolning från brandpost till dagvattenledning och samtidigt inre inspektion med TV- eller sekvensfilmning av spillvattenledningen kan utgöra ett alternativ till den noggranna flödesmätningen i kap. 2.4.3. Metoden kan användas då man är mest intresserad av en noggrann bestämning av de eventuella överläckningssektionernas lägen. Överläckningsflödet kan då uppskattas okulärt.

En annan väg att utnyttja inre inspektionsmetoder är att först mäta enligt kap. 2.4.3 i relativt långa sträckor och om ett överläckningsflöde uppmätts och bedömts som oacceptabelt därefter dirigera den inre inspektionen till de sträckor som är misstänkta. För denna dirigering kan avloppsperiskopet vara ett nyttigt hjälpmedel.

En annan intressant metod som prövats i Norge (Dahl, 1980) är olika varianter av mätningar med radioaktiva nuklider. Dessa har använts för att spåra överläckning från den i Norge vanligtvis överst belägna spillvattenledningen till den nederst belägna dagvattenledningen.

Med tanke på att specialutbildad personal behöver anlitas vid mätningar med radioaktiva nuklider torde det vara viktigt att långa undersökningssträckor kan väljas så att den specifika undersökningskostnaden (kr/m) kan hållas nere.

3. UPPMÄTTA ÖVERLÄCKNINGSFLODEN I NÅGRA OLIKA AVLOPPSNÄT.

3.1 Val av mätsträckor

De här redovisade fältmätningarna har utförts med syfte att påvisa och kvantifiera överläckningsflöden från kommunal dagvattenledning till kommunal spillvattenledning under några olika geohydrologiska förutsättningar.

Sedan lång tid har det varit känt att överläckningen kan vara betydande i duplikata avloppsnät. Däremot är kunskapen sämre om överläckningens mera allmänna förekomst. Tidsförloppet har också varit otillräckligt beskrivet eller undersökt då utläckande dagvatten transporteras i ledningsgraven till spillvattenledningen, speciellt om kringfyllningsmaterialets vattengenomsläpplighet bedöms vara relativt låg.

För att studera en eventuell överläckning under olika geohydrologiska förutsättningar valdes att utföra mätningarna i tre kommuner, Göteborgs, Borås och Växjö kommun. Ett antal mätsträckor skulle väljas slumpmässigt inom relativt små områden som redan konstaterats vara kraftigt belastade med nederbördsavhängig inläckning, men orsakerna till inläckningen däremot ej varit kartlagda.

I Göteborgs kommun har flödesmätningar i avloppsledningsnäten systematiskt utförts sedan ca 1979. Två områden, Högsbo och Järnbrott utvaldes på grundval av dessa. Då mätsträckorna skulle väljas i Borås och Växjö kommun startade resp. pågick saneringsplanearbete där saneringsplanernas främsta mål var att reducera oacceptabla volymer av inläckande grundvatten. Detta innebar att kommunernas mätresurser endast i begränsad omfattning inriktats mot att spåra nederbördsavhängig inläckning. Härav blev underlaget för valet av mätsträckor mer osäkert än vad som ursprungligen var tänkt. Därför valdes i första hand äldre duplikata avloppsnät där förutsättningarna för överläckning bedömdes vara störst, bl a beroende på att ledningarna fogats med äldre typer av fogmaterial och ej med gummiringar.

Sjöboområdet i Borås valdes däremot eftersom översvämningssproblem rapporterats i det duplikata spillvattensystemet under mycket kraftiga regn.

3.2 Diskussion om presentations- och bearbetningsmöjligheter

Efter en överläckningsmätning genom kontinuerlig spolning i dagvattenledningen och samtidig noggrann mätning av spillvattenflödet (kap. 2.3.4) föreligger ett mätresultat i form av uppmätta överläckningsflöden och motsvarande brandpostflöden. Mätresultaten kan presenteras på många sätt. I denna rapport redovisas överläckningsmätningarna från de olika mätsträckorna i 4 olika parallella diagram.

Diagram 1: Stapeldiagram över nedspolat flöde från brandpost i l/s till dagvattenledningen och därav återfunnet flöde i spillvattenledningen.

Diagram 2: Stapeldiagram över uppmätt överläckning till spillvattenledningen i procent av nedspolat flöde i dagvattenledningen.

Diagram 3: Diagram över uppmätt överläckning till spillvattenledningen i l/s som funktion av nedspolat flöde i l/s till dagvattenledningen.

Diagram 4: Diagram över uppmätt överläckning till spillvattenledningen i l/s som funktion av ett teoretiskt beräknat vattendjup i dagvattenledningen genererat av nedspolat flöde till dagvattenledningen.

Ett överläckningsflöde ökar med ökat vattendjup i dagvattenledningen. Från teoretisk synvinkel kan det därför vid jämförelse mellan olika sträckor vara riktigare att upprita överläckningen som funktion av vattendjupet i dagvattenledningen, enligt diagram 4, än mot flödet, enligt diagram 3 eftersom samma flöden kan resultera i olika vattendjup bl a beroende av den aktuella ledningens lutning och dimension.

Även om diagram 4 kan ha vissa teoretiska fördelar särskilt då man önskar extrapolera överläckningen vid högre fyllnadshöjder i dagvattenledningen så utgör de mätresultat som erhålls med den här diskuterade mätprincipen ej tillräcklig grund för en korrekt omvandling till vattendjup. (Formler och beräkningsförutsättningar redovisas i bilaga 2.)

De mät- och undersökningsinsatser som skulle krävas för att ett fullständigt beräkningsunderlag för en korrekt omvandling till vattendjup är varken ekonomiskt realistiska eller praktiskt genomförbara. Problemen beror av bl a följande faktorer:

- * Det går ej att fastställa var den begränsande sektionen är belägen (i dagvattenfogen, i ledningsgraven eller i spillvattenfogen). Detta gör att man ej är säker på att rätt vattendjup används. I diagram 4 har vattendjupet i dagvattenledningen räknats från dagvattenledningens vattengång.

- * Det går ej att fastställa om den begränsande sektionens tvärsnittsarea ökar med stigande vattendjupet, vilket exempelvis är fallet om den begränsande sektionen är en helt otät fog i dagvattenledningen.
- * Eftersom vattendjupet beräknas utgående från nedspolat flöde till dagvattenledningen mätt vid brandposthuvudet så tas ingen hänsyn till att flödet successivt reduceras om dagvatten läcker ut. Detta gäller även för diagram 3.
- * Vattendjupet i dagvattenledningen har beräknats utgående från en genomsnittlig lutning mellan mätsträckans uppströms- och nedströms brunn. Om flera rördimensioner förekommer i mätsträckans dagvattenledning har den största använts.

Mot bakgrund av ovanstående framgår att osäkerheterna i beräkningsförutsättningen gör att omräkningen till vattendjup i dagvattenledningen är av måttligt värde. Anledningen till att även diagram 4 medtagits i redovisningen av mätresultaten är att den ändå ger viss uppfattning om storleksordningen på de vattendjup som genererats av spolningarna från brandposterna.

I redovisningarna av mätresultaten ges också en beskrivning av den befintliga kunskapen om de olika avloppsnätens funktion innan överläckningsmätningarna genomfördes. Där ges också en beskrivning av den geohydrologiska miljön.

Det är viktigt att framhålla att uppgifter om jordmaterial, kringfyllning och fogmaterial endast baseras på tillgänglig kunskap i resp. kommun. Eftersom de flesta av mätområdena är från 1950-talet och tidigare så är dokumentationen mycket bristfällig. Emellertid har mycket nyttig bakgrundsinformation erhållits från kontakter med erfarna kommuningenjörer, anläggningsarbetare samt för vissa områden även från arbetshandlingarna.

Det går naturligtvis ej att dra alltför långtgående slutsatser om överläckningens förekomst i olika typer av ledningsgravar om inte mycket säkra uppgifter om de verkliga förhållandena föreligger såsom omgivningsmateriel, kring- och återfyllningsmaterial, fogmaterial och kanske främst kvalitén på det utförda arbetet.

Diskussionen om förekomst och orsaker till överläckning i olika geohydrologiska miljöer innehåller således subjektiva bedömningar. Bättre kunskap kan erhållas genom fortsatta undersökningar. Dessa undersökningar bör då utföras i ledningsgravar, vilka har varit belastade med kraftiga överläckningsflöden. Om överläckningen skall åtgärdas genom uppgrävning och omläggning bör detta tillfälle utnyttjas för en noggrann studie och dokumentation av förhållandena i ledningsgraven.

3.3 Mätnoggrannhet i överläckningsmätningar

Vid diskussion om nödvändig noggrannhet i överläckningsmätningar gäller det som vid alla flödesmätningar i avloppsnät att mycket noga klargöra hur mätresultaten skall användas. Detta påverkar i hög grad noggrannhetskraven och därigenom även valet av lämplig undersökningsmetod och flödesmättningsprincip.

I de här redovisade överläckningsmätningarna var syftet att helt säkert kunna avgöra om överläckning förekommer samt att eftersträva en relativt hög noggrannhet i uppmätt överläckningsflöde uttryckt i procent av sant värde. De faktorer som påverkar möjligheterna till en hög absolut mätnoggrannhet är:

- * bakgrundsflödets storlek och variation, se figur 2.9.
- * val av storlek och utformning av mätöverfall eller mätränna för att erhålla lämpligt mätområde. Härigenom skall en ökning av flödet resultera i en tydlig ökning av vattendjupet i mätinsatsen.
- * noggrannheten i de använda mätöverfallens eller mätränornas avbördningsformler.
- * noggrannheten vid installering och injustering av ekolod.
- * risk för att en uppdämning av vattenytan i spillvattenledningen på grund av mätinsatsen resulterar i en eventuell utläckning strax uppströms mätinsatsen.

Osäkerheten på grund av risken för utläckning enligt den sistnämnda punkten kan ej undanröjas med de här diskuterade metoderna. En utläckning ur spillvattenledningen strax uppströms mätinsatsen resulterar i en underskattning av överläckningsflödet.

Samtliga här redovisade resultat från överläckningsmätningarna har helt säkert kunnat fastställas med avseende på storleksordningen typ ingen, liten eller kraftig överläckning. Däremot är det mycket svårt att generellt uppskatta den absoluta mätnoggrannheten för en överläckningsmätning. Noggrannheten beror av många faktorer som ovan redovisats, vilka kan relateras till ledningsgravens konstruktion och kondition, flödesförhållanden och instrumenteringen.

Då mätöverfall och mätränna utnyttjas underlättas bedömningen av förekomsten av överläckning eftersom en flödesökning resulterar i en större ökning av vattendjupet än om ingen mätinsats utnyttjas.

Eftersom våra syften var att även försöka mäta flödet med en relativt hög noggrannhet kalibrerades mätinsatserna. I bilaga 3 redovisas de kalibrerade avbördningssambanden och underlaget till dessa. Där visas att det fel som är enbart relaterat till osäkerheter i avbördningssambanden uppgår till ungefär $\pm 5-8\%$. Vid låga flöden ökar felet kraftigt. Vattendjupen mättes vid kalibreringen med spetsmätare och betingelserna var dessutom allmänt goda för en noggrann mätning eftersom kalibreringen utfördes i en laboratorieanläggning.

Då mätningarna utförs i avloppsnät och då ekolod utnyttjas för nivåregistreringen tillkommer många problem. En viss förståelse för möjlig mätnoggrannhet erhålls om man beräknar flödet med de olika avbördningssambanden och låter höjden variera motsvarande den noggrannhet man anser sig kunna säkerställa vid mätningen av vattendjupet. Om inställningen av ekolodets mätområde och nollnivå utförs mycket noggrant bör felet i uppmätt vattendjup ej överstiga ± 3 mm. Det procentuella mätfelet i flöde orsakat av ett visst fel i mätning av vattendjupet blir mycket större vid små vattendjup jämfört med större.

I tabell 3.1 visas en feluppskattning i flödesmätningen orsakat av osäkerhet i de kalibrerade avbördningssambanden och av ett fel i vattendjup på ± 3 mm. Där framgår att den totala mätnoggrannheten för Palmer-Bowlus-rännan är vid ungefär halvfyllad ränna (52 mm) uppskattningsvis 12-14% och vid nära fylld ränna (115 mm) 7-9%. Motsvarande noggrannhet för det 5 cm breda rektangulära överfallet är 10-12% (52 mm) och 6-9% (115 mm).

Tabell 3.1 Procentuellt mätfel i flöde för en liten Palmer-Bowlus mätträna och ett litet, 5 cm brett, rektangulärt överfall orsakat av uppskattad osäkerhet i avbördningssamband (bilaga 3) och ett mätfel orsakat av fel i mätning av vattendjupet på ± 3 mm. Feluppskattningen är utförd vid två vattendjup.

	Palmer-Bowlusmätträna		5 cm brett rektangulärt överfall	
Feluppskattn				
vid vattendjup:	52 mm	115 mm	52 mm	115 mm
motsvarande flöde:	2,0 l/s	9,0 l/s	1,1 l/s	3,7 l/s
a) osäkerhet i avbördningssamband	5-8%	5-8%	5-8%	5-8%
b) fel p g a ± 3 mm	11%	5%	9%	4%
Totalt mätfel av a och b: $\sqrt{a^2+b^2}$:	12-14%	7-9%	10-12%	6-9%
(kvadratisk fel-sammanlagring)				

Vid överläckningsmätningar tillkommer ytterligare osäkerheter då överläckningsflödet är differensen mellan uppmätt flöde under spolning till dagvattenledningen och bakgrundsflödet. I de här redovisade överläckningsmätningarna har förhållandena varit gynnsamma eftersom mätningen utförts långt upp i avloppssystemen där spillvattenflödet oftast har varit lågt.

Mot denna bakgrund bedöms det totala felet vid de här uppmätta överläckningsflödena vara ca $\pm 10\%$ vid stora överläckningsflöden där mätinsatserna blivit nästan fyllda och 15-20% för något mindre. Vid mycket små överläckningsflöden ökar det procentuella mätfelet mycket kraftigt.

Det kan aldrig nog understrykas att mätning och utvärdering av flödesdata sällan eller aldrig kan uppnå en så entydig och hög mätnoggrannhet att man ej är beroende av en kritisk bedömning av mätresultatens relevans.

Vid diskussion om möjlig eller nödvändig mätnoggrannhet måste man betrakta hela utvärderingskedjan och alla de osäkerheter som därvid kan tillkomma. Exempelvis tillkommer stora osäkerheter ifall man önskar uppskatta årsvolymen av ovidkommande vatten orsakat av en överläckningssektion. Osäkerheten beror av de stora svårigheter som föreligger då flödet i dagvattenledningen skall beskrivas i termer som varaktighet och flöde. Dessa problem diskuteras mer ingående i kapitel 4 och bilaga 1.

3.4 Redovisning av överläkningsmätningar

I detta kapitel redovisas resultaten från utförda överläkningsmätningar i Göteborgs, Borås och Växjö kommun. Totalt har 37 mätsträckor undersökts, vilka sammantaget har en längd på ca 5 km.

Presentation nedan görs kommunvis (kap. 3.4.1-3.4.2) där de väsentligaste resultaten redovisas. En noggrannare beskrivning av använd mätutrustning i de olika mätsträckorna, eventuella mätproblem samt redovisning av övriga iakttagelser ges i 3 stenciler, (Bäckman 1984b, 1984c, 1984d).

Mätsträckorna har numrerats med 3 siffror. Den första står för kommunen (Göteborg=1, Borås=2, Växjö=3). Den andra siffran anger mätområden inom vilka flera sträckor kan ha valts och den tredje siffran anger de olika sträckorna inom ett område. Om flera brandpostflöden använts eller fler mätprinciper utnyttjas hålls dessa åtskilda genom numrering av försöken.

Samtliga mätsträckor finns redovisade på kartskitser, där mätsträckornas ungefärliga längder framgår. Det inbördes avståndet mellan dag- och spillvattensystemen har kraftigt överdrivits för att dessa skisser skall bli tydliga.

I två mätsträckor (nr 115 och 122) har jämförande mätningar mellan proppning och fri spolning i dagvattenledningen utförts. Med proppningen erhöles ett högre vattendjup i dagvattenledningen.

Överläkningens tidsförlopp är intressant att studera. Sex mätsträckor har valts ut för att exemplifiera detta, figur 3.7 och 3.13. Figurerna är en bearbetning av skrivarremсор från dessa mätsträckor som erhållits vid mätning av vattendjup med hjälp av ekolod vid mätöverfall eller mätränna. Skrivarremсорna har därefter digitaliserats och vattendjupet omräknats till flöde i dator.

För att underlätta läsandet av de följande kapitlen ges först en översiktlig sammanställning av mätsträckor och resultat från överläkningsmätningarana, tabell 3.2. Om flera försök har utförts med samma undersökningsmetod i en mätsträcka redovisas i tabellen endast resultatet från försöket med det största brandpostflödet. I kap. 3.4.1-3.4.2 redovisas samtliga mätningar.

Tabell 3.2 Översiktlig sammanställning av mätsträckor och resultat från överläckningsmätningarna. (Ej fullständig redovisning.)

Sträcka	Längd ¹⁾	Antal brunn- ¹⁾	Ung. anlägg-	Brandpostflöde	Överläckning ²⁾		Sidhän-	Kommentar	
nr	meter	avstånd	ningsår	l/s	l/s	%	visning		
Göteborgs kommun:									
102	72	1	1950-51	13	7.5	57	41	Del av nr 104	
103	26	2	1950-51	12	0.2	2	41		
104	109	4	1950-51	20	8.0	40	41		
105	86	1	1950-51	1.8	1.3	72	41		
106	53	2	1950-51	12	4.1	34	41		
107	55	2	1950-51	16	1.9	12	41		
111	131	4	1950-51	9.3	2.1	23	44		
112	25	1	1950-51	6.1	4.1	67	44	Vid proppning i dag- vattenledningen ≈0.5 l/s överläckning.	
113	118	4	1950-51	7.8	2.3	29	44		
114	37	2	1950-51	8.3	0.3	4	44		
121	184	4	1965	19	0	0	48		
122	ca 7	2	1965	20	0	0	48		
123	ca 30	2	1965	proppn. av dag- vattenledning	0	0	48		
131	ca 50	2	1971	proppn. av dag- vattenledning	0	0	49		
Borås kommun:									
201	257	4	1938	13	3.9	30	49		
202	226	5	1938	15	1.3	9	49		
203	181	2	1938	11	0	0	49		
204	306	4	1944	12.6	0	0	49		
211	233	6	1957	9.6	0	0	53		
212	121	2	1957	12	0	0	53		
213	96	2	1957	9.5	1.9	20	53		
214	153	3	1957	11	0.3	3	53		
221	332	9	1960-63	11	0	0	56		
222	126	2	1960-63	8.8	0	0	56		
223	295	6	1960-63	10	0	0	56		
231	186	2	1946	14	0	0	56		
232	308	4	1946	11	0	0	56		
241	179	3	1975	12	0	0	57		
Växjö kommun:									
301	214	3	1948	5.5	0	0	57		
311	162	4	1930	14	0	0	57		
321	369	10	1952	15	1.2	8	57		
322	169	2	1952	14	0	0	57		
323	ca 1	-	1952	15	3	20	57		
324	222	5	1956	13	0	0	57		
331	201	3	1968	13	0	0	57		

Σ ca 5300 m

1) Gäller spillvattenledningen

2) Flödet 0 innebär ej observerbart eller mätbart överläckningsflöde

3.4.1 Mätsträckor i Göteborgs kommun

HÖGSBO

Högsbo exploaterades ca 1950-51. Ledningarna är förlagda i bergsschakter. Ledningsgraven avsågs att sprängas så en hylla skulle erhållas för dagvattenledningen. Emellertid var detta svårt med de dåvarande sprängmetoderna och alltför stora groppar kunde ofta erhållas. Hyllorna byggdes då upp med sönderskjutet berg. Ledningsgraven återfylldes till största delen med grus.

Tätningen av dag- och spillvattenledningarna utfördes med lingarn som doppades i tjära. I bergsschakter skulle dessutom runt fogarna cementbruk påföras. Detta var enligt uppgift mycket svårt att utföra under ledningarna. Fogmaterialet har ej varit tillräckligt beständigt. Ledningsgravens konstruktion, återfyllning med friktionsmaterial och troligen en del sönderskjutet berg i en bergsschakt gör också att förutsättningarna för överläckning här är mycket goda.

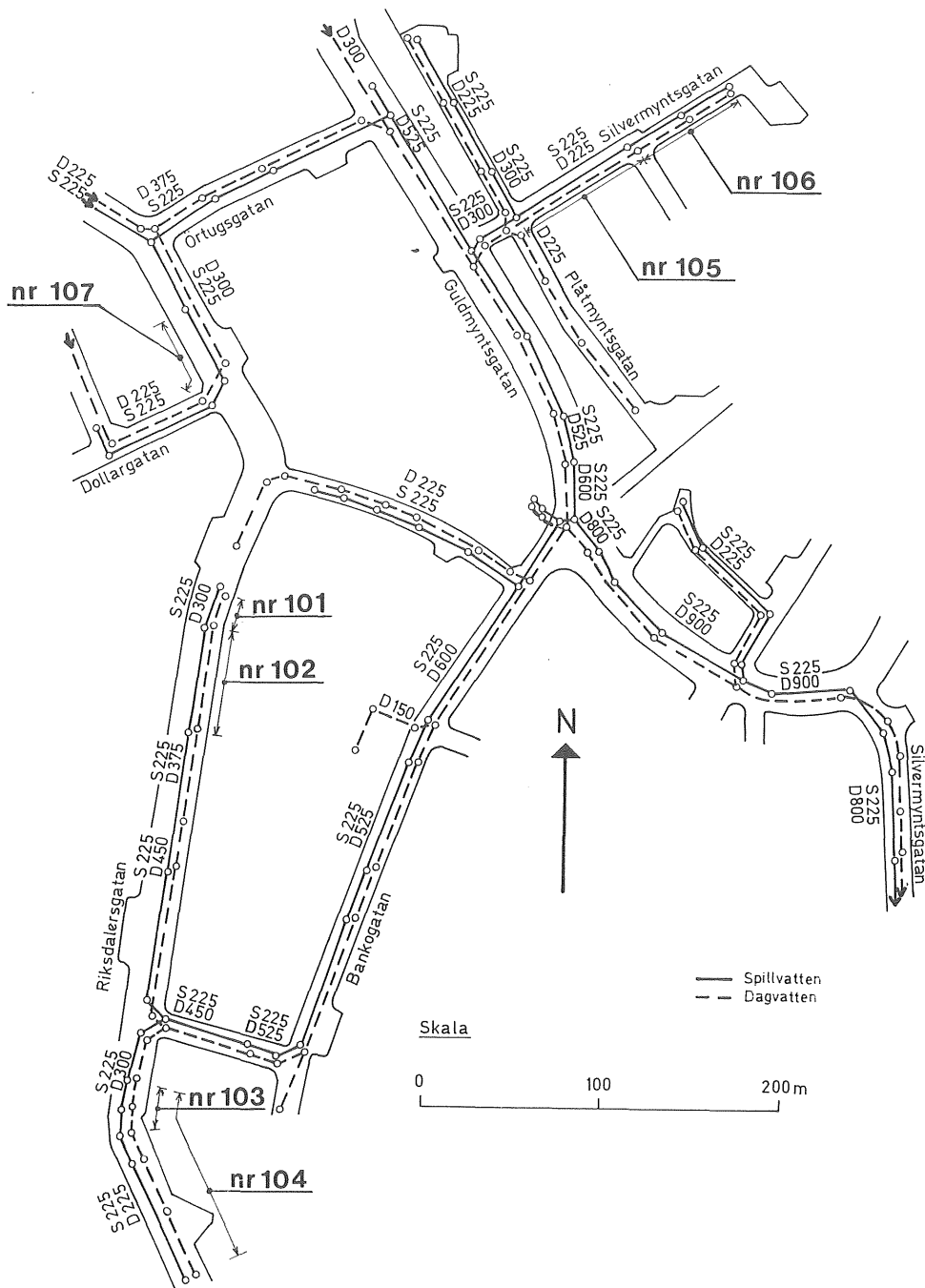
Överläckningsproblemen har varit kända i detta område sedan lång tid. 1970 tätades fogarna i det kommunala spillvattensystemet med cementbruksinjektering. Enligt tillgängliga handlingar för tätningsarbetet skulle TV-inspektion utföras såväl före som efter injekteringen. Dessutom skulle provtryckning utföras.

Göteborgs VA-verk konstaterade ca 10 år senare att spillvatten-nätet fortsatt erhöll kraftiga överläckningsflöden. TV-inspektion och samtidig spolning i dagvattenledningen visade att dagvatten läckte över och trängde in genom otätheter i bl a spillvattenfogarnas botten. Detta kunde också okulärt observeras vid de här redovisade mätningarna i bl a sträcka 102, se figur 2.16. TV-inspektion visade också att kraftiga överläckningsflöden kunde ske via vissa korsande spillvattenserviser.

Detta område valdes därför att problemen här var väl kända. 7 mätsträckor utvaldes slumpmässigt (nr 101-107). Mätsträckornas lägen framgår av figur 3.1.

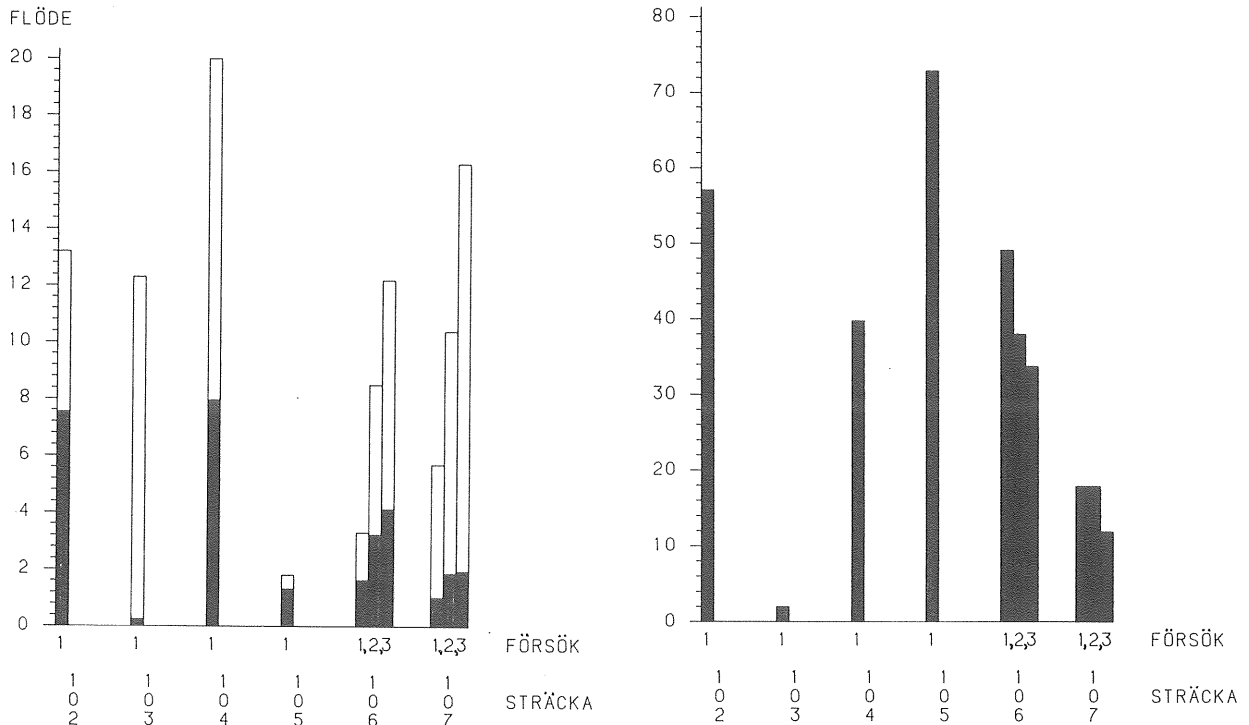
Mätresultaten redovisas i figur 3.2 och 3.3. Mycket kraftiga överläckningsflöden uppnås redan vid måttliga dagvattenflöden. Här uppmättes de högsta överläckningsflödena i l/s för alla inom projektet utförda överläckningsmätningar. I sträcka 102 och 104 uppmättes en överläckning av 7.5 l/s och 8 l/s vid ett brandpostflöde av drygt 13 l/s resp 20 l/s.

I diagrammen redovisas ej sträcka 101 då denna mätning utfördes med proppning i dagvattenledningen och resultaten därför ej direkt kan jämföras. Emellertid konstaterades att proppningen i dagvattenledningens nedströmsände och en kontinuerlig uppfyllning med ett flöde på 2.1 l/s från brandpost resulterade i att vattendjupet vid proppen stabiliserades på ca 21 cm. Allt brandpostvatten försvann ut genom fogarna.

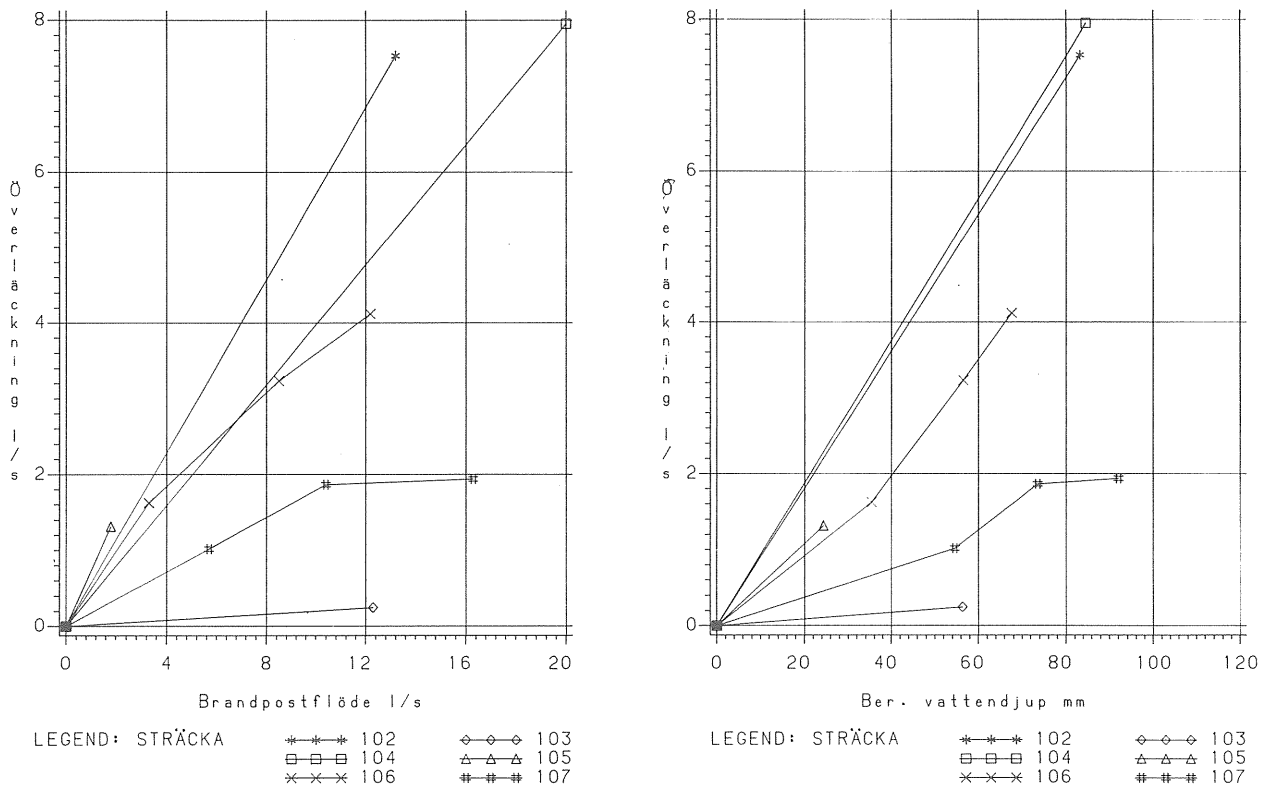


Figur 3.1 Kartskiss över mätsträckorna i Högsbo, Göteborg.

Ledningsgravarna torde här utgöra långa dräneringssträngar. Troligtvis medför otätheterna i avloppsledningarna att en växelverkan sker mellan ledningarna och ledningsgraven under transporten av dag- och spillvatten. Det kunde exempelvis okänt observeras att ett måttligt dagvattenflöde försvann ut ur dagvattenledningen och längre nedströms efter en relativt kraftig ledningslutning ett flöde återigen förekom i dagvattenledningen.



Figur 3.2 Stapeldiagram, t.v., över nedspolat brandpostflöde till dagvattenledningen i l/s (hela stapeln) och därav uppmätt överläckning till spillvattenledningen (fylld stapel) samt t.h. motsvarande överläckning uttryckt i procent av nedspolat brandpostflöde till dagvattenledning, Högsbo.



Figur 3.3 Diagram över uppmätt överläckning som funktion av nedspolat brandpostflöde till dagvattenledningen t.v. och t.h. som funktion av ett teoretiskt beräknat vattendjup i dagvattenledningen enligt bilaga 2, Högsbo.

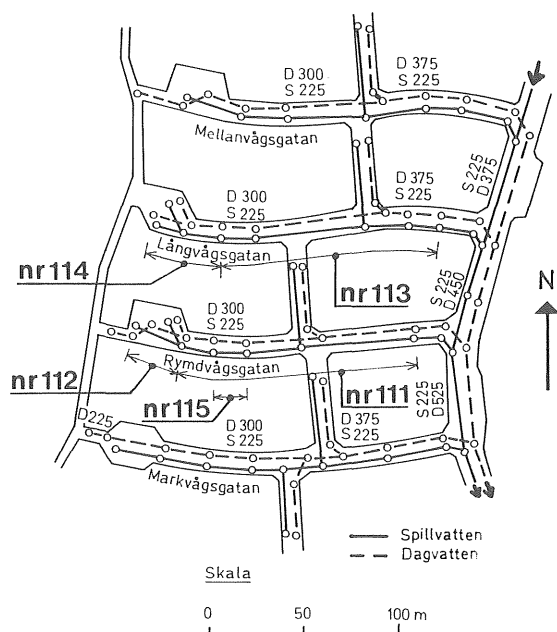
JÄRNBROTT

Mätområdet i Järnbrott utgörs av ett egnahemsområde byggt ca 1950-51. Området består av ett antal skaftgator utgående från Våglängdsgatan. Egnahemsområdet är byggt på lera, eventuellt finns något fastare material längst upp i skaftgatorna, där lerdjupet avtar. Längre upp går berget i dagen. Ingen sprängning har dock utförts vid anläggande av de kommunala ledningarna.

Detta område var ett av de första där grävmaskiner utnyttjades vid ledningsbyggande i Göteborgs kommun. Maskinschaktning utfördes ned till en nivå ca 2-3 dm över rörgravsbotten. De sista massorna schaktades för hand och leran kastades runt de ledningar som redan färdigställdes. Leran packades runt rören genom fottrampning. Detta förfarande var avsett för att stabilisera ledningarna i sitt läge inför den maskinella återfyllningen. All kring- och återfyllning utfördes med den uppschaktade leran upp till väggkroppen. Både spill- och dagvattenledningarna har tätats med lingarn doppat i tjära.

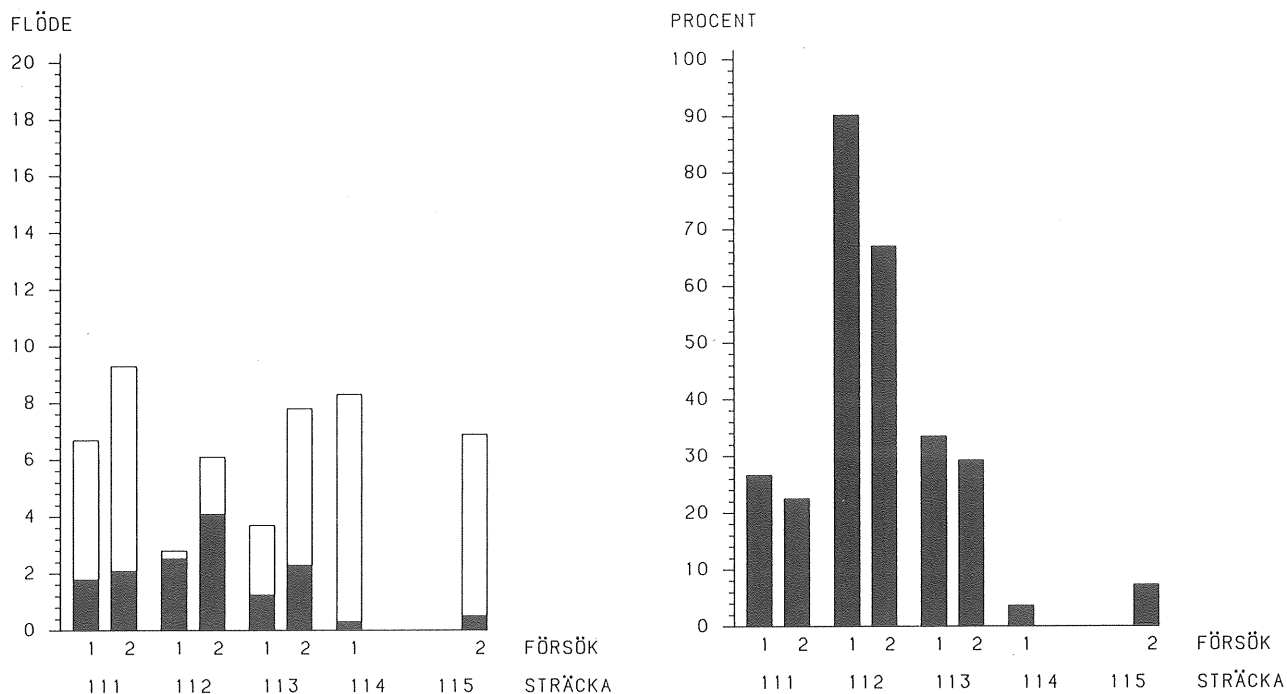
Enligt de områdesvisa flödemätningar som utförts av Göteborgs va-verk var området kraftigt belastat med nederbördsavhängig inläckning. Däremot var orsakerna ej fastlagda.

Två av områdets skaftgator valdes slumpmässigt och indelades i fyra mätsträckor nr 111-114. Vid senare tillfälle utvaldes en delsträcka, nr 115, från sträcka nr 111 där en överläckningssektion fastställdes. I nr 115 utfördes en jämförande undersökning mellan proppning resp ej proppning i dagvattenledningen. Mätsträckornas lägen visas i figur 3.4.

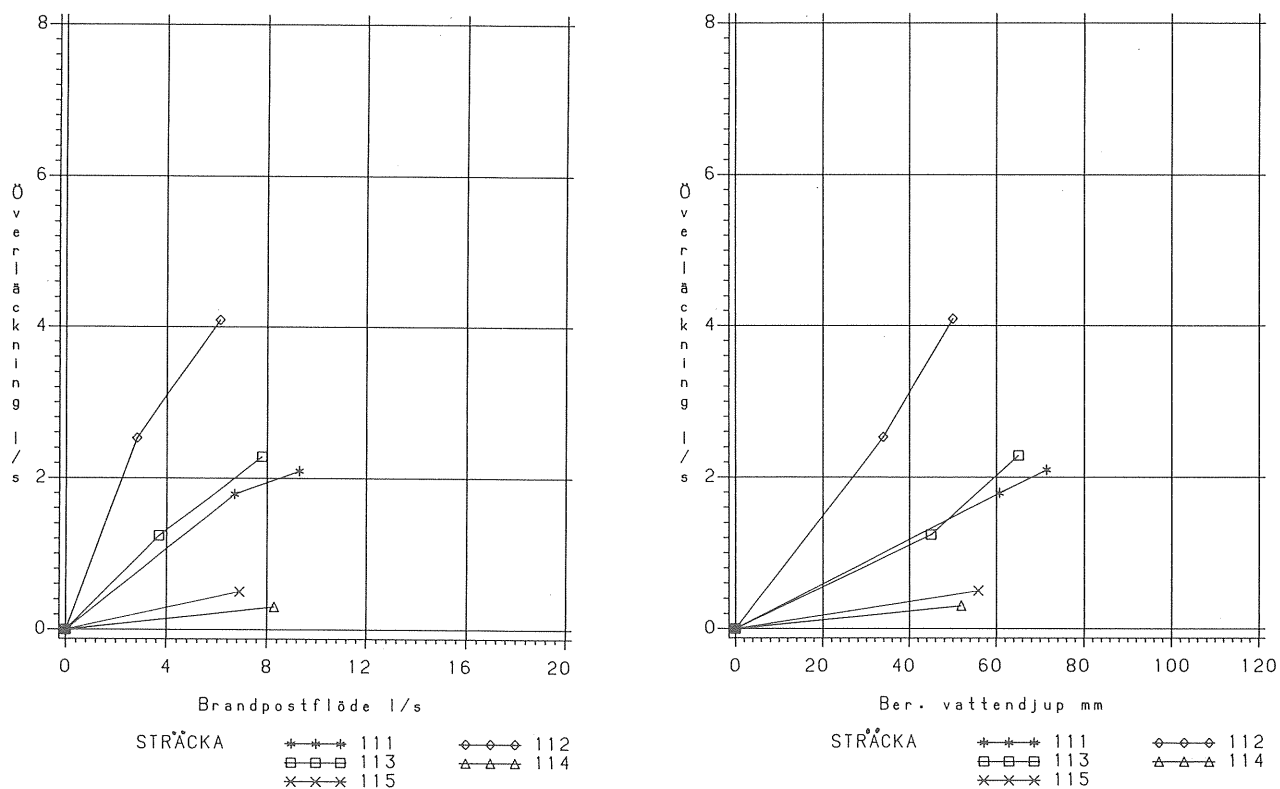


Figur 3.4 Kartskiss över mätsträckorna i Järnbrott.

Resultaten från mätningarna, undantaget försöket med proppning i dagvattenledningen framgår i figur 3.5 och 3.6.



Figur 3.5 Stapeldiagram, t.v., över nedspolat brandpostflöde till dagvattenledningen i l/s (hela stapeln) och därav uppmätt överläckning till spillvattenledningen (fylld stapel) samt t.h. motsvarande överläckning uttryckt i procent av nedspolat brandpostflöde till dagvattenledning, Järnbrott.



Figur 3.6 Diagram över uppmätt överläckning som funktion av nedspolat brandpostflöde till dagvattenledningen t.v. och t.h. som funktion av ett teoretiskt beräknat vattendjup i dagvattenledningen enligt bilaga 2, Järnbrott.

Vid okulärbesiktningen noterades att de absolut flesta fogarna ej syntes motta överläckningsflöden trots att ledningarna gav ett allmänt åldrat intryck i form av måttliga svackor och fogförskjutningar. Överläckningsflöden kunde lokaliseras till speciella sektioner, exempelvis enskilda rörfogar i parallella ledningsdragningar, till korsande dag- och spillvattenledningar samt mellan vissa otäta brunnar.

Det kraftiga överläckningsflödet exempelvis i sträcka nr 115, se även figur 2.17, måste förklaras med att gångar urspolats i leran. En trolig orsak är att det ej varit möjligt att packa leran ordentligt.

I mätsträcka 112 framgår att ca 90% (försök 1) av nedspolat flöde från brandpost återfanns i spillvattenledningen. En stor del av utläckaget från dagvattensystemet sker här från mätsträckans dagvattenbrunnar där ledningssträckningen avvinklas ungefär 55° i plan. Vattengångarna i dessa brunnar har utförts genom att 2 halverade betongrör skarvats mitt i brunnen. Glipan mellan rörhalvorna fylldes med betong. Emellertid har nu stora hål upp mot ca 10 cm² uppstått i gliporna där dagvattnet kan läcka ut. Överläckningsflödet i sträcka 112 tränger in i spillvattensystemet i mätsträckans uppströmsbrunn och framför allt i de första fogarna strax nedströms denna.

I figur 3.7 visas tidsförloppen vid överläckningsmätningarna för sträcka 112, 113 och 115. Tidsfördröjningen beror av förutom eventuella fördröjningar i ledningsgraven också av rinntiden från mätsträckans uppströmsbrunn till nedströmsbrunn samt en utjämning av flödesförloppet vid uppdämning av en vattenvolym uppströms mätöverfallen. Den sistnämnda faktorn kan bli betydande om smala mätöverfall med relativt låg avbördningskapacitet utnyttjas där det uppdämda vattendjupet och därmed uppdämda vattenvolymen tillåts vara stora.

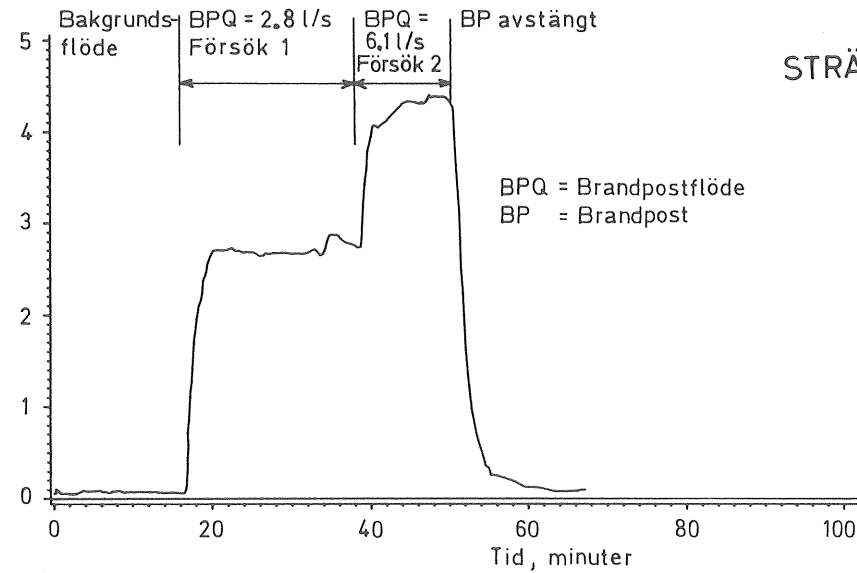
Ingen fördröjning uppvisas för någon sträcka som måste förklaras med en långsam transport i ledningsgraven. Skillnaden i tidsförloppet för exempelvis mätsträckorna 112 och 113 torde i huvudsak bero på skillnader i mätsträckornas längder, ca 25 m resp ca 118 m och därmed skillnader i rinntid.

Det är mycket viktigt att notera att förändringarna i spillvattenflöde, figur 3.7, svarar så snabbt på ett förändrat flöde i dagvattenledningen. I områdesvisa flödesmätningar för att spåra nederbördsavhängig inläckning kan dessa överläckningssektioner ej vara möjliga att särskilja från exempelvis till spillvattenledningen anslutna takytor. Detta förhållande har gällt för samtliga uppmätta överläckningsflöden utförda inom detta projekt.

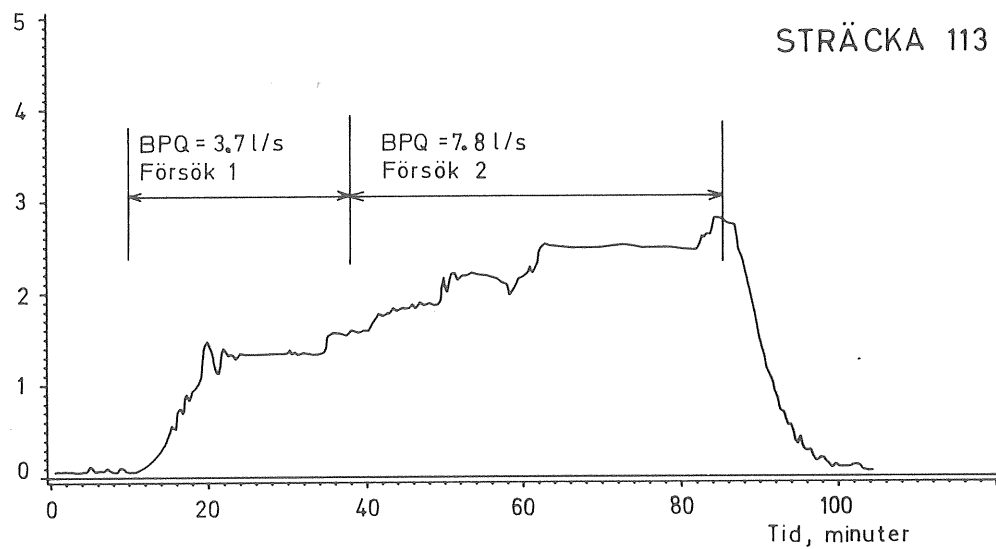
I figur 3.7 redovisas också resultatet från de jämförande försöken i sträcka 115 mellan proppning i dagvattenledningen för att erhålla ett högre vattendjup enligt 2.4.4 och en fri spolning enligt 2.4.3. Här framkommer att ett större överläckningsflöde erhöles vid högre vattendjup men att överläckningssektion även framträdde tydligt även då dagvattenledningen ej var proppad.

Flöde
l/s

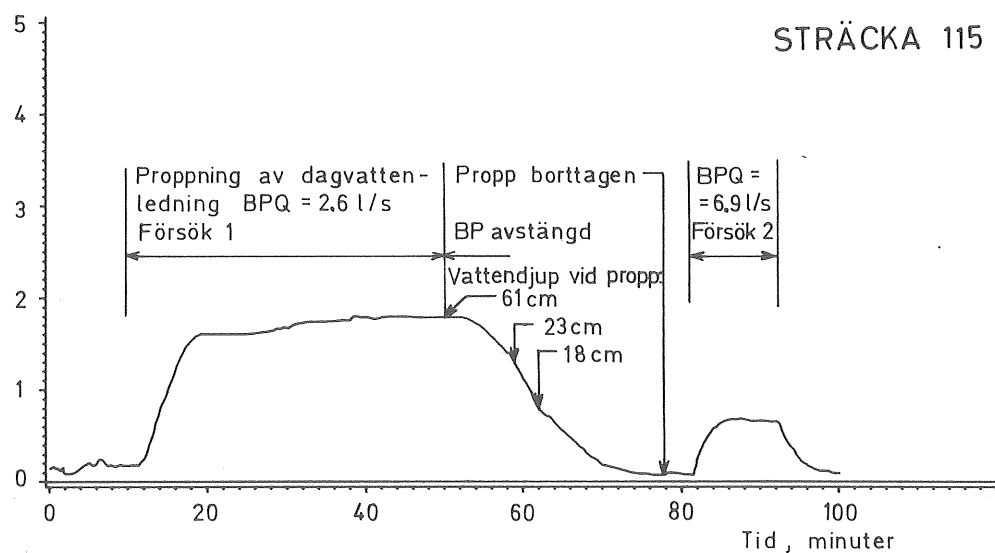
47



Flöde
l/s



Flöde
l/s



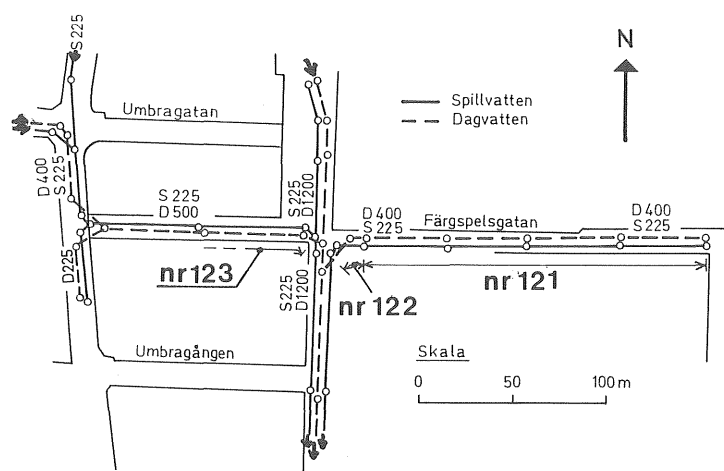
Figur 3.7 Uppmätt spillvattenflöde under överläckningsmätningarna från sträckorna 112, 113 och 115, Järnbrott.

ÅKERED

Åkered byggdes ca 1965 och området består av källarlösa radhus. Ledningarna har troligen fogats med gummiringar. Omgivningen består av lera och området har utsatts för mycket stora sättningar.

En dagvattenkylvert är anlagd genom området och är förlagd på en pålad betongplatta. På plattan ligger också en spillvattenledning på vardera sidan om kylverten. Flera av de vinkelrätt anslutande ledningarna, bl a sträcka 123, uppvisar kraftiga motlut eftersom ledningarna utsatts för stora sättningar undantaget anslutningspunkterna på plattan.

3 mätsträckor utvaldes slumpmässigt i 2 av de anslutande ledningarna. Mätsträckornas lägen framgår av figur 3.8.



Figur 3.8 Kartskiss över mätsträckorna i Åkered.

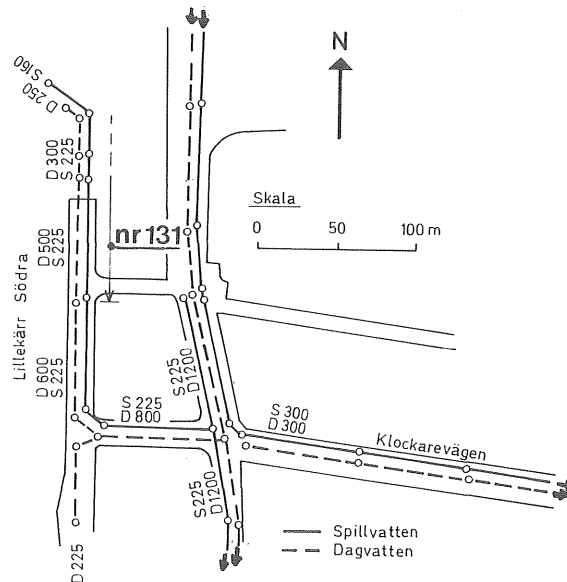
Ingen överläckning kunde observeras med ett undantag. Då dagvattenledningen i sträcka 122 proppades och fylldes upp till ett vattendjup av ca 30 cm i nedströmsänden kunde ett visst överläckage observeras och uppmätas till storleksordningen max 0.5 l/s. Vid motsvarande mätning utan proppning kunde ingen överläckning skönjas.

Vid motsvarande proppning och uppdämning till ett vattendjup av ca 5 dm i sträcka 123 observerades inget överläckningsflöde trots att sättningar här är mycket kraftiga och fogarna har stora glipor till följd av kraftiga vinkelavvikelser.

Mätsträcka nr 123 är tydligen mycket tät eftersom en vattensamling upp till ca halva diametern, ca 25 cm, har blivit stående i den kraftiga svackan. Detta konstaterades innan brandpostflödet släpptes på.

KÄRRA

Som ett exempel på ett nyare avloppsnät valdes Kärra. Området exploaterades 1971 och är anlagt på lera. Ledningarna består av gummiringsfogade betongrör. På grund av tidsbrist provades endast en sträcka, nr 131, vilken valdes helt slumpmässigt. Mätsträckans läge framgår i figur 3.9.



Figur 3.9 Kartskiss över mätsträckan i Kärra.

Överläckningsmätningen utfördes genom proppning i dagvattenledningen och uppfyllning till ca 45 cm vattendjup vid dagvattenproppen. Ingen överläckning kunde observeras varken i flödesmätningen eller genom besiktning med avloppsperiskop i form av fuktighet vid fogarna.

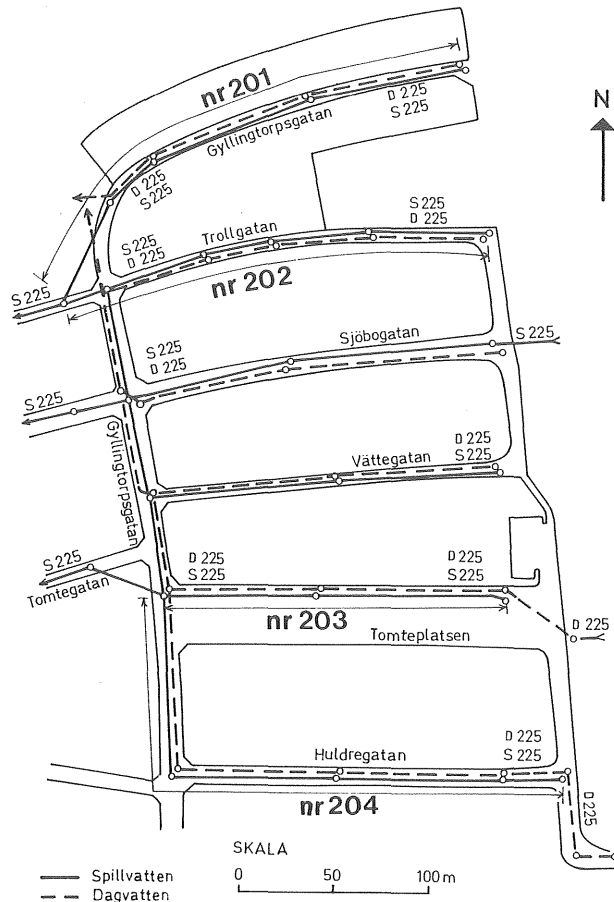
Däremot upptäcktes stora högar med järnutfällningar på vallningarna i några av spillvattenbrunnarna. Järnutfällningen kommer från järnhaltigt grundvatten vilket mycket långsamt sipprar in från de nedersta brunnringsskarvarna. Ingen ökning av detta flöde noterades under överläckningssimuleringen.

3.4.2 Mätsträckor i Borås kommun

SJÖBO

Sjöbo-området har som tidigare nämnts drabbats av översvämningar i spillvattenledningen under mycket kraftiga regn.

Området är utbyggt i etapper. 4 mätsträckor utvaldes slumpmässigt i de äldre delarna. Mätsträckornas lägen visas i figur 3.10.

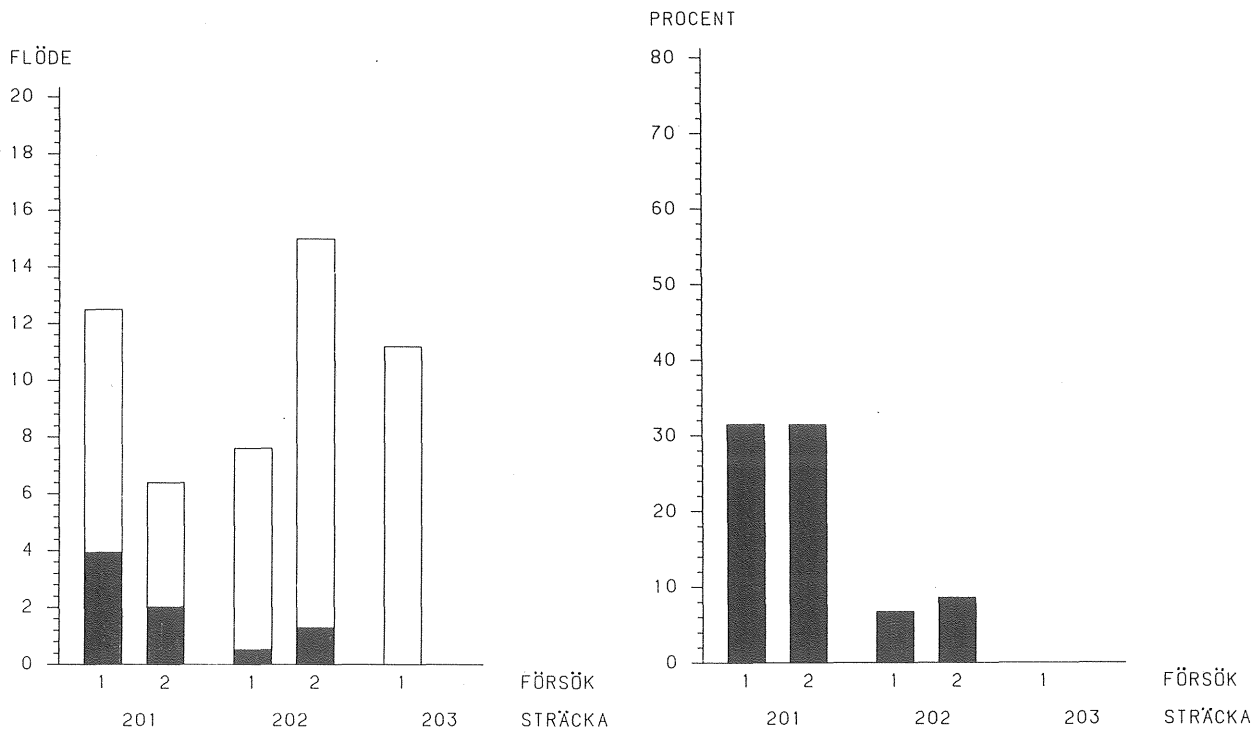


Figur 3.10 Kartskiss över mätsträckorna i Sjöbo.

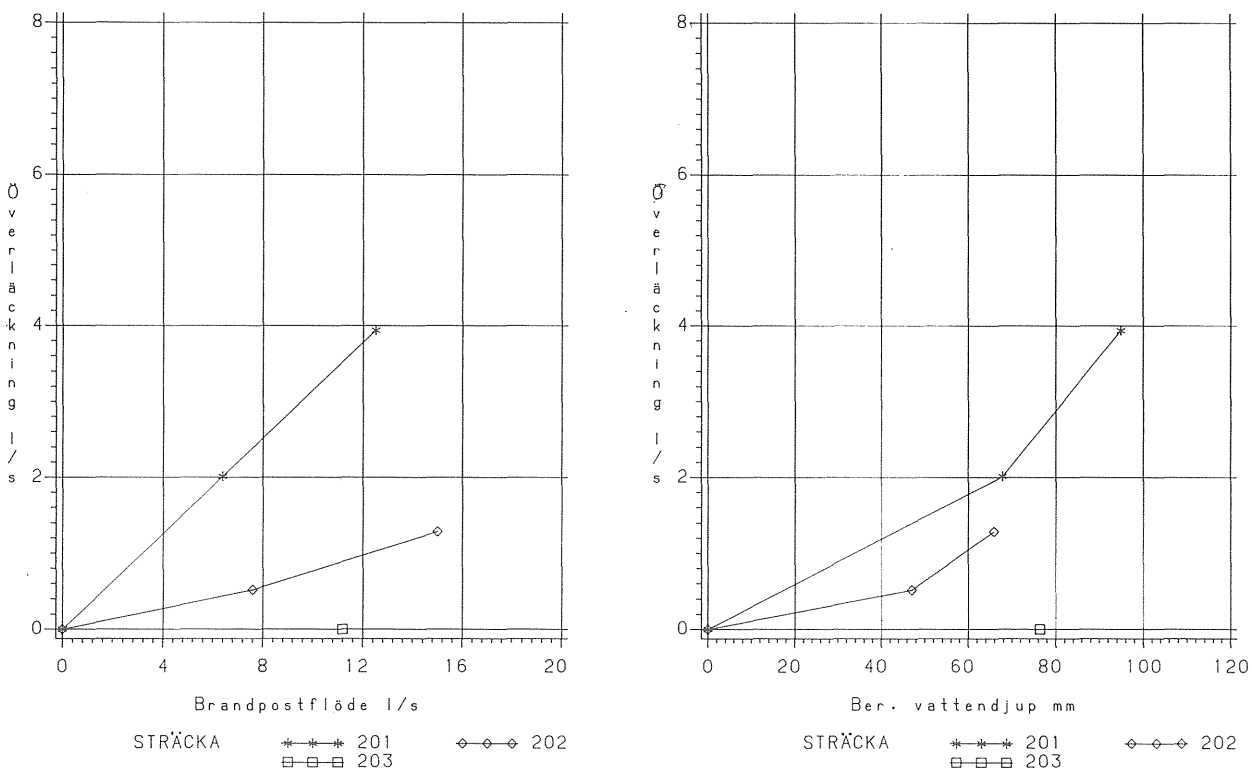
Tre av mätsträckorna, nr 201-203 är byggda under samma tid, omkring 1938. Här består ledningarna av lerrör. Vid okulärbesiktningen som endast utfördes med ficklampa noterades i sträckorna 201 och 202 en del avsiktliga avvinklingar i plan. Detta kan förklaras med att man vid anläggande troligen stött på bergklackar och att sprängningsarbetet har kunnat reduceras eller undvikas genom att ändra ledningssträckningen i plan. Kring- och återfyllning har troligen utförts med uppschaktat material, troligen morän.

Mätresultaten redovisas i figur 3.11 och 3.12. Där framgår att ett kraftigt överläckningsflöde uppmättes i sträcka 201 medan överläckningen var måttlig resp ej förekommande i sträckorna 202 och 203.

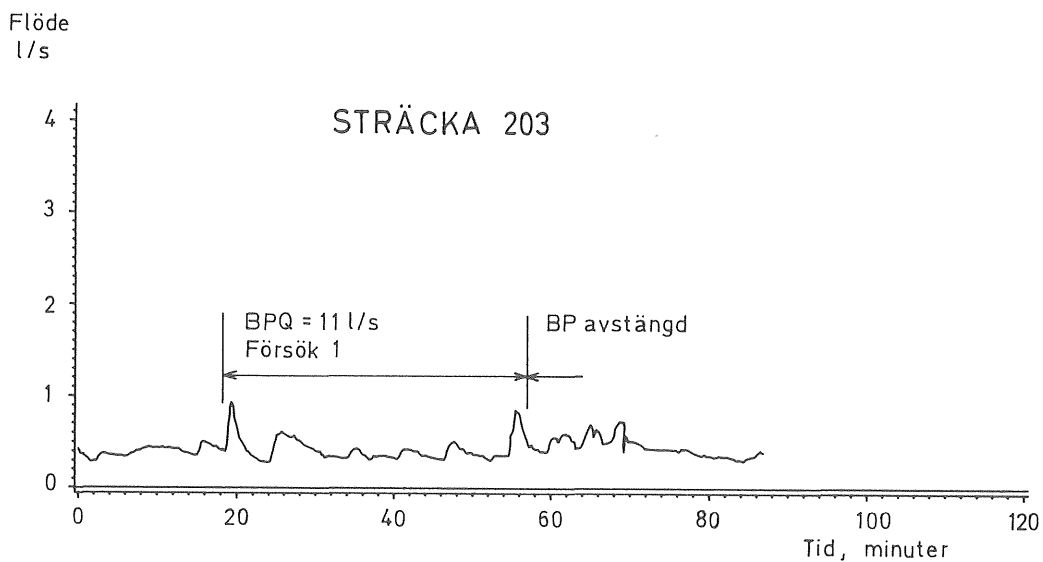
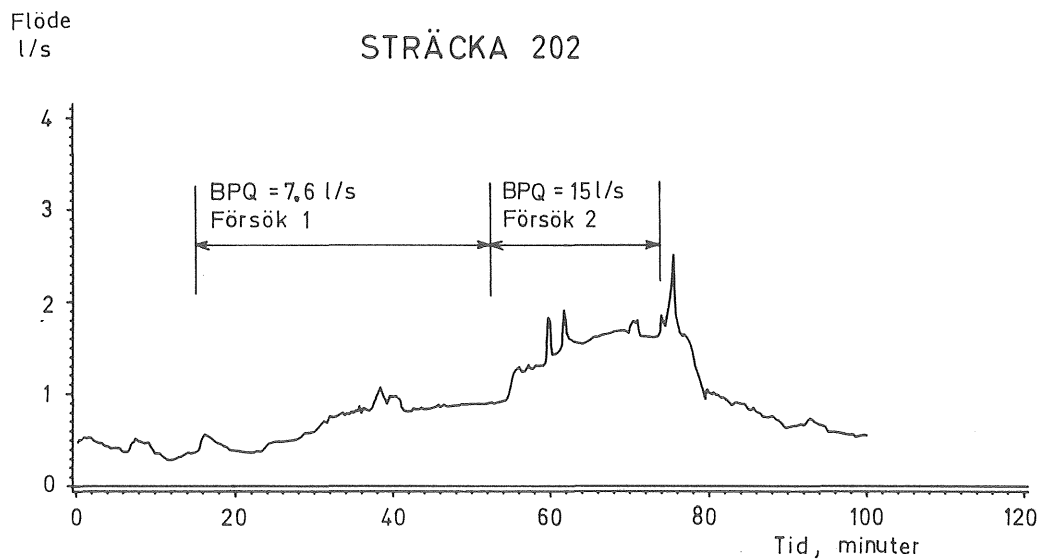
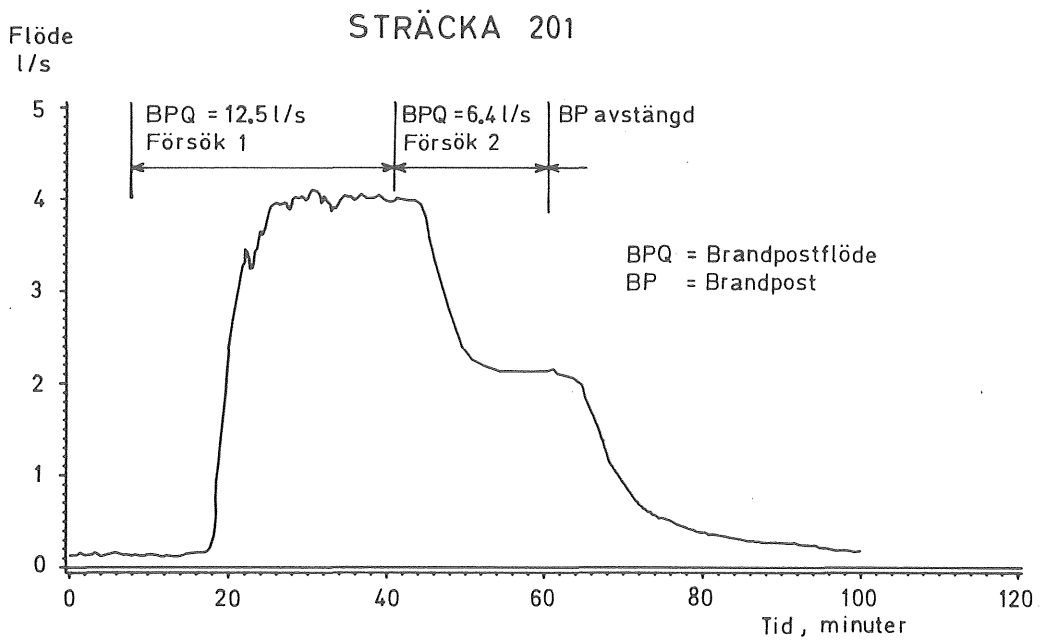
Dessa tre till det yttre relativt likvärdiga mätsträckor uppvisar mycket olika funktion beträffande förekomst av överläckning. Detta är ytterligare ett exempel på att det är mycket svårt att bedöma en viss ledningssträckas funktion enbart baserat på befintlig kunskap om ledningens uppbyggnad och generella uppfattningar om funktionsförhållanden relaterat till vissa enkla parametrar som ålder, materiel etc.



Figur 3.11 Stapeldiagram, t.v., över nedspolat brandpostflöde till dagvattenledningen i l/s (hela stapeln) och därav uppmätt överläckning till spillvattenledningen (fylld stapel) samt t.h. motsvarande överläckning uttryckt i procent av nedspolat brandpostflöde till dagvattenledning, Sjöbo.



Figur 3.12 Diagram över uppmätt överläckning som funktion av nedspolat brandpostflöde till dagvattenledningen t.v. och t.h. som funktion av ett teoretiskt beräknat vattendjup i dagvattenledningen enligt bilaga 2, Sjöbo.



Figur 3.13 Uppmätt spillvattenflöde under överläckningsmätningarna från sträcka 201, 202 och 203, Sjöbo.

Det är också intressant att studera tidsförloppen vid överläckningsmätningarna i dessa tre likartade mätsträckor. Resultaten visas i figur 3.13. I sträcka 201 svarar flödet i spillvattenledningen mycket kraftigt på ett förändrat flöde i dagvattenledningen. För sträcka 202 sker förändringarna i ett något mer utdraget förlopp och i sträcka 203 sker uppenbarligen ingen överläckning.

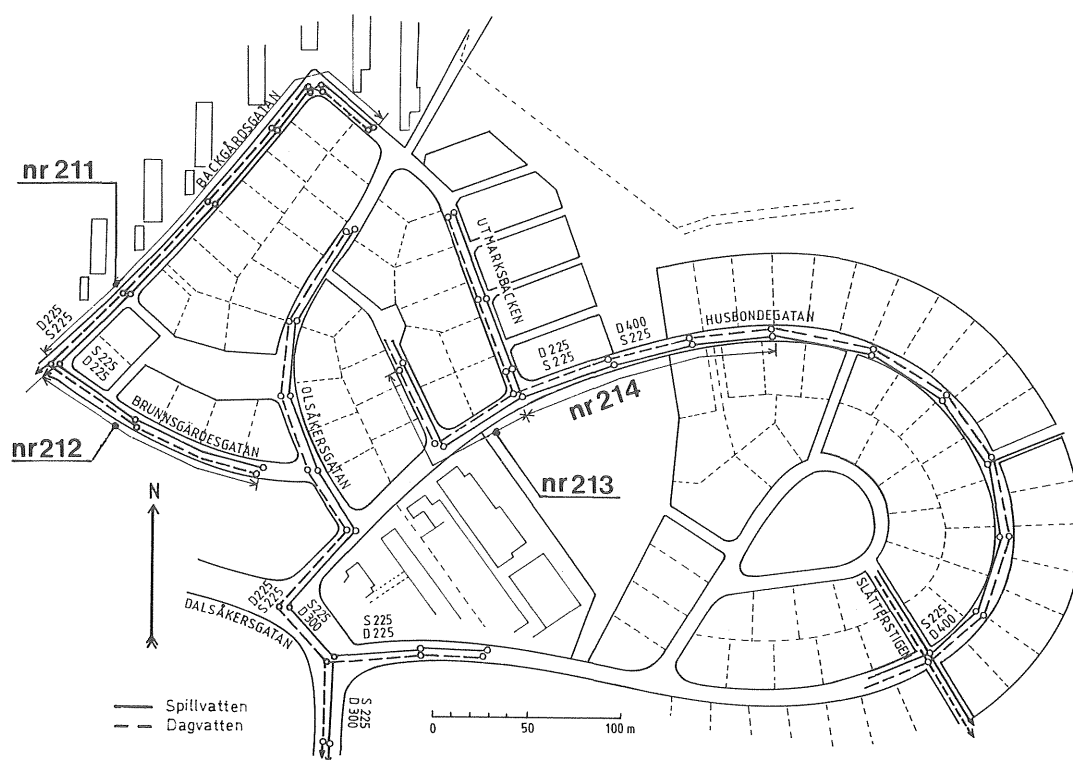
Figur 3.13 visar också på att noggrannheten då överläckningsflödet skall bestämmas påverkas av variationen i bakgrundsflödet. Överläckningsflödet har större förutsättningar för att bli noggrant bestämt i sträcka 201 jämfört med sträcka 202. Där emot är det inget tvivel om att överläckningen förekommer vid dagvattenflöden både i sträcka 201 och 202.

Den fjärde mätsträckan, nr 204, anlades ca 1944. Rörmaterialet är betong. Ingen överläckning kunde observeras.

TRANDARED

Trandared byggdes ca 1957. Området ingår som en del av ett större avrinningsområde där mätningar, utförda i pumpstation, visat på ett stort grundvatteninläckage.

Fyra mätsträckor utvaldes och deras lägen visas i figur 3.14. Sträckorna 211 och 212 valdes slumpmässigt utan föregående undersökningar. Däremot valdes sträckan 213 och 214 efter en mätning av utläckande dagvatten för en sträcka från översta brunnen i sträcka 213 längs Husbondegatan ned till Slätterstigen. Under utläckningsmätningen utfördes besiktning med avloppsperiskop.

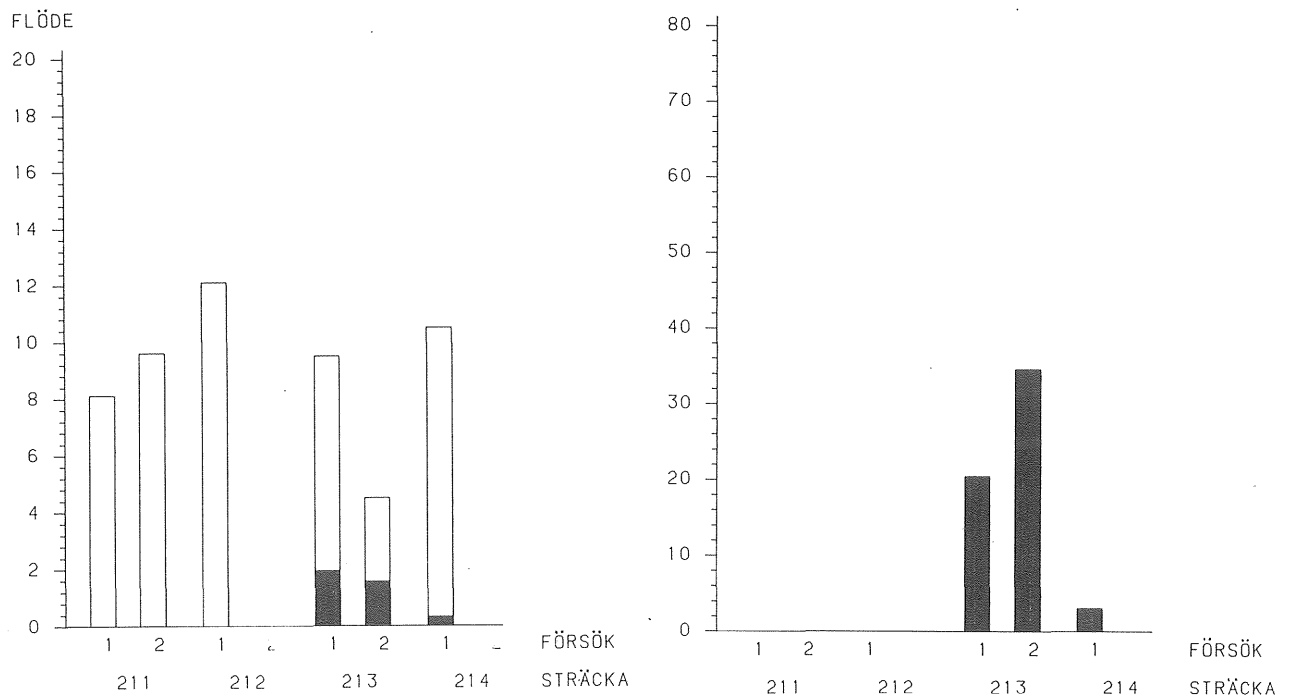


Figur 3.14 Kartskiss över mätsträckorna i Trandared.

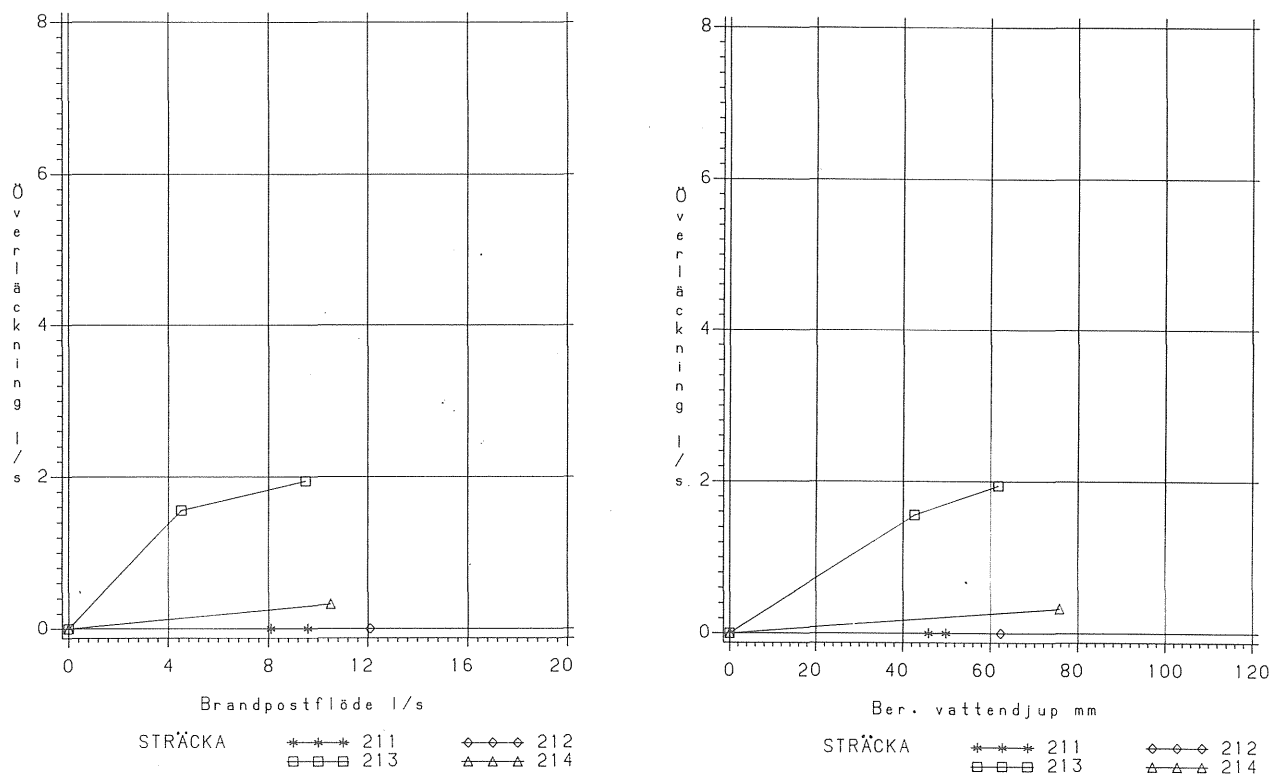
Resultaten från överläkningsmätningarna redovisas i figur 3.15 och 3.16. En tydlig överläkningssektion kan observeras i mellersta brunnsparat i sträcka 213. Överläkningsflödet tar sig in till spillvattensystemet genom bl a en otät anslutning mellan rör och nedstigningsbrunn. I sträcka 214 uppmättes relativt obetydligt överläkningsflöde. Ingen överläkning uppmättes i sträcka 211 och 212.

Enligt arbetshandlingar är brunnsparat med överläkningssektion i sträcka 213 anlagd i bergschakt. Bergschakt finns troligen även i sträcka 214. För sträckorna 211 och 212 finns däremot inget berg angivet. Omgivningsmaterialet är troligen morän.

Ledningarna bedöms vara kringfyllda med friktionsmaterial så att rörgraven kan vara dränerande. Det är svårt att utifrån anläggningsåret avgöra vilket fogmaterial som använts då man vid denna tid började introducera gummiringen som fogtätning av betongrör.



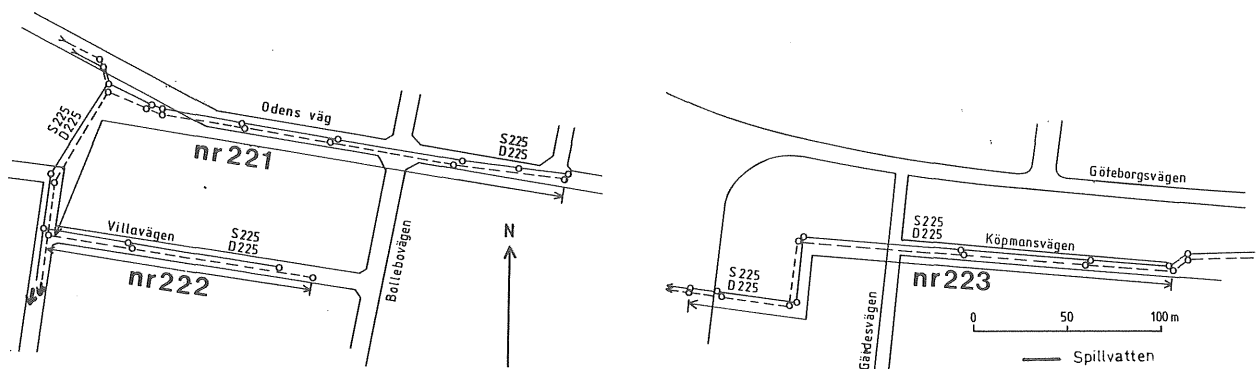
Figur 3.15 Stapeldiagram, t.v., över nedspolat brandpostflöde till dagvattenledningen i l/s (hela stapeln) och därav uppmätt överläckning till spillvattenledningen (fylld stapel) samt t.h. motsvarande överläckning uttryckt i procent av nedspolat brandpostflöde till dagvattenledning, Trandared.



Figur 3.16 Diagram över uppmätt överläckning som funktion av nedspolat brandpostflöde till dagvattenledningen t.v. och t.h. som funktion av ett teoretiskt beräknat vattendjup i dagvattenledningen enligt bilaga 2, Trandared.

BOLLEBYGD

I Bollebygd valdes slumpmässigt tre mätsträckor, 221, 222 och 223. Mätsträckornas lägen visas av figur 3.17.



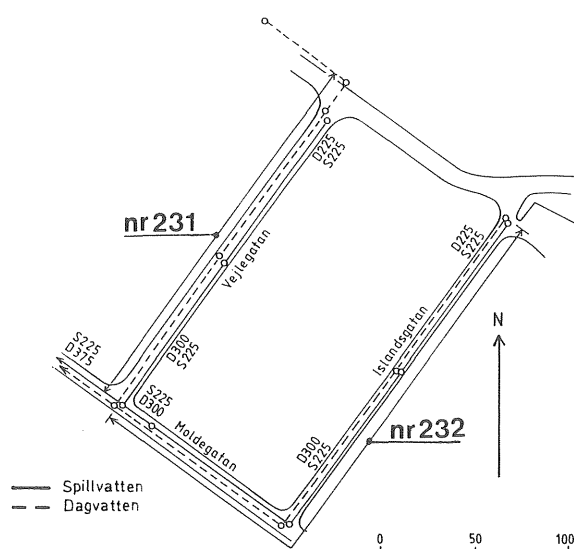
Figur 3.17 Kartskiss över mätsträckorna i Bollebygd.

Ledningarna är anlagda ca 1960-63 och består av betongrör som sannolikt fogats med gummiring. Omgivningen består av lite varierat material med inslag av grus eller grusig sand. Underlaget för bedömning av jordartsförhållandena är emellertid osäkert.

Ingen överläckning konstaterades i mätsträckorna.

GÖTA

Göta byggdes ca 1946 och omgivningen bedöms bestå av sand och grus. Området ingår som en del av ett större område vars spillvattenledningsnät uppmätts erhålla stort grundvatteninläckage. Två mätsträckor utvaldes slumpmässigt, figur 3.18.

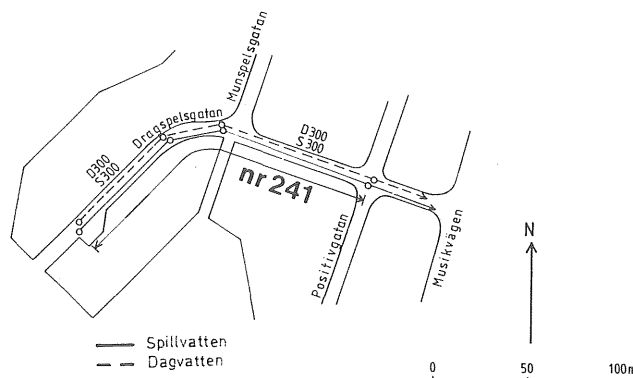


Figur 3.18 Kartskiss över mätsträckorna i Göta.

Ingen överläckning kunde observeras.

HESTRA

Hestra valdes som exempel på ett nyare område. Ledningarna är anlagda 1975 och består av gummiringsfogade betongrör. Endast en sträcka utvaldes slumpmässigt och dess läge framgår i figur 3.19.



Figur 3.19 Kartskiss över mätsträckan i Hestra.

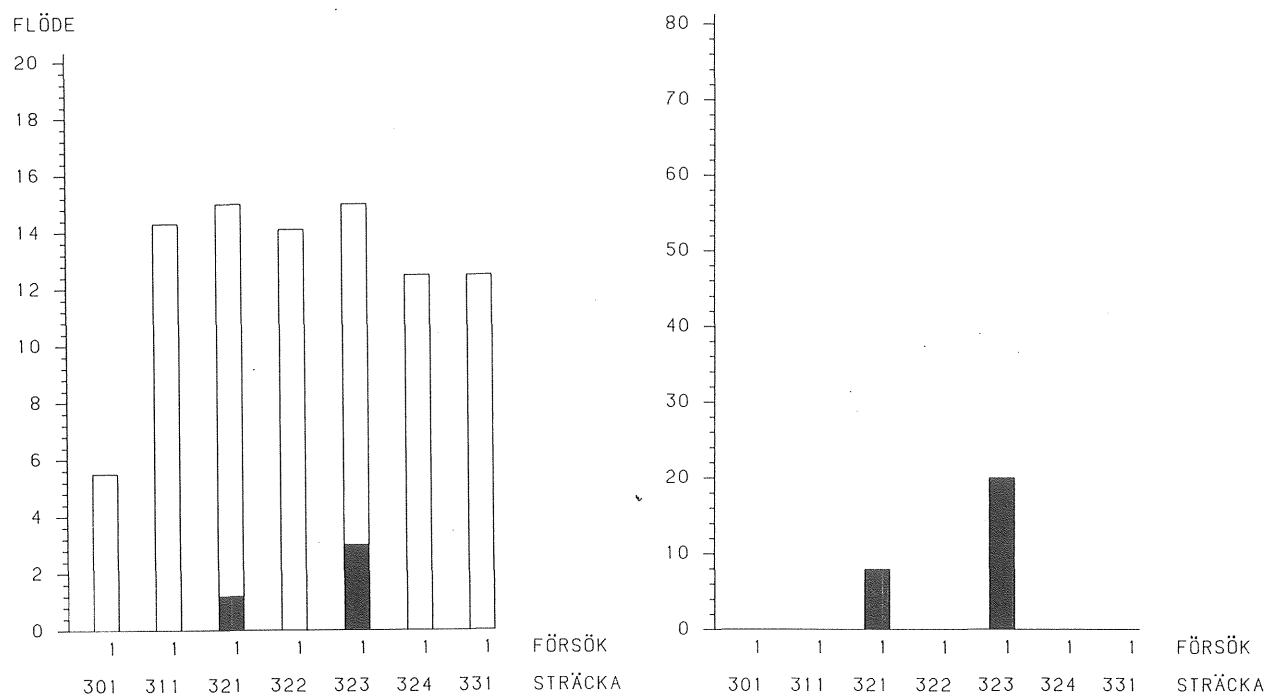
Mätsträckan är anlagd omväxlande i bergschakt och troligen morän. Kringfyllningen bedöms vara gjord med ett dränerande material.

Ingen överläckning uppmättes.

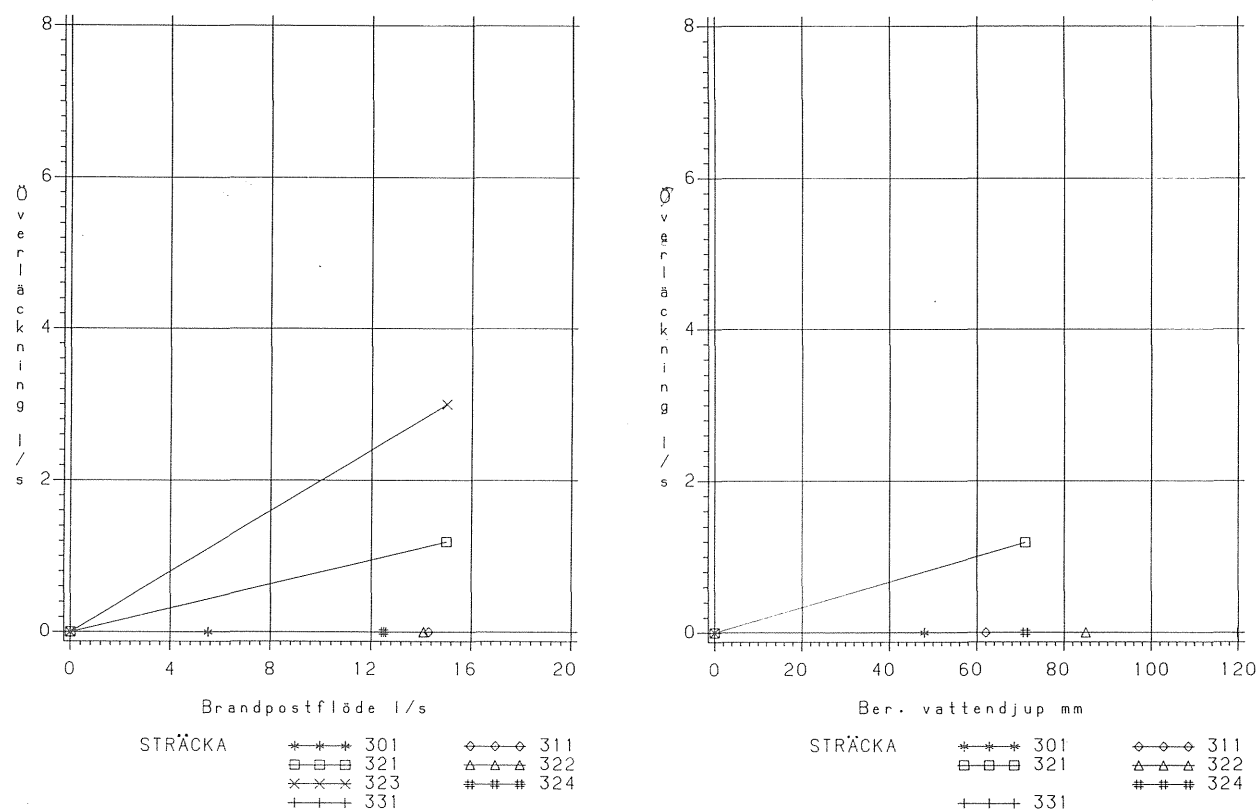
3.4.3 Mätsträckor i Växjö kommun

Fältmätningarna i Växjö kommun utfördes under endast 3 dagar i november 1983. Mätsträckorna valdes främst från områden vilka uppmätts vara belastade med stort (100-150 liter/dygn och meter) eller mycket stort (>150 l/d och m) tillskott av läck- och dräneringsvatten vid hög grundvattenyta.

Resultaten från samtliga utförda överläckningsmätningar i Växjö kommun redovisas i figur 3.20 och 3.21. Där framgår att överläckning endast konstaterades i två av mätsträckorna. Dessa ansluter dessutom till varandra och de uppmätta överläckningarna är troligen att hänföra till samma överläckningssektion belägen runt anslutningspunkten mellan sträckorna. Detta beskrivs mer ingående nedan.

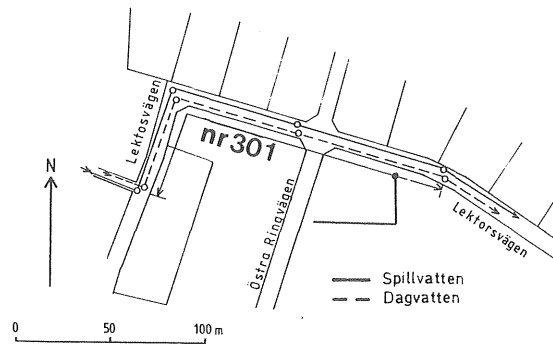


Figur 3.20 Stapeldiagram, t.v., över nedspolat brandpostflöde till dagvattenledningen i l/s (hela stapeln) och därav uppmätt överläckning till spillvattenledningen (fylld stapel) samt t.h. motsvarande överläckning uttryckt i procent av nedspolat brandpostflöde till dagvattenledning, Växjö.



Figur 3.21 Diagram över uppmätt överläckning som funktion av nedspolat brandpostflöde till dagvattenledningen t.v. och t.h. som funktion av ett teoretiskt beräknat vattendjup i dagvattenledningen (exkl 323) enligt bilaga 2, Växjö.

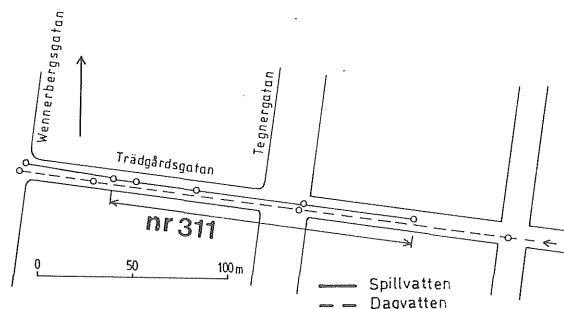
Ledningarna i sträcka 301 byggdes 1948 och omgivningen bedöms vara tät morän. Ledningarna fogades med cementbruksfog och återfyllningen torde ha skett med uppschaktat material. Sträckan är belägen inom ett område som uppmätts erhålla stort tillskott av läck- och dränvatten vid hög grundvattennivå. Sträckans spillvattenledning TV-filmades 1970 varvid många fogförskjutningar noterades. Ingen överläckning kunde emellertid uppmätas.



Figur 3.22 Kartskiss över mätsträcka 301, Växjö kommun.

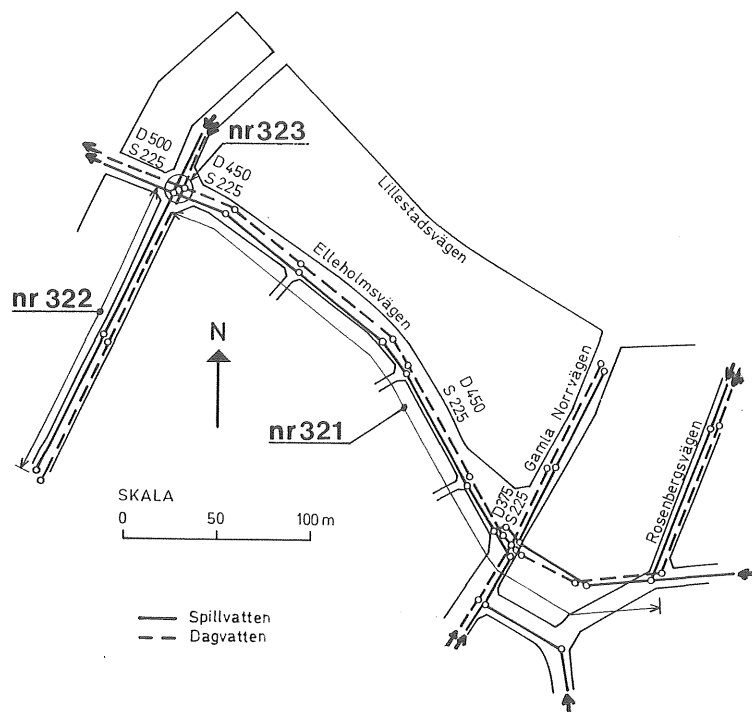
Sträcka nr 311 anlades ca 1930 och markförhållandena var relativt besvärliga, troligtvis bestående av mossor och lera. Ledningarna bedöms vara tätade med tjärdrev samt knådad lera utanpå fogarna. Sträckan är belägen inom ett område som uppmätts erhålla stort tillskott av läck- och dränvatten vid hög grundvattennivå.

Vid en sekvensfilmning i spillvattenledningen utförd 1983 angavs som ett allmänt omdöme att på sträckan fanns mindre till måttliga fogförskjutningar, järnutfällningar samt en del mindre inläckage i fogarna. Dessutom noterades mindre till måttliga svackor. Ingen överläckning kunde trots detta uppmätas.



Figur 3.23 Kartskiss över mätsträcka 311, Växjö kommun.

Mätsträckorna 321, 322 och 323 är belägna inom samma bostadsområde, vilket framgår i figur 3.24. Området byggdes 1952 och ledningarna bedöms vara anlagda i tät morän. Ledningarna torde ha fogats med cementbuk och därefter kring- och återfyllets med uppschaktat material.



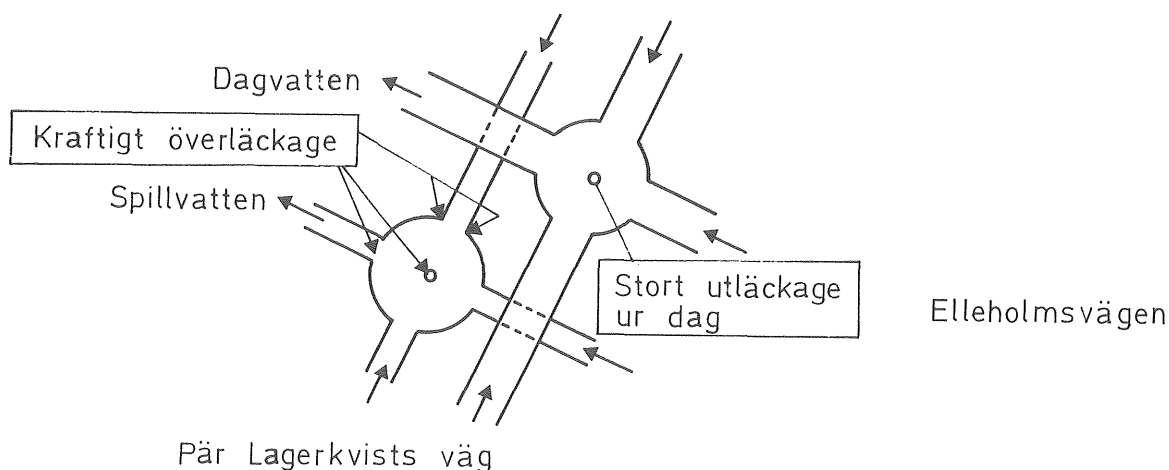
Figur 3.24 Kartskiss över mätsträckorna 321, 322 och 323, Växjö kommun.

Spillvattenledningen i sträcka 321 och 323 TV-inspekterades 1970. Då noterades många fogförskjutningar längs hela sträckan. I de nederst belägna brunnsavstånden för sträcka 321 noterades också en del rötter samt ett spräckt rör.

En mycket kraftig överläckningssektion påträffades i sträcka nr 321 nedersta brunnspar. Vatten från dagvattenledningen forsade in i spillvattenledningen framför allt genom otäta brunnsanslutningar. Eftersom huvuddelen av flödet trängde in i brunnen alldeles nedströms mätöverfallets placering i inkommande ledning från sträcka 321 valdes att hänföra detta flöde till en egen sträcka, nr 323. Sträcka 323 består därför enbart av detta brunnspar.

Dagvattnet läcker ut ur bl a ett hål mitt i dagvattenbrunnen. En hållighet kan kännas med fingrarna. Överläckningspunkterna visas i figur 3.25, se även fotografi i figur 2.15.

Överläckningsflödet i sträcka 323 uppskattades okulärt till ca 3 l/s. För sträcka 321 uppmättes en överläckning av ca 1 l/s. Det är möjligt att det mesta av överläckningsflödet i sträcka 321 också hänför sig till rören in till detta nedersta brunnspår. Detta styrktes av en okulär bedömning av spillvattenflödet i uppströms liggande brunnar under brandpostspolningen, där ingen nämnvärd flödesökning kunde uppfattas.



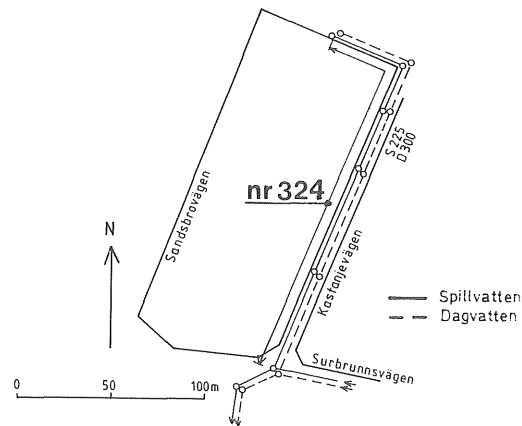
Figur 3.25 Skiss över synbara överläckningspunkter i sträcka 323, Växjö kommun.

Det är mycket intressant att notera att ingen överläckning kunde uppmätas för sträcka 322 trots att spillvattenflödet här mäts endast några decimeter ifrån den kraftiga överläckningen i sträcka 323. Detta indikerar att överläckningssektionen här måste vara mycket lokal.

Mätsträckan 324 och 331 är belägna inom två olika områden som båda har uppmätts mottaga ett tillskott av i genomsnitt 50-100 l/d och m läck- och dräneringsvatten vid hög grundvattenyta. Sträckan 324, figur 3.26, anlades 1956. Ledningarna är lagda i bergschakt och troligen kringfyllda med friktionsmaterial.

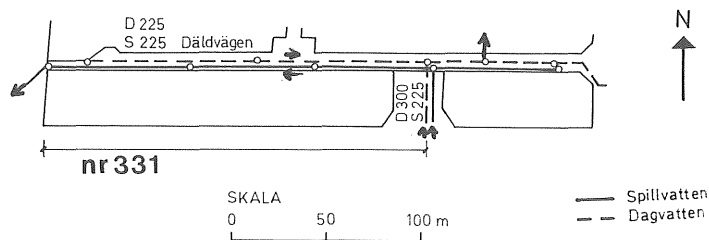
Vid en sekvensfilmning utförd 1973 noterades en del förskjutna fogar samt inläckage i fogar.

Inget överläckningsflöde kunde uppmätas. Ett mycket svagt insipprande flöde observerades emellertid vid okulärbesiktning i sträckans näst nedersta brunn.



Figur 3.26 Kartskiss över mätsträcka 324. Växjö kommun.

Ledningarna i mätsträcka nr 331, figur 3.27, byggdes 1968. Rören består av gummiringsfogade s-märkta betongrör. Omgivningen bedöms utgöras av sand, grus och morän, lite blandat. Kringfyllningen har troligen gjorts med grus. Inget överläckningsflöde kunde uppmätas. Möjligen kan ett mindre utläckage från dagvattenledningen förekomma om ca 1 l/s.



Figur 3.27 Kartskiss över mätsträcka 331, Växjö kommun.

4. DISKUSSION OM ÖVERLÄCKNINGENS KONSEKVENSER

4.1 Faktorer som bör beaktas vid utvärdering av en defekt

Avgörandet om en observerad defekt i en avloppsledning kräver en förbättringsåtgärd är en lika viktig som svår arbetsuppgift. Flera frågor kräver svar, såsom:

1. Hur kommer de observerade defekterna att utvecklas?
2. Vilka funktionskrav gäller för avloppssystemen?
Innebär de observerade defekterna sammantaget med andra defekter att dessa funktionkrav ej helt kan uppfyllas?
3. Vad kostar följdverkningarna av defekten om ingen åtgärd vidtas?
4. Vad kostar det att åtgärda defekterna?

I de fall en defekts konsekvenser är helt uppenbara, som t ex vid en mer eller mindre kollapsad ledning, kan åtgärdsbehovet enkelt fastställas. Om detta ej är fallet så gäller det att försöka framarbete ett så bra beslutsunderlag som möjligt. Många gånger kan beslutsunderlaget trots stora ansträngningar ändå förbli bristfälligt. Det är därför av största vikt att försöka hitta vägar för att bearbeta ett undersökningsresultat till sådana termer som gör det möjligt att vid behov kunna belysa ovanstående frågor.

4.2 Faktorer som bör beaktas vid utvärdering av en överläckningssituation

I detta avsnitt begränsas diskussionen till att endast omfatta vilket beslutsunderlag som kan föreligga efter en överläckningssimulering.

För bedömning av om mätresultatet kräver en åtgärd kan följande frågor beaktas:

- * Vad är kostnaden för pumpning och rening av överläckningsvolymen under ett år?
- * Föreligger risk för överbelastning i nedströms liggande spillvattennät?
- * Är de geohydrologiska förhållandena runt ledningar sådana att en fortsatt överläckningsströmning kan riskera ovanliggande ledningar och vägbanan genom underminering?

4.2.1 Kostnader för pumpning och rening av överläckningsvolym

En uppskattning av kostnaden för pumpning och rening förutsätter att årsvolymer av överläckningsflödena har uppskattats. Det är mycket svårt att noggrant uppskatta årsvolymer då detta förutsätter att man känner såväl överläckningsflödet i den aktuella ledningssträckan vid olika flöden i dagvattenledningen samt överläckningsflödenas varaktigheter.

De mätinsatser som krävs för att göra en noggrann bedömning kan ej försvaras för dessa små och utspridda problemsektioner. Vi är i stället hänvisade till att, om behov föreligger, grovt försöka uppskatta årsvolymer.

I bilaga 1 presenteras metoder för grov uppskattning av överläckningsvolymen under ett år. Naturligtvis beror möjligheten till en bra volymuppskattning av beräkningsunderlagets kvalité.

Flödet i dagvattenledningen är genererat av

- * regn
- * snösmältning
- * dräneringsvatten

I det beräkningsexempel som redovisas i bilaga 1 framgår att det största bidraget till årsvolymer från den regngenererade överläckningen fås från de mest förekommande regnen, dvs de som har låg intensitet och framför allt lång varaktighet. Eftersom detta avrinningsförlopp också kännetecknar snösmältning och en eventuell dräneringsvattenavledning så inses att dessa också är mycket viktiga faktorer för riktig uppskattning av den totala årsvisa överläckningsvolymen.

Enligt beräkningsexemplet i bilaga 1 blev överläckningen för en sträcka långt upp i ett ledningsnät (sträcka nr 113) grovt uppskattat ca 750-800 m³/år enbart orsakat av regn. Detta kan jämföras med ett felkopplat hustak på 100 kvm som ger en årsvolym till spillvattensystemet på 60 m³ om årsavrinningen är 600 mm.

Årskostnaden för överläckning erhålls genom multiplikering av total uppskattad årsvolym och en m³-kostnad. En m³-kostnad kan beräknas på många sätt. Den lägsta kostnaden erhålls om enbart marginella el- och kemikaliekostnader för pumpning och rening medräknas. Här kan m³-kostnaden variera stort beroende på de lokala förhållandena.

En uppskattning av olika rörliga delkostnader som påverkar m³-kostnaden har gjorts av Peterson (1984):

- * Energikostnad på ledningsnätet: 0-ca 0.30 à 0.40 kr/m³
- * Kemikaliekostnad (Al-sulfat)
i reningsverk: ca 0.06-0.10 kr/m³
- * Energikostnad i reningsverk: ca 0.10-0.15 kr/m³

Väsentligt högre m³-kostnader erhålls om delar av ledningsnätet eller reningsverket har begränsad kapacitet så att det ovidkommande vattnet kan medföra utbyggnadsbehov. Om det ovidkommande vattnet medför bräddning av spillvatten eller sämre kvalitet på renat avloppsvatten bör även en "miljökostnad" medräknas.

4.2.2 Risk för överbelastning i nedströms liggande spillvattenledningar

Ett dåligt fungerande duplikat spillvattenledningsnät kan under regntillfällen få motta så stora momentana flöden av ovidkommande vatten att belastningsproblem kan uppträda. Överbelastningar medför risk för källaröversvämningar och miljöpåverkan om viss del av spillvattenflödet måste bräddas.

En överbelastning i duplikata spillvattenledningar orsakas ofta av mängder med irrationellt förekommande fel och brister i avloppssystemet. En överläkningssektion måste därför betraktas sammantaget och i förhållande till andra källor till ovidkommande vatten. Det kan därför vara intressant att jämföra effekter i tillskottsflöden till följd av felaktiga takanslutningar och överläkningssektioner.

Ett felaktigt anslutet hustak på 100 kvm ger för Göteborgsförhållanden ett flöde till spillvattennätet av drygt 1 l/s under ett 15 min regn med 2 års återkomsttid ($I=114$ l/s.ha). Detta kan jämföras med överläkningsflöden upp till flera lit/sek i vissa brunnsavstånd redan vid måttliga dagvattenflöden.

Således kan en kraftig överläkning medföra ett lika stort flödestillskott som ett mycket stort antal felaktigt anslutna hustak. Vid denna jämförelse bör man vara klar över att kostnaden för att åtgärda ett felaktigt anslutet tak genom installation av utkastare är väsentligt lägre än tätning av otäta ledningssystem.

Tillskottet i flöde från överläkningssektioner vid kraftigare regntillfällen kan uppskattas genom extrapolation från diagram där överläkningsflödet uppritats mot dagvattenflödet eller beräknat vattendjup i dagvattenledningen. Många osäkerheter föreligger emellertid vid en dylik extrapolering.

4.2.3 Risk för underminering

Om risken för underminering av ovanliggande ledningar och vägbanan är stor, utgör detta den mest allvarliga konsekvensen av inläkningsproblematiken. Kunskapen om problemens förekomst och omfattning är emellertid mycket osäker.

En hålrumsbildning kan ske om ledningsgraven består av material som lätt kan eroderas samt att inläckaget är tillräckligt kraftigt för att åstadkomma en erosion. Redan på 1960-talet påtalades att mjäla läckt in i otäta avloppsledningar med underminering till följd (Säfwenberg, 1963).

I Sverige betonas sällan denna problemställning, vilket beror på att antalet ledningsgravkollapser är litet. Det bör emellertid påpekas att en möjlig förklaring till ett brott på den i ledningsgraven överst liggande vattenledningen kan vara förhöjda punktlaster på grund av underminering. När ett vattenledningsbrott väl inträffat är det ofta mycket svårt att avgöra orsaken till brottet eftersom hela ledningsgraven ofta stuvats om av kraften från de utflödande vattenmassorna.

Den ideala tekniken för att studera hålrumsbildningen hade varit en hålrumsdetektor som, från en lednings insida, kunde avgöra om ett hålrum utbildats på utsidan. I Storbritannien har stora ansträngningar gjorts för att utveckla en hålrumsdetektor. Detta arbete har emellertid ännu ej resulterat i ett tillförlitligt instrument.

I Storbritannien har undermineringen medfört många stora kollapser av hela vägsektioner. Avloppsledningssystemen har då varit kombinerade och en teori är att återkommande överbelastningar i ledningsnätet växelvis medför en utströmning och därefter inströmning av vatten. De bryggor av partiklar som i vissa kringfyllningsmaterial hindrar erosionen kan därvid slås sönder (Jones, 1984).

Motsvarande sönderslagning av bryggorna kan ske vid högt trycksspolning av avloppsledningar.

De större överläckagesektioner som tidigare redovisats med flöden i ledningsskarvar på upp till flera liter/sekund koncentrerade till någon eller några otäta fogar eller brunnsanslutningar måste innebära att kanaler kan utbildas mellan ledningarna om kringfyllnadsmaterialet är eroderbart.

Allvaret i de här beskrivna undermineringsmekanismerna i kombination med den idag osäkra kunskapen härom, pekar på ett behov av att närmare undersöka dessa eventuellt potentiella problem. Vid dessa studier är vattnets ursprung av mindre intresse. Samma problemställning föreligger vid såväl kraftig grundvatteninläckning som flöden genererade av otäta vattenledningar.

5. REFERENSER

- Arnell, V (1980): Description and Validation of the CTH-Urban Runoff Model. Chalmers tekniska högskola, Inst. för vattenbyggnad, Rapport A:5. Göteborg.
- Balmér, P, Bendixen, S, Bergman, B, Bäckman, H, Rithander, B (1982): "Kommunala VA-ledningar - en analys av dagens situation och FoU-behov. Byggeforskningsrådet, G4:1982.
- Baugh, E J (1964): A Four-Way Program of Sewer Rehabilitation. The American City, vol 79, no 3, p 117.
- Brown, K W, Caldwell, D (1957): New Techniques for the Detection of Defective Sewers. Sewage Works, vol 29, no 9, p 963-977.
- Bäckman, H, Svensson G (1983): Flödesmätning i avloppsnät med portabla utrustningar. - Måtnoggrannhet under kontrollerade förhållanden i en 225 mm:s betongledning. Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 69, Chalmers tekniska högskola. Göteborg, juni 1983.
- Bäckman, H (1984a): Avloppsledningar i svenska tätorter i ett historiskt perspektiv. - Ett sammandrag av tekniska förutsättningar idéer och diskussioner under 1900-talets ledningsbyggande. Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 74, Chalmers tekniska högskola. Göteborg feb. 1984.
- Bäckman, H (1984b): Sammanställning av observationer och resultat vid överläckningsmätningar i Göteborgs kommun utförda inom projektet Brister i avloppsnät. Stencil, Inst. för VA-teknik, Chalmers tekniska högskola. Göteborg dec. 1984.
- Bäckman, H (1984c): Sammanställning av observationer och resultat vid överläckningsmätningar i Borås kommun utförda inom projektet Brister i avloppsnät. Stencil, Inst. för VA-teknik, Chalmers tekniska högskola. Göteborg dec. 1984.
- Bäckman, H (1984d): Sammanställning av observationer och resultat vid överläckningsmätningar i Växjö kommun utförda inom projektet Brister i avloppsnät. Stencil, Inst. för VA-teknik, Chalmers tekniska högskola. Göteborg nov. 1984.
- Bäckman, H (1984e): Undersökningar för att bestämma ledningars funktion, föredrag vid Nordiskt seminarium om Förnyelse av kommunala avloppsnät - strategisk planering och genomförande, Chalmers tekniska högskola. Göteborg, 13-14 november 1984.
- Bäckman, H, Sjölander, B (1984): AVLOPPSPERISKOP - ett enkelt och billigt hjälpmedel vid undersökningar i avloppsnät. VATTEN, vol 40, no 2, p 188-192.

- Cederwall, K, Larsen, P (1981): Hydraulik för väg- och vattenbyggare. Liber Läromedel, Malmö.
- Cronström, A (1954): Kombinerat eller duplikat avloppssystem? Kommunal teknisk tidskrift, vol 20, nr 1, s 1-6.
- Cronström, A (1963): Behöver en avloppsledning vara tät? Cement och betong, vol 38, nr 2, s 147-161.
- Dahl, J B (1980): Lekkasje og infiltrasjon i vann og avløpsledninger. Föreläsningssdokumentation, stencil. Institutt for energiteknik, Kjeller.
- Delft Hydraulics Laboratory (1976): Discharge Measurement Structures. Publication No.161. Delft.
- EPA (1970): Control of Infiltration and Inflow into Sewer Systems. Environmental Protection Agency, Washington.
- EPA (1971): Prevention and Correction of Excessive Infiltration and Inflow into Sewer Systems - A Manual of Practice. American Public Works Association, Environmental Protection Agency, 11022 EFF 01/71, Washington, Jan. 1971.
- EPA (1974): Guidance for Sewer System Evaluation. Environmental Protection Agency, Washington. EPA/520/9-74/018.
- EPA (1975): Handbook for Sewer System Evaluation and Rehabilitation, Environmental Protection Agency, Washington. EPA-430/9-75-021, dec. 1975.
- EPA (1977): Sewer System Evaluation, Rehabilitation and New Construction. A Manual of Practice. American Public Works Association, Environmental Protection Agency, Washington. EPA-600/2-77-017d.
- Horne R W (1945): Control of Infiltration and Storm Flow in the Operation of Sewerage Systems. Sewage Works Journal, vol 17, no 2, p 209-222.
- Jones, G M A (1984): The structural Deterioration of Sewers, Paper presented at the International Conference on the Planning, Construction, Maintenance & Operation of sewerage systems, 12-14 September, Reading, England, 1984.
- KTH 1982): Mätning av avloppsvattenflöde i ledningsnät, avloppspumpstationer och fasta mätanordningr. Bulletin No TRITA-VBI-116, Inst för vattenbyggnad, Kung. Tekniska Högskolan, Stockholm, 1982.
- Leary, R D (1954): Reduction of Excess Sewage Flows at Milwaukee. Sewage and Industrial Wastes, vol 26, no 1, p 34-41.
- Nelson, M, Weller L W (1963): A study of stormwater infiltration into sanitary sewers. Journal WPCF, vol 35, no 6, p 762-776.

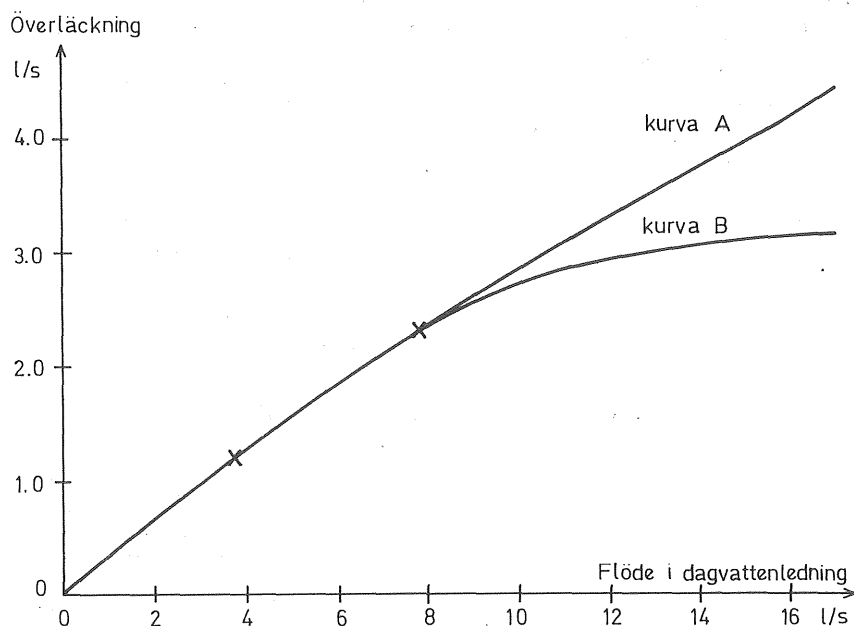
- NIVA (1975): Tillrettelegging av regnskylldata - avsluttende rapport. PRA 4.10, 0-88/75. Norsk Institutt for Vannforskning, Blindern, okt. 1975.
- NIVA (1978): Bruk av modellregn ved planlegging av avløpssystem. C4-20, Norsk Institutt for Vannforskning, Oslo, maj 1978.
- Peterson, B-L, Andréasson, M, Alm, K (1978): Ovidkommande vatten, Backö, Växjö, jan 1978.
- Peterson, B-L (1984): Sanering av avloppsnät inom mindre tätorter. Byggforskningsrådet, T9:1984. Stockholm, 1984.
- SNV (1983): Sanering av avloppssystem - planering och exempel. Naturvårdsverket/Byggforskningsrådet. Solna/Stockholm, maj 1983.
- Sprague, J M, Velzy, C R (1955): Infiltration Specifications and Tests. Sewage Works, vol 27, no 3, p 245-256.
- Svensson, G, Øren, K (1979): Planeringsmodeller för avloppssystem - Niva-modellen tillämpad på Torslanda avrinningsområde. Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 41, Chalmers tekniska högskola. Göteborg, april 1979.
- Säfwenbergs, U (1963): Referat av diskussion efter föredrag, se Cronström 1963, Svenska kommunaltekniska föreningens handl. nr 18, 1963.
- VAV (1978): Kontroll på avloppsnät. Publikation, VAV P33, Svenska Vatten- och avloppsverksföreningen. Stockholm, nov 1978.
- VAV (1979): Skötsel och underhåll av va-nät - råd och synpunkter. VAV P39, Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, Stockholm. sept. 1979.
- WPCF (1983): Existing Sewer Evaluation and Rehabilitation - Manual of Practice FD-6. Water Pollution Control Federation. Washington.

BILAGA 1

Diskussion om möjligheter till en grov uppskattning av årsvolym på basis av överläckningssimulering

De här diskuterade utvärderingsmetoderna skall ses som förslag till möjlig hantering av mätresultat från överläckningssimuleringar. De framräknade volymerna är beräkningsexempel. Det har ej varit möjligt inom detta projekt att utföra så omfattande mätningar i en enskild sträcka att metodernas beräkningsresultat har kunnat jämföras med verklig uppmätt årsvolym.

Naturligtvis måste man vara väl medveten om möjliga fel när man grundar sina uppskattningar på ett begränsat eller bristande mät- och beräkningsunderlag.



Figur B1:1 Överläckning vid olika brandpostflöden enligt sträcka 113 med två alternativa extrapolationskurvor. (Järnbrott, Göteborgs kommun, sid. 44)

Det resultat som ges av en överläckningssimulering, enligt kap. 2.4.3, är om överläckningssektioner påträffats, ett eller flera uppmätta överläckningsflöden och därtill hörande brandpostflöden. Mätresultatet från exempelvis sträcka nr 113, kap. 3.2.1, visas i figur B1:1. De två mätpunkterna har sammanbundits och två alternativa extrapoleringskurvor har utritats.

Årsvolymen av överläckningsflöden genereras av

- * nederbörd, vilken ger stor variation i dagvattenflöde
- * smält- och dräneringsvatten, vilken ger låg variation i dagvattenflöde.

Dessa två avrinningsförlopp behandlas nedan var för sig.

Nederbördsavrinningens påverkan

Flödet i en dagvattenledning till följd av nederbörd kan beräknas med formeln:

$$Q = A \cdot \varphi \cdot I$$

där

A = deltagande area (ha)

φ = avrinningsfaktor

I = regnintensitet (l/s.ha)

Q = flöde (l/s)

Den områdesberoende faktorn, reducerad area, ($A \cdot \varphi = A_{red}$) måste då uppskattas. Detta kan göras genom att på platsen samt med hjälp av kartor uppskatta och lägga samman ytan gator, hustak m m och multiplicera arean med en avrinningsfaktor. Den anslutna arean kan bättre uppskattas om en anslutningskontroll av hustaken har utförts inom området.

I vårt beräkningsexempel, sträcka 113, har den anslutna reducerade arean till dagvattensystemet grovt uppskattats till ca 0.38 ha. Uppskattningen har enbart gjorts med hjälp av ledningskarta samt under antagande att samtliga fastigheters dagvattenledningar är anslutna till dagvattensystemet.

Sträcka nr 113 är belägen i en skaftgata. Till dagvattensystemet är också anslutet dränledningar från ett uppströms liggande skogsområde. Effekten av dessa har ej undersökts och dagvattenflöden från skogsområdet har ej medtagits i nedan gjorda beräkningar.

Vid beräkning av nederbördens fördelning under ett år har sk modellregn utnyttjats. Härigenom sammanfattas alla regn i ett valt antal modellregn vilka klassindelats med avseende på regnintensitet och varaktighet (NIVA, 1975, NIVA, 1978). Inom resp. klass beräknas medelintensiteten och medelvaraktigheten samt anges antalet regn inom denna klass under ett år. I tabell B1.1 visas en bearbetning enligt Svensson et al (1978) av nederbördsvärden för Bergsjön i Göteborg 1973 och 1974. Nederbördsmåta- ren i Bergsjön är belägen ca 14 km nordost om sträcka 113.

Eftersom detta endast är ett beräkningsexempel så har ingen korrektion för regionala nederbördsvariationer utförts.

Tabell B1.1 Medelintensitet (I) och medelvaraktighet (T) för modellregn utvärderade från nederbördsvärden i Bergsjön, Göteborg 1973 och 1974. Antalet regn som modellregnet representerar under ett år ges av n.

Intensitet, l/s · ha (I)		Intensitetsintervall				
Varaktighet, min (T)		<5	5-10	10-20	20-40	>40
Antal regn/år (n)						
<15	I	-	7.5	14.4	29.7	45.0
	T	-	13	12	7	7
	n	0	3	5	2	1
15-45	I	3.3	7.2	13.3	23.6	70.8
	T	35	27	33	24	24
	n	12	16	5	3	1
>45	I	3.1	6.9	12.8	29.7	-
	T	193	174	135	87	-
	n	80	28	4	1	0

Flödet i dagvattenledningen för de olika modellregnen har erhållits genom multiplicering av medelintensiteten och den reducerade arean, här 0.38 ha. Överläckningsflödet erhålls från figur B1:1. Överläckagevolymen för de olika modellregnen har slutligen erhållits genom multiplicering av överläckningsflöde, varaktighet och antalet förekommande regn under ett år. Beräkningen av de olika modellregnens bidrag till överläckningsvolymen visas i tabell B1.2.

Tabell B1.2 Beräkningsexempel för sträcka 113 av årsvolymen av överläckning genererat av nederbörd utan hänsyn till rinntid.

Modellregn, klass min, l/s · ha	Q-dag l/s	n antal	Kurva A		Kurva B	
			Q-över l/s	Volym-över m ³	Q-över l/s	Volym-över m ³
<15 , <5	-	0	-	-	-	-
<15 , 5-10	2,8	3	0,9	2,1	0,9	2,1
<15 , 10-20	5,5	5	1,7	6,1	1,7	6,1
<15 , 20-40	11,3	2	3,1	2,6	2,9	2,4
<15 , >40	17,1	1	4,4	1,9	3,2	1,3
15-45, <5	1,3	12	0,4	10,1	0,4	10,1
15-45, 5-10	2,7	16	0,9	23,3	0,9	23,3
15-45, 10-20	5,1	5	1,6	15,8	1,6	15,8
15-45, 20-40	9,0	3	2,6	11,2	2,5	10,8
15-45, >40	26,9	1	4,4 ^{x)}	6,3	3,2 ^{x)}	4,6
>45 , <5	1,2	80	0,4	370,6	0,4	370,6
>45 , 5-10	2,6	28	0,8	233,8	0,8	233,8
>45 , 10-20	4,9	4	1,5	48,6	1,5	48,6
>45 , 20-40	11,3	1	3,1	16,2	2,9	15,1
>45 , >40	-	0	-	-	-	-
			Σ 748,6		Σ 744,6	

x) Använt Q-dag = 17 l/s

Årsvolym ca 750 m³ för både kurva A och B

Summan av bidragen från samtliga modellregn under ett år blir, enligt tabell B1.2, ca 750 m³. Här framgår också att det är modellregnen med låg intensitet och framför allt lång varaktighet som ger det största bidraget till årsvolymen.

Eftersom sträcka nr 113 är belägen i en ändledning är medelvattenföringen i dagvattenledningen låg och täcks väl av det maximala brandpostflödet. Extrapoleringskurvornas form saknar här betydelse. Givetvis är förhållandena annorlunda i detta avseende om överläckningsektionen är belägen längre ned i ledningssystemet där dagvattenflödena blir väsentligt större.

Som jämförelse till den i tabell B1.2 framräknade volymen på ca 750 m³ kan årsvolym beräknas för ett årsmedelvärde på avrinningsflödet i dagvattenledningen.

Utgående från modellregnen i tabell B1.1 och en reducerad area av 0.38 ha kan ett viktat årsmedelvärde för dagvattenflödet vid nederbörd beräknas till ca 1.8 l/s enligt formeln

$$Q_{\text{dag medel}} = \frac{\text{total årsnederbörd}}{\text{total årsnederbördstid}} * \text{reducerad area}.$$

Ett dagvattenflöde på 1.8 l/s ger i sträcka nr 113 ca 0.6 l/s överläckning enligt figur B1:1. Om detta multipliceras med total nederbördstid enligt tabell B1.1, dvs totalt ca 369 h erhålls en årsvolym på ca 800 m³, vilket är i stort sett samma resultat som erhålls enligt tabell B1.1.

I de här redovisade beräkningarna har ingen hänsyn tagits till rinntider. Om det procentuella överläckningsflödet bedöms vara större vid mycket låga dagvattenflöden än vid höga så blir årsvolymen högre till följd av att avrinningsförloppet är mer utjämnat i verkliga ledningsnät än vad som ges i ovanstående beräkningar.

Smält- och dräneringsvattnets påverkan

Av den nederbörd som tidigare behandlats, faller en del som snö. Smältvattnets avrinning är jämfört med regnvattenavrinningen ett mycket utdraget förlopp. Dessutom kan ett dagvattensystem även få mottaga smältvatten från större arealer om marken ej kan ta emot vattnet till följd av tjäle.

Dagvattensystem kan också få motta väsentliga mängder med grundvatten från husdräningar eller från otäta dagvattenledningar även uppströms mätsträckan. Grundvattenavrinningen är mycket beroende på de lokala geohydrologiska förutsättningarna. Karaktären på grundvattenavrinning är vanligen lågt flöde under lång tid. Detta innebär att en eventuell grundvattenavrinning är intressant i detta sammanhang.

Smält- och den eventuella dränvattenavrinningen kan uppskattas enligt:

$$\text{Årsvolym}_{(\text{smält}+\text{gv})} = \bar{q}\text{-över}_{\text{smält}} * h_{\text{smält}} + \bar{q}\text{-över}_{\text{gv}} * h_{\text{gv}}$$

där

$\bar{q}\text{-över}_{\text{smält}}$ = överläckningsflöde, ur fig B1.1, genererat av en uppskattad medelsmältvattenavrinning till dagvattensystemet

$h_{\text{smält}}$ = uppskattad varaktighet av smältvattenavrinningen under ett år

$\bar{q}\text{-över}_{\text{gv}}$ = överläckningsflöde, ur fig B1.1, genererat av en uppskattad medelgrundvattenförning till dagvattensystemet

h_{gv} = uppskattad varaktighet av grundvattenförningen under ett år.

En viss del av nederbördsavrinningen räknas härigenom 2 gånger, dels som regnavrinning och dels som smältvatten. Detta fel är dock måttligt jämfört med andra felkällor.

The first of these is the fact that the system is not a simple one. It is a complex system, and the behavior of the system is not predictable. The second is that the system is not a simple one. It is a complex system, and the behavior of the system is not predictable. The third is that the system is not a simple one. It is a complex system, and the behavior of the system is not predictable. The fourth is that the system is not a simple one. It is a complex system, and the behavior of the system is not predictable. The fifth is that the system is not a simple one. It is a complex system, and the behavior of the system is not predictable. The sixth is that the system is not a simple one. It is a complex system, and the behavior of the system is not predictable. The seventh is that the system is not a simple one. It is a complex system, and the behavior of the system is not predictable. The eighth is that the system is not a simple one. It is a complex system, and the behavior of the system is not predictable. The ninth is that the system is not a simple one. It is a complex system, and the behavior of the system is not predictable. The tenth is that the system is not a simple one. It is a complex system, and the behavior of the system is not predictable.

BILAGA 2Beräkningsförutsättningar och formler vid beräkning av vattendjup i öppen ledning

I denna bilaga redovisas beräkningsförutsättningar och formler för de i kap. 3 redovisade beräknade vattendjupen i dagvattenledningarna orsakade av det nedspolade flödet från brandpost. Beräkningsförutsättningar är:

- * Ingen hänsyn tas till eventuellt utläckande dagvatten.
- * Hela mätsträckan betraktas som en rak ledning från sträckans uppströms brunn till dess nedströms brunn oavsett om sträckan består av flera brunnsavstånd med olika lutning. Lutningen är således dagvattenledningens genomsnittslutning.
- * Om mätsträckan innehåller flera olika dimensioner har den största valts.
- * Normalt vattendjup förutsätts råda.

Dagvattenledningens fulla kapacitet har beräknats med Mannings formel, ekv. B2.1.

$$Q_{\text{full}} = M A R^{2/3} I^{1/2} \quad (\text{ekv B2.1})$$

där

M = Mannings tal, här antaget vara M=80
 A = Ledningsarean vid fylld sektion (m²)
 R = Hydraulisk radie (m)
 I = Ledningens lutning (m/m)

Vattendjupet i dagvattenledningen har därefter beräknats med ekv B2.2, vilken är en invertering av Brettings delfyllnadskurva (Arnell, 1980).

$$Y = \frac{D}{\pi} \arccos \left(3.125 - (3.125^2 - 5.25 + 12.5 \frac{Q}{Q_{\text{full}}})^{1/2} \right) \quad (\text{ekv B2.2})$$

där

Y = vattendjupet
 D = ledningens diameter
 Q = aktuellt flöde från brandpost
 Q_{full} = ledningens fulla kapacitet enligt ekv B2.1

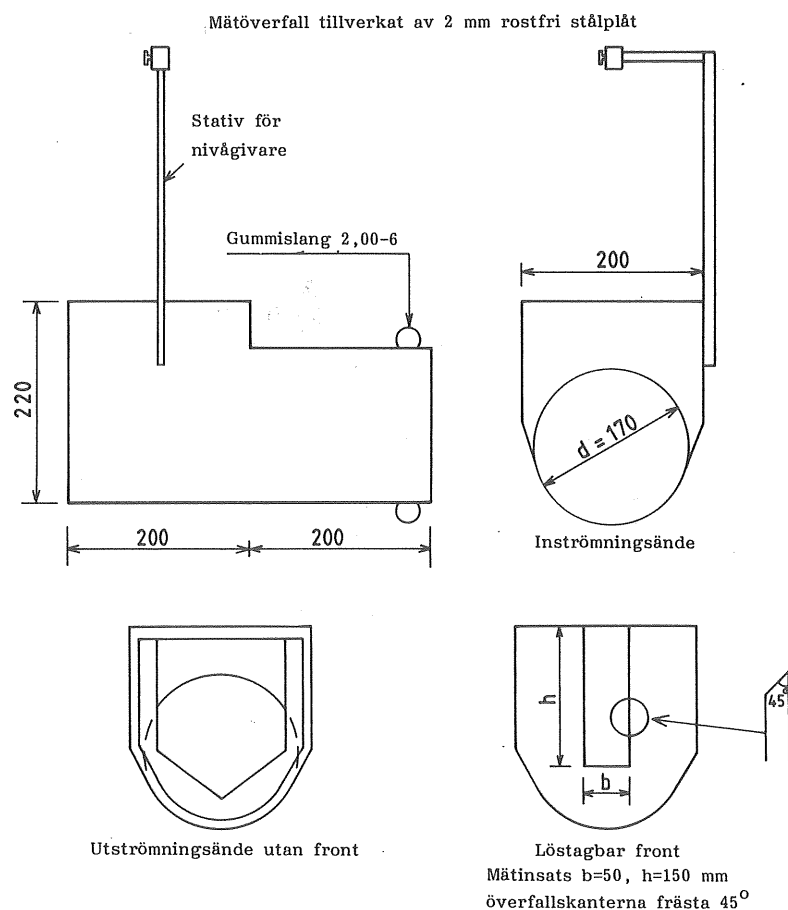
BILAGA 3

Redovisning av kalibrerade avbördningsformler för de utnyttjade mätöverfallen och mättrännen

I de flödesmätningar som utförts inom projektet har tre olika mätöverfall och en mätträna utnyttjats. Dessa är portabla mätinsatser och installeras i nedstigningsbrunnar:

- 1) 5 cm brett rektangulärt överfall installerat i inkommande ledning.
- 2) 10 cm brett rektangulärt överfall installerat i inkommande ledning.
- 3) Palmer-Bowlus mätträna, PB-6, installerad i utgående ledning.
- 4) Triangulärt mätöverfall installerat i utgående ledning.

För de två första mätöverfallen utnyttjas samma mätstos där fronten är utbytbar. Härigenom kan överfallets kapacitet enkelt ändras. En skiss över mätstosen samt den löstagbara fronten, här med 5 cm brett rektangulärt överfall, visas i figur B3.1. De två mätöverfallen visas också under pågående flödesmätning i figur 2.10.



Figur B3.1 Skiss över mätstos med 5 cm brett rektangulärt överfall utformad med utbytbar front.

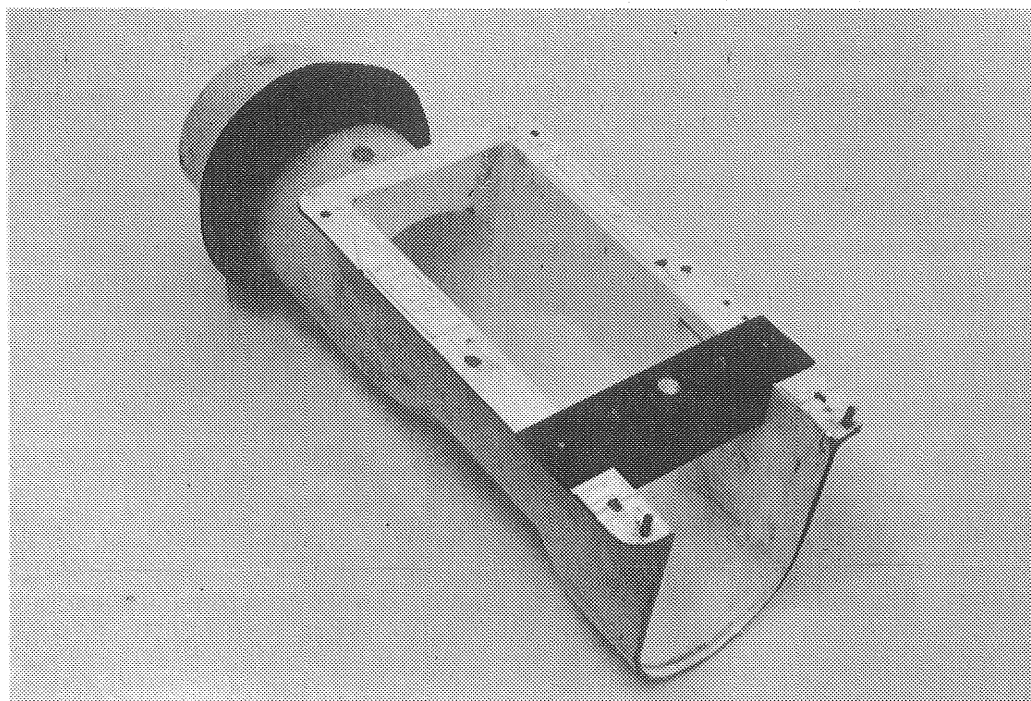


Foto: Thomas Eriksson

Figur B3.2 Fotografi av Palmer-Bowlus mätvärna, PB-6.

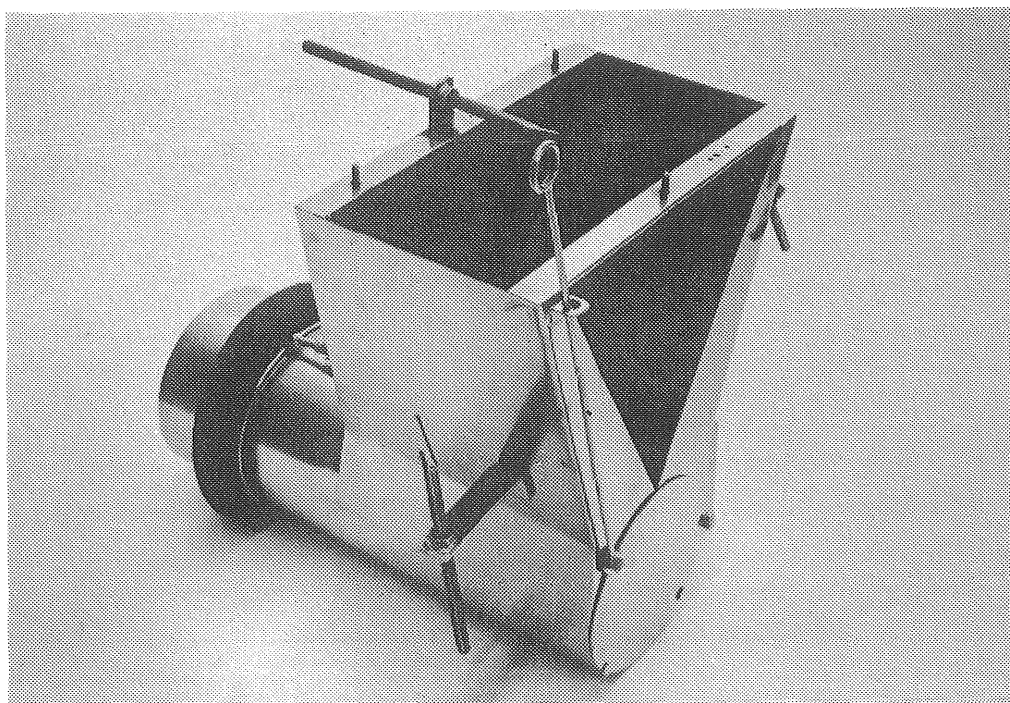


Foto: Thomas Eriksson

Figur B3.3 Fotografi av triangulärt mätöverfall.

Palmer-Bowlus mätrännan, PB-6, visas i figur B3.2 (se även figur 2.11).

Det triangulära mätöverfallet är framtaget enligt ritningar från Göteborgs va-verk, figur B3.3. Luckan under mätöverfallet gör att en rensning av sedimenterat material uppströms överfallet mycket enkelt kan göras vid tillsyn under längre flödesmättningsperioder i spillvattenledningar. I dessa försök har detta överfall endast utnyttjats för att mäta utläckande dagvatten enligt kap. 2.4.1.

Samtliga mätinsatser har kalibrerats i en laboratorieanläggning vid Inst. för VA-teknik, CTH, för studier av mätnoggrannhet vid flödesmätning i avloppsnät (Bäckman et al, 1983). Nedan redovisas resultaten och de avbördningssamband som framtagits genom regressionsanalys av kalibreringsmätningarna.

Vattendjupet vid de bestämmande sektionerna har under kalibreringen mätts med spetsmätare. De tre överfallen har endast kalibrerats vid 20 ‰ lutning av avloppsledningen. För Palmer-Bowlus rännan kunde ett väsentligt större underlag utnyttjas och där har kalibreringspunkterna framtagits vid 3, 10 och 20 ‰ lutning.

De framtagna avbördningssambanden redovisas med många siffror. Avrundning till lämpligt antal siffrors noggrannhet skall därefter göras.

Kalibreringspunkterna och de framtagna avbördningssambanden redovisas i 2 typer av figurer. Den första visar flödet genom respektive mätinsats vid olika fyllnadshöjd, där både uppmätta kalibreringspunkter och regressionskurvan är utritade. Den andra figurtypen visar vilket fel i procent som erhållits för de uppmätta kalibreringspunkterna om man för samma vattendjup i stället beräknat flödet med regressionskurvans formel.

5 cm brett rektangulärt överfall installerat i inkommande ledning-
en

Avbördningssambandet för det 5 cm breda mätöverfallet är framtaget genom regressionsanalys av kalibreringspunkter vid 20 ‰ lutning av laboratorieavloppsledningen:

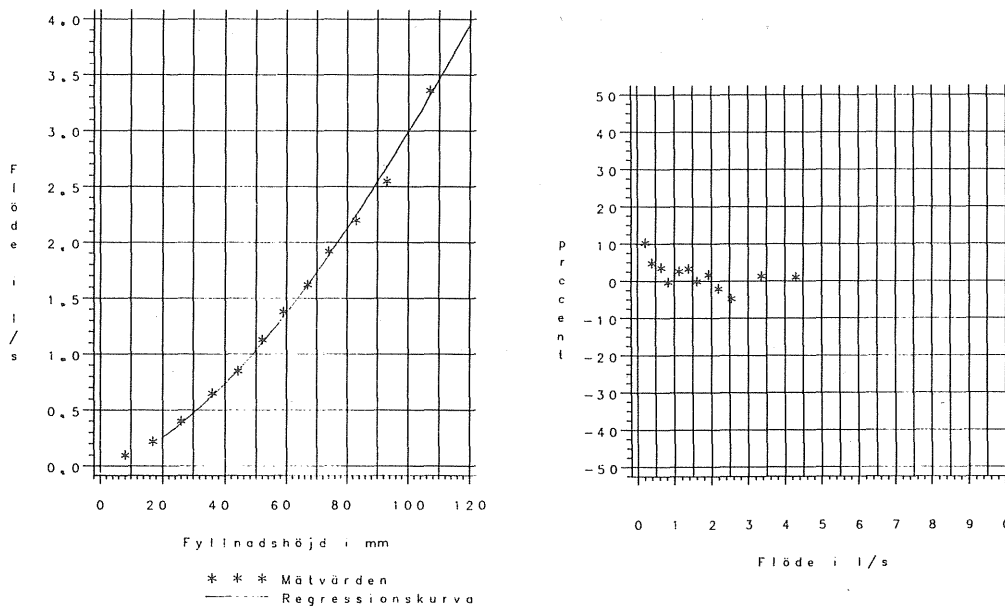
$$Q = 0.002629 * h^{1.528}$$

där

Q = flöde (l/s)

h = höjd (mm)

Kalibreringspunkterna och avbördningssambandet visas i figur B3:4.



Figur B3:4

Diagram över kalibreringspunkter och den framtagna regressionskurvan för det 5 cm breda, rektangulära överfallet (t.v.) och t.h. motsvarande diagram där avvikelsen mellan kalibreringspunkterna och regressionskurvan visas i procent.

10 cm brett rektangulärt överfall installerat i inkommande ledningen

Avbördningssambandet för det 10 cm breda mätöverfallet är framtaget genom regressionsanalys av kalibreringspunkter vid 20 ‰ lutning av laboratorieavloppsledningen:

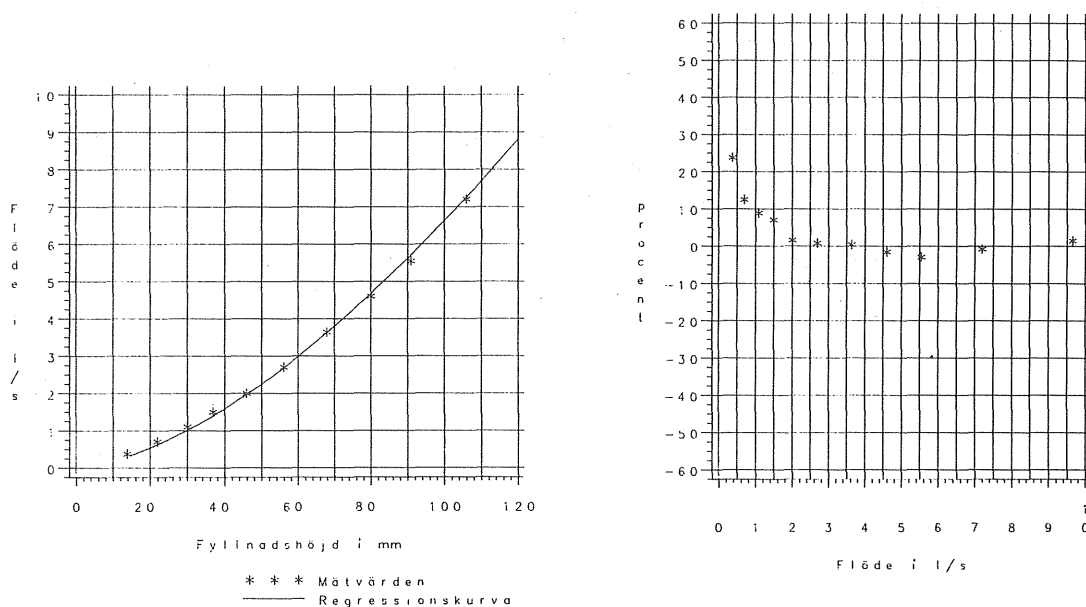
$$Q = 0.004979 \cdot h^{1.562}$$

där

Q = flöde (l/s)

h = höjd (mm)

Kalibreringspunkterna och avbördningssambandet visas i figur B3:5.



Figur B3:5

Diagram över kalibreringspunkter och den framtagna regressionskurvan för det 10 cm breda, rektangulära överfallet t.v. och t.h. motsvarande diagram där avvikelsen mellan kalibreringspunkterna och regressionskurvan visas i procent.

Palmer-Bowlus mättrännen, PB-6, installerad i utgående ledning

Avbördningssambandet för Palmer-Bowlus mättrännen är framtaget genom regressionsanalys av kalibreringspunkter vid 3, 10 och 20 ‰ lutning av laboratorieavloppsledningen:

$$Q = 0.00100 * h^{1.92}$$

där

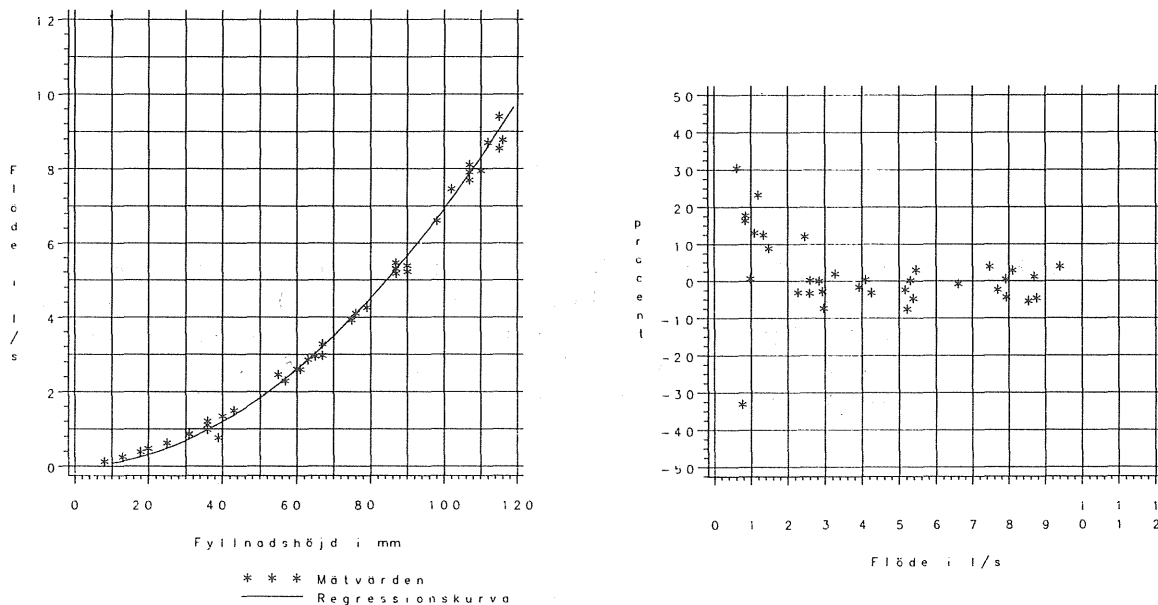
Q = flöde (l/s)

h = höjd (mm)

Kalibreringspunkterna och avbördningssambandet visas i figur B3:6.

Eftersom 3 olika lutningar utnyttjats har detta inneburit att mättrännen installerats flera gånger. Härigenom ingår även fel som kan relateras till installeringen och injusteringen av mättrännen.

Vattennivån vid de uppmätta kalibreringspunkterna har mätts med spetsmätare i samband med en undersökning om mätnoggrannhet för portabla mätutrustningar i avloppsnät. Ett större mätfel erhålls då även möjliga fel vid installering av ekolod omfattas och framför allt om man utnyttjar ett ej helt korrekt avbördningssamband. Dessa mätproblem diskuteras mer ingående i Bäckman et al (1983).



Figur B3:6

Diagram över kalibreringspunkter och den framtagna regressionskurvan för en Palmer-Bowlus mätträna, PB-6, t.v. och t.h. motsvarande diagram där avvikelserna mellan kalibreringspunkterna och regressionskurvan visas i procent.

Triangulärt överfall installerat i utgående ledning

Avbördningssambandet för det triangulära mätöverfallet med 60^o spetsig vinkel är framtaget genom regressionsanalys av kalibreringspunkter med 20^o/oo lutning av laboratorieavloppsledningen:

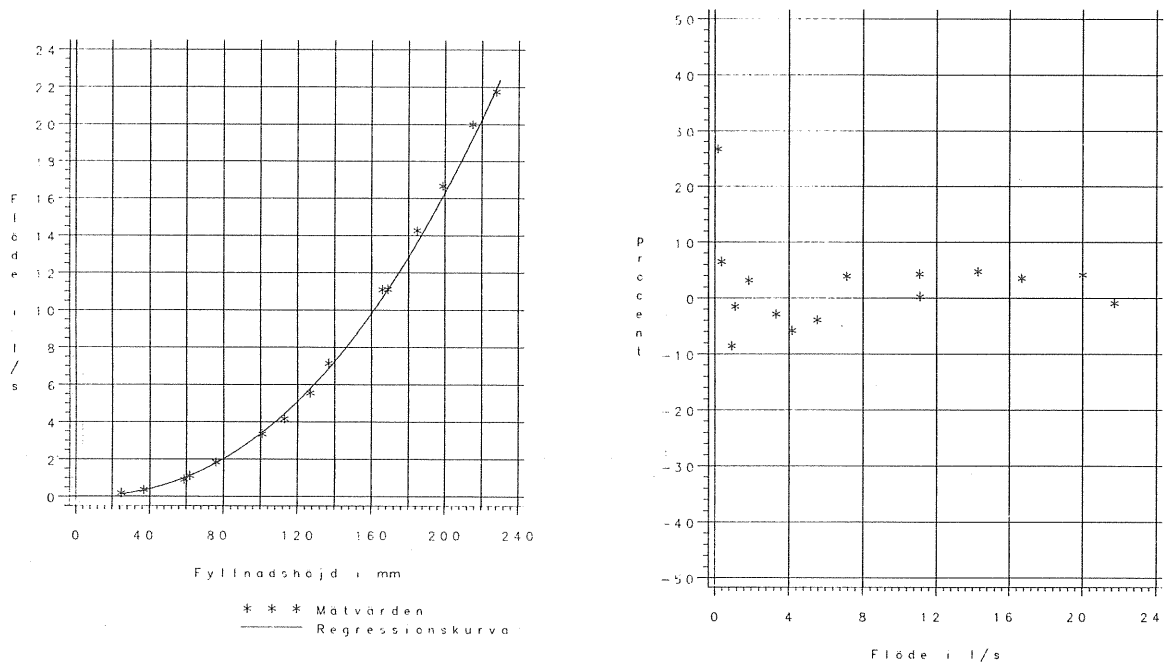
$$Q = 0.0000923 * h^{2.28}$$

där

Q = flöde (l/s)

h = höjd (mm)

Kalibreringspunkterna och avbördningssambandet visas i figur B3:7.



Figur B3:7 Diagram över kalibreringspunkterna och den framtagna regressionskurvan för det triangulära överfallet t.v. och t.h. motsvarande diagram där avvikelsen mellan kalibreringspunkterna och regressionskurvan visas i procent.

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. Stationsbeskrivning. 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. 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. 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. 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 försöksområde i Angered. 1978. 130 sidor.
- nr 23 Viktor Arnell: Nederbördsdata vid dimensionering av dagvattensystem med hjälp av detaljerade beräkningsmodeller. En inledande studie. 1977. 29 sidor.
- nr 24 Leif Carlsson, Klas Cederwall: Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. 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 inventering 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 NÄSET - ett exempel på förenklad 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.
- nr 52 Olov Holmstrand (red.): Ingenjörsgelogisk kartering. Seminarium 1980-04-17. 110 sidor.
- nr 53 Olov Holmstrand: Lokalt omhändertagande av dagvatten. Sammanfattning av forskning om dagvatteninfiltration vid CTH 1976-79. 90 sidor.
- nr 54 Olov Holmstrand, Bo Lind, Per Lindvall, Lars-Ove Sörman: Perkulationsmagasin i ett lerområde. Lokalt omhändertagande av dagvatten i Bratthammar, Göteborg. 172 sidor.
- nr 55 Erland Högberg, Gunnar Lannér: Gatuplanering i bostadsområden i utlandet. Nya principer och lösningar i Danmark, Holland och England. 1981. 110 sidor.
- nr 56 Sven Lyngfelt: Dimensionering av dagvattensystem. Rationella metoden. 1981. 82 sidor.
- nr 57 Erland Högberg: Samband mellan gatustandard och trafiksäkerhet i bostadsområden. En förstudie. 1981.
- nr 58 Jan A Berntsson: Portryckförändringar och markrörelser orsakade av trädvegetation. 1980. 121 sidor.
- nr 59 Per-Arne Malmquist, Stig Hård: Grundvattenpåverkan av dagvatteninfiltration. 1981.
- nr 60 Annika Lindblad: Infiltrationsmätningar utförda vid Geologiska institutionen, CTH/GU, 1972-80. Sammanställning och statistisk bearbetning. 1981. 78 sidor.
- nr 61 Lars O Ericsson, Stig Hård: Termisk registrering - en metod att kartera markvattenhalt. Slutrapport. 1981. 18 sidor.
- nr 62 Jan Pettersson, Elisabeth Sjöberg: SÖDRA NÄSET - En intervjuundersökning rörande två alternativa upprustningsförslag av gator och dagvattentransport. 1981. 36 sidor.
- nr 63 Olov Holmstrand: Praktisk tillämpning av ingenjörsgelogisk kartering. 1981. 114 sidor.
- nr 64 Anders Sjöberg, Nils Mårtensson: REGNENVELOPEMETODEN. En analys av metodens tillämplighet för dimensionering av ett 2-års perkulationsmagasin. 1982. 29 sidor.
- nr 65 Gösta Lindvall: ENERGIFÖRLUSTER I LEDNINGSBRUNNAR - Litteraturstudie. 1982. 35 sidor.
- nr 66 Per-Arne Malmquist: Lathund för beräkning av Dagvattnets föroreningar. 1982. 32 sidor.
- nr 67 Sven Nyström: Kommuns skadeståndsansvar mot VA-abonnent för översvämningsskador. 1982. 71 sidor.
- nr 68 Sven Lyngfelt, Gilbert Svensson: Dagvattenavrinning från stora urbana områden. Simulerings metodik exemplifierat på Göteborgsregionen. 1983. 118 sidor.
- nr 69 Hans Bäckman, Gilbert Svensson: Flödesmätning i avloppsnät med portabla utrustningar. Mät noggrannhet under kontrollerade förhållanden i en 225 mm:s betongledning. 1983. 51 sidor.
- nr 70 Olov Holmstrand (red): Naturanpassad stadsplanering i Dalen 5, Karlskoga. Erfarenheter av planeringsprocess och teknik under och efter byggandet. 1983. 114 sidor.
- nr 71 Olov Holmstrand (red): Reservvattentäkter. Redovisning av diskussionsdag 1983-05-18. 1983. 115 sidor.
- nr 72 Gilbert Svensson, Håkan Strandner (övers. och bearb.): NIVANETT manual. Ett datorprogram för simulering av flöden i avloppsnät. 1983. 101 sidor.
- nr 73 Gilbert Svensson (red): Byggande, drift och förnyelse av kommunala va-ledningar. -Är driftstörningarna omfattande? -Projekterar vi på bästa sätt? - Var ligger kostnaderna? 1984. 98 sidor.
- nr 74 Hans Bäckman: Avloppsledningar i svenska tätorter i ett historiskt perspektiv. -Ett sammandrag av tekniska förutsättningar, idéer och diskussioner under 1900-talets ledningsbyggande. 1984. 123 sidor.
- nr 75 Ann-Carin Andersson, Olov Holmstrand, Erik Almling, Rolf Rosen, Kjell Söderström: Infiltration och alternativa åtgärder vid grundvattensänkning. Jämförande beskrivningar och val av metoder. 1984. 115 sidor.
- nr 76 Viktor Arnell, Henriette Melin: Rainfall data for the design of sewer detention basins. 1984. 79 sidor.

