

STATENS VÄGVERK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

ISSN 0347 - 8165

## DRÄNERINGSRÖRS IGENSÄTTNING

- en jämförande laboratoriestudie



1. Feldsteindrän.



2. Legen der Röhren.



4. Faschinendrän.



5. Drainröhre.



8. Röhrendrän.



6. Hohldrän.

Per - Arne Malmquist

Per Lindvall

RÄTTELSE

Sid. 37 utgör fortsättning på sid. 35.



STATENS VÄGVERK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

**GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN**

Geologi

Geoteknik med grundläggning

Vattenbyggnad

Vattenförsörjnings - och avloppsteknik

---

ISSN 0347 - 8165

## **DRÄNERINGSRÖRS IGENSÄTTNING**

**- en jämförande laboratoriestudie**

ADRESS:

Geohydrologiska forskningsgruppen  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg

**Per-Arne Malmquist**

**Per Lindvall**

INNEHÅLL	SID
1. BAKGRUND	1
2. SYFTE	1
3. UNDERSÖKNINGENS GENOMFÖRANDE	1
3.1 Försöksuppläggning	2
3.2 Försöksbetingelser	7
3.3 Flödesmätning	7
3.4 Analyser	9
3.5 Okulära besiktningar	9
3.6 Undersökningar vid anläggningens brytning	9
4. RESULTAT	10
4.1 Flödets variationer med tiden	10
4.2 Analysresultat	13
4.3 Okulära besiktningar	16
4.4 Besiktningar vid anläggningens brytning	18
5. DISKUSSION OCH SLUTSATSER	25
5.1 Allmänt	25
5.2 Resultatdiskussion för de enskilda rörtyperna	26
5.3 Tillämplighet	28
5.4 Slutsatser	29
6. ANDRA UNDERSÖKNINGAR	30
7. SAMMANFATTNING	36
8. REFERENSER	39
9. Bilagor	40

## 1 BAKGRUND

Statens Vägverk har under senare tid börjat engagera sig mer aktivt i frågan om vägars dränering, bland annat genom deltagande i Nordiska vägtekniska förbundets projekt "Dränering utan öppna diken". Som ett led i detta arbete har Vägverket finansierat huvuddelen av föreliggande undersökning av igensättningen av olika dräneringsrör.

Undersökningen ingår också som en del av BFR-projektet "Alternativ gatuplanering", delprojekt "Gatans avvattning". I detta projekt är huvudsyftet att undersöka avvattningen av gatuytor, bland annat genom öppna diken. Projektet omfattar emellertid även dränering av fastighets- och gatumark, särskilt i samband med lokalt omhändertagande av dagvatten.

Vid projektets uppläggning har utöver författarna medverkat Björn Stigberg, Vägverket och Stig Åkerblad, Svenska Riksbyggen.

## 2 SYFTE

Undersökningen syftar till att undersöka dräneringsförmågan och igensättningen hos olika typer av dräneringsrör i olika grusmaterial. Undersökningen genomförs på laboratorium och ger därför endast jämförande resultat.

## 3 UNDERSÖKNINGENS GENOMFÖRANDE

Undersökningen genomfördes som en serie belastningsförsök med varierande längd och med olika doseringar. Under varje belastningsförsök mättes regelbundet flödet från varje rör och under vissa av försöken gjordes kemisk-fysikaliska analyser på ingående och utgående vatten. Okulära besiktningar gjordes under och mellan försöken samt efter anläggningens brytning.

### 3.1 Försöksuppläggning

Försöksutrustningen byggdes ut för att omfatta 18 ledningsbäddar vilket krävdes för att möjliggöra parallella belastningsförsök för samtliga ledningar. Därigenom har likartade betingelser kunnat erhållas för varje försöksfas.

Val av dräneringsledningar för försöken grundades på följande:

- Röret skall vara vanligt förekommande.
- Rör som ej tidigare använts skall vara intressant på grund av någon speciell egenskap.
- Rören skall ha sådan utformning att en jämförande utvärdering av försöksresultaten är möjlig.
- Rörens diameter bör om möjligt vara lika.

Med ledning av dessa förutsättningar valdes ledningar enligt tabell 1. ut för försöken.

Tabell 1. Undersökta rörtyper.

Rör nr	Rörtyp samt fabrikat eller importföretag	Innerdiameter	Antal hål/skarvar per meter	Hålform	Uppskattad hålarea cm <sup>2</sup> /m
1,10	Raudril (PVC) Rehau Plastiks AB	100	180	slits 0,8x60 mm	70
2,11	DSA dräneringsrör (PEH) Lubonyl	100	480	cirkulärt Ø 2,5 mm	24
3,12	Infiltrationsrör 92/80 (PVC) Lubonyl	80	450	slits 2,5x4,0 mm	45
4,13	Dräneringsrör 92/80 (PVC) Lubonyl	80	450	slits 1,3x4,0 mm	23
5,14	Dräneringsrör + { fiberduk 92/80 (PVC) Typar Lubonyl Svenska Rawlplug AB	80	450 (68 gr/m <sup>2</sup> )	slits 1,3x4,0 mm	23
6,15	Betongrör, KANMAX, öppen fog Skånska Cementgjuteriet AB	150	1	ringform	20
7,16	Poröst betongrör modell KANMAX, öppen fog Skånska Cementgjuteriet AB	150	1	ringform	(20)
8,17	Perforerat lantbruksrör Betong ALFA RÖR AB	150	1 54	ringform borrat (koniskt) Ø 5,0 mm	20 + 11
9,18	Tegelrör med styrning Falkenbergs tegelbruk	100	3 1/3	ringform	15

Dräneringsledningarnas kringfyllning har stor betydelse för funktionen. Svensk Byggnorm föreskriver att denna fyllning skall utgöras av dräneringsgrus. Enligt Mark AMA skall en dränvattenledning läggas på en bädd av minst 50 mm dränerande material och i övrigt omges på alla sidor av minst 100 mm dränerande material. Högst 10% av materialet får vara mindre än 0,5 mm. Största kornstorlek 32 mm. Erfarenhetsmässigt ersätts många gånger dräneringsgrus av förstärkningsgrus vid återfyllning kring dräneringsrör. Då kornstorleksfördelningen för dessa material väsentligt skiljer sig från varandra kommer de att ge olika förutsättningar för ledningarnas funktion. Detta var skälet till att båda fyllnadsmaterialen togs med i försöken, se tabell 2.

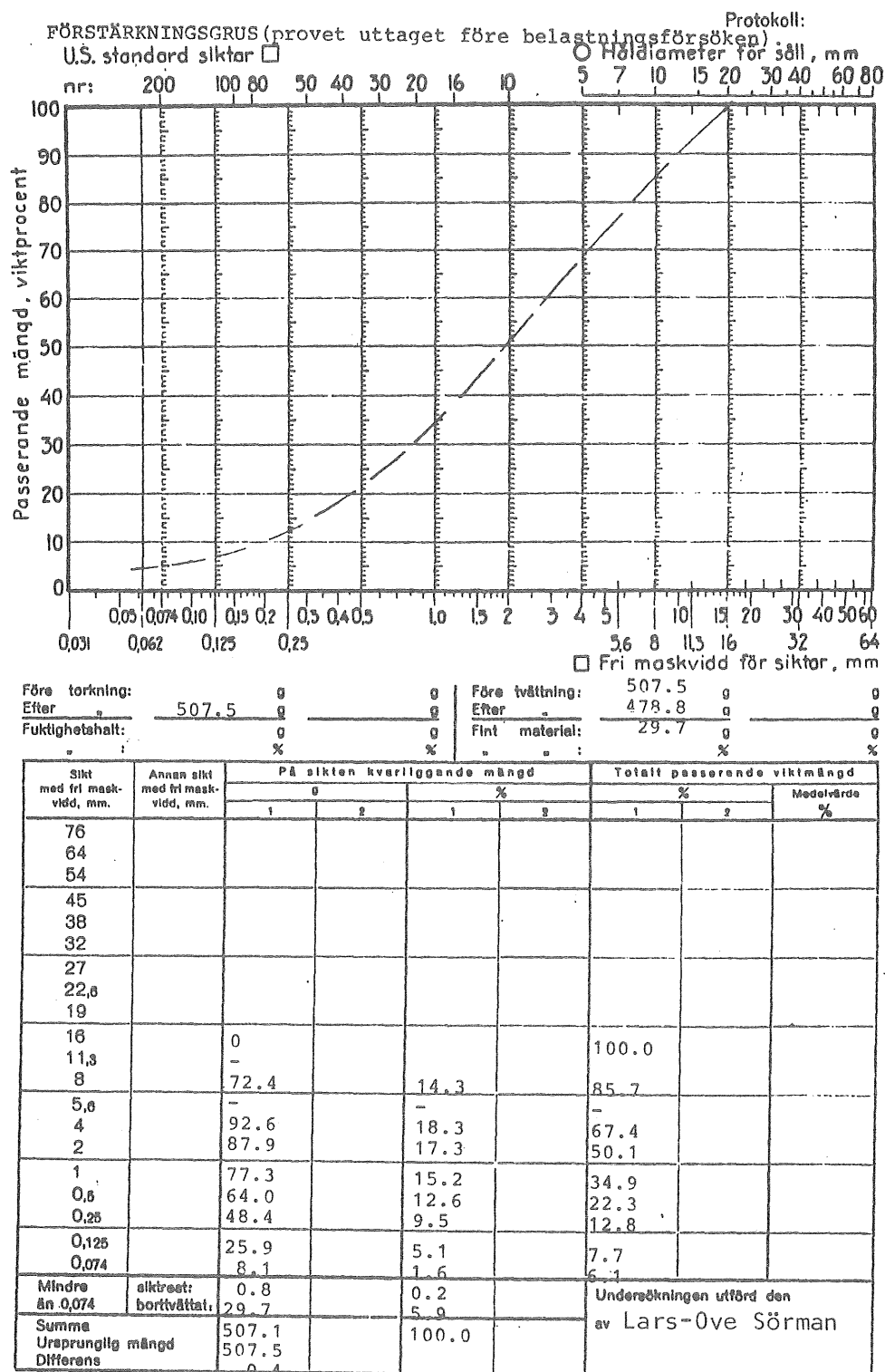
Tabell 2. I undersökningen använda bäddmaterial

Materialtyp	Benämning	Fraktion
Krossmaterial	Dräneringsgrus	5-8 mm
Naturmaterial	Förstärkningsgrus materialtyp B (enligt Bya)	0,074-20 mm

Kornstorleksfördelningen för naturgruset framgår av figur 1. Krossgruset bestod av fraktionen 5-8 mm med 0,7% finmaterial <0,074 mm. 9 ledningsbäddar med de i tabell 1 redovisade rören iordningställdes för krossgrus, rör 1-9, och 9 för naturgrus, rör 10-18. Stenmaterialen beställdes från grusföretag utan att ange att det gällde en undersökning. Avsikten var att därigenom erhålla ett slumpvis utvalt material som normalt skulle ha levererats under dessa beteckningar.

Försöksanläggningens uppbyggnad framgår av figur 2, 3 och 4. Försöksanläggningen byggdes upp av kryssfannerskivor på ett träbjälklag. Med ett sammanfogningssystem av trälistor och fogmassa utfördes täta fack för dräneringsledningar

och diffusor. Rören lades på en fyllning av 100 mm bäddmaterial. Fyllningshöjden över rören varierade beroende på rördiameter. Rören lades 2 meter långa med en kringfyllnad på 50 x 45 cm. Försöksanläggningen har varit placerad med ledningarnas mynningar över en golvkanal för avledning av dränerat vatten. Yttre långsidan vid diffusorledningen har utförts som bräddavlopp för att hålla konstant vattennivå i anläggningen.

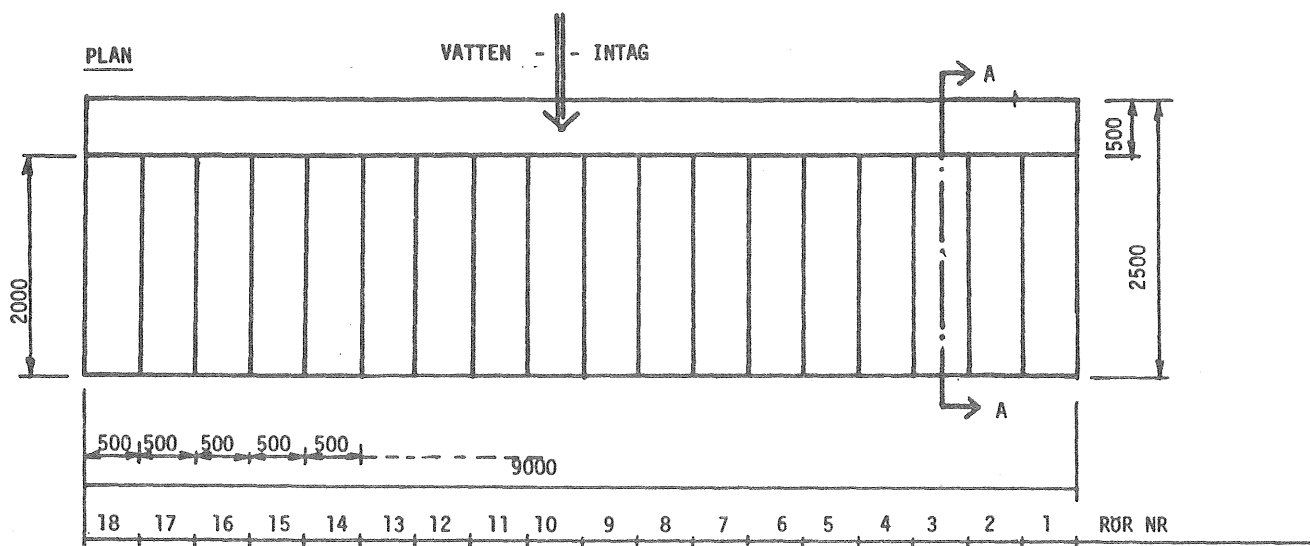


Figur 1. Kornstorleksfördelning för förstärkningsgruset.

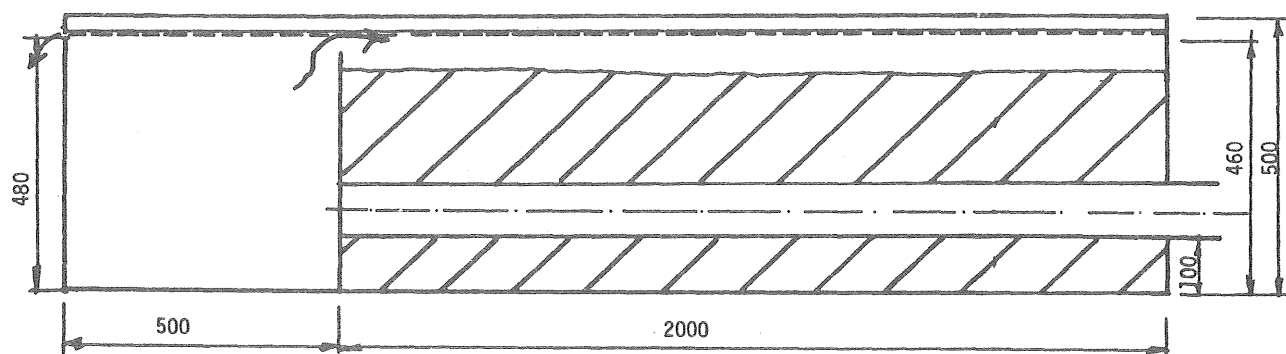


Figur 5 beskriver schematiskt anläggningens funktion. Vatten tillföres fördelningskanalen via en diffusor från laboratoriets interna vattensystem (recirkulationssystem). Klorering av inkommande vatten utfördes hela försöksperioden för att förhindra biologisk aktivitet. Vatten fördelades över ledningsbäddarna för att dräneras och avledas genom ledningarna och dräneringsförmågan registrerades vid rörmynningarna.

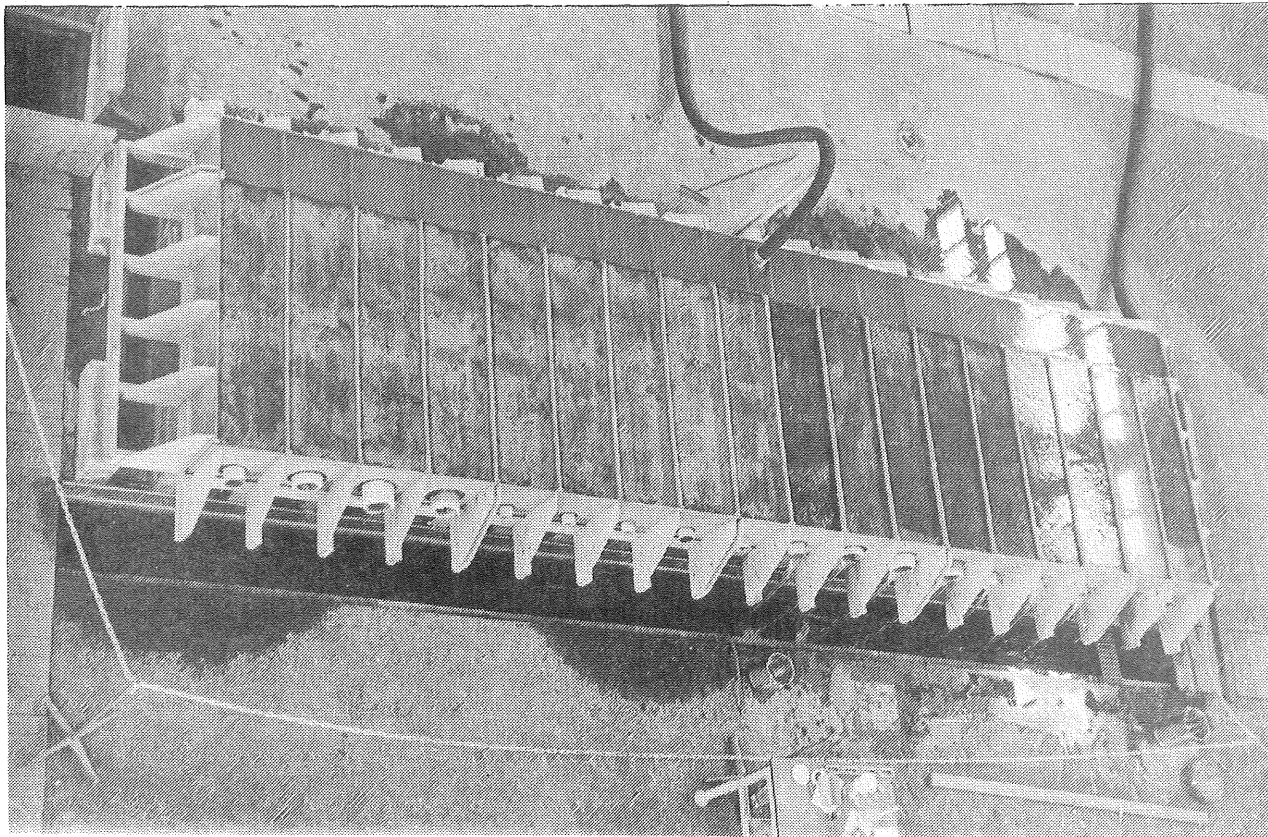
Under försöksseriens fas 4-9 doserades en suspension av finkornigt material eller aluminium för att simulera igensättningsförloppen för rören. Suspensionen tillfördes vattnet i inkommande ledning med en doseringspump (membranpump) inkopplad vid ett påstick. Materialet hölls i suspension i ett 3 m<sup>3</sup> doseringskärl genom kontinuerlig omblandning med hjälp av en dränkbar pump.



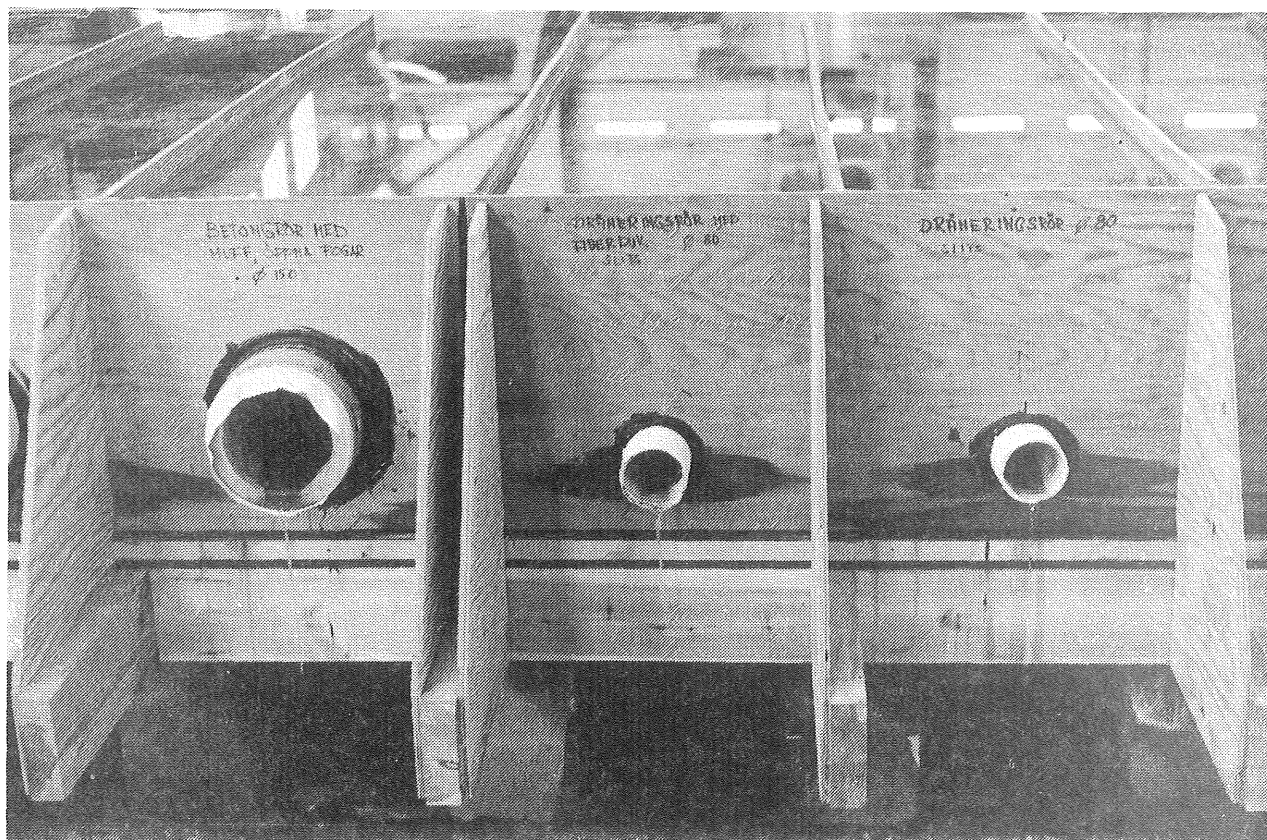
SEKTION A - A (Alla längdmått angivna i mm).



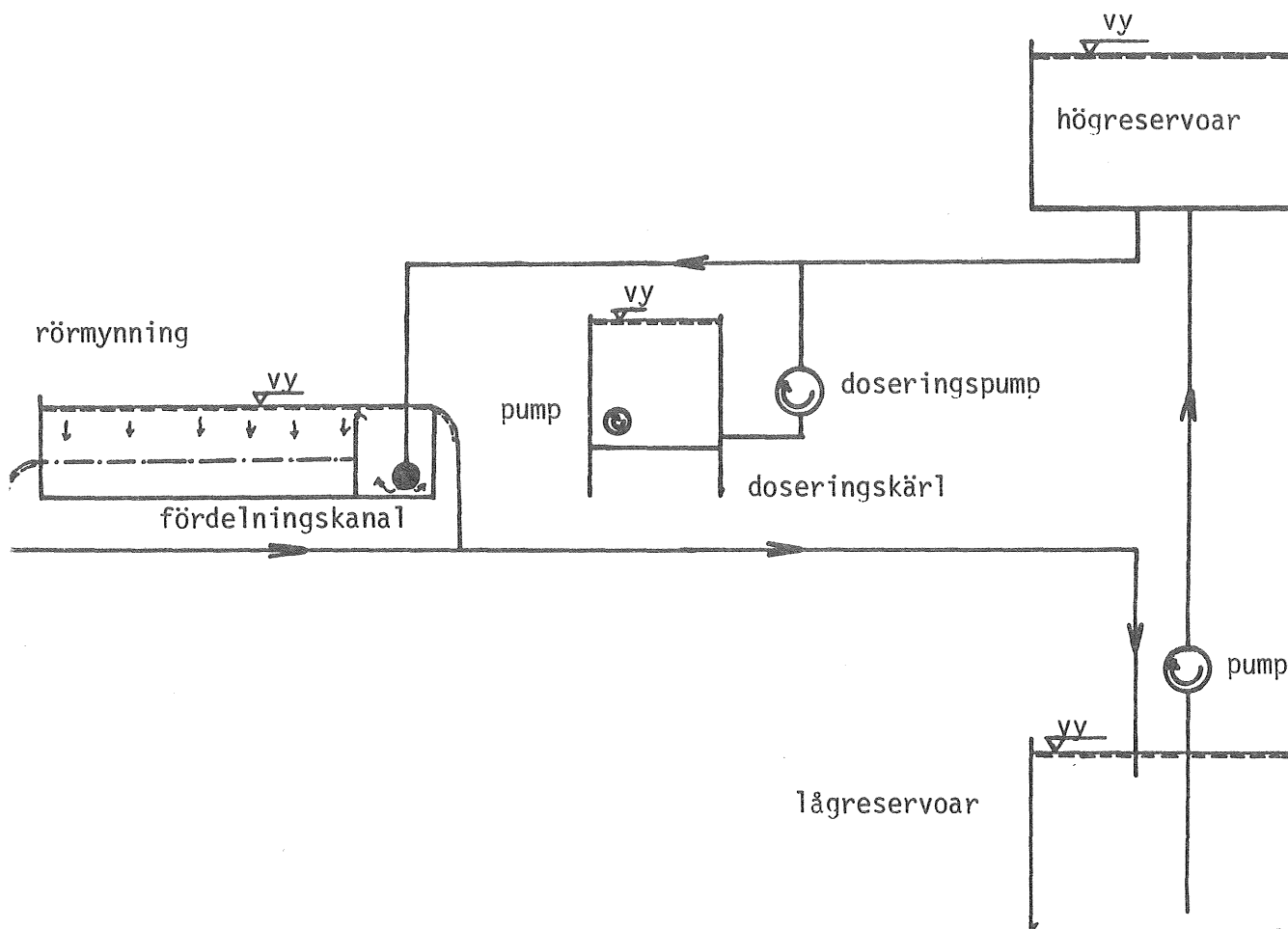
Figur 2. Skiss över försöksanläggning.



Figur 3. Vy över försöksanläggningen.



Figur 4. Detalj från försöksanläggningen.



Figur 5. Skiss över anläggningens funktion.

### 3.2 Försöksbetingelser

Belastningsförsöken genomfördes i etapper under olika driftbetingelser. I tabell 3 redovisas driftfaserna med gångtider och doseringar. Mellan de olika faserna gjordes driftuppehåll på mellan ett halvt och två dygn. Under driftuppehållen var anläggningen vattenfylld upp till rörens underkant. Vid starten av varje försöksserie skedde vattenpåfyllnaden långsamt (cirka en halv timma) för att undvika luftinneslutningar i bädden.

### 3.3 Flödesmätning

Vattentillförseln till försöksanläggningen skedde med konstant tryck, det vill säga vattnet bräddade över anläggningens sida vid en viss nivå. Detta innebar att det

totala flödet genom anläggningen minskade efter hand som dräneringsrören sattes igen. Inkommande vattenflöde reglerades så att bräddflödet var nära konstant.

Utgående flödet från rören mättes enligt metoden "klocka och spann", det vill säga ett mätkärl med känd volym fick fyllas under registrering av fyllnadstiden med tidur. Denna metod bedömdes inte bara vara enklast för ändamålet utan också ge minst fel i de beräknade flödena. Felen kan anses vara så små att någon praktisk hänsyn till dem inte behöver tas.

Mätningarna skedde med högst frekvens i början av varje belastningsfas, ungefär en gång per timma. Under det andra dygnet mättes flödet en gång per två timmar och därefter en gång per dygn. Under faserna 5-9 gjordes flödesmätningarna tre till fem gånger per dygn.

Tabell 3. Försöksserier

Fas nr	Drifttid d	Dosering	Analyser
1	28	Kalciumhypoklorit	Suspenderat material dygn 1 Järn dygn 21 och dygn 28
2	6	Kalciumhypoklorit	Järn dygn 2 och dygn 6
3	11	Kalciumhypoklorit	Järn dygn 3 och dygn 10 Grumlighet dygn 11
4	7	Dygn 1-2 ca 75 g filler/m <sup>3</sup> vatten Dygn 3-7 ca 150 g filler/m <sup>3</sup> vatten Kalciumhypoklorit	Suspenderat material dygn 2 Kalcium och järn dygn 2 Grumlighet dygn 1-7
5	1	Ca 150 g filler/m <sup>3</sup> vatten Ca 1500 g stensmjöl/h.rör 2) Kalciumhypoklorit	
6	1	Ca 8000 g stensmjöl/h.rör 2) Kalciumhypoklorit	Grumlighet
7	1	Ca 80 g Al-sulfat/m <sup>3</sup> vatten Kalciumhypoklorit	Aluminium
8	1	Ca 150 g Al-sulfat/m <sup>3</sup> vatten Kalciumhypoklorit	Aluminium
9	1	Ca 150 g Al-sulfat och 50 g NaOH/m <sup>3</sup> Kalciumhypoklorit	

1) 99,4% < 0,25 mm, 81% < 0,074 mm

2) 92,1% < 2 mm, 42,6% < 0,25 mm, 15,6% < 0,074

### 3.4 Analyser

Under försökets gång gjordes olika kemisk-fysikaliska analyser på det in- och utgående vattnet. De analyser som, med olika frekvens, utfördes var suspenderat material, järn, pH, ledningsförmåga, kalcium, grumlighet och aluminium.

Suspenderat material analyserades i princip enligt SIS 02 8112.

Järnet analyserades i princip enligt Standard Methods, fenantrolinmetoden, med den skillnaden att järnet först oxiderats med väteperoxid.

pH mättes i princip enligt SIS 02 8122.

Ledningsförmåga mättes i princip enligt SIS 02 8123.

Kalcium analyserades genom atomabsorbtionsspektrofotometrisk metod (- låga).

Grumligheten analyserades med Nephelometer (typ Turner) (Standard Methods -75). Resultaten ges i NTU (Nephelometric Turbidity Units).

Aluminium analyserades genom kolorimetrisk Aluminonmetod enligt SKTF-53.

### 3.5 Okulära besiktningar

För att komplettera de mätningar av bland annat flöde, grumlighet och järn som genomförts har under mätserien hela tiden iakttagelser av anläggningen protokollförts. Detta har skett genom att ledningsbäddar och tilloppskanalen granskats. Vidare har ledningarna genomlysts för observation av eventuella förändringar.

### 3.6 Undersökningar vid anläggningens brytning

För att dokumentera ledningarnas och bäddmaterialens kondition efter belastningsförsöken avslutats, lades vikt vid att brytningen genomfördes med försiktighet och stegvis så att de observationer som var möjliga att genomföra ej skulle försummas. Materialprov för kornstor-

leksanalys togs ut från båda bäddmaterialen. Provtagningen gjordes på följande nivåer räknat från botten på ledningsbädden.

1. 0-5 cm
2. mitt för ledning
3. i höjd med hjässan på ledning
4. 30 cm
5. 40 cm

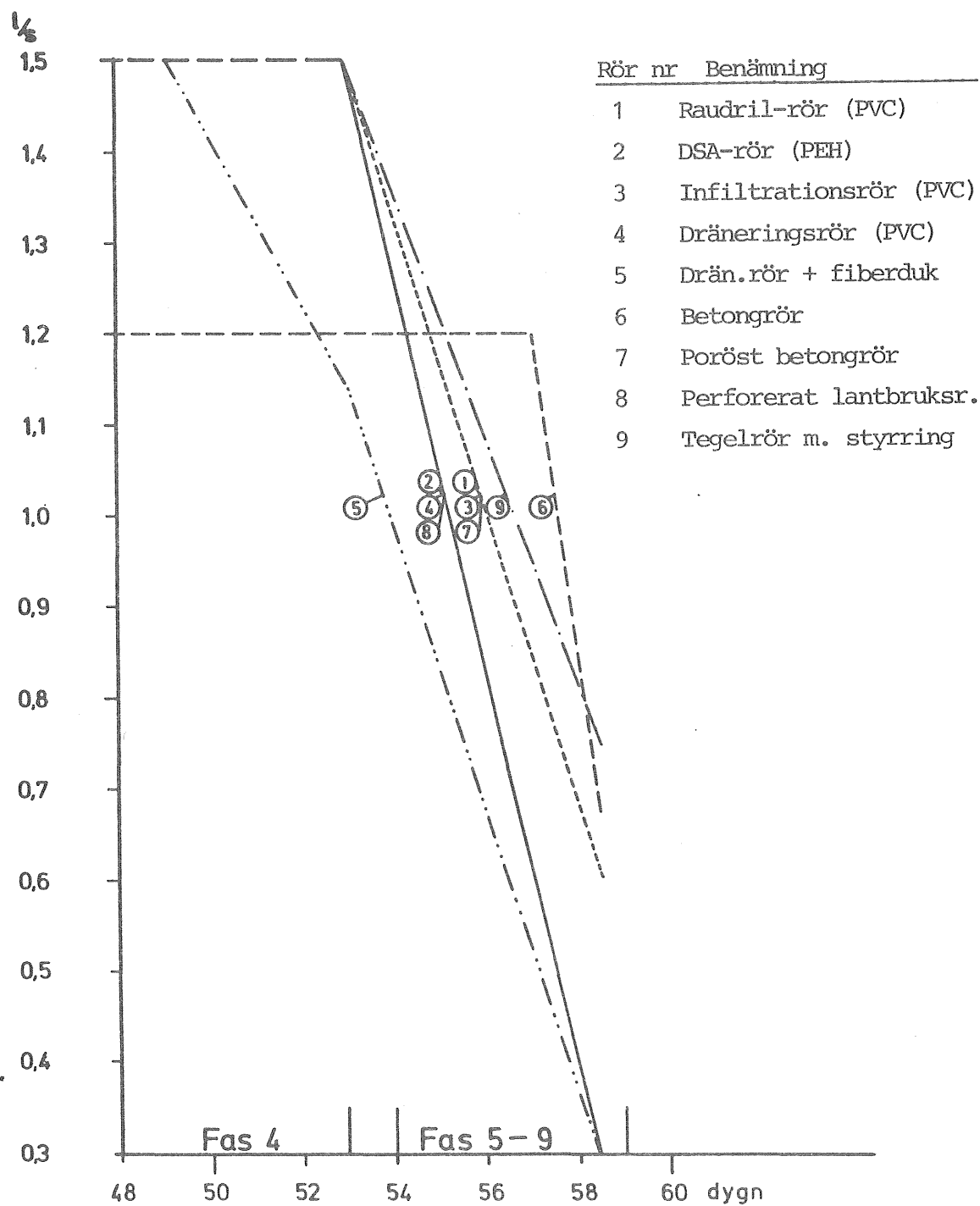
Andelen finmaterial i makadam har bestämts genom tvätt-siktning. Vidare har okulära iakttagelser registrerats och fotograferats. Några sektioner av rör och ledning kylades ner så att kringfyllningen tjälade. Dessa lyftes in i kylrum och besiktigades samt fotograferades.

#### 4. RESULTAT

##### 4.1 Flödets variationer med tiden

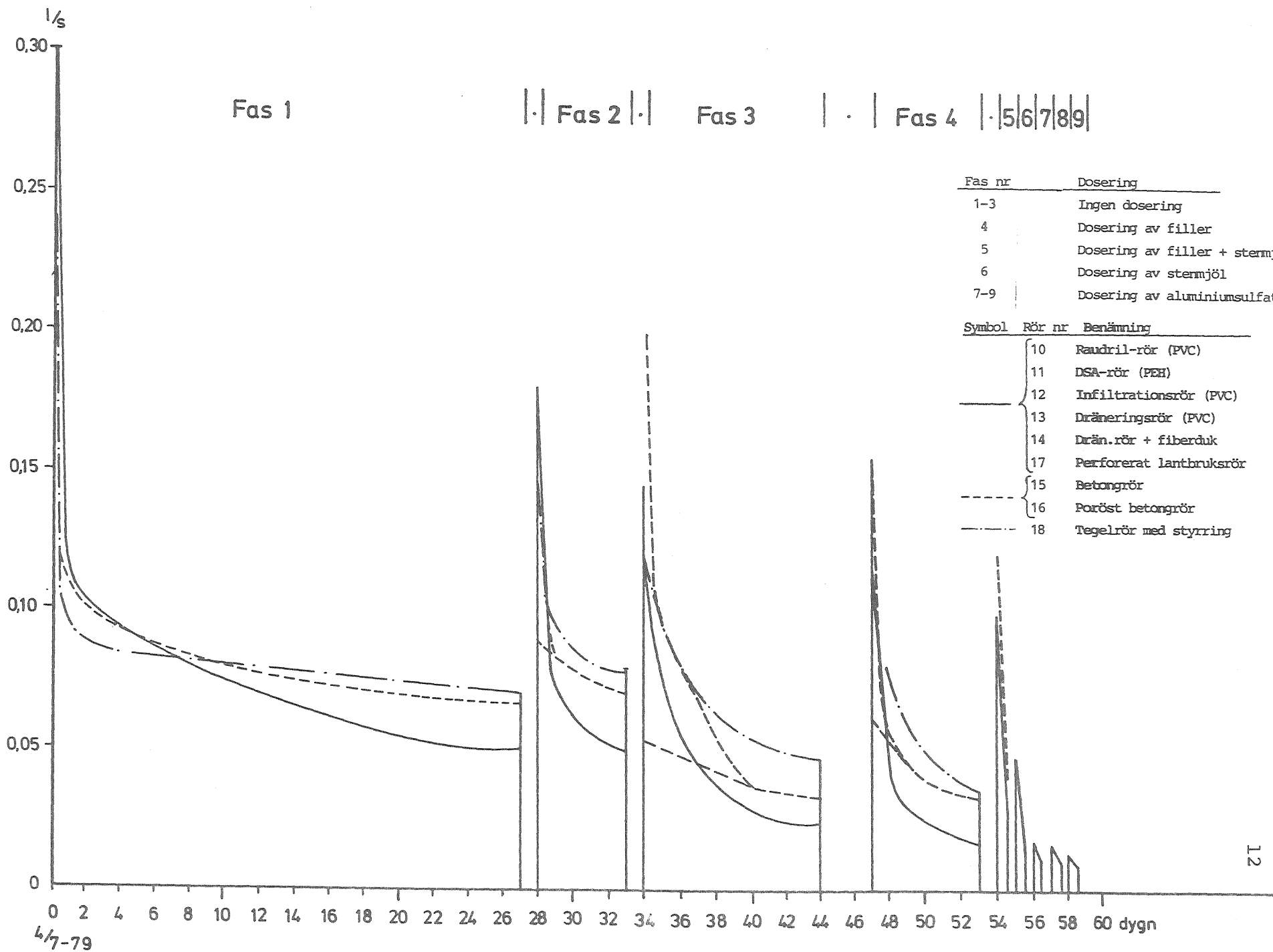
Utgående flöde från dräneringsrören i krossgruset var under hela mätperioden väsentligt högre än det från rören i naturgruset. Flödet från rören i krossgruset var konstant under faserna 1-3. Flödet från betongröret var cirka 20% lägre än flödet från de andra rören. Under fas 4, när fillermaterial doserades, började flödet från dräneringsröret med fiberduk att minska medan ingen minskning uppmättes för de andra rören. Under fas 5, när stensmjöl doserades, minskade flödet från samtliga rör utom betongröret, där flödet inte började minska förrän under fas 8 när aluminiumsulfat doserades. Flödet från rören i krossgruset finns uppritat i figur 6.

I naturgruset minskade utgående flöde under varje belastningsfas från ett högt initialvärde till ett relativt lågt, asymptotiskt värde, se figur 7.



Figur 6. Utgående flöde från dräneringsrör lagda i krossgrus.

Figur 7. Utgående flöde från dräneringsrör lagda i naturgrus.





Flödesminskningen skedde på olika sätt för de olika rören. Dräneringsröret av tegel gav ett lägre flöde under de första dyggen men ett högre flöde under de sista dyggen i varje belastningsfas, jämfört med de övriga rören. Dräneringsrören av betong och porös betong gav ett högre slutflöde än de övriga rören undantagandes tegelröret. Igensättningen blev alltså större och skedde snabbare för plaströren och det perforerade lantbruksröret.

Att märka är att de uppmätta flödesvärdena tillämpats i jämförelsen för samtliga rör utom för betongröret, där värdena fördubblats. Anledningen till detta är att bädden var cirka två meter lång, vilket endast tillät en skarv på betongröret. De övriga rören dränerar ju efter hela sin längd. Tegelröret har  $3 \frac{1}{3}$  skarvar per meter, totalt sju stycken.

Flödesvariationerna under faserna 5-9 har inte detaljredovisats i figuren beroende på att igensättningen under dessa faser bedömdes huvudsakligen ske i bäddens överyta och alltså vara mindre beroende av själva rörens utformning.

#### 4.2 Analysresultat

Det vatten som användes för försöken var kommunalt renvatten som recirkulerades i ett slutet system i laboratoriet. Detta vatten innehöll till en början, genom vattnets magasinering i stål- och betongmagasin, en del suspenderat material och järn som dock under försökens gång efter hand frånfiltrerades i grusbäddarna.

##### Suspenderat material

Halten suspenderat material mättes vid försökens uppstartande i fas 1 varvid en del bäddmaterial sköljdes ut. Halten mättes åter under försöksfas 4 varvid mycket låga halter erhöles för dräneringsrören i naturgrus. Analysresultaten framgår av bilaga 1:1.

Vid försöksstarten sköljdes finmaterialet ungefär lika snabbt ut från krossgruset som från naturgruset. För båda materialen gällde att ursköljningen gick snabbare för plaströren än för betong- och tegelrören.

Under fas 4 var halterna suspenderat material i vattnet som passerat naturgruset ungefär en tiondedel av halterna från krossgruset.

Halten suspenderat material reducerades i krossgruset till i storleksordningen hälften av halten i inkommande vatten.

### Järn

Järnhalterna i utgående vatten visade sig vara avhängiga av flödet så, att halterna blev låga vid lågt flöde och tvärtom. Transporthastigheten och uppehållstiden i bädden var alltså avgörande för järnhalterna. Utgående vatten från krossgruset höll betydligt högre järnhalter än från naturgruset. Järnhalterna sjönk med tiden under en belastningsfas i takt med flödesminskningen.

I början av ett försök kunde utgående järnhalter vara högre än ingående beroende på ursköljning i bädden. I slutet av ett försök reducerades de ingående järnhalterna något i krossgruset och flera gånger i naturgruset. Analysresultaten framgår av bilaga 1:2.

### pH och ledningsförmåga

pH analyserades vid två tillfällen och ledningsförmågan vid ett tillfälle. pH-värdet låg strax över 8 och ledningsförmågan omkring 260  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Varken pH eller ledningsförmågan förändrades under vattnets transport genom bädden. Endast marginella skillnader noterades mellan de olika rören. Se bilaga 1:3.

### Kalcium

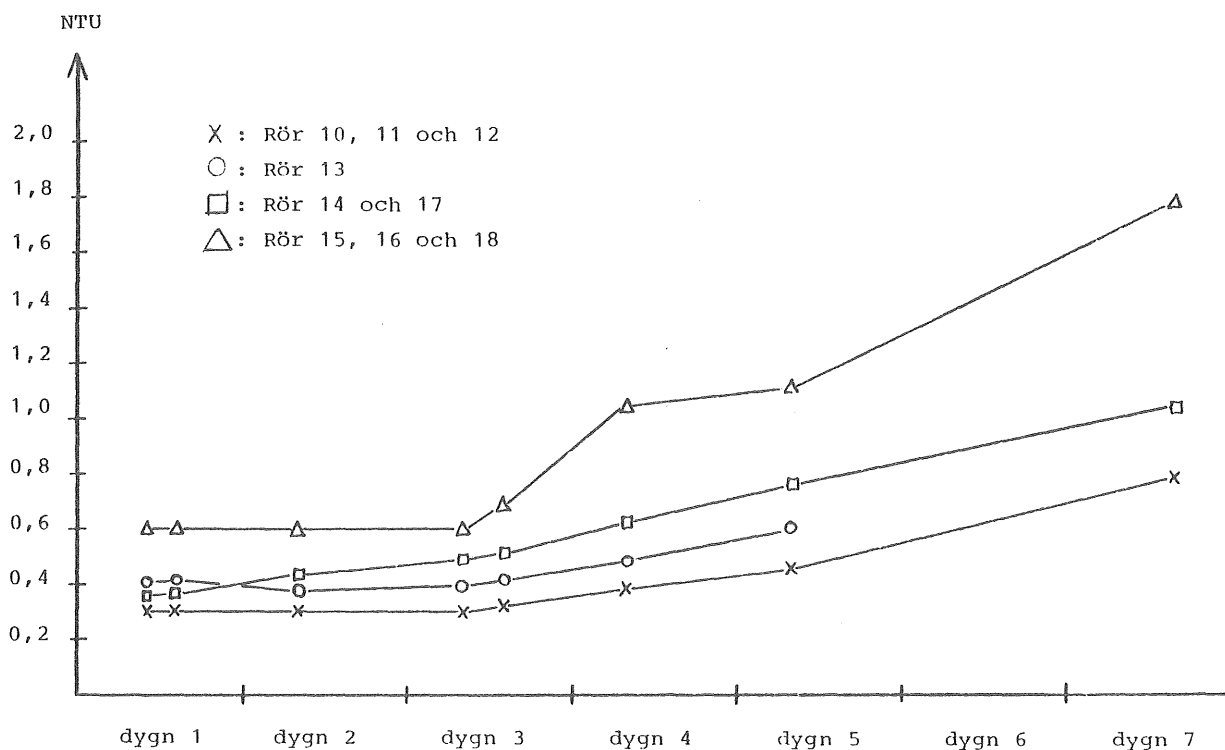
Kalcium analyserades vid ett tillfälle, se bilaga 1:3. Ingen reducering i kalciumhalterna kunde noteras.

## Grumlighet

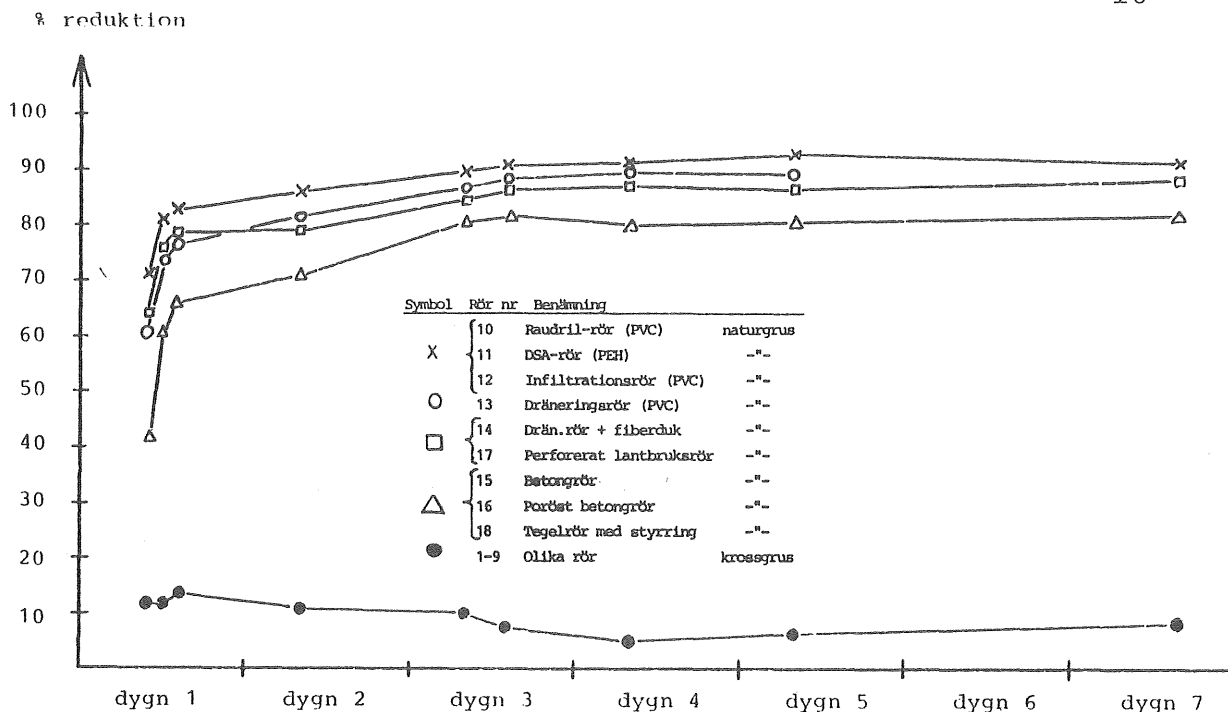
Grumligheten analyserades under faserna 4-6 vid doseringen av filler och stensmjöl. Under fas 4 gjordes 9 grumlighetsanalyser under loppet av 7 dygn. Filler doserades kontinuerligt. Inga markerade skillnader kunde noteras mellan de rör som lagts i krossgruset. Grumligheten reducerades i alla rören med mellan 5 och 14% under försöket.

För de rör som lagts i naturgruset kunde vissa skillnader noteras, se figur 8. För alla nio rören gällde att reduktionen av grumligheten var relativt låg (40-70 %) i början av försöket för att efter några timmar stiga till mellan 80 och 90 %, se figur 9. Under de följande dygnen ökade såväl ingående som utgående grumlighet medan reduktionen var konstant för samtliga rör. För dräneringsröret av plast (nr 13) skedde mellan femte och sjunde dygnet en nedgång i reduktionen.

Rören kunde delas upp i grupper efter hur hög reduktion av grumligheten som erhöles. Dräneringsröret typ Raudril, dräneringsröret typ DSA och infiltrationsröret gav störst grumlighetsreduktioner medan dräneringsröret av betong,



Figur 8. Utgående grumlighet under fas 4 för rören i naturgrus (Dosering av filler).



Figur 9. Grumlighetsreduktion under fas 4.

det porösa betongröret och dräneringsröret av tegel gav lägst reduktioner, det vill säga släppte igenom mest filtermaterial. Skillnaderna var emellertid små.

Grumlighetsanalyserna finns tabellerade i bilaga 1:4.

### Aluminium

Under faserna 7-9 doserades aluminiumsulfat till ingående vatten. Aluminium analyserades vid tre tillfällen. På grund av provernas grumlighet var halterna svåra att bestämma. Inga skillnader kunde påvisas i utgående vatten från rören i krossgruset. I naturgruset var halterna något högre i vattnet från dräneringsröret med fiberduk och från betongröret än från övriga rör. Analysresultaten framgår av bilaga 1:5.

### 4.3 Okulära besiktningar

De okulära besiktningarna som utfördes under försöksserien har givit följande resultat. Redan vid starten då flödet ställts in vid första försöket, fas I, inträdde dämning vid samtliga rör lagda i naturgrus medan dämning endast skedde vid ett utav rören, rör 6, i krossgruset. Innan

första fasen avslutats inträffade dämning även vid rör 5, dräneringsrör med fiberduk, övriga rörbäddar med krossgrus hade så stor kapacitet att bräddning inträffade först i avslutningsskedet, fas 9. Viss packning av naturgruset har kunnat konstateras under försöksseriens första fas. Motsvarande har ej observerats för krossgruset.

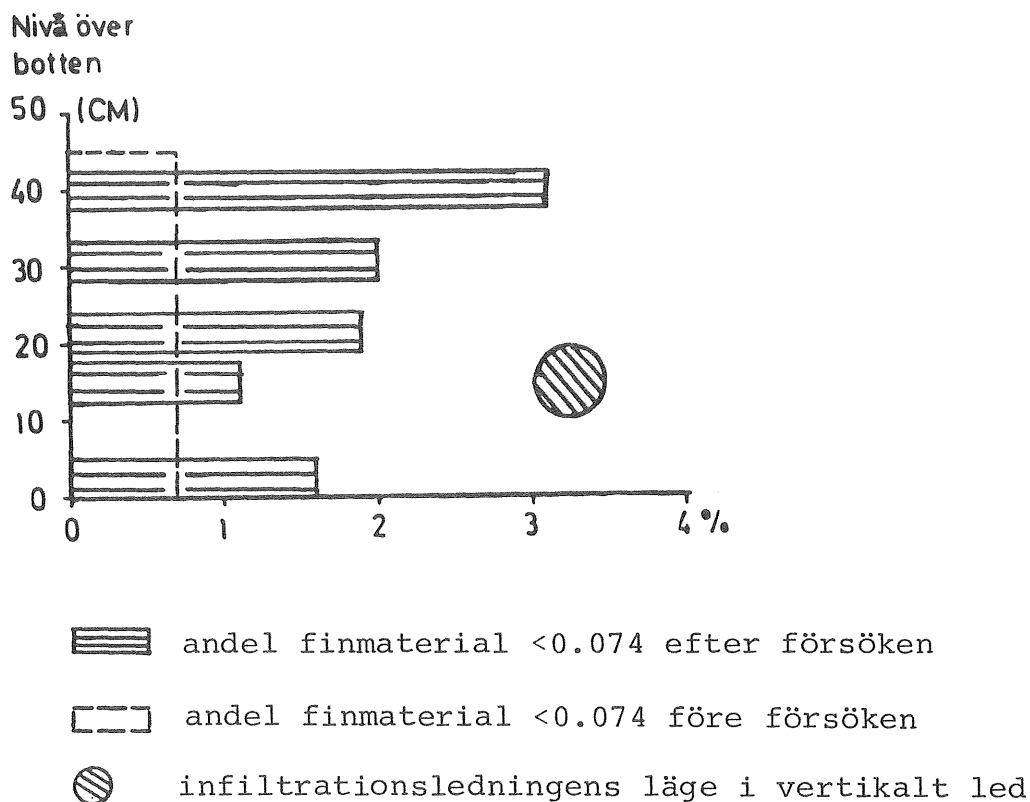
Redan i början av första försöket iaktogs luftansamling i grusbäddarna vilket utgör en av orsakerna till den kraftiga flödesminskningen under inledningsskedet till varje försökfas. På grund av denna luftansamling kom flera försök av samma betingelser att genomföras (fas 1, 2 och 3). Vattenkvaliteten i det interna systemet påverkades inledningsvis genom filtreringen i grusbäddarna. Vattnet blev märkbart klarare. Några stora synliga förändringar har i övrigt ej iakttagits. Följande registreringar gjordes vid en systematisk genomgång av rören.

Tabell 4. Besiktningar under fas 3.

Rör nr	Sedimenterat material på rörbotten	Inströmning i rör	Ledningens fyllnadshöjd	Anmärkning
1	nej	hjässan torr	70% vid innerändan	
2	nej		70% " "	
3	nej		100% intill 50 cm från mynning	
4	nej		100% intill 20 cm från mynning	
5	nej		100% intill 50 cm från mynning	vattenspegel på ca 2/3 av bädden
6	nej	kraftig inströmning i skarv, hjässan torr	70% vid innerändan	betongen rödfärgad
7	nej	vattendropp i skarv hjässan torr	70% " "	" "
8	nej	inget dropp i skarv hjässan torr	50% " "	" "
9	något		70% " "	vattensprång vid styrningar, spec. yttre
10	bottentäcket	hjässan torr	75% " "	
11	i korrugeringen		75% " "	
12	" "		75% " "	
13	" "		75% " "	
14	något		75% " "	
15	något	vattendropp i skarv	20% " "	något rödfärgad
16	nej	ej dropp i skarv hjässan fuktig	0% " "	" "
17	något	ej dropp i skarv hjässan torr	5% " "	" "
18	något	nästan plan vattenyta	5% " "	" "

#### 4.4 Besiktningar vid anläggningens brytning

Andelen finmaterial i krossgrusbäddarna före och efter försöken framgår av figur 10.



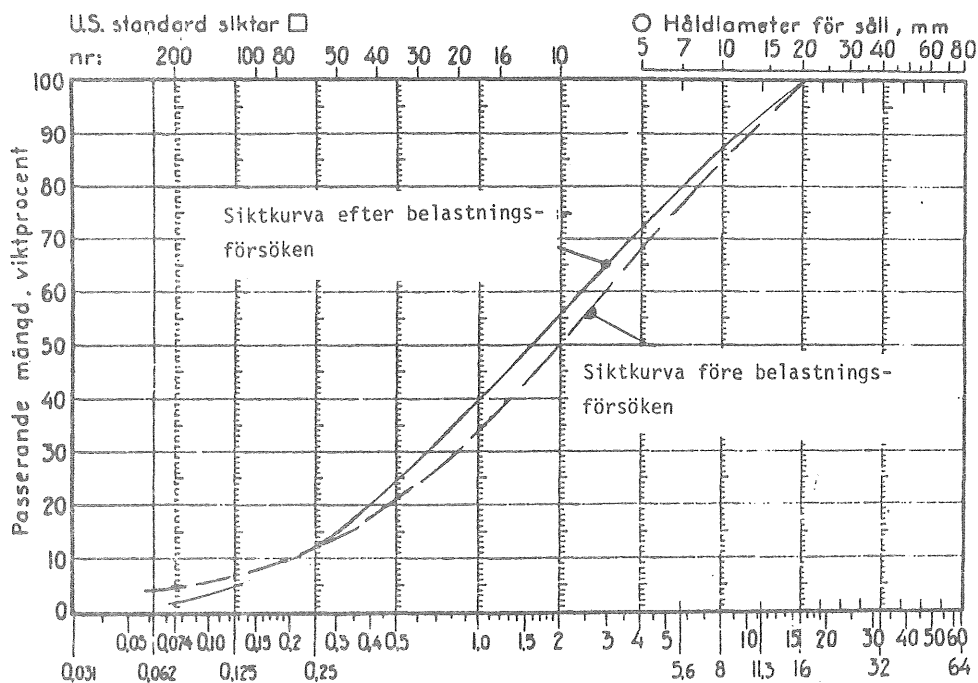
Figur 10. Procent finmaterial i krossgrusbädden efter försökens slut.

Diagrammet visar att andelen finmaterial i krossgruset ökat under försöksserien. Fördelningen i diagrammet visar vidare att en stor del av det material som transporterats med vattnet passerar ut i ledningen. En viss sedimentation som lett till en ökad andel finmaterial under ledningen har förekommit. Krossgrusbäddens övre del, cirka 45 cm över botten, har ej analyserats då den i stort sett utgjorts av ett skikt av doserat material. En successiv urtvättning av detta material är orsaken till den ökade andelen finmaterial på lägre nivåer.

Siktkurvan för naturgruset före och efter försöken redovisas i figur 11. Proven har uttagits på de nivåer som anges i kap. 3.6.

Kurvorna från dessa prov har så god överensstämmelse att de i diagrammet har sammanförts till en kurva som får representera materialet efter försöken. Den avvikelse som kan utläsas mellan denna kurva och den som visar kornstorleksfördelningen före försöken är så liten att den mycket väl kan bero på avvikelser i provtagningen. På samma sätt som vid krossgruset har ett skikt av doserat material ansamlats på nivån 45 cm. Siktanalyserna visar att någon ökning av andelen finmaterial i naturgruset ej har förekommit. En viss genomtransport av finmaterial har dock skett vilket bland annat grumlighetsanalyserna visar. Den största igensättningen skedde dock i ytskiktet av bädden.

Vid upptagning av ledningar har iakttagelser på ledning och bäddmaterial protokollförts. Detta återges i tabell 5. Nedanstående foton från brytningen av anläggningen och infrysta prover tillsammans med kommentarer kompletterar de iakttagelser som redovisas i tabellen.

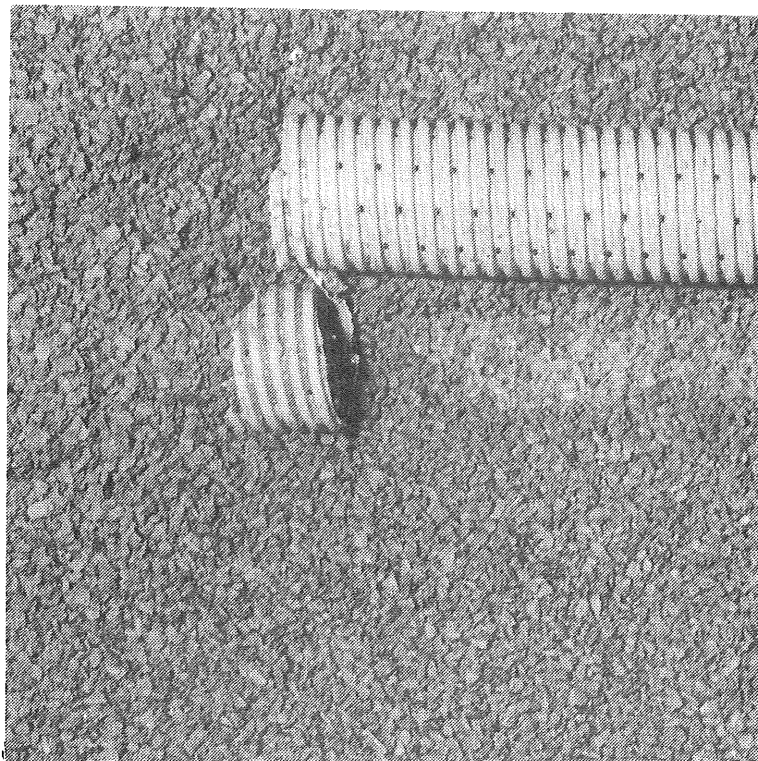


Figur 11. Kornstorleksfördelning för naturgruset före och efter försöken.

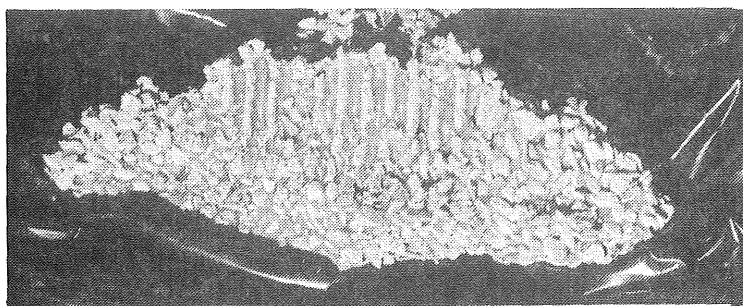
Tabell 5. Iakttagelser vid brytning av anläggning.

Ledning	Avsättningar av finmaterial	Iakttagelser på rörens inströmningsytor	Iakttagelser i bäddmaterial	Anmärkningar
1	Avsättningar ovanpå ledning.			
2				
3	Ledningen ren under. Avsättningar ovanpå ledning.		Ingen struktur i bäddmaterialet efter räfflingen i ledningen.	Under ledning låg slam i bäddmaterialet.
4				Infrusen rörsektion se foto.
5	Fiberduken igensatt av finmaterial.			
6		Skarven mellan rören ren.		
7		Skarven mellan rören ren.		
8	Avsättningar av finmaterial i ledning.	Skarven mellan rören ren.		
9		Skarvar rena. Viss missfärgning på styrring.		
10				
11	Finmaterial ovanpå ledning. Ledningens underdel ren.		Struktur i bädden efter ledning.	
12				
13				Infrusen rörsektion se foto.
14	Fiberduken runt ledningen ren.			
15		Avsättningar i finmaterial nertill i muff. I övrigt ren.		Infrusen rörsektion se foto.
16		Avsättningar av finmaterial nertill i muff. I övrigt ren.	Finmaterial urspolat ur bäddmaterialet i anslutning till skarv.	
17	Finmaterial avsatt på ledningen över yta. Underdelen ren.	Avsättningar nertill i skarv. I övrigt ren.	Struktur i bäddmaterial i perforeringar i röret. Finmaterial urspolat.	
18		Styrringen ren.	Finmaterial urspolat kring skarvar.	

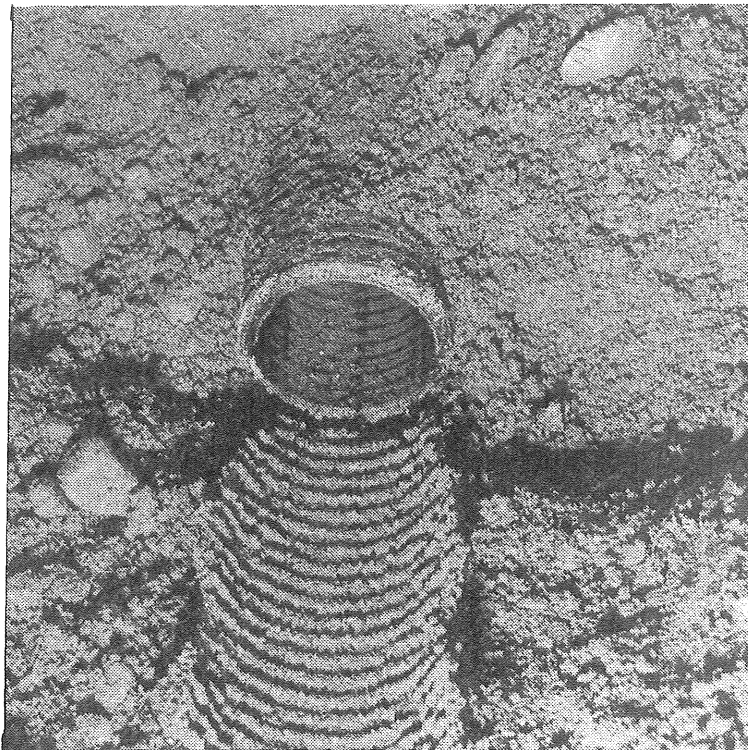




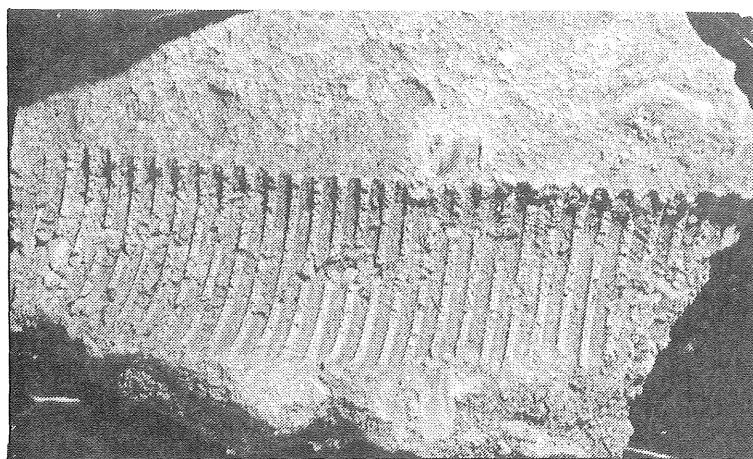
Figur 12. Infiltrationsrör lagt i krossgrus. Röret har sågats av och den frilagda delen har vridits  $180^{\circ}$ . - Aluminiumhydroxid och finmaterial har samlats ovanpå röret samt i bädden där röret tidigare legat. Ledningens underdel (vänd uppåt på bilden) är ren efter försöken.



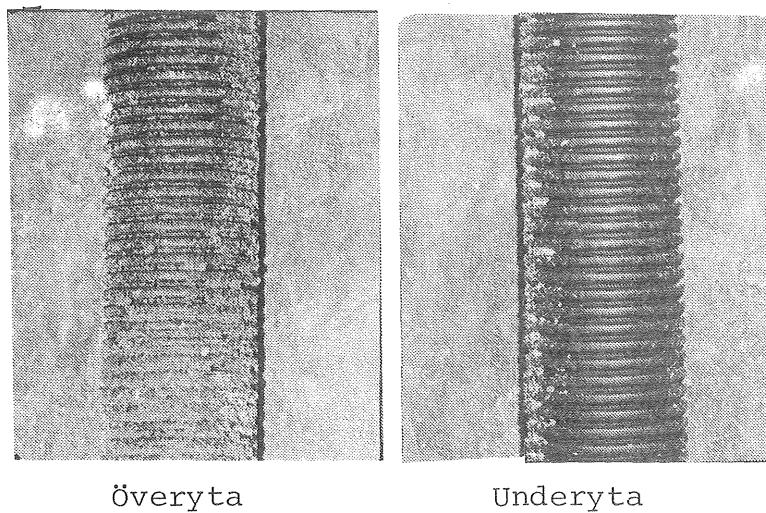
Figur 13. Infruset prov av bäddmaterial, krossgrus, där dräneringsledning av plast legat. Det mönster som provet visar består av den aluminiumhydroxid och finmaterial som delvis fyllt hålrummen mellan bädd och ledning.



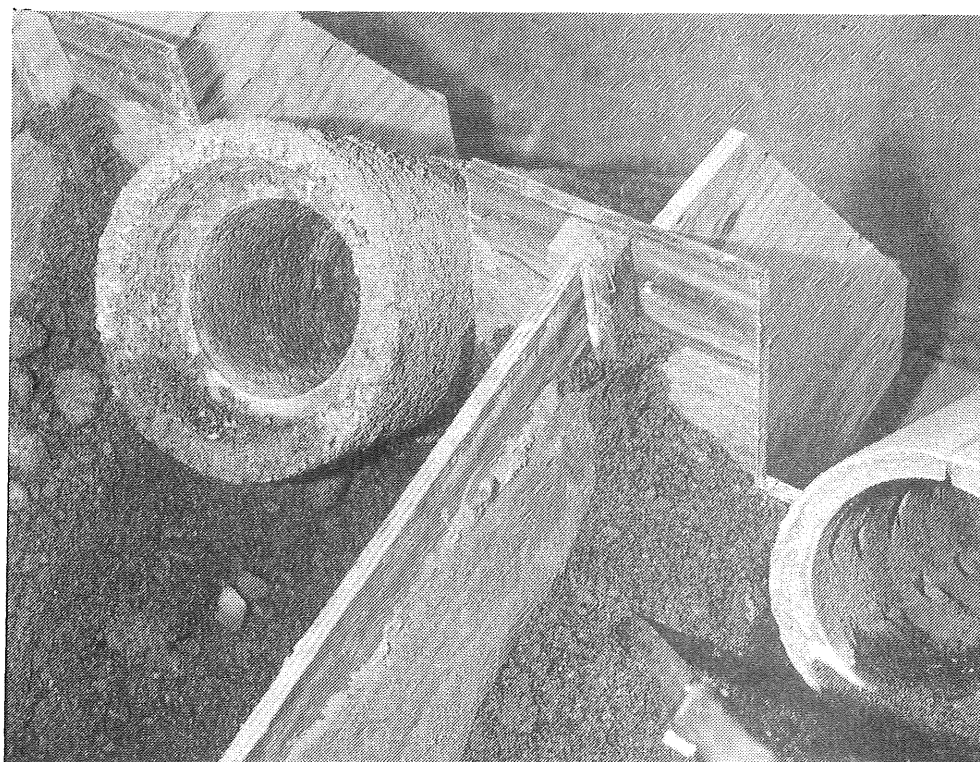
Figur 14. DSA-röret i naturgrus. Strukturen i bäddmaterialet tydligt markerad där ledningen legat. Räckflingen består av bäddmaterial. Inga märken i bädden kan ses där inströmning vid hålen i rören har skett. Viss avlagring av finkornigt material i vattengången på ledningen syns.



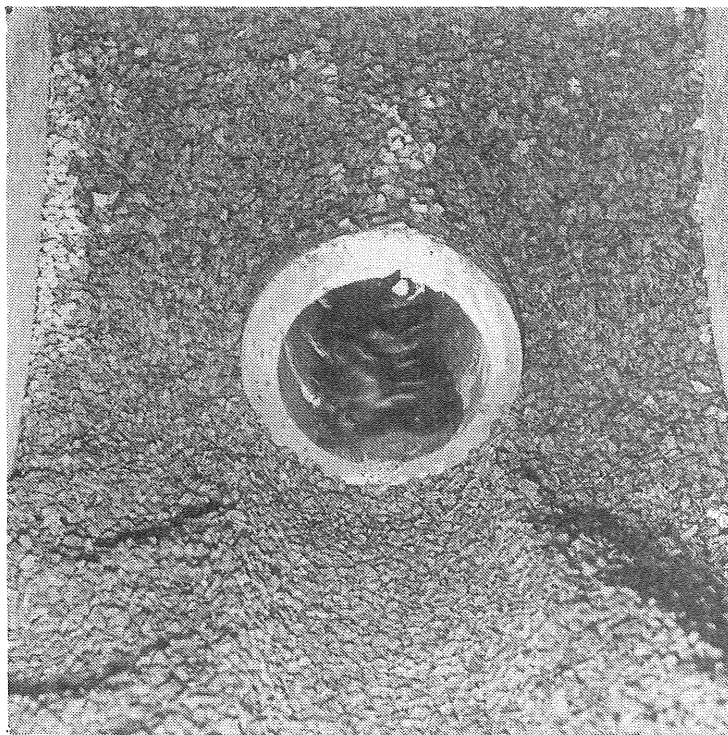
Figur 15. Infruset prov av bäddmaterial, naturgrus, där dräneringsledning av plast legat. Fotot visar tydligt markerad struktur i bäddmaterialet efter ledning. Räckflingen består av bäddmaterial.



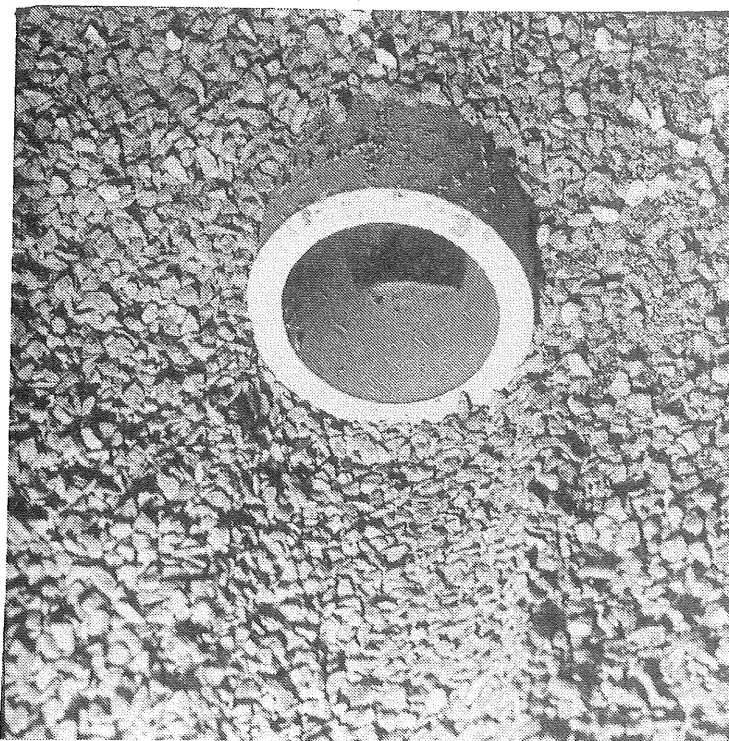
Figur 16. DSA-röret uttaget ur bädd av naturgrus. Finmaterial har fastnat på överytan medan underytan, där inströmning av vatten har skett, är ren.



Figur 17. Poröst betongrör samt perforerat betongrör uttaget ur bädd av naturgrus. Nedre delen av muffen respektive nedre delen av den fasade kanten har en beläggning av finmaterial som avsatts då vatten strömmat in i röret.



Figur 18. Perforerat lantbruksrör med kringfyllning av krossgrus. Avsättningar av finmaterial och aluminiumhydroxid i ledningens vattengångar.



Figur 19. Tegelrör med kringfyllning av krossgrus. Yttre styrringen borttagen. Finmaterial har avsatts ett stycke in i vattengången efter varje styrning. I övrigt är ledningen ren inuti.

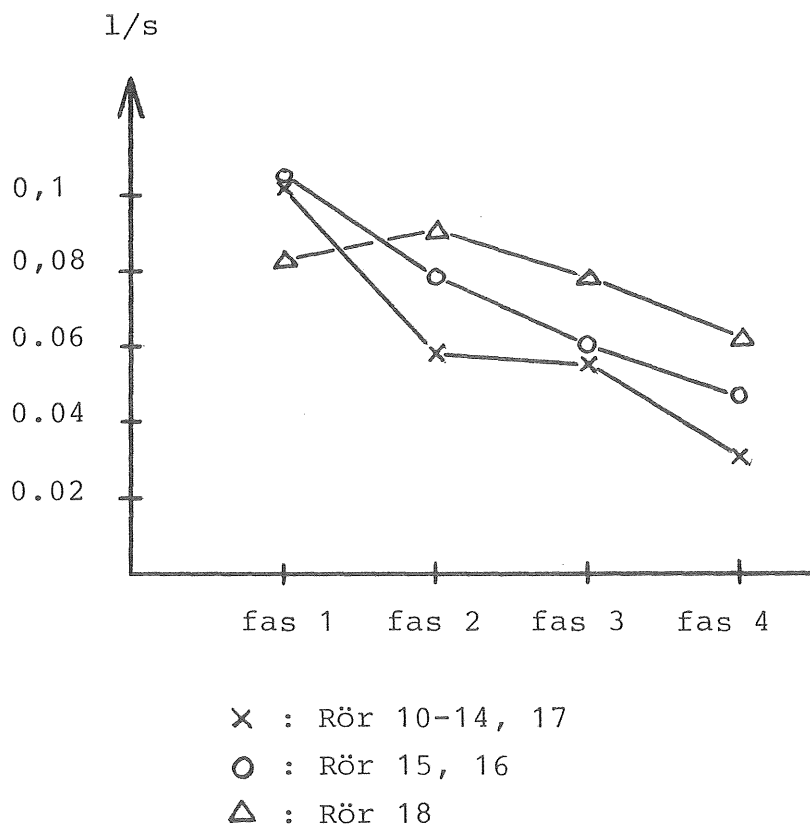
## 5 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

5.1 Allmänt

Dräneringsrören gav väsentligt olika flöden och olika föroreningsreduktioner i krossgruset jämfört med i naturgruset. I krossgruset gav alla rören utom betongröret ungefär samma konstanta flöde tills doseringen av aluminium började. I naturgruset minskade flödet successivt för alla rören under alla belastningsfaserna.

Bäddmaterialet hade alltså större betydelse för igensättningen än eventuella olikheter i rören.

Igensättningen av naturgruset berodde till stor del på bildningen av luftinneslutningar i bäddmaterialet, men även på järnutfällningar och avsättning av suspenderat material. Den markanta flödesminskningen i början av varje belastningsförsök antas bero på igensättning av luft. Ett sätt att separera igensättningen på grund av luft och på grund av järn och suspenderat material kan vara att jämföra flödena efter en viss gångtid, till exempel två dygn. En sådan jämförelse visas i figur 21.



Figur 21. Utgående flöde från rören i naturgruset efter två dygn under faserna 1-4.

Jämförelsen visar att dräneringsröret av tegel sätter igen minst, följt av dräneringsrören av betong och porös betong. En stor del av igensättningen kan emellertid, som sagts ovan, hänföras till bädden. Skillnaderna i flöde mellan de olika rören torde dock förklaras av olikheter i utformningen av rören. Resultaten bekräftas av grumlighetsanalyserna. De under fas 4 uppmätta utgående grumlighetshalterna visar att reduktionen av grumligheten var minst för dräneringsrören av tegel, betong och porös betong. Dessa rör släppte alltså igenom mer finmaterial (filler) än de övriga rören vilket borde minska risken för igensättning på grund av finmaterial.

I krossgruset skedde som nämnts ovan ingen igensättning under de inledande faserna. Dräneringsröret av betong gav emellertid cirka 20% lägre flöde än de övriga rören, efter justering av betongrörets flöde med faktorn 2, se avsnitt 4.1. Vid doseringen av filler och stensmjöl minskade flödet först för dräneringsröret av plast med fiberduk. Detta rör gav lägst utgående flöde under alla doseringsfaserna. Dräneringsröret av betong gav lägst flöde från början, men flödet började inte minska förrän aluminiumsulfat doserades. Flödet från de övriga rören började alla minska samtidigt vid dosering av stensmjöl. I slutet av undersökningen hade flödesminskningarna inte avtagit. Vid den sista flödesmätningen var flödet från dräneringsröret typ DSA, dräneringsrören av plast med och utan fiberduk samt det perforerade lantbruksröret klart lägre än flödet från de övriga rören.

Grumlighetsmätningarna gav inga skillnader i utgående vatten från de olika rören i krossgruset.

## 5.2 Resultatdiskussion för de enskilda rörtyperna

### 5.21 Dräneringsrör typ Raudril (nr 1)

Raudrilröret sattes i krossgruset inte igen förrän vid dosering av stensmjöl, varefter igensättningen skedde i måttlig takt jämfört med de flesta andra rören. I naturgruset

skedde igensättningen i samma takt som för de övriga plaströren, men klart snabbare än för tegel- och betongrören. Raudrilröret kvarhöll en stor del av det inkommande finmaterialiet vilket ökar risken för igensättning.

#### 5.22 Dräneringsrör typ DSA (nr 2)

DSA-röret sattes igen snabbare än Raudrilröret i krossgruset och nådde, jämte dräneringsrören av plast med och utan fiberduk samt det perforerade lantbruksröret, relativt låga flöden i slutet av undersökningen. I naturgruset uppförde sig DSA-röret som Raudrilröret.

#### 5.23 Infiltrationsrör (nr 3)

Igensättningen hos infiltrationsröret skedde i både krossgruset och naturgruset på likartat sätt som hos Raudrilröret.

#### 5.24 Dräneringsrör av plast (nr 4)

Dräneringsrörets igensättning skedde i krossgruset på samma sätt som för DSA-röret, dvs flödet i slutet av undersökningen var lågt. I naturgruset var flödesminskningen densamma som för de övriga plaströren, med relativt stor reduktion av finmaterialhalten.

#### 5.25 Dräneringsrör av plast med fiberduk (nr 5)

Igensättningen hos dräneringsröret med fiberduk började i krossgruset redan vid doseringen av filler i fas 4, varefter flödet från röret under den återstående undersökningsperioden var lägre än från de övriga rören. Vid undersökningens slut hade emellertid tre andra rör nått samma låga flöde. I naturgruset var flödesminskningen densamma som för de andra plaströren.

#### 5.26 Dräneringsrör av betong (nr 6)

Dräneringsröret av betong gav under de fyra första faserna cirka 20% lägre flöde än de övriga rören i krossgruset. Rörets dräneringskapacitet var då uppfylld och bädden var

dämd. Detta relativt låga flöde förblev emellertid konstant under doseringen av filler och stensmjöl och först under doseringen av aluminiumsulfat började flödet minska snabbt. I naturgruset var förhållandet likartat: ett tämligen lågt flöde från början men en relativt liten flödesminskning under belastningsförsöken. Reduktionen av finmaterial var, som för dräneringsrören av porös betong och av tegel, mindre än för de andra rören. Detta innebär mindre risk för igensättningar.

#### 5.27 Dräneringsrör av porös betong (nr 7)

I krossgruset visade det porösa betongröret ungefär samma igensättningar som Raudrilröret och infiltrationsröret. I naturgruset var begynnelseflödena relativt höga under de olika faserna, men slutflödena desamma som för betongröret, liksom reduktionen av finmaterial.

#### 5.28 Perforerade lantbruksrör (nr 8)

Det perforerade lantbruksröret sattes igen relativt snabbt i krossgruset, ungefär som dräneringsröret typ DSA och dräneringsröret av plast. I naturgruset var igensättningsförloppet likartat som för plaströren.

#### 5.29 Dräneringsrör av tegel (nr 9)

Tegelröret visade något mindre igensättning i krossgruset än de övriga rören, undantagandes betongröret. I naturgruset var begynnelseflödet i tegelröret lågt under alla faserna, men flödet var i slutet av faserna högst. Igensättningen hade alltså minst påverkat tegelröret. Detta understöds av grumlighetsanalyserna som visar att reduktionen av finmaterial var minst för tegelröret och dräneringsrören av betong och porös betong.

### 5.3 Tillämplighet

Den gjorda undersökningen är utförd på laboratorium och det är svårt att enbart utifrån de erhållna resultaten dra några slutsatser om hur igensättningen sker under praktisk



drift. De belastningar som har gjorts är vida högre än vad som kan påräknas under reella förhållanden. Den påförda mängden finmaterial kan tänkas tillföras dräneringsrör i praktiken först efter lång tid. Doseringen av aluminiumsulfat ger utfällningar av aluminiumhydroxid som inte finns i verkligheten. Däremot är järnutfällningar vanliga i vissa jordarter och dessa kan sägas efterliknas av aluminiumutfällningarna. Tidsförloppet har emellertid kraftigt krympts i undersökningen. De i undersökningen erhållna inneslutningarna av luft torde heller inte vara vanliga vid praktisk drift eftersom regntillfällena och därmed de tider som dräneringsrören är i drift kommer med relativt långa uppehåll. Man kan alltså inte ur undersökningsresultaten dra några slutsatser om hur dräneringsrör sätts igen vid praktisk drift. Däremot kan jämförelser göras mellan rören och de jämförande resultaten översättas till praktisk drift under förutsättning att man där har liknande bäddmaterial och övriga driftsbetingelser som i undersökningen.

#### 5.4 Slutsatser

Med de begränsningar som laboratorieförhållandena ger visar de erhållna undersökningsresultaten att

- Valet av bäddmaterial är mycket viktigare än valet av rör. I krossgruset fungerade alla dräneringsrören tillfredsställande tills stora belastningar av finmaterial och aluminiumsulfat påfördes. I naturgruset var för alla rören dräneringskapaciteten låg och igensättningen skedde snabbt även vid låga belastningar.
- Skillnaderna i igensättning mellan de olika rören var små och inget rör sattes igen väsentligt mycket snabbare än något annat.
- Dräneringsrören av tegel, betong och porös betong hade från början en lägre dräneringskapacitet än de övriga rören men uppvisade en långsammare igensättning och alltså en högre dräneringskapacitet mot slutet av varje belastningsfas. Detta gäller för såväl krossgruset som för naturgruset.

- Dräneringsrören av plast jämte det perforerade lantbruksröret uppvisade i naturgruset likartade igensättningar. I krossgruset sattes Raudrilröret och infiltrationsröret igen långsammare än de övriga plaströren.
- Dräneringsrören med fiberduk sattes igen snabbare än övriga rör i krossgruset men lika snabbt som övriga plaströr i naturgruset.

## 6. ANDRA UNDERSÖKNINGAR

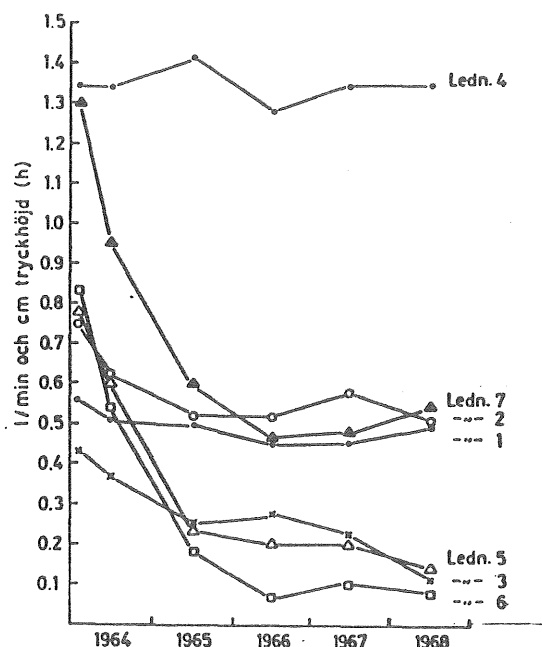
Funktionen hos olika dräneringsrör undersöktes i full skala i Ed utanför Östhammar av August Håkansson (1968). Sju olika dräneringsrör lades i en enkelkornjord (mellansand/grovmo) år 1963 och undersöktes under de påföljande fem åren med avseende på grundvattenstånd och avbördning. Av de sju rören var ett av tegel, ett av korrugerad plast och de övriga av slät, slitsad plast med och utan olika täckningar av filterduk.

Av undersökningens resultat framgår bland annat

- 1) att vattenintagsförmågan hos släta plaströr utan filter och hos korrugerade plaströr utan filter var cirka 40 respektive 15 procent lägre än hos en grusad tegelrörsledning
- 2) att på denna jord filterbeläggning av ledningarna avsevärt höjt vattenintagsförmågan
- 3) att släta plaströr med skumplastfilter och med glasvlieslindning visade ungefär samma vattenintagsförmåga som tegelröret
- 4) att släta plaströr med filter av glasfiberremсор över och under ledningen visade avsevärt högre vattenintagsförmåga än övriga ledningar.

I figur 22 visas vattenintagsförmågan som funktion av tiden för de olika ledningarna.

Dräneringsrören grävdes också upp och besiktigades efter provperiodens slut. Tegelröret var helt fritt från rost och slam och det korrugerade PVC-röret var helt rostfritt men hade inslammat material. De släta PVC-rören hade alla rostbeläggningar och mer eller mindre slammängder i ledningarna.

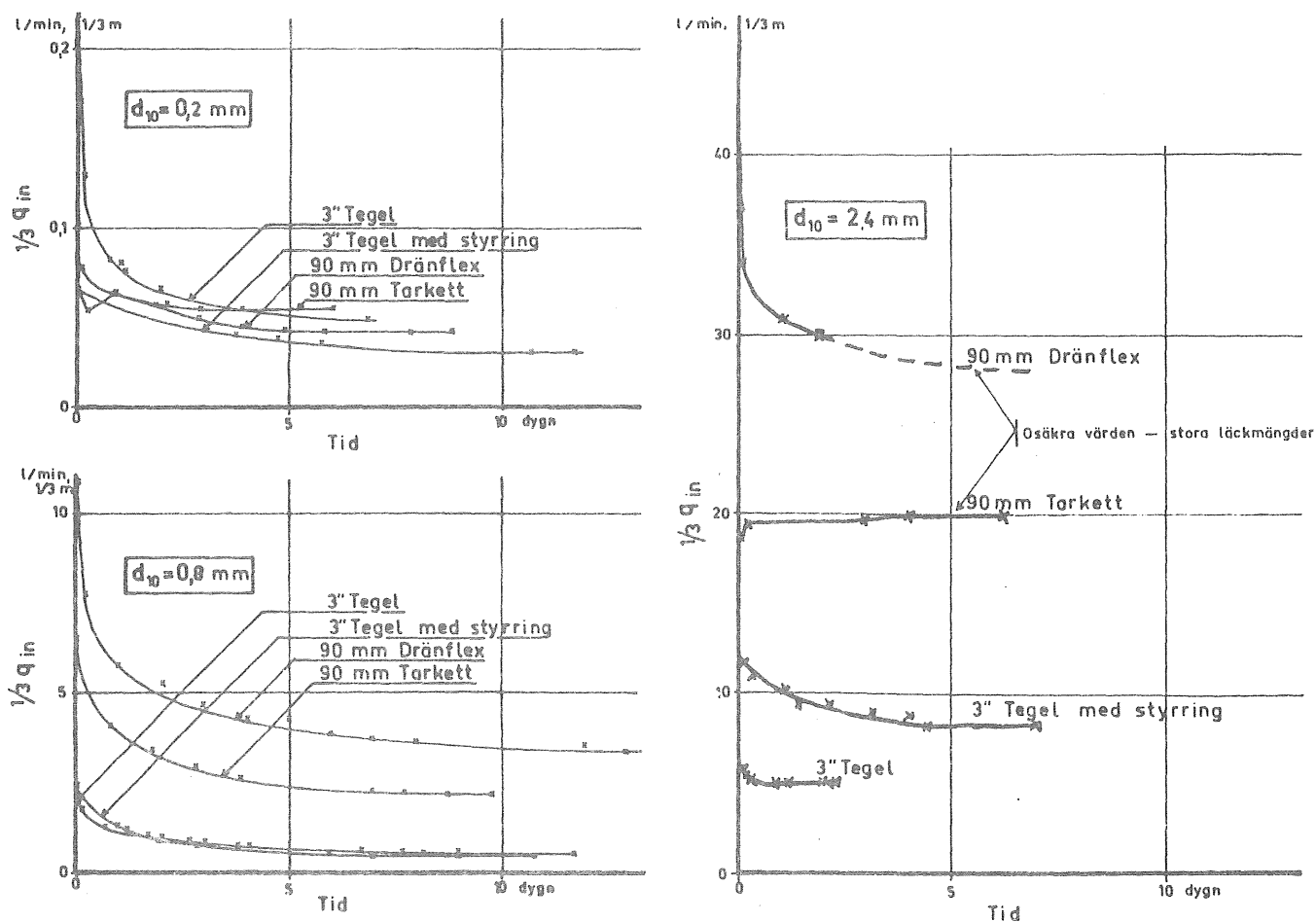


- Ledning 1: Korr. PVC utan filter  
 " 2: Tegel, grusad  
 " 3: Slät PVC utan filter  
 " 4: - " - med glasfiber över och under  
 " 5: - " - med skumplastfilter  
 " 6: - " - med glasvlies  
 " 7: - " - med glasfiber över ledningen

Figur 22. Vattenintagsförmågans förändring med tiden hos olika ledningar (Håkansson 1968).

Den mest omfattande översikten av dräneringsrör har utförts av Lyman Cadling (1970). I publikationen "Dränering av byggnader" redovisar Cadling bland annat behovet av dränering av byggnader, behovet av kapillärbrytande lager, kapacitetskrav på dräneringssystemet, behovet av erosionsskydd samt utformningen av dräneringssystemets perifera delar.

I ett av publikationens avsnitt redovisas resultaten från bestämning av inläckningskapaciteten i laborieförsök. Tre olika dräneringsrör - 3" tegel, med och utan styrning, 90 mm PVC Dränflex och 90 mm PVC Tarkett - provades i olika bäddmaterial - 0,2; 0,8 och 2,4 mm  $d_{10}$ . Undersökningstiden var 7-12 dygn. De provade rörens längd var cirka 300 mm. Resultaten visas i figur 23.



Figur 23. Samband mellan läckvattenmängd och tid vid för övrigt konstanta yttre förhållanden (Cadling 1970).

Av figurerna framgår att i det finaste materialet ( $d_{10} = 0,2$  mm) visade alla rören ungefär samma läckvattenflöde medan i de två grövre bäddmaterialen ( $d_{10} = 0,8$  respektive 2,4 mm) PVC-rören visade högre läckvattenflöden än tegelrören. Cadling menar att minsk-

ningen av läckvattenmängden huvudsakligen torde bero på omlagring av dräneringsmaterialen vid insläppen, som åtminstone i vissa fall pågår under lång tid på grund av inslamning i rören.

Mot undersökningen kan invändas att den omfattat en alltför kort tid. Resultaten från den här rapporterade undersökningen visar bland annat att tegelröret i naturgruset hade ett lägre utflöde än övriga rör under de första dyggen (i första försöket de nio första dyggen) men att igensättningen sedan skedde snabbare för de övriga rören och att tegelröret i slutet av försöken hade högst utflöde.

Det danska Vejdirektoratets afvandingsgrupp har genomfört en laboratorieundersökning av dräneringsförmågan hos olika rör (Krüger 1977). De undersökta rören var av korrugerad plast med och utan olika filter ( $\varnothing$  80 och  $\varnothing$  100 mm), plast med tät botten (Raudril) samt porös betong. Två olika bäddmaterial med olika kornstorlek användes (Grus 1 med  $d_{10} = 0,15$  respektive Grus 2 med  $d_{10} = 0,08$  mm). Försöken utfördes i bäddar med konstant vattentryck och pågick tills "konstant" vattenföring uppnåddes, mellan ett och två dygn. Resultaten visas i tabell 6.

Tabell 6. Uppmätta flöden efter 1 å 2 dygn från olika dräneringsrör (efter Krüger 1977).

Rörtyp	Flöde efter 1 å 2 dygn, l/s·m	
	Grus 1	Grus 2
$\varnothing$ 80 mm korr. plast, 41 cm <sup>2</sup> hål/m, utan filter	0,013	0,056
$\varnothing$ 80 " " " , 24 " " " "	0,010	0,058
$\varnothing$ 80 " " " , 24 " " , med kokosfilter	0,024	0,066
$\varnothing$ 80 " " " , 24 " " , med syntetfilter	0,020	0,063
$\varnothing$ 100 " " " , 24 " " , utan filter	0,010	0,068
$\varnothing$ 80 mm plast med tät botten, 54 cm <sup>2</sup> hål/m, utan filter	0,016	0,067
$\varnothing$ 80 " " " " " , 66 " " , " "	0,016	0,062
$\varnothing$ 100 mm porös betong utan filter	0,026	0,069

Av resultaten kan noteras

- 1) att bäddmaterialet spelar en betydligt större roll för dräneringsförmågan än valet av rör
- 2) att såväl kokos- som syntetfilter höjer dräneringsförmågan, särskilt i det fina bäddmaterialet
- 3) att dräneringsförmågan i det fina materialet är större för röret av porös betong än för plaströren utan filter
- 4) att rördiameter och hålarea synes spela en underordnad roll.

I undersökningen har hänsyn tagits till risken för igensättning på grund av luft genom att försöksanläggningen långsamt fylldes vid starten.

Vad beträffar risken för igensättning säger författaren:

"Det materiale, der under de enkelte forsøg blev ind-slemmet i rørene, var meget finkornet og forekom i så lille en mængde, at der ingen risiko er for tilstopning af drænet ved anvendelse af grus med kornkurver som anvendt til forsøget."

"Det enkelte forsøg har kun forløbet over 1 å 2 døgn, og i praksis kan afdræningsmængden pr. tidsenhed og drænlængde meget vel tænkes nedsat i uacceptabelt omfang som følge af indslemning af materialer fra drængravens sider og/eller kemisk aflejring i såvel grusfyld som i drænrørets filter og instrømningsåbninger. I områder med jernholdigt vand kan især okker-aflejringer give anledning til store problemer."

I ett examensarbete vid Institutionen för vägbyggnad, KTH (Nordqvist och Tegengren 1979) har undersökts konditionen hos 0-30 år gamla dräneringsledningar utefter vägar och gator. 11 anläggningar av varierande storlek undersöktes i länen runt Stockholm. Av dessa var 4 av tegel och 7 av plast. De undersökta tegelledningarna var lagda mellan

1947 och 1960 medan plastledningarna var lagda mellan 1965 och 1978. Innerdiametererna hos tegelrören var 75 mm och hos plaströren mellan 80 och 110 mm. Ledningarnas läggningsdjup var i allmänhet 1,0-1,5 m under vägbana eller dikesbotten. Samtliga tegelledningar och tre korta plastledningar var belägna vid landsvägen medan övriga plastledningar låg under gator.

## 7. SAMMANFATTNING

Igensättningen hos olika typer av dräneringsrör har studerats i en laboratorieanläggning. De undersökta rören var

- 1) Dräneringsrör av PVC (Raudril)
- 2) Dräneringsrör av PEH, typ DSA
- 3) Infiltrationsrör av PVC
- 4) Dräneringsrör av PVC (Dränflex)
- 5) Dräneringsrör av PVC med omlindad fiberduk
- 6) Dräneringsrör av betong
- 7) Dräneringsrör av porös betong
- 8) Perforerat lantbruksrör av betong
- 9) Dräneringsrör av tegel med styrringar

Alla nio rören undersöktes i två olika bäddmaterial, dels krossgrus 5-8 mm, dels osorterat naturgrus typ förstärkningsgrus B. Undersökningen genomfördes i nio faser. Under de tre första faserna tillfördes vatten endast, under fas fyra doserades fillermaterial, under faserna 5 och 6 stenhjöl och under faserna 7-9 aluminiumsulfat. Sammanlagd drifttid var 58 dygn. Förutom flödesmätningar utfördes analyser av bland annat järn och grumlighet.

De erhållna undersökningsresultaten visar bland annat att

- Valet av bäddmaterial är mycket viktigare än valet av rör. I krossgruset fungerade alla dräneringsrören tillfredsställande tills stora belastningar av finmaterial och aluminiumsulfat påfördes. I naturgruset var för alla rören dräneringskapaciteten låg och igensättningen skedde snabbt även vid låga belastningar.
- Skillnaderna i igensättning mellan de olika rören var små och inget rör sattes igen väsentligt mycket snabbare än något annat.
- Dräneringsrören av tegel, betong och porös betong hade från början en lägre dräneringskapacitet än de övriga rören men uppvisade en långsammare igensättning och alltså en högre dräneringskapacitet mot slutet av varje belastningsfas. Detta gäller för såväl krossgruset som för naturgruset.



Undersökningen genomfördes på så sätt att en 25 mm bred sond fördes genom ledningarna och antalet stopp noterades.

Hos ledningar äldre än två år noterades stopp vid cirka 60% av sonderingarna, oavsett ledningsmaterial. Större delen av stoppen berodde på igenslamning, i något fall kunde stopp på grund av inträngande trädrötter noteras.

Ingenting i undersökningarna tydde på att tegelrören skulle slamma igen mer än plaströren, trots att tegelrören var betydligt äldre och inte försedda med de numera förekommande styrringarna.

Även de igenslammade ledningarna kunde fortfarande transportera vatten, och författarna menar att täckdiken bör kunna användas för vägdränering om de utförs omsorgsfullt. Både tegel och plast bör kunna användas som rörmaterial.

Funktionen hos tegelrör med och utan styrhylsor undersöktes av Chalmers provningsanstalt (1967). Undersökningen omfattade mätningar av flödet från tegelrör lagda i grusbädd i en laboratorieanläggning, vägning av inslammat material samt hållfasthetsprovningar. Flödesmätningarna utfördes för en meter långa ledningar med och utan styrhylsor. Drifftiden var för rör med styrhylsor 300 h och för rör utan styrhylsor 600 h. Flödet från ledningen med styrhylsor var hela tiden större än från ledningen utan styrhylsor, efter 20 timmar nära dubbelt så stort. Flödena närmade sig emellertid varandra asymptotiskt och var efter 300 h ungefär lika stora. Efter provtiden vägdes mängden sandmaterial inne i ledningarna. I ledningen med styrhylsor fanns 30 g material och i ledningen utan styrhylsor fanns 240 g material ( $> 0,125$  mm).

- Dräneringsrören av plast jämte det perforerade lantbruksröret uppvisade i naturgruset likartade igensättningar. I krossgruset sattes Raudrilröret och infiltrationsröret igen långsammare än de övriga plaströren.
- Dräneringsröret med fiberduk sattes igen snabbare än övriga rör i krossgruset men lika snabbt som övriga plaströr i naturgruset.

De erhållna resultaten är svåra att direkt tillämpa på dräneringsrör i praktisk drift vad gäller absolutvärdena av igensättningshastigheter etc. Däremot torde de jämförande resultaten för de olika rören kunna tillämpas i praktisk drift under liknande yttre omständigheter som i undersökningen.

Dräneringsrörs igensättning på grund av järnutfällningar har inte studerats men bör bli föremål för nya undersökningar.

## 8. REFERENSER

Cadling L, 1970. Dränering av byggnader. Svenska Riksbyggen - BPA Byggproduktion AB. Handling nr 16.

Chalmers provningsanstalt 1967. Styrhylsor och grenrör av plast samt dräneringsrör av tegel. Intyg nr 11787.

Håkansson A, 1968. Vattenintagsförmågan hos dräneringsledningar av olika utförande. Grundförbättring 21, 1968:4, s 157-164.

Krüger S, 1977. Forsög til bestemmelse af indströmningskapaciteten for forskellige typer drænrör. Vejdirektoratet, afvandingsgruppen (Danmark). Stencil.

Nordqvist G, Tegengren S, 1979. Konditionen hos 0-30 år gamla dräneringsledningar i täckdiken utefter väg. Institutionen för vägbyggnad, Kungliga tekniska högskolan. Examensarbete, bulletin 1979:2.

## Bilaga 1:1 Analysresultat suspenderat material

Rör nr	Beteckning	Bäddmaterial	Halt suspenderat material, mg/l	
			Fas 1, dygn 1	Fas 4, dygn 2
1	Dräneringsrör plast Raudril	Krossgrus	67	9
2	Dräneringsrör plast DSA	Krossgrus	160	11
3	Infiltrationsrör plast	Krossgrus	100	10
4	Dräneringsrör plast	Krossgrus	100	9
5	Dräneringsrör plast m fiberduk	Krossgrus	65	5
6	Dräneringsrör betong	Krossgrus	89	3
7	Dräneringsrör porös betong	Krossgrus	45	8
8	Perforerat lantbruksrör betong	Krossgrus	54	8
9	Dräneringsrör tegel	Krossgrus	53	7
10	Dräneringsrör plast Raudril	Naturgrus	84	1,0
11	Dräneringsrör plast DSA	Naturgrus	180	0,5
12	Infiltrationsrör plast	Naturgrus	78	0,5
13	Dräneringsrör plast	Naturgrus	59	0,5
14	Dräneringsrör plast m fiberduk	Naturgrus	64	1,0
15	Dräneringsrör betong	Naturgrus	35	1,0
16	Dräneringsrör porös betong	Naturgrus	26	0,5
17	Perforerat lantbruksrör betong	Naturgrus	22	1,0
18	Dräneringsrör tegel	Naturgrus	37	0,5
Inkommande vatten			18	15

## Bilaga 1:2 Analysresultat järn

Rör nr	Beteckning	Bäddmaterial	Järnhalt, mg/l							
			Fas 1, d 21	Fas 1, d 28	Fas 2, d 2	Fas 2, d 6	Fas 3, d 3	Fas 3, d 10	Fas 4, d 2	
1	Dräneringsrör plast Raudril	Krossgrus							0,10	0,34
2	Dräneringsrör plast DSA	"							0,11	0,36
3	Infiltrationsrör plast	"							0,10	0,32
4	Dräneringsrör plast	"							0,09	0,30
5	Dräneringsrör plast m fiberduk	"							0,09	0,22
6	Dräneringsrör betong	"	0,16						0,10	0,20
7	Dräneringsrör porös betong	"							0,11	0,32
8	Perforerat lantbruksrör betong	"							0,10	0,32
9	Dräneringsrör tegel	"							0,10	0,26
10	Dräneringsrör plast Raudril	Naturgrus	0,13	0,08	0,20	0,06	0,05	0,02	<0,01	
11	Dräneringsrör plast DSA	"	0,14	0,06	0,10	0,05	0,05	0,01	"	
12	Infiltrationsrör plast	"	0,11	0,06	0,10	0,07	0,05	0,04	"	
13	Dräneringsrör plast	"	0,13	0,08	0,32	0,06	0,06	0,03	"	
14	Dräneringsrör plast m fiberduk	"	0,12	0,09	0,11	0,05	0,06	0,02	"	
15	Dräneringsrör betong	"	0,17	0,08	0,21	0,07	0,09	0,04	0,03	
16	Dräneringsrör porös betong	"	0,12	0,09	0,19	0,06	0,08	0,03	0,02	
17	Perforerat lantbruksrör betong	"	0,13	0,11	0,11	0,06	0,06	0,02	<0,01	
18	Dräneringsrör tegel	"	0,12	0,08	0,30	0,06	0,08	0,04	0,02	
Inkommande vatten			0,16	0,16	0,24	0,12	0,14	0,11	0,46	

Rör nr	Beteckning	Bädd-material	Grumlighet NTU			
			Fas 3 dygn 11	dygn 1,kl 10	Fas 4 dygn 1,kl 12	dygn 1,kl 14
1	Dräneringsrör plast Raudril	Krossgrus	0,5	0,9	1,5	1,6
2	Dräneringsrör plast DSA	"	0,6	0,9	1,4	1,5
3	Infiltrationsrör plast	"	0,7	1,0	1,5	1,5
4	Dräneringsrör plast	"	0,5	1,0	1,4	1,5
5	Dräneringsrör plast m fiberduk	"	0,9	0,9	1,3	1,4
6	Dräneringsrör betong	"	0,8	0,9	1,3	1,3
7	Dräneringsrör porös betong	"	0,5	0,9	1,4	1,6
8	Perforerat lantbruksrör betong	"	0,5	0,9	1,2	1,5
9	Dräneringsrör tegel	"	0,6	0,9	1,3	1,5
10	Dräneringsrör plast Raudril	Naturgrus	0,3	0,3	0,4	0,4
11	Dräneringsrör plast DSA	"	-	0,3	0,4	0,4
12	Infiltrationsrör plast	"	0,4	0,3	0,4	0,4
13	Dräneringsrör plast	"	0,5	0,4	0,5	0,4
14	Dräneringsrör plast m fiberduk	"	0,3	0,3	0,5	0,4
15	Dräneringsrör betong	"	0,5	0,6	0,6	0,7
16	Dräneringsrör porös betong	"	0,3	0,4	0,4	0,5
17	Perforerat lantbruksrör betong	"	0,4	0,4	0,4	0,4
18	Dräneringsrör tegel	"	0,3	0,4	0,5	0,5
	Inkommande vatten		0,6	1,0	1,6	1,8

Rör nr	Grumlighet NTU						
	dygn 2,kl 8	dygn 3,kl 8	Fas 4 dygn 4,kl 8	dygn 4,kl 14	dygn 5,kl 8	dygn 7,kl 16	Fas 6 dygn 1,kl 8
1	1,9	2,9	3,4	5,2	5,8	10,1	10,0
2	1,8	2,9	3,6	5,6	5,3	10,4	10,0
3	1,9	3,0	3,7	5,3	5,6	10,0	9,8
4	1,8	2,9	3,6	5,2	5,6	9,9	10,5
5	1,9	2,8	3,4	5,0	5,5	9,4	9,9
6	1,8	2,5	3,1	4,6	5,0	9,0	10,4
7	1,9	2,7	3,6	5,1	6,1	9,7	9,9
8	1,8	2,7	3,3	4,9	5,9	9,3	10,1
9	1,9 <sup>3</sup>	2,7	3,3	4,8	6,0	9,3	10,2
10	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	1,0	1,3
11	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,8	0,6
12	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,7	0,9
13	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	1,7	6,0
14	0,5	0,5	0,5	0,8	0,9	1,1	2,5
15	0,7	0,7	0,7	1,1	1,2	1,8	2,6
16	0,6	0,6	0,7	1,0	1,1	1,9	0,8
17	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	1,0	0,7
18	0,5	0,6	0,7	1,2	1,2	1,7	0,6
Ink.	2,1	3,1	3,8	5,4	6,0	10,7	11,3

## Bilaga 1:3 Analysresultat pH, ledningsförmåga och kalcium

Rör nr	Beteckning	Bädd-material	pH-värde		Ledningsförmåga, $\mu\text{s}/\text{cm}$ Fas 4, dygn 2	Kalcium, mg/l Fas 4, dygn 2
			Fas 3, dygn 10	Fas 4, dygn 2		
1	Dräneringsrör plast Raudril	Krossgrus	8,1	8,2	260	24,3
2	Dräneringsrör plast DSA	"	8,1	8,1	260	23,8
3	Infiltrationsrör plast	"	8,1	8,1	260	23,8
4	Dräneringsrör plast	"	8,1	8,1	260	24,3
5	Dräneringsrör plast m fiberduk	"	7,4	8,2	260	23,3
6	Dräneringsrör betong	"	8,1	8,2	260	23,3
7	Dräneringsrör porös betong	"	8,1	8,2	260	23,3
8	Perforerat lantbruksrör betong	"	8,1	8,2	260	23,8
9	Dräneringsrör tegel	"	8,1	8,2	260	24,3
10	Dräneringsrör plast Raudril	Naturgrus	8,0	8,1	260	24,3
11	Dräneringsrör plast DSA	"	8,0	8,1	260	23,8
12	Infiltrationsrör plast	"	8,0	8,1	260	24,8
13	Dräneringsrör plast	"	8,0	8,1	260	24,8
14	Dräneringsrör plast m fiberduk	"	8,0	8,1	260	24,8
15	Dräneringsrör betong	"	8,1	8,1	260	25,3
16	Dräneringsrör porös betong	"	8,2	8,2	260	23,8
17	Perforerat lantbruksrör betong	"	8,1	8,1	260	24,8
18	Dräneringsrör tegel	"	8,1	8,2	260	24,3
	Inkommande vatten		8,1	8,2	260	24,8

## Bilaga 1:5 Analysresultat aluminium

Rör nr	Beteckning	Bädd-material	Aluminium, mg/l		
			Fas 7, början	Fas 7, slutet	Fas 8, slutet
1	Dräneringsrör plast Raudril	Krossgrus	0,1 - 0,5	ca 0,5	ca 1,0
2	Dräneringsrör plast DSA	"	"	"	"
3	Infiltrationsrör plast	"	"	"	"
4	Dräneringsrör plast	"	"	"	"
5	Dräneringsrör plast m fiberduk	"	"	"	"
6	Dräneringsrör betong	"	"	"	"
7	Dräneringsrör porös betong	"	"	"	"
8	Perforerat lantbruksrör betong	"	"	"	"
9	Dräneringsrör tegel	"	"	"	"
10	Dräneringsrör plast Raudril	Naturgrus	<0,1	<0,1	<0,1
11	Dräneringsrör plast DSA	"	"	"	"
12	Infiltrationsrör plast	"	"	"	"
13	Dräneringsrör plast	"	"	"	"
14	Dräneringsrör plast m fiberduk	"	ca 0,1	0,1 - 0,5	0,1
15	Dräneringsrör betong	"	"	"	<0,1
16	Dräneringsrör porös betong	"	<0,1	<0,1	"
17	Perforerat lantbruksrör betong	"	"	"	"
18	Dräneringsrör tegel	"	"	"	"

## GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

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. 20:-. (Utgången)
- nr 2 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 1. Evaluering av akviferers geohydrologiska data med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 67 sidor. 20:-.
- nr 3 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 2. Evaluering av lågpermeabla lagers hydrauliska diffusivitet med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 17 sidor. 15:-.
- nr 4 Viktor Arnell: Nederbördsräknare. En sammanställning av några olika mätyper. 1973. 39 sidor. 15:-. (Utgången)
- nr 5 Viktor Arnell: Intensitets-varaktighetskurvor för häftiga regn i Göteborg under 45-årsperioden 1926-1971. 1974. 68 sidor. 20:-.
- nr 6 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1973-03-01 - 1974-02-01). 1974. 167 sidor. 20:-.
- nr 7 Olov Holmstrand, Per O Wedel: Ingenjörsgelogiska kartor - litteraturstudier. 1974. 55 sidor. 15:-. (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. 20:-. (Utgången).
- nr 9 Olov Holmstrand (red.): Seminarium om ingenjörsgelogiska kartor. 1974. 38 sidor. 15:-. (Utgången).
- nr 10 Viktor Arnell, Börje Sjölander: Mätning av nederbördsintensiteter i Göteborgsregionen. Stationsbeskrivning. 1974. 53 sidor. 15:-. (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. 20:-.
- nr 12 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Interimrapport. Beräkningsmodell för simulering av dagvattenflöde inom bebyggda områden. Geohydrologiska forskningsgruppen i samarbete med VA-verket i Göteborg, meddelande nr 12, 1975. 50 sidor. 15:-.
- nr 13 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. 1975. 92 sidor. 20:-.
- nr 14 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Delrapport. Dagvattnets sammansättning i Göteborg. Engelsk sammanfattning. 1975. 73 sidor. 20:-. (Utgången).
- nr 15 Dagvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 33 sidor. 15:-. Följande uppsatser ingår:  
Arnell V. Beräkningsmetod för analys av dagvattenflödet inom ett urbant område.  
Lyngfelt S. Nederbörds-avrinningsstudier i Bergsjön, Göteborg.  
Sjöberg A. CTH-ledningsnätmodell DAGVL-A.  
Svensson G. Dagvattnets sammansättning, inverkan av urbanisering. (Utgången).
- nr 16 Grundvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 43 sidor. 15:-. Följande uppsatser ingår:  
Andréasson L, Cederwall K. Rubbningar av grundvattenbalansen i urbana områden.  
Carlsson L. Djupinfiltration i slutna akviferer.  
Torstensson B-A. Följder av grundvattensänkning inom lerområden.  
Wedel P. Exempel på dränering av jordlager på grund av tunnelbyggande. (Utgången).
- nr 17 Olov Holmstrand, Per Wedel: Markvattenundersökningar i ett urbant område. 1976. 127 sidor. 25:-
- nr 18 Göran Ejdeling: Beräkningsmodeller för prognos av grundvattenförhållanden. 1978. 130 sidor. 25:-.
- nr 19 Viktor Arnell, Jan Falk, Per-Arne Malmquist: Urban Storm Water Research in Sweden. 1977. 30 sidor. 15:-.
- nr 20 Viktor Arnell: Studier av amerikansk dagvattenteknik. Resa i december 1976. 1977. 64 sidor. 15:-.
- 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. 15:-.
- nr 22 Per O Wedel: Grundvattenbildning, samspelet jordlager och berggrund. Exemplifierat från ett försöksområde i Angered. 1978. 130 sidor. 25:-.
- nr 23 Viktor Arnell: Nederbördsdata vid dimensionering av dagvattensystem med hjälp av detaljerade beräkningsmodeller. En inledande studie. 1977. 29 sidor. 20:-.
- 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. 15:-.
- nr 25 Lars O Ericsson (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport från första verksamhetsåret 1976-02-01 - 1977-01-31. 1977. 120 sidor. 25:-.
- nr 26 Ann-Carin Andersson, Jan Berntsson: Kontrollerad grundvattenbalans genom djupinfiltration. En inventering av djupinfiltrationsprojekt. 1978. 273 sidor. 25:-.
- nr 27 Anders Eriksson, Per Lindvall: Lokalt omhändertagande av dagvatten. Resultatredovisning av enkät rörande drift och konstruktion av perkolationsanläggningar. 1978. 126 sidor. 25:-.

- nr 28 Olov Holmstrand (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport nr 2 från perioden 1977-02-01 - 1977-11-30. 1978. 69 sidor. 20:-.
- nr 29 Leif Carlsson: Djupinfiltrationsstudier i Angered. 1978. 70 sidor. 25:-.
- nr 30 Lars O Ericsson: Infiltrationsprocessen i en dagvattenmodell. Teori, Undersökning, Mätning och Utvärdering. 1978. 45 sidor. 20:-.
- nr 31 Lars O Ericsson: Permeabilitetsbestämning i fält vid perkolationsmagasin. Dimensionering. 1978. 15 sidor. 15:-.
- nr 32 Lars O Ericsson, Stig Hård: Infiltrationsundersökningar i stadsdelen Ryd, Linköping. 1978. 145 sidor. 25:-.
- nr 33 Jan Hällgren, Per-Arne Malmquist: Urban Hydrology Research in Sweden 1978. Swedish Coordinating Committee for Urban Hydrology Research. 1978. 14 sidor. 10:-.
- nr 34 Bo Lind, Göte Nordin: Geohydrologi och vegetation i Dalen 5, Karlskoga. 1978. 63 sidor. 25:-.
- nr 35 Eivor Bucht, Bo Lind: Metodfrågor vid naturanpassad stadsplanering - erfarenheter från studie i Karlskoga. 1978. 65 sidor. 25:-.
- 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. 20:-.
- nr 37 Per-Arne Malmquist m fl: Papers on Urban Hydrology 1977-78. 99 sidor. 20:-.
- nr 38 Viktor Arnell, Per-Arne Malmquist, Bo-Göran Lindquist, Gilbert Svensson: Uppsatser om Dagvattenteknik 1978. 30 sidor. 15:-.
- nr 39 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - förutsättningar inom ett bergsområde, Östra Gårdsten i Göteborg. 1979. 32 sidor. 25:-.
- 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. 25:-.
- nr 42 Per-Arne Malmquist (red.): Infiltrera dagvatten. Diskussioner och figurer från CTH-seminarium 1979-04-20. 1979. 86 sidor. 25:-.
- nr 43 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - perkolationsanläggning i Halmstad. 1979. 58 sidor. 25:-.
- nr 44 Viktor Arnell, Thomas Asp: Beräkning av bräddvattenmängder. Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Göteborg 1921-1939. 1979. 80 sidor. 25:-.
- nr 45 Stig Hård, Thomas Holm, Sven Jonasson: Dagvatteninfiltration på grönytor - Litteraturstudie, kunskapssammanställning och hypotes. 1979. 278 sidor. 25:-.
- nr 46 Per-Arne Malmquist, Per Lindvall: Dräneringsrörs igensättning - en jämförande laboratoriestudie. 1979. 44 sidor. 20:-.