



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R143:1979

Långtidseffekten av tätning i bergtunnlar

**Sammanställning av
grundvattenläckaget i
bergtunnlar i Stockholm
under åren 1969—1979**

Göran Bergman

Byggforskningen

R143:1979

LÅNGTIDSEFFEKTEN AV TÄTNING I BERGTUNNLAR

Sammanställning av grundvattenläckaget i
bergtunnlar i Stockholm under åren 1969-1979

Göran Bergman

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 770788-2
från Statens råd för byggnadsforskning till Bergkonsult
Sven Tyrén AB, Stockholm.

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R143:1979

ISBN 91-540-3137-0
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 959304

INNEHÅLL

| | |
|---|----|
| FÖRORD | 5 |
| SAMMANFATTNING | 7 |
| 1 INLEDNING | 9 |
| 2 TUNNELSYSTEMET | 10 |
| 3 PUMPGROPAR, MÄTVALLAR | 11 |
| 4 LÄCKVATTENMÄTNING | 13 |
| 4.1 Tidigare utförda mätningar | 13 |
| 4.2 Mätningar 1977-1979 | 13 |
| 4.2.1 Mätmetod | 13 |
| 4.2.2 Mätnoggrannhet | 14 |
| 4.2.3 Mätprogram | 18 |
| 5 ANALYS AV MÄTRESULTATEN | 21 |
| 5.1 Jämförelse inläckning - grundvattennivå | 25 |
| 5.2 Nederbördens betydelse | 29 |
| 5.3 Årstidsvariationer | 29 |
| 6 RESULTAT | 33 |

FÖRORD

Överingenjör Arne Hellgren påtalade bergtunnlars dränerande inverkan och den skadliga effekt som kunde uppkomma på byggnader i tidningen Stadsbyggnad 1959.

Dessa tankar mognade med tiden och 1966 startade STEGA-gruppen en stor inventering av byggnadsskador som uppkommit på grund av grundvattensänkning. Projektet finansierades av Statens råd för byggnadsforskning (BFR). En av orsakerna till skadorna var läckande bergtunnlar. Efter detta klarläggande gjordes stora ansträngningar att tätta bergtunnlar, då främst med hjälp av cementinjektering. Denna tätning avsåg att på ett slutgiltigt sätt tätta tunnlarna.

På senare tid har emellertid cementinjekteringens beständighet ifrågasatts.

Ett sätt att kontrollera beständigheten är att jämföra läckaget i tätade bergtunnlar strax efter byggnadstiden och när tunnlarna varit i drift i 5 - 10 år.

TYRENS ansökte om medel 1977 från Statens råd för byggnadsforskning (BFR) för att göra nya kontrollmätningar i Televerkets cementinjekterade bergtunnlar i Stockholm, där det sedan tidigare fanns mätvärden. BFR beviljade välvilligt denna ansökan och har bidragit till projektets finansiering.

För medverkan i detta projekt tackas Heino Roosaar och Peter Kitsnik, vilka välvilligt bistått med material och uppgifter från de tidigare utförda mätningarna. Buster Sund och Heino Roosaar tackas för sin kritiska granskning av slutrapporten.



SAMMANFATTNING

På 1950-60-talen upptäckte man sprickskador på byggnader belägna på lermark. Orsaken till dessa skador var att områdena utsatts för grundvattensänkning.

En av orsakerna till de skadliga grundvattensänkningarna var läckande bergtunnlar. Denna upptäckt medförde krav på tätning av bergtunnlar och bergrum. Medlet för att åstadkomma denna tätning var huvudsakligen en kombination av förinjektering kompletterad med en efterinjektering utförd med en cement-vattenblandning. Man har tidigare ej ifrågasatt cementinjekteringsens beständighet, men på senare år har allt oftare framförts tanken att cementen skulle lakas ut av inrinnande vatten. Resultatet av detta skulle bli att inläckningen till bergtunnlarna ökar med tiden och därmed skulle även risken för skadlig grundvattensänkning öka.

Denna undersökning redovisar inläckningen i Televerkets tunnlar i Stockholm, som är cementinjekterade. Mätperioden sträcker sig från byggnadstiden då injekteringsarbetena avslutats fram till 1979. Mätperioden varierar mellan 3 - 10 år.

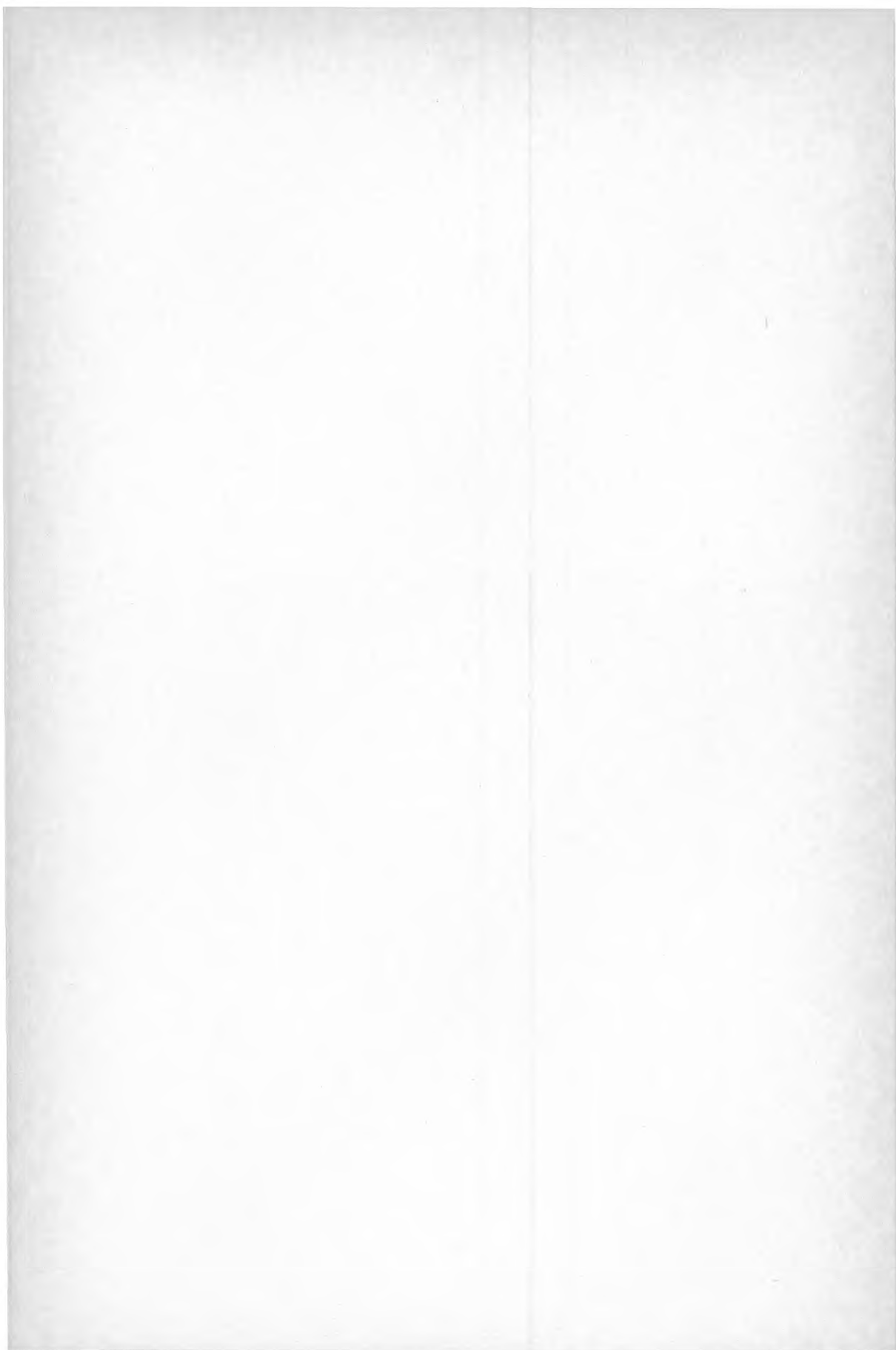
Mätningarna visar att läckaget har minskat på 41 av de 52 sträckorna, FIGUR 6, och varit konstant på 8 sträckor, FIGUR 7, och ökat på 3 sträckor, TABELL 2.

En kontroll av grundvattennivån i anslutning till mätsträckorna i tunnlar visar att grundvattennivån varit densamma under mätperioden. Minskningen i inläckning är alltså inte ett resultat av en avtappning av grundvattnet. Variationer i läckvattenmängden förekommer under mätperioden 1977-79 då mätningar utfördes med regelbundna intervaller. Tunnelsträckor under berg i dagen visar större variationer än tunnelsträckor under djupa lerdalgångar, FIGUR 11, FIGUR 9.

Variationen i inläckningsmängd kan direkt kopplas till nederbörd och årstid. God korrelation finns också mellan inläckningsmängd och grundvattenindex för Verka.

Dessa stora variationer i inläckning kan få stor ekonomisk betydelse när man numera har täthetskrav för bestämda sträckor i anbudsunderlaget för nya bergtunnlar.

Slutsatsen av undersökningen är att den cementinjektering som utfördes för 3 - 10 år sedan är intakt och behåller sina tätande egenskaper.



1 INLEDNING

I anslutning till den intensiva period (1950-talet) av tunnelbyggande och utförande av stora bergrum (oljelager) i och kring våra stora tätorter blev metoden att genom borrhål i berg under högt tryck pressa in cementsuspensioner i bergets spricksystem mera allmänt tagen i bruk. Tidigare hade injektering mot vatteninrinning huvudsakligen använts i samband med gruvbrytning och kraftverksbyggen.

Under 1950- och 60-talen började man på många platser upptäcka sättningsskador på hus som var belägna på lerområden. En omfattande forskning igångsattes som utfördes av forskningsgruppen STEGA mellan åren 1966-73 med anslag från BFR. Gruppen utförde den första moderna inventeringen av byggnadsskador som uppstått på grund av grundvattensänkning. I slutrapporten (R20:1974) behandlades även tätningsproblematiken och STEGA-gruppen påpekade att kravet på tätning av vattenförande spricksystem i bergrum och tunnlar måste höjas för att i tätbebyggda samhällen undvika skador på byggnader. En frivillig begränsning av vatteninrinningen i tunnlar i t ex Göteborg och Västerås skedde också som en följd av forskningsresultatet.

Medlet för att åstadkomma bättre tätning var huvudsakligen en kombination av förinjektering kompletterad med en efterinjektering.

Man har tidigare inte ifrågasatt cementinjekteringens beständighet, men på senare år har tanken allt oftare framförts att cementen lakas ut av inrinnande vatten och därmed skulle inläckningen till bergtunnlar och berganläggningar öka med tiden och därmed även risken för skadlig grundvattensänkning öka.

I Stockholm byggde Televerket sin första tunnel under slutet av 1950-talet och byggde kontinuerligt tunnlar fram till 1975 med en sammanlagd sträcka av 34 km. I tunnlar gjordes under byggnadstiden mätdammar för att kunna mäta inläckningen. Man kunde med hjälp av mätningar i dessa dammar avgöra var man främst behövde sätta in sina tätningsåtgärder och vid vilken tidpunkt man kunde avsluta tätningsarbetena. Mätdammarna finns kvar i tunnlar och de flesta är fortfarande i funktion. All tätning är utförd med en cement-vattenblandning och man kan därför genom att mäta inläckningen och jämföra värdet med äldre mätresultat konstatera om den gjorda tätningen varit beständig.

Läckvattenmätningar i teletunnlar har tidigare i huvudsak utförts i samband med tätningsarbeten under byggnadstiden. Ett fåtal mätningar gjordes under de efterföljande åren. De tidigare utförda mätningarna ligger som bas för denna undersökning. För att erhålla en så klar bild som möjligt av läckagets variation från byggnadstiden och därefter, utfördes mätningar av mera systematisk karaktär inom detta projekt under 1977-1979.

2 TUNNELSYSTEMET

Mätningarna är utförda i Televerkets i Stockholm tunnlar. Tunnlarna har en sammanlagd sträcka av 34.000 m och är samtliga utsprängda i berg. Tunnlarna är dränerade, vilket innebär att man kontinuerligt pumpar bort inläckande vatten.

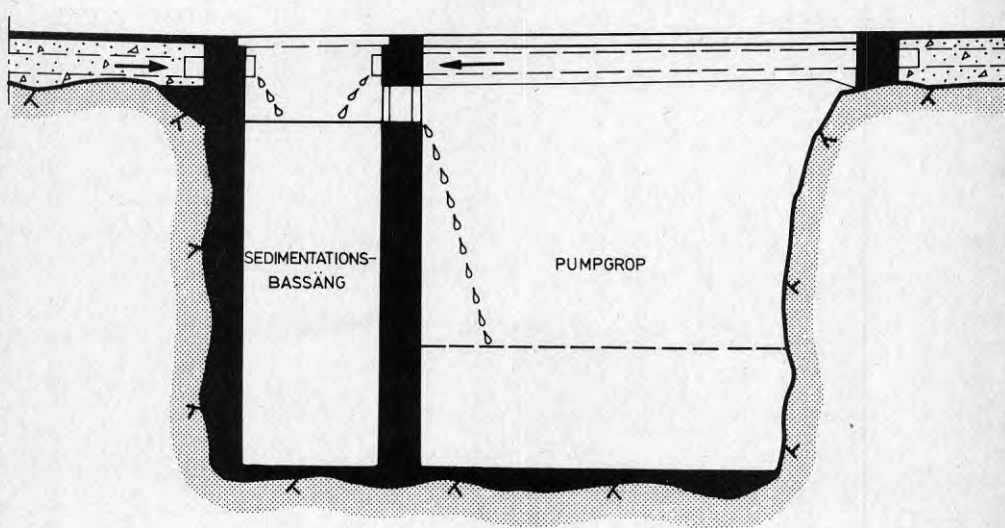
3 PUMPGROPAR, MÄTVALLAR

Varje tunnelavsnitt har en eller flera pumpgropar i lågpunkterna av tunnelsystemet, där man kontinuerligt pumpar ut inrinnande vatten. Pumpgroparna är utformade så att inrinnande vatten kan mätas för den dränerade sträckan och man kan även avgöra från vilket håll vattnet kommer. FIGUR 1.

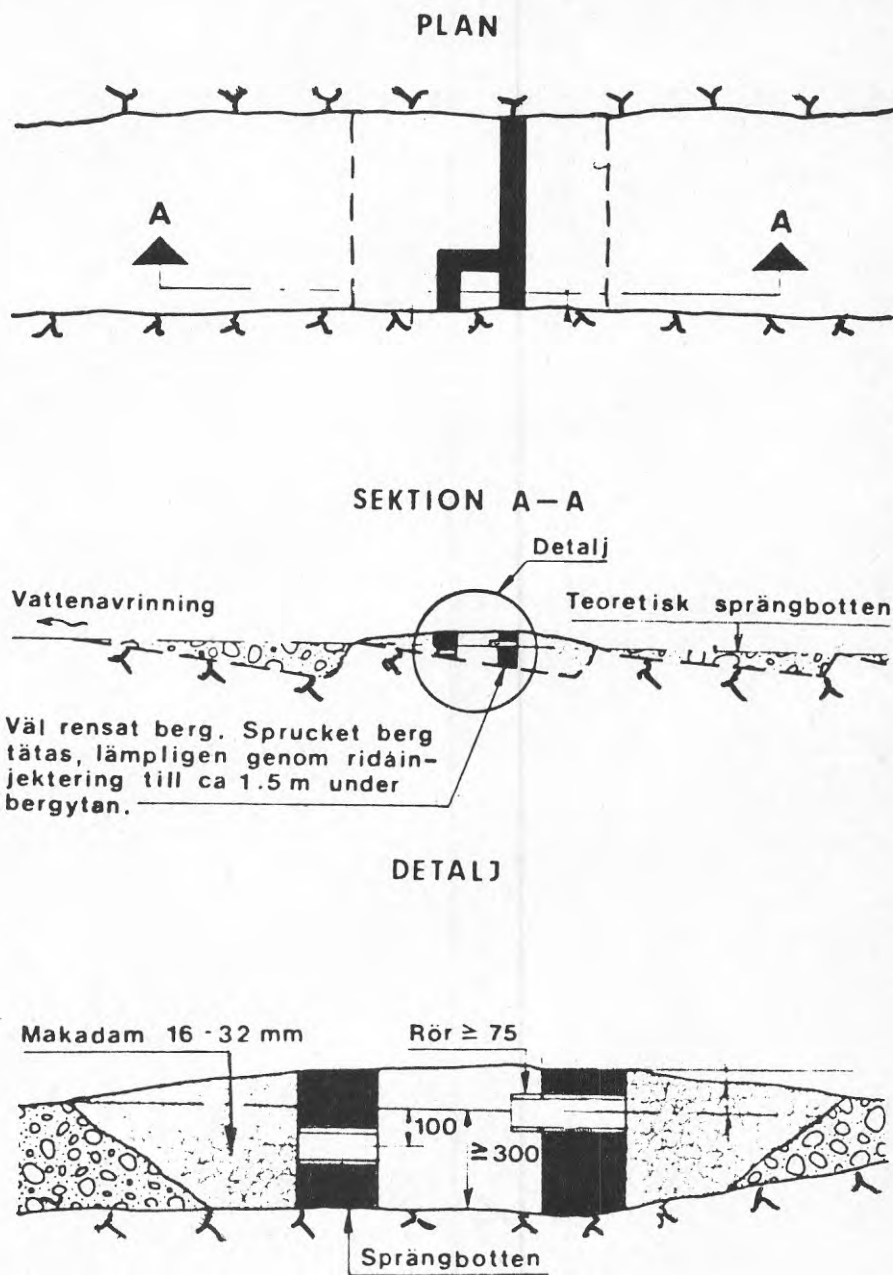
I samband med utbyggnaden av tunnelsystemet genom särskilt grundvattenkänsliga områden byggde man mätdammar på tunnelbotten för att kunna mäta inläckningen, se FIGUR 2. Man var för dessa sträckor speciellt intresserad av att kunna registrera vattenläckaget och på basis av detta styra tätningsinsatserna till rätt plats.

Resultatet av en lyckad injektering inom en mätsträcka kunde då också direkt avläsas som minskat vattenläckage.

Mätsträckornas längd har varierat mellan 2176 m och 57 m. De långa sträckorna gäller mätvärden vid pumpgropar och de korta mellan två mätvallar. Sammanlagda sträckan där läckaget kunnat registreras med erforderlig noggrannhet är 24.900 m.



FIGUR 1. PUMPGROP MED SEDIMENTATIONS-BASSÄNG.



FIGUR 2. MÄTDAMM FÖR KONTROLL AV VATTENINLÄCKNING
(EFTER STOCKHOLMS GATUKONTOR, BERGTEKNISKA
ANVISNINGAR 1977-06-07).

4 LÄCKVATTENMÄTNING

4.1 Tidigare utförda mätningar

I samband med att tunnlarna byggdes och injekteringen avslutats utfördes mätningar av inläckande vatten. Efter att tunneln färdigställdes har mycket få mätningar utförts. Mellan de första mätningarna och mätperioden 1977-79 ligger mellan 3 och 10 år.

Mätnoggrannheten hos de tidigare mätningarna är mycket varierande och ett urval har gjorts av mätningarna som bedömts ha den största noggrannheten.

4.2 Mätningar 1977 - 1979

Efter en inventering av hela tunnelsystemets pumpgröpar och mätdammar kunde man för fortsatta mätningar välja ut 62 sträckor där man tidigare hade mätvärden på sträckan och där mätanordningarna fortfarande var i funktion.

4.2.1 Mätmetod

I pumpgröpar och mätvallar rinner vattnet genom ett rör som är ingjutet i betongvallen där mätning kan utföras, FOTO 1, FOTO 2.

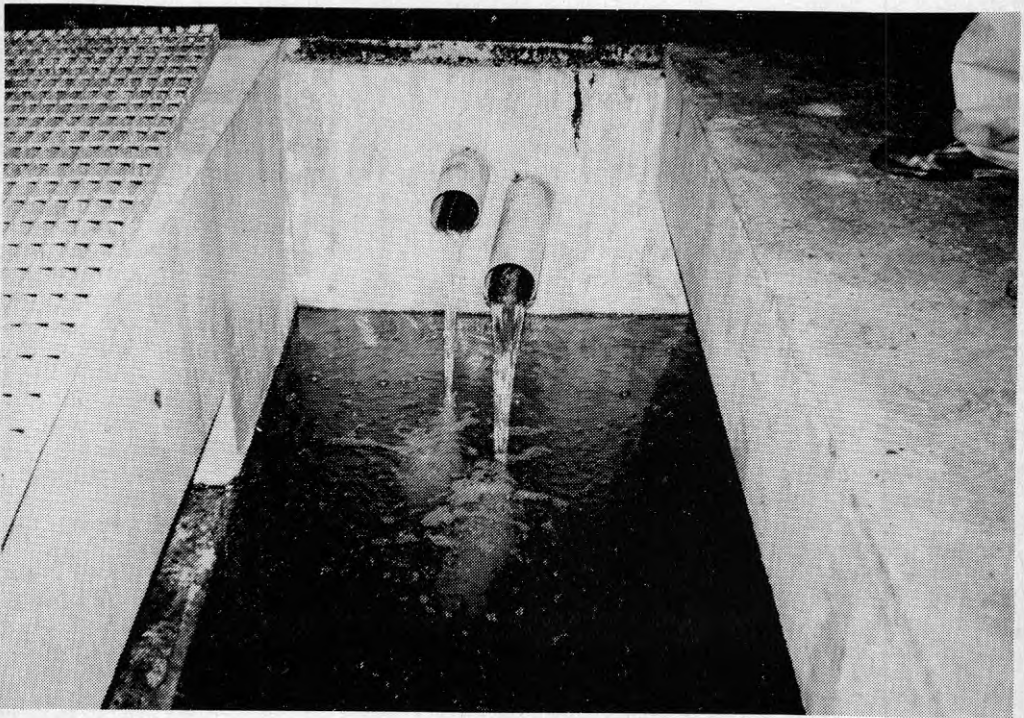


FOTO 1. PUMPGROP MED UTLOPPSRÖR FÖR MÄTNING AV INLÄCKANDE VATTEN.



FOTO 2. MÄTDAMM FÖR MÄTNING AV INLÄCKANDE VATTEN.

Mätning har utförts med hinkar av varierande storlek från 15 l till 1 l, FOTO 3, 4, 5 och 6. Tiden för att fylla mätkärlet har registrerats med tidtagarur. Flera mätningar har utförts vid samma tillfälle, alltid minst 2 st, och ett medeltal av registreringarna har använts vid beräkning av det slutliga värdet. Vattenflödet har beräknats som liter/min.

4.2.2 Mätnoggrannhet

Kärlens storlek har valts med tanke på det mätfel som kan uppkomma vid olika flöden. En kalibreringskurva uppritades för varje mätkärl där flödet i l/min ritats på y-axeln och antal sekunder för att fylla kärlet upptagits på x-axeln. Mätområdet har valts så att ett tidsfel vid tidtagningen får mindre betydelse.

Vid mätning med tidtagarur kan differensen uppgå till +/- 0,2 sek vid de gjorda mätningarna.

Med utgångspunkt från detta kunde man acceptera en mätnoggrannhet på +/- 0,1 l/min. För att hitta detta mätområde kunde man gå direkt in i kalibreringskurvan för varje mätkärl. Mätområdet för de olika kärnen är uppställt i TABELL 1.



FOTO 3. MÄTKÄRL FÖR REGISTRERING AV VATTENFLÖDE. FRÅN VÄNSTER 15 l, 6 l, 5 l och 1 l.

TABELL 1. Mätområde för uppsamlingskärl vid flödesmätning av vatten.

| Mätkärl, storlek | Mätområde tid | Mätnog- grannhet |
|---------------------|------------------|---------------------|
| 1 l | > 15 sek | +/- 0,1 l/min |
| 5 l | > 25 sek | +/- 0,1 "- |
| 6 l | > 25 sek | +/- 0,1 "- |
| 15 l | > 35 sek | +/- 0,1 "- |

Vid den första mätningen bestämdes vilket mätkärl som var lämpligast för varje mätpunkt. Därefter mätte man med samma storlek av kärl vid de efterföljande mätningarna. Rent praktiskt har man ej alltid kunnat mäta med det ur mätnoggrannhetssynpunkt lämpligaste kärlet. Det beror på att det inte alltid funnits utrymme för stora kärl under utloppsrören. Då flödet varit för stort har mätområdet för 15- literskärlet underskridits och därmed har också noggrannheten försämrats. Av praktiska skäl har större kärl än 15 l ej använts då man ej förmår hålla större kärl.



FOTO 4. LÄCKVATTENMÄTNING MED 15 l MÄTKÄRL I PUMPGROP.

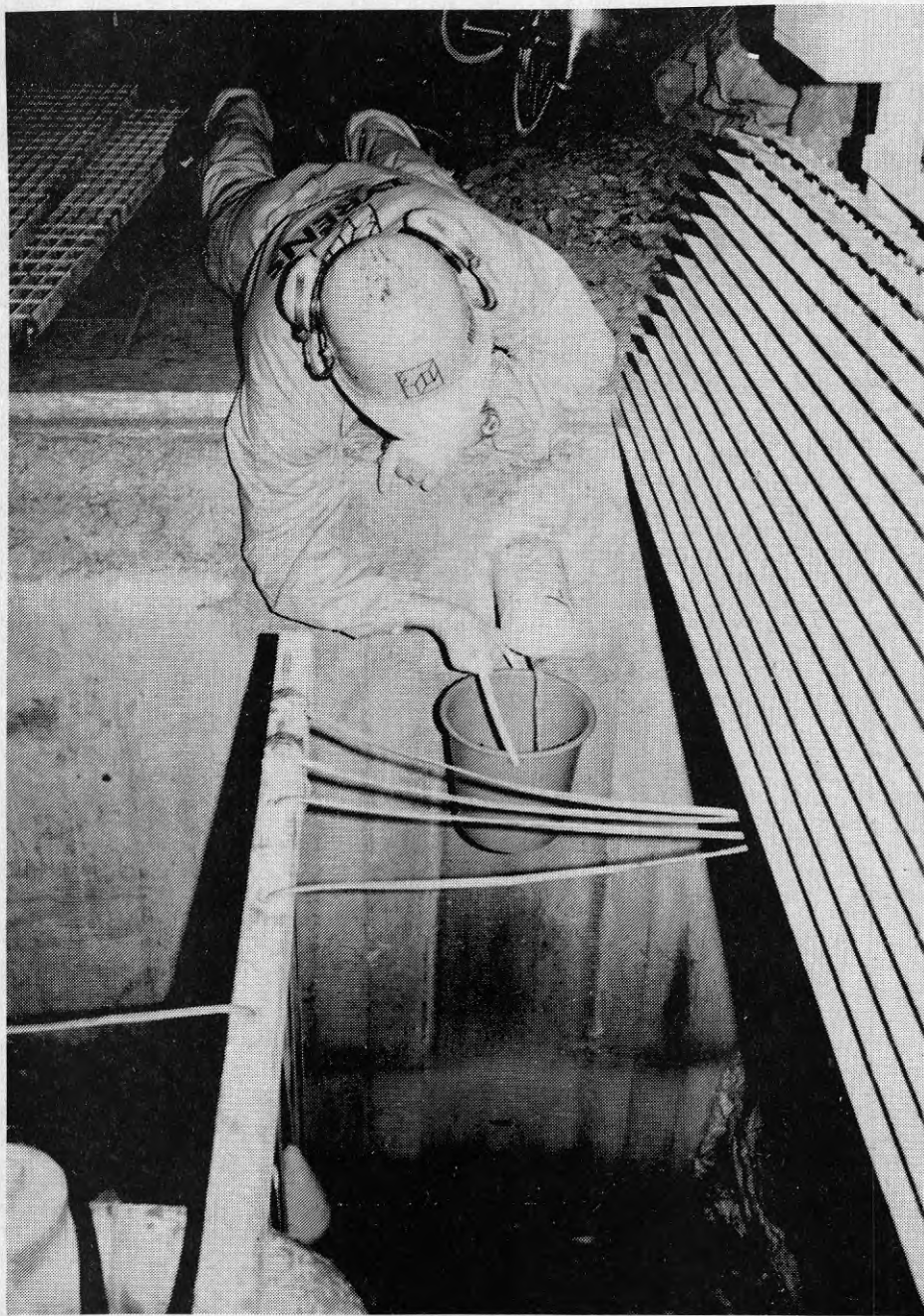


FOTO 5. PUMPGROP. MÄTNING AV VATTENFLÖDE MED 5 l
MÄTKÄRL.

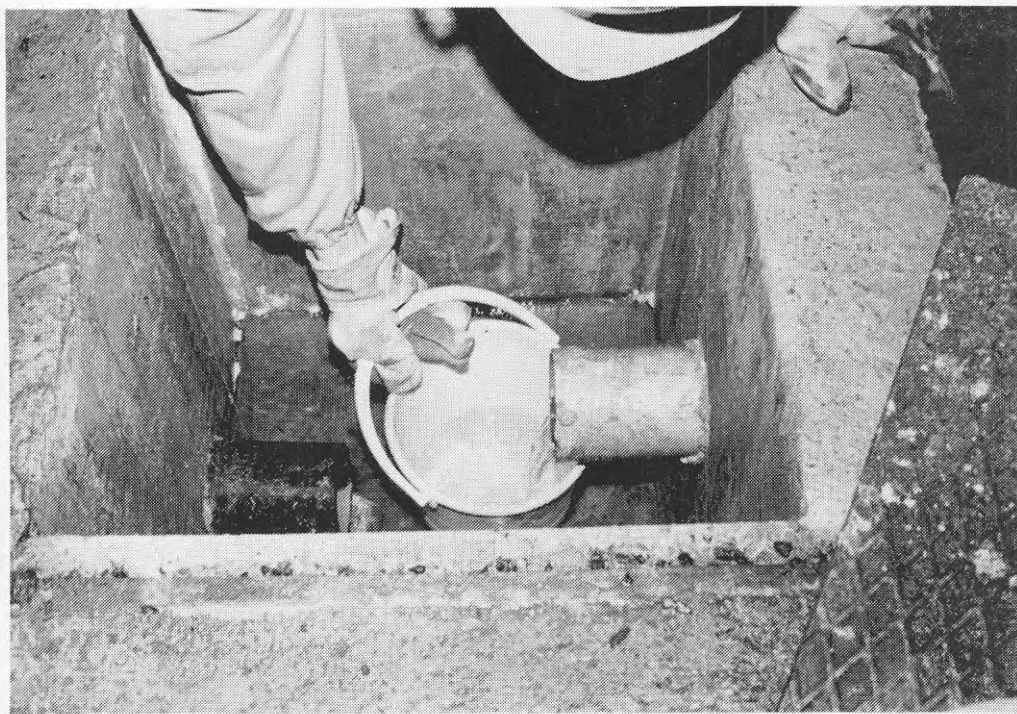
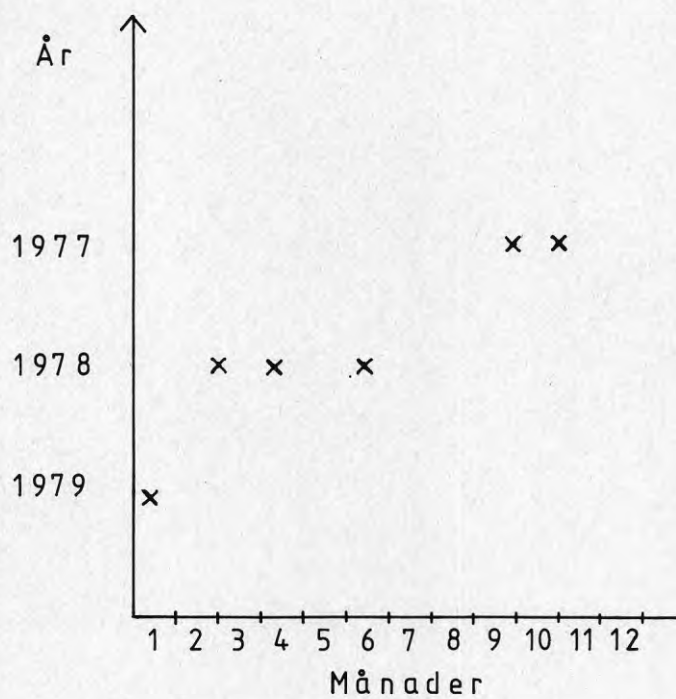


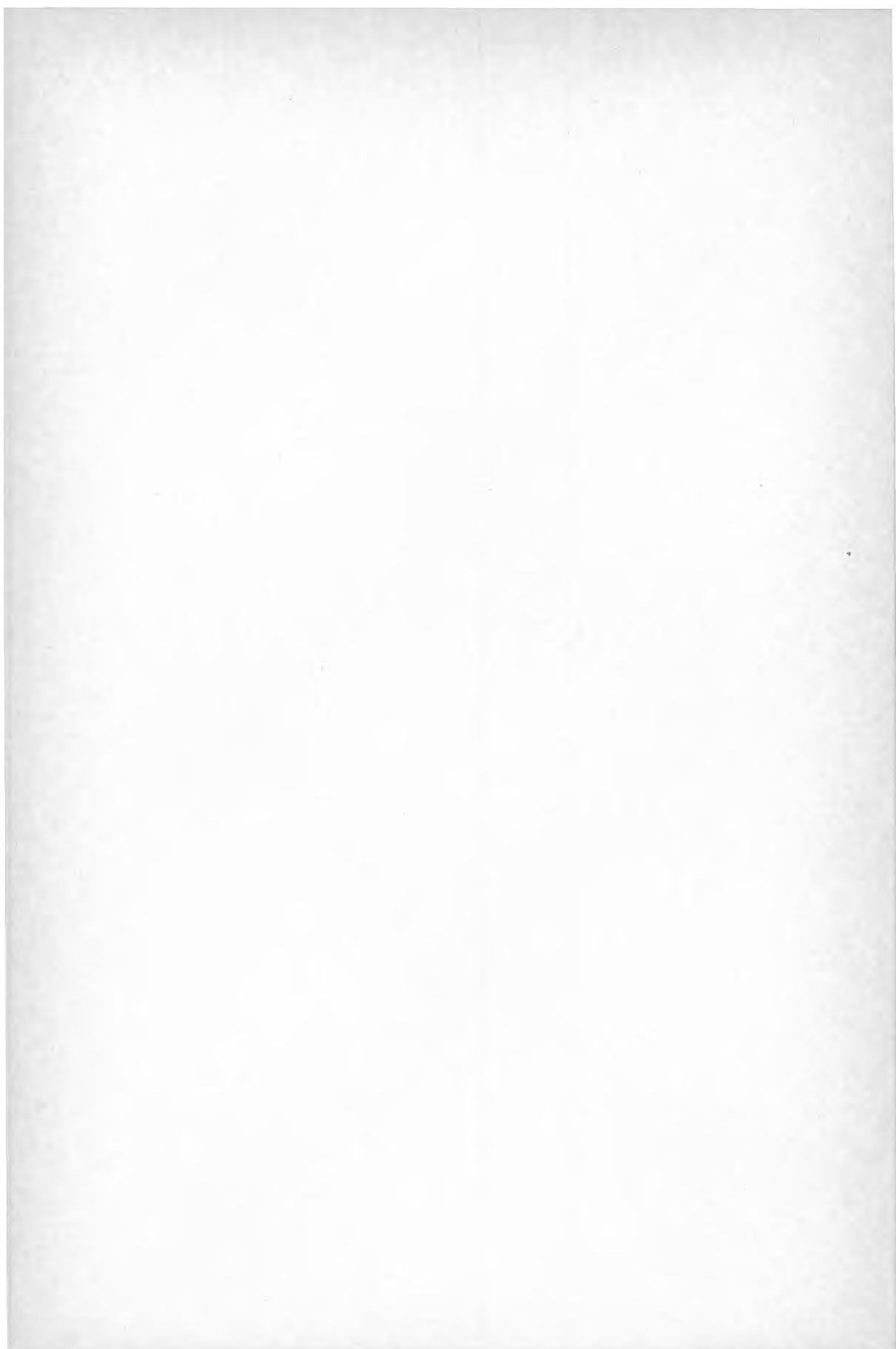
FOTO 6. LÄCKVATTENMÄTNING I MÄTDAMM MED 6 l MÄTKÄRL.

4.2.3 Mätprogram

Vid sex olika tillfällen har en heltäckande mätning utförts på samtliga sträckor. Tidpunkten för mätningarna har valts så att man skulle täcka in så stora delar av året som möjligt. Detta med tanke på eventuella årstidsvariationer. Önskemålet hade varit att mäta en gång per månad men detta har ej varit möjligt inom detta projekt. Fördelningen av mättillfällena har illustrerats på FIGUR 3.



FIGUR 3 UTFÖRDA LÄCKVATTENMÄTNINGAR 1977 - 1979.



5 ANALYS AV MÄTRESULTATEN

Totalt har 65 sträckor mätts med en längd som varierar mellan 57 m och 2176 m, TABELL 2. 57 sträckor har mätvärden som kan användas för att ge en tillförlitlig trend hur inläckningen har ändrats sedan tätningsarbetena avslutats på sträckan. 5 st sträckor har ej injekterats. Tiden mellan första mätning och sista mätning varierar mellan 3 och 10 år.

TABELL 2. RESULTAT AV LÄCKVATTENMÄTNING

| Sträcka nr | längd (m) | Mät- period år | Inläckning | | Minskning (-) Ökning (+) | | Anm |
|---------------|--------------|----------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|----|-----------|
| | | | Basvärde l/min | 1977-79 l/min | l/min | % | |
| 1 | 132 | 4 | 11 | 7 | - 4 | 36 | |
| 2 | 232 | 4 | 7 | 7 | konstant | | |
| 3 | 118 | 4 | 2 | 1,5 | - 0,5 | 25 | ej injekt |
| 4 | 158 | 4 | 12 | 10,5 | - 1,5 | 13 | |
| 5 | 252 | 3 | 9 | 9 | konstant | | |
| 6 | 96 | 3 | 3 | 2 | - 1 | 33 | |
| 7 | 270 | 4 | 17 | 14 | - 3 | 18 | |
| 8 | 140 | 4 | 100 | 65 | - 35 | 35 | |
| 9 | 260 | 4 | 85 | 60 | - 15 | 18 | |
| 10 | 264 | 4 | 60 | 55 | - 5 | 8 | |
| 11 | 246 | 4 | 3,5 | 3,5 | konstant | | ej injekt |
| 12 | 523 | 4 | 20 | 10 | - 10 | 50 | |
| 13 | 447 | 4 | 30 | 30 | konstant | | ej injekt |
| 14 | 348 | 4 | 15 | 11 | - 4 | 27 | |
| 15 | 1439 | 4 | 100 | 90 | - 10 | 10 | |
| 16 | 1279 | 8 | 40 | 26 | - 14 | 35 | |
| 17 | 793 | 8 | 24 | 17 | - 7 | 29 | |
| 18 | 276 | 8 | 2 | 2 | konstant | | ej injekt |
| 19 | 846 | 8 | 42 | 30 | - 12 | 29 | |
| 20 | 202 | 8 | 12,5 | 10 | - 2,5 | 20 | |
| 21 | 848 | 8 | 28 | 28 | konstant | | |
| 22 | 491 | 8 | 39 | 31 | - 8 | 20 | |
| 23 | 635 | 8 | 72 | 57 | - 15 | 21 | |
| 24 | 558 | 8 | 2,5 | 2,5 | konstant | | |
| 25 | 492 | 8 | 3 | 3 | konstant | | ej injekt |
| 26 | 2176 | 8 | 61 | 41 | - 20 | 49 | |
| 27 | 343 | 8 | 8 | 6 | - 2 | 25 | |
| 28 | 1157 | 8 | 18 | 13 | - 5 | 28 | |
| 29 | 96 | 8 | 18 | 18 | konstant | | |
| 30 | 184 | 8 | 25 | 25 | konstant | | |
| 31 | 532 | 8 | 100 | 80 | - 20 | 20 | |
| 32 | 191 | 8 | 9 | 5 | - 4 | 44 | |
| 33 | 160 | 8 | 5 | 4,3 | - 0,7 | 14 | |
| 34 | 214 | 8 | 4 | 2 | - 2 | 50 | |
| 35 | 374 | 10 | 39 | 30 | - 9 | 23 | |

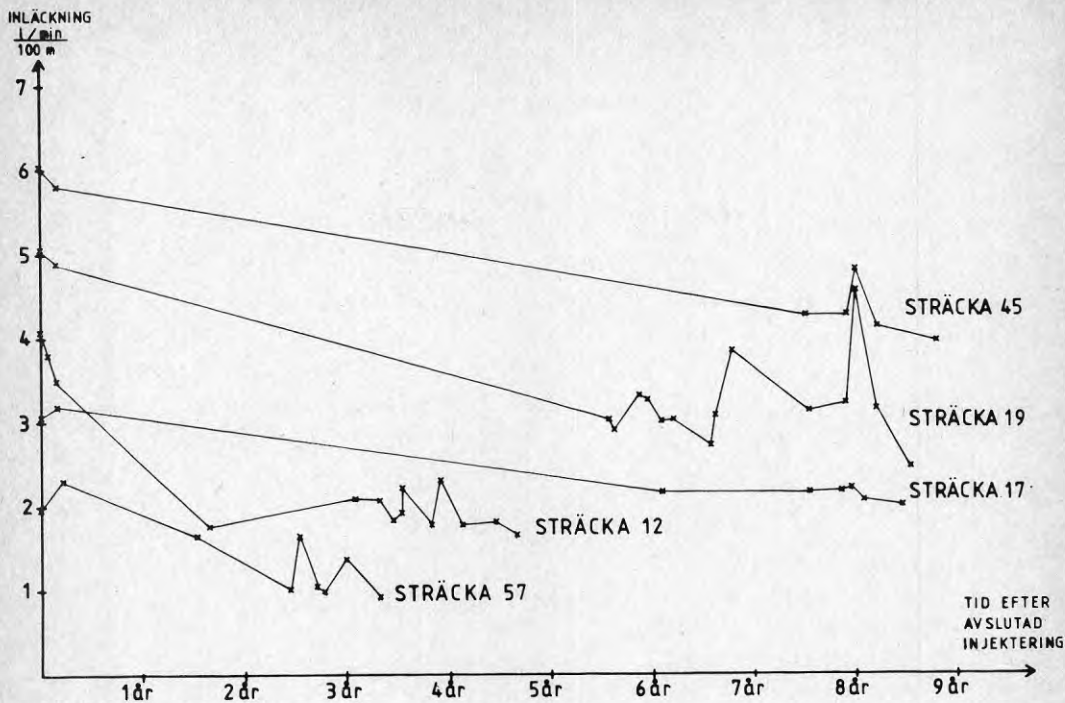
/forts

TABELL 2, forts

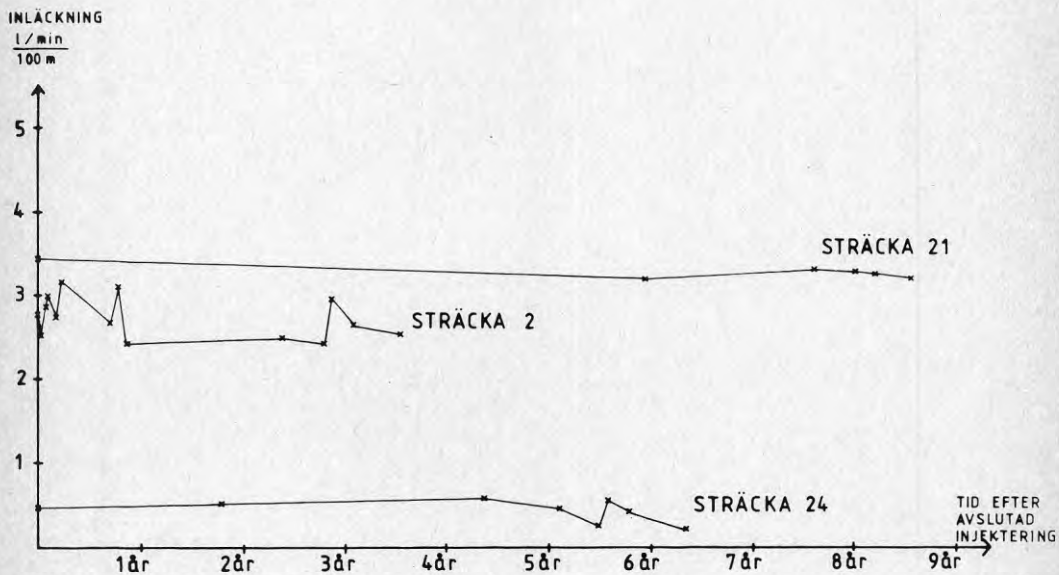
| Sträcka nr | längd (m) | Mät- period år | Inläckning | | Minskning (-) Ökning (+) | | Anm |
|---------------|--------------|----------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|----|--------|
| | | | Basvärde l/min | 1977-79 l/min | l/min | % | |
| 36 | 474 | 10 | 7 | 6 | - 1 | 14 | |
| 37 | 300 | 10 | 4,5 | 3 | - 1,5 | 33 | |
| 38 | 57 | 10 | 7,5 | 4 | - 3,5 | 47 | |
| 39 | 86 | 10 | 30 | 30 | konstant | | |
| 40 | 171 | 10 | 22 | 20 | - 2 | 9 | |
| 41 | 383 | 10 | 9,5 | 10,5 | + 1 | 10 | ökning |
| 42 | 129 | 10 | 31 | 23 | - 8 | 26 | |
| 43 | 372 | 10 | 8 | 6 | - 2 | 25 | |
| 44 | 153 | 10 | 4,5 | 3,5 | - 1 | 22 | |
| 45 | 173 | 10 | 10 | 7 | - 3 | 30 | |
| 46 | 749 | 10 | 60 | 44 | - 16 | 27 | |
| 47 | 102 | 3 | 18 | 11 | - 7 | 39 | |
| 48 | 74 | 3 | 6,5 | 7 | + 0,5 | 8 | ökning |
| 49 | 87 | 3 | 5,5 | 7 | + 1,5 | 27 | ökning |
| 50 | 74 | 3 | 3,5 | 3,5 | konstant | | |
| 51 | 126 | 3 | 13 | 7 | - 6 | 46 | |
| 52 | 118 | 3 | 10 | 7 | - 3 | 30 | |
| 53 | 197 | 3 | 16 | 7 | - 9 | 56 | |
| 54 | 793 | 3 | 70 | 48 | - 22 | 31 | |
| 55 | 707 | 3 | 51 | 38 | - 13 | 25 | |
| 56 | 664 | 3 | 27 | 21 | - 6 | 22 | |
| 57 | 532 | 3 | 15 | 7 | - 8 | 53 | |

Mätningarna visar att läckaget har minskat på 41 av de 52 injekterade sträckorna, FIGUR 4, varit konstant på 8 sträckor, FIGUR 5, och ökat på 3 sträckor. Ökningen för sträcka 41 är ca 10 %. För de andra två sträckorna, 48 och 49, där en ökning noterats gäller det korta sträckor, mindre än 100 m. Mäter man det totala läckaget på samma tunnelavsnitt, där dessa två och andra intilliggande sträckor ingår har inläckningen minskat, FIGUR 6. Förklaringen kan vara att det inläckande vattnet ändrat läckvägarna från en mätsträcka till en intilliggande sträcka, som därigenom i motsvarande grad erhållit en minskning av läckaget. För de oinjekterade 5 sträckorna har inrinningen varit konstant på 4 sträckor och minskat på en sträcka.

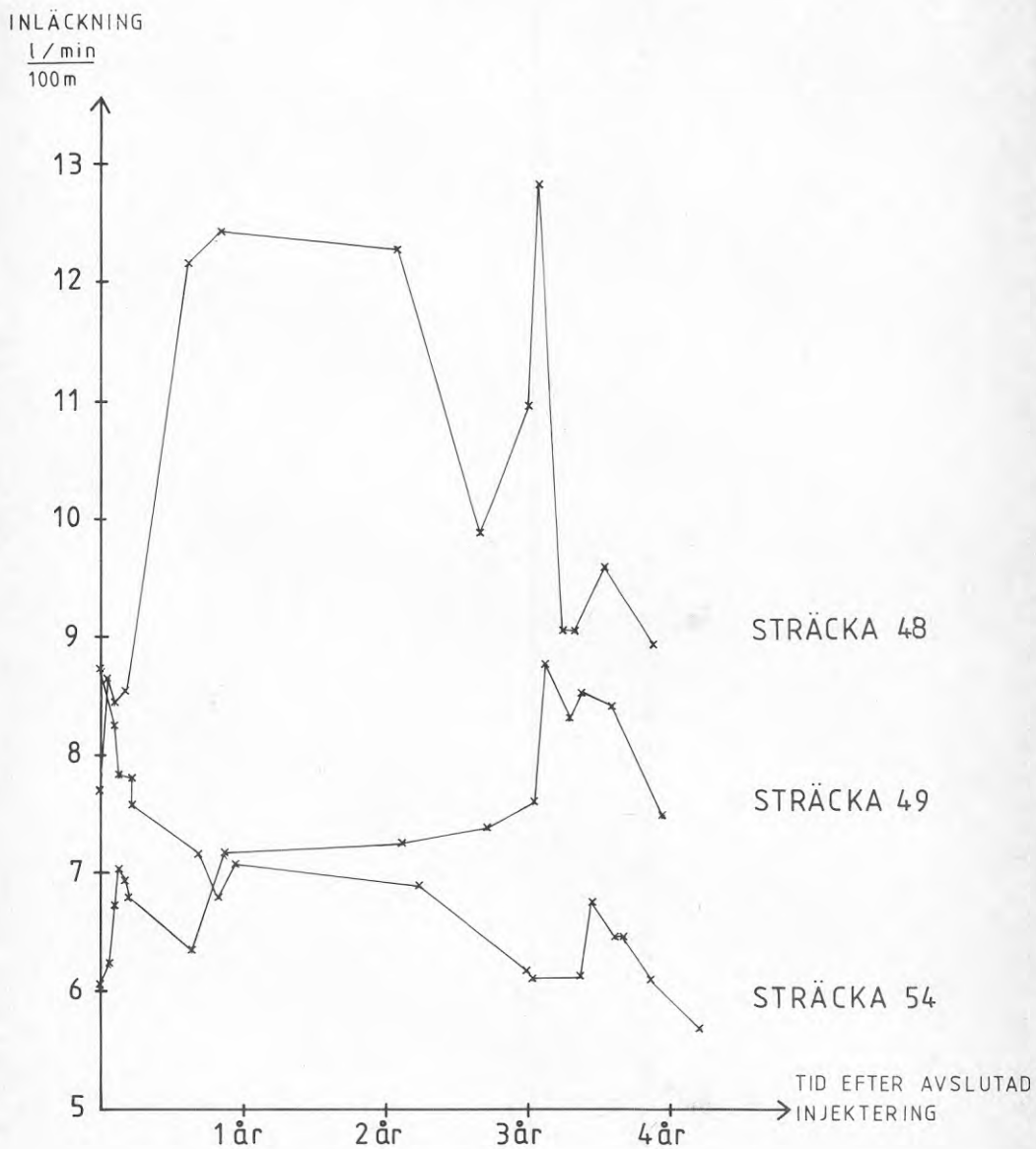
Mätningarna visar att de för 3 - 10 år sedan injekterade områdena behåller sin täthet och i de flesta fall har läckaget t o m minskat. En invändning kan då göras att minskningen kan vara ett resultat av en tömning av ovanförliggande grundvattenmagasin och därför har läckaget minskat. En kontroll av grundvattennivån har utförts vid tiden strax efter cementinjekteringen och under den därefter liggande perioden fram till mätperioden 1977-79.



FIGUR 4. LÄCKVATTENMÄTNING. INLÄCKNINGEN HAR MINSKAT SEDAN TUNNELN SLUTINJEKTERATS:



FIGUR 5. LÄCKVATTENMÄTNING. INLÄCKNINGEN HAR VARIT KONSTANT SEDAN TUNNELN SLUTINJEKTERATS



FIGUR 6. LÄCKVATTENMÄTNING. INLÄCKNINGEN ÖKAR FÖR STRÄCKA 48 (74 m) OCH 49 (87 m). LÄCKAGET MINSKAR FÖR STRÄCKA 54 (793 m) DÄR STRÄCKORNA 48 OCH 49 INGÅR.

5.1 Jämförelse inläckning - grundvattennivå

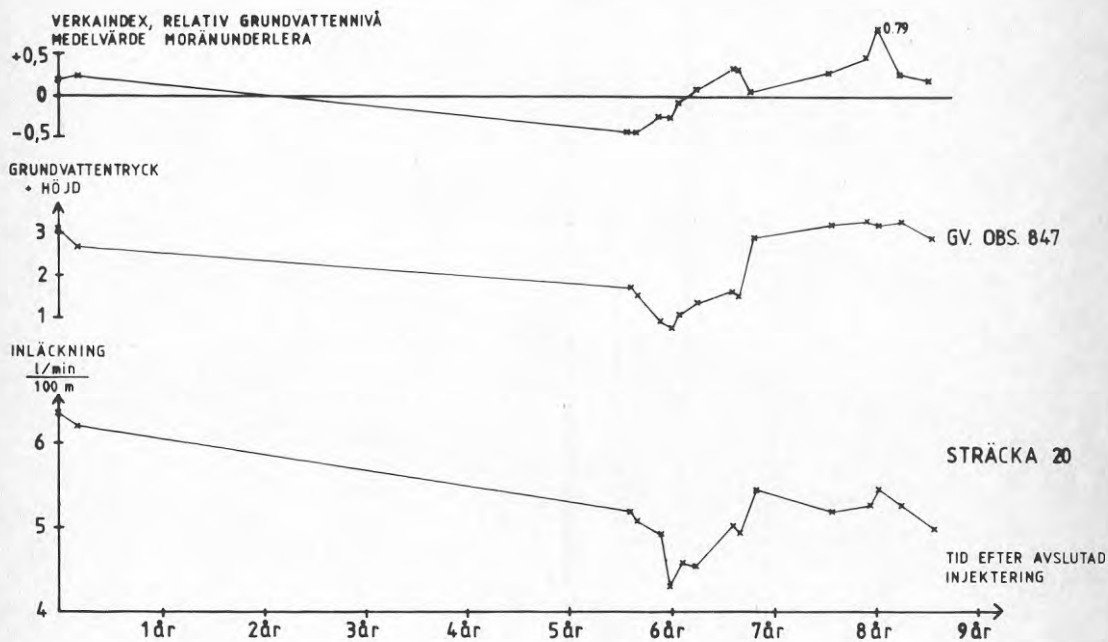
Vid projektering av tunnlarna sattes grundvattenobservationsrör i områden med lera, där det fanns sättningskänslig bebyggelse. Grundvattennivån följdes under utbyggnaden av tunnlarna och många av rören avläses fortfarande.

En studie har utförts av 33 st rör som är belägna inom tunnlarnas influensområde och i kontakt med det grundvattenmagasin vars vatten läcker in i tunneln. Vid jämförelse mellan inläckning och grundvattennivå har endast den grundvattennivå medtagits som motsvarar tidpunkten för läckmätningarna. Detta ger en mer rättvisande bild vid en direkt jämförelse. 24 st av rören har en konstant grundvattennivå med variationer inom samma gränser under hela mätperioden, FIGUR 7. I 7 st rör har noterats en något högre nivå vid mätningarna 1977-79, FIGUR 8. För två rör är nivån ca 0,5 m lägre vid mätningarna 1977-79. Dessa uppmätta skillnader kan knappast på ett avgörande sätt inverka på inläckningen till tunneln.

Samtliga grundvattenobservationer är gjorda i friktionsjordlager (morän, sand) som ligger på berget där tunnlarna är utsprängda. Detta förhållande kan innebära att man ej med säkerhet vet vad som hänt med grundvattenmagasinet i berget ovanför tunneln. Då man dock i de flesta fall erhållit en påverkan i de studerade rören under utsprängningen av tunnlarna, finns det alltså belägg för en kontakt mellan inläckande vatten och grundvattenmagasinet i jord. Därmed torde rören även nöjaktigt representera grundvattentrycket som råder i berg ovanför tunneln.

Undantag från detta finns naturligtvis där isolerade grundvattenmagasin i berg avvattnas direkt till tunneln. Exempel på detta har spårats där tunnlarna går under områden med berg i dagen. Där ökar läckvattenmängden drastiskt i samband med kraftiga regn och i vårfloden. Vattnet infiltreras direkt i bergsprickor som har kontakt med tunneln, FIGUR 9.

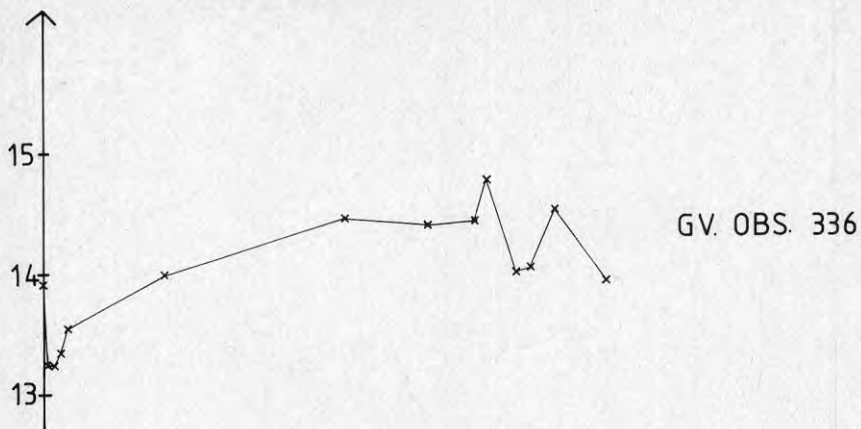
Där tunneln går fram under en dalgång där berget är överlagrat av morän alternativt grus, sand och ovanpå detta lera är det mindre fluktuationer i den inläckande vattenmängden. Detta förhållande beror på att området har ett större grundvattenmagasin samt att tunneln konstant är utsatt för ett grundvattentryck vars tryckhöjd varierar ganska litet under året, FIGUR 7.



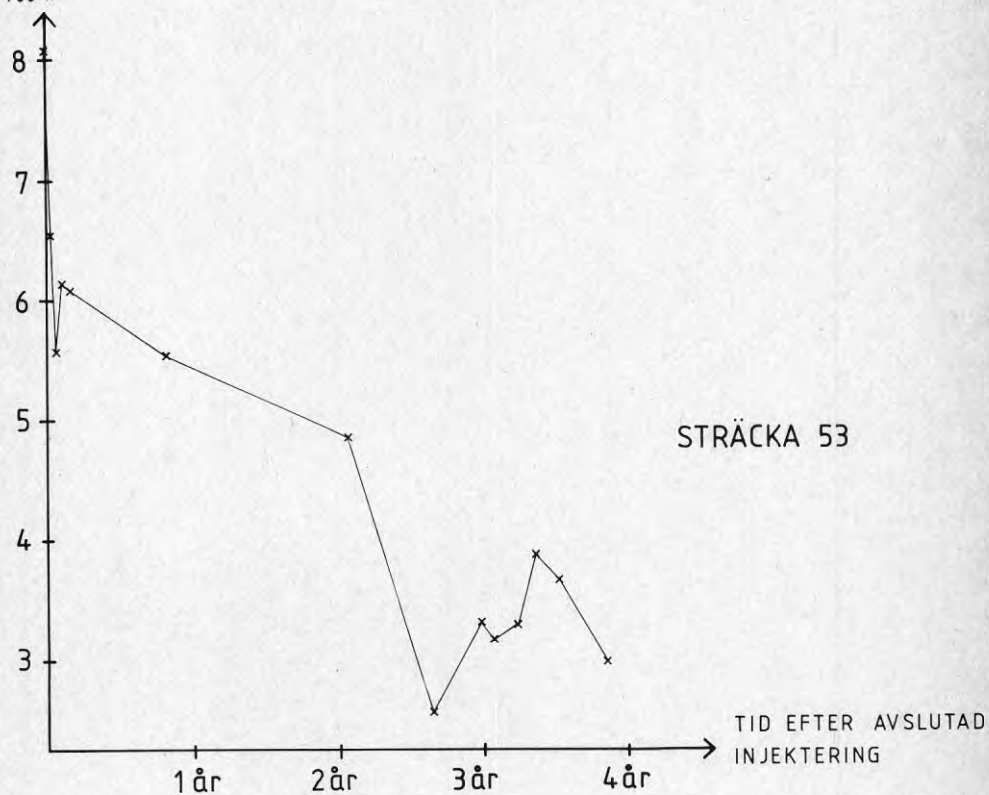
FIGUR 7. GRUNDVATTENTRYCK OCH INLÄCKNING I LEROMRÅDE, SAMT VERKAINDEX. GRUNDVATTENTRYCKET VARIERAR KRING SAMMA NIVÅ MEDAN INLÄCKNINGEN MINSKAR. NOTERA DE SAMTIDIGA VARIATIONERNA UNDER ÅR 6 OCH 7 I GRUNDVATTENTRYCK, INLÄCKNING OCH VERKAINDEX.

GRUNDVATTENTRYCK

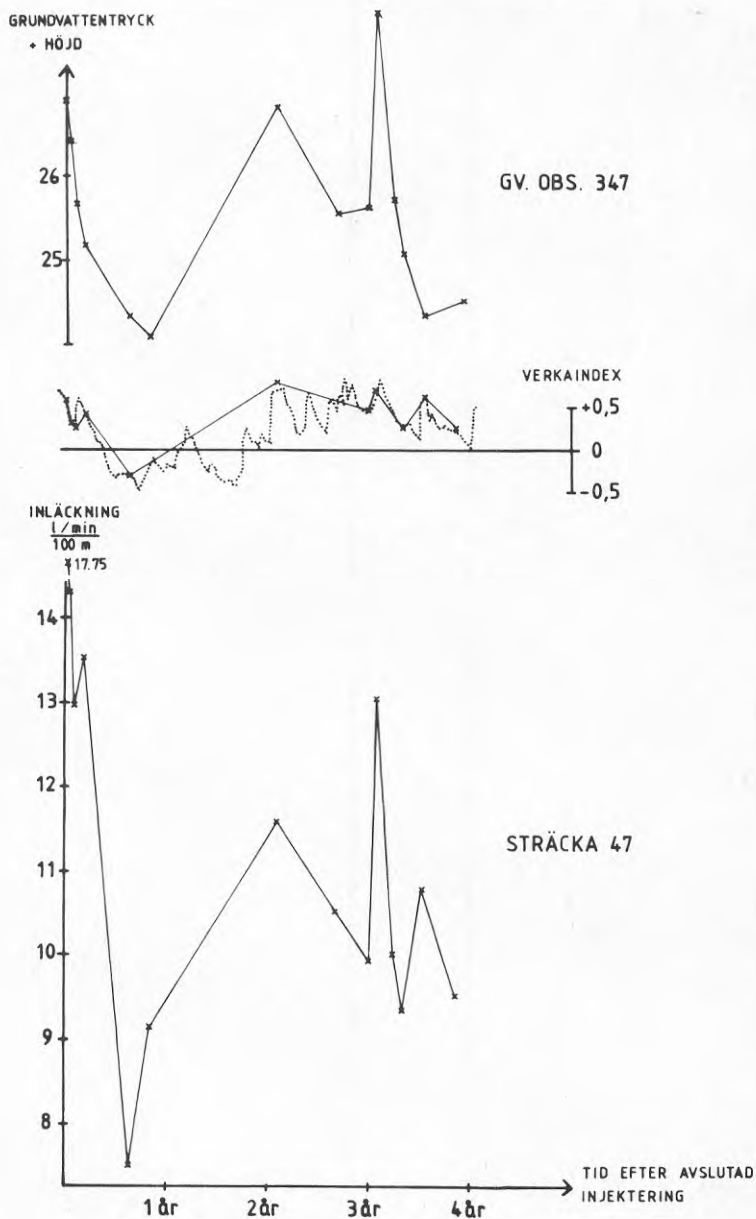
+ HÖJD



INLÄCKNING

 $\frac{l/min}{100 m}$ 

FIGUR 8. INLÄCKNING STRÄCKA 53 OCH GRUNDVATTENTRYCK I JORDLAGER OVANFÖR MÄTSTRÄCKA 53. INLÄCKNINGEN MINSKAR MEDAN GRUNDVATTENTRYCKET ÖKAT CA 0,5 m.



FIGUR 9. INLÄCKNING BERGOMRÅDE, GRUNDVATTENTRYCK I OBS.RÖR I JORD OCH VERKAINDEX. STORA VARIATIONER I INLÄCKNINGEN. TOPPÅR I KURVORNA INTRÄFFAR VID KRAFTIGA REGN OCH I VÅRFLODEN.

5.2 Nederbördens betydelse

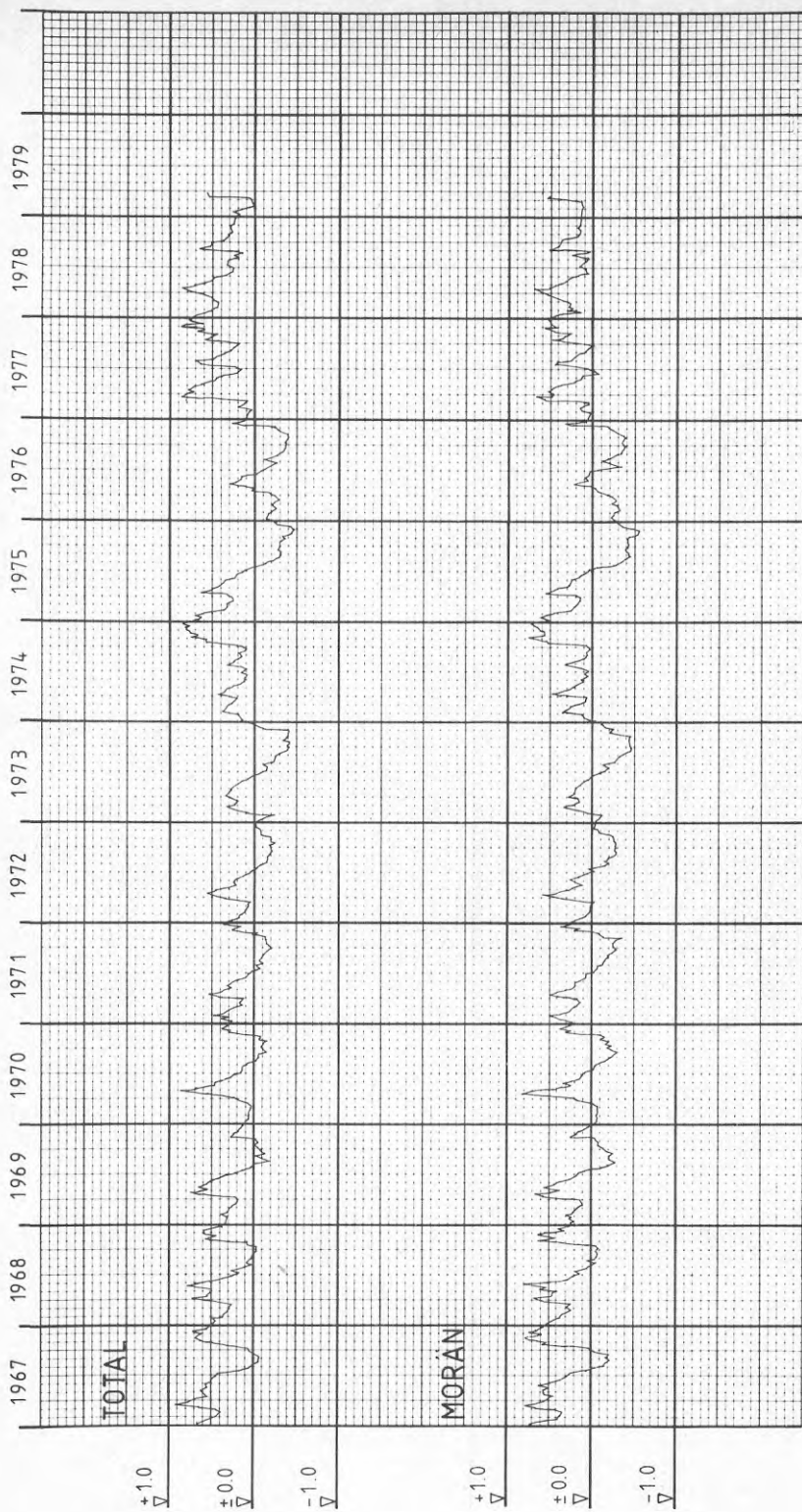
I samband med STEGA-arbetet framställdes önskemål att kunna utläsa nederbördens naturliga påverkan på grundvattnet.

1968 startade man på Institutionen för Kulturteknik på KTH ett mätprogram i Verka, ett jungfruligt område norr om Stockholm. Där studeras ca 300 grundvatten-observationsrör som räknas samman till ett grundvattenindex, FIGUR 10. Detta index representerar den naturliga variationen av grundvattennivån på grund av nederbörd och klimat. En jämförelse har utförts mellan inläckande vatten och Verka-index vid olika mättillfällena, FIGUR 7, 9. Ett klart samband kan spåras i vissa rör mellan höga index och högre inläckningssiffror. Exempel finns för sträcka 47 i FIGUR 9.

5.3 Årstidsvariationer

Vid mätperioden 1977-79 valdes mättillfällena så att de på bästa sätt skulle representera den eventuella variation i läckvattenflödet till tunnlar som kunde uppkomma på grund av nederbörd och väderlek, FIGUR 11. En misstanke fanns nämligen att variationer i inläckningsmängd kunde förekomma beroende på väderlek och årstid. Dessa misstankar har helt besannats med denna undersökning och man kan konstatera att inläckningen på vissa sträckor direkt varierar med tillgången på vatten från markytan. Tunnelsträckor under berg i dagen visar en större variation än tunnelsträckor under djupa lerdalgångar med konstant vattentryck som varierar litet. FIGUR 9, FIGUR 7.

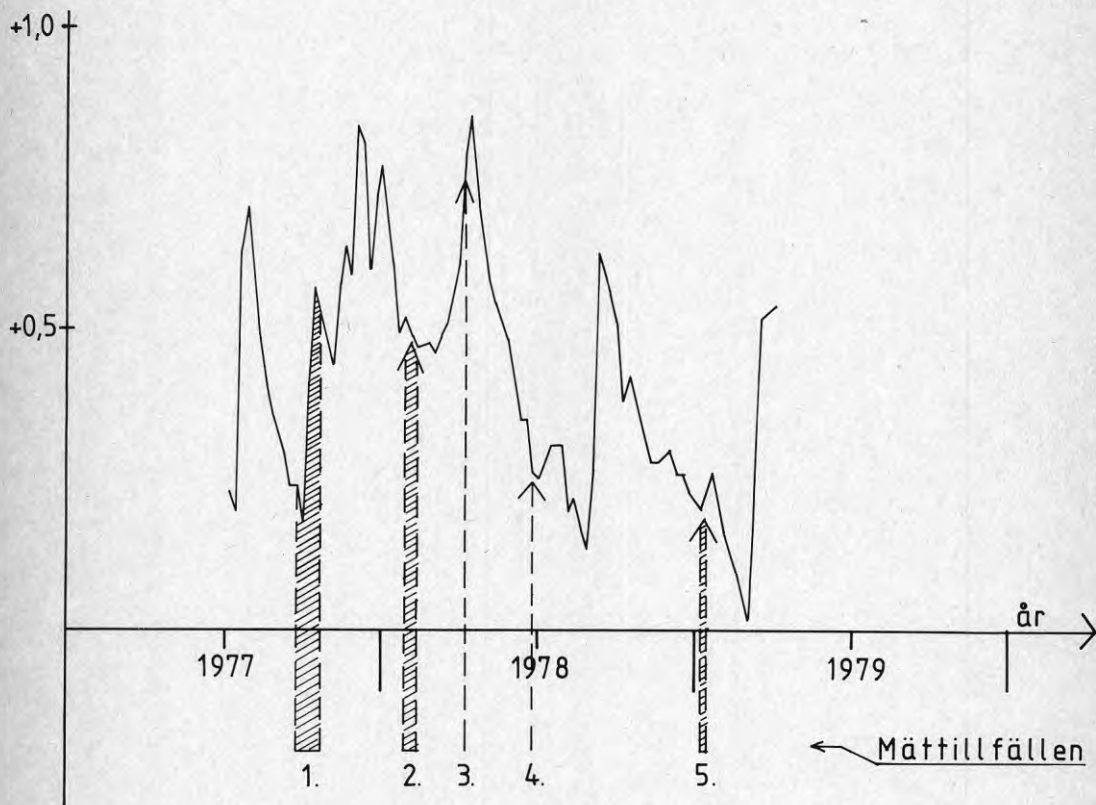
Dessa variationer kan vara av stor ekonomisk betydelse när man numera har täthetskrav för bestämda sträckor i anbudsunderlaget för nya bergtunnlar. Ett problem blir då vid vilken tidpunkt kontroll av läckvattenmängden skall utföras. Beställaren kan ju i värsta fall begära mätning i samband med vårfloden och entreprenören kan vilja göra kontrollmätning på sensommaren i samband med säsongens lägsta grundvattennivå. Inget av dessa tillfällen är lämpliga. Man bör vara väl medveten om just dessa variationer och under ömsesidigt förtroende utföra kontrollmätningar helst vid ett flertal tillfällen. Man bör vid varje mättillfälle vara medveten om grundvattentillgången. Man bör därefter också korrelera värdena med Verka-index, FIGUR 10. Ett medeltal av flera mättillfällen kan sedan tas fram som bör representera det för sträckan fastställda värdet.



Referensnivå = 0,0 m 1966-10-31
Medelvärden m

FIGUR 10. VERKAINDEX, RELATIV GRUNDVATTENNIVÅ.

VERKAINDEX



- 1 1977-09-22 TILL 77-10-26
- 2 1978-02-27 TILL 78-03-01
- 3 1978-04-03 TILL 78-04-05
- 4 1978-06-20 TILL 78-06-22
- 5 1979-01-08 TILL 79-01-12

FIGUR 11. MÄTPERIODEN 1977-1979. VERKAINDEX MED MÄTTILLFÄLLENA MARKERADE.

6 RESULTAT

Undersökningen visar att läckaget minskat eller varit konstant för 95 % av de injekterade sträckorna, TABELL 2. En kontroll av grundvattennivån i anslutning till de mätta sträckorna visar att grundvattennivån varit densamma under mätperioden, FIGUR 7.

Stora variationer har noterats i den inläckande vattenmängden för tunnelpartier där berget går i dagen eller är strax under markytan (<1 m), FIGUR 9. De tunnelsträckor däremot som ligger under lerdalgångar med grundvattentryck uppvisar mindre variationer, FIGUR 7.

Variationerna är betingade av den växlande tillgången på nederbörd och årstiden. God korrelation mellan grundvattenindex för Verka och inläckningsmängden kan konstateras, FIGUR 7 och 9.

Slutsatsen av undersökningen är att den cementinjektering som utförts för 3 - 10 år sedan är intakt och behåller sina tätande egenskaper.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 770788-2
från Statens råd för byggnadsforskning till Bergkonsult
Sven Tyrén AB, Stockholm**

R143: 1979

**ISBN 91-540-3137-0
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

Art.nr: 6700043

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 20 kr exkl moms