

STIFTELSEN SVENSK BERGTEKNISK FORSKNING
SWEDISH ROCK ENGINEERING RESEARCH
SveBeFo Rapport 13

DJUPINFILTRATION FÖR GRUND- VATTENNIVÅKONTROLL

**Artificial infiltration for control of
groundwater level**

Bo Olofsson, Susanna Palmgren
Mark- och Vattenresurser, KTH

Förord

I SveBeFo:s forskningsprogram har förstärkning och tätning av tunnlar en central plats. Kraven på täta tunnlar är i de flesta fall motiverade av risken för grundvattensänkning, som i sin tur kan innebära marksättningar och skador på byggnaders grundläggning. Som regel är täthetskravet formulerat som en högsta tillåten inläckning till tunneln och den normala åtgärden är att täta bergets sprickor med cementinjektering eller andra tätningsmedel. Sedan flera år pågår forskning om injekteringsmedel och tätningseffekter i SveBeFo:s regi vid KTH. Som alternativ eller komplement till injektering har ibland bortfört grundvatten kompenserats med hjälp av konstgjord infiltration via borrhål till berget eller marklagren ovanför tunneln. Metoden har använts på några håll sedan sjuttioalet med varierande framgång. Någon samlad rapportering från dessa anläggningar har inte tidigare gjorts och det beslöts därför vid planeringen av BeFo:s forskningsprogram i slutet av åttiotalet att en inventering och uppföljning av utförda infiltrationsanläggningar skulle genomföras för att belysa möjligheten att använda "infiltration som alternativ till injektering".

Forskningsuppgiften gavs till Institutionen för Anläggning och Miljö vid KTH, avdelningen för Mark- och Vattenresurser med tekn dr Bo Olofsson som projektledare. Projektet avgränsades till att omfatta en genomgång och sammanställning av hittills vunna erfarenheter i Sverige från djupinfiltrationsanläggningar för grundvattennivåkontroll, främst i samband med undermarksbyggande. Projektledaren har svarat för genomförandet och formulerat diskussions- och slutsatskapitlet, medan en väsentlig del av arbetet med insamling och sammanställning av litteratur, liksom intervjuer med kontaktpersoner och rapportskrivning har utförts av civilingenjör Susanna Palmgren. I inledningsskedet utfördes insamling av litteraturuppgifter och intervjuer av civilingenjör Anna Sander.

Ett stort antal personer verksamma vid konsultföretag och kommunala och statliga myndigheter har varit behjälpliga med information och delat med sig av sina erfarenheter beträffande infiltrationsanläggningar. Kontaktade personer återfinns i Bilaga 1. Dessa personer har ibland även tagit fram och bidragit med material i form av kartor, rapporter, beskrivningar etc. Det hade varit helt omöjligt att utan dessa värdefulla insatser genomföra projektet.

Till alla som på olika sätt bidragit med material, erfarenheter och eget arbete vill vi å SveBeFo:s och projektledarens vägnar framföra ett stort tack och vi hoppas att projektrapporten kommer att vara av värde vid planeringen av framtida infiltrationsprojekt.

Stockholm i maj 1994

Tomas Franzén

Sammanfattning

All form av underjordisk byggverksamhet kan innebära miljöstörningar, däribland förändringar i de naturliga grundvattensystemen. Metodiken med injektering av cement eller andra material vid undermarksbyggande har dock förbättrats betydligt sedan 1970-talet, då problem med sjunkande grundvattennivåer uppmärksammades. För att motverka grundvattensänkning eller för att återställa grundvattennivåerna om grundvattensänkning har uppstått, har ibland vatten infiltrerats i jordlagren ovanpå berget eller direkt i berget. Detta projekt har syftat till att sammanställa och utvärdera hittills vunna erfarenheter beträffande utförda infiltrationsanläggningar i Sverige med avseende på tekniskt utförande, funktion, drift och underhåll. En omfattande litteraturgenomgång har genomförts och kompletterats med intervjuer med en rad personer verksamma vid företag samt centrala och lokala myndigheter. Fältbesök har gjorts vid anläggningar i Stockholm och Göteborg, där infiltration är vanligast förekommande. Genomgången har visat att de flesta idag existerande anläggningarna tagits i drift redan under 1970-talet; endast ett begränsat antal nya anläggningar har tillkommit sedan dess. Totalt har ett tjugotal anläggningar inventerats, varav ca hälften fortfarande är i drift.

Den vanligaste, enklaste och billigaste infiltrationsmetoden är **infiltration från markytan via brunnar i jord**. Problem som tex piping och igensättning har dock uppstått i flera av de studerade fallen, och metoden kräver noggrann skötsel för att ge avsedd grundvattennivåhöjande effekt. I de fall leran vilar direkt på bergytan utan mellanliggande friktionsjordlager kan **infiltration i det sprickiga ytberget** vara gynnsamt. För större undermarksanläggningar såsom teletunnlar och transporttunnlar, där regelbunden kontroll och underhåll kan påräknas, har anläggningar för **infiltration genom borrhål från tunneln till berget eller direkt till jordlagren** ovanpå berget konstruerats. Sådana infiltrationsanläggningar har oftast fungerat bra, dock ibland efter inledande svårigheter med dålig infiltrationskapacitet eller rundgång där vattnet återförts direkt till undermarksanläggningen. **Infiltrationstunnlar** är inte särskilt vanligt förekommande men har oftast fungerat som planerat. De är goda exempel på anläggningar som planerats och iordningstänkts samtidigt eller före övrigt fortsatt undermarksbyggande i området. Systemet är mycket driftsäkert eftersom det i hög grad är självrensande, dvs flytande komponenter stannar kvar i tillförselbrunnen vid markytan, tyngre partiklar sedimenterar på botten av tunneln och medföljer inte infiltrationsvattnet in i berget.

Den största **driftskostnaden** beträffande infiltrationsanläggningar är vanligtvis vattenkostnaden. Genom återcirkulation av inläckande vatten kan driftskostnaderna minska. Brunnar i jord är billigast ur anläggningssynpunkt men kan ge ökade driftskostnader och nedsatt funktion om igensättning uppstår. Konstruktion av infiltrationstunnlar är dyrast ur anläggningssynpunkt, men är i regel effektivare för att hålla grundvattennivån hög inom ett större område. Projektering för infiltrationsanläggningar kräver goda kunskaper om hydrogeologiska förhållanden för val av lokalisering, djup, filtertyp, infiltrationstryck och -flöde, etc. Inför beslut om infiltrationsanläggningar är det viktigt att uppställa en långsiktig plan för driften och det förmodade underhållsbehovet.

Abstract

Underground constructions often imply environmental impact such as drawdown of the groundwater level and subsidence of ground. Artificial infiltration to the deep-lying friction layers or to the superficial fractured part of the bedrock may prevent such processes or may restore the declining groundwater level. This project aims to combine and evaluate the experiences to date concerning artificial infiltration in Sweden with regard to type of construction, function, operation, and maintenance. Artificial recharge in Sweden is mainly concentrated to the heavily populated areas of Stockholm and Gothenburg. The project has comprised literature studies, field trips, and interviews.

The cheapest and most common method is artificial recharge into confined aquifers in soil through wells. Common problems are piping and clogging of the well and of the aquifer. However, these problems may be prevented by careful maintenance of the well and of the injection water. Drinking water from the public water supply system or recharge water from the underground construction is often used as injection water. However, there are also examples where storm water has been used for artificial recharge.

Artificial infiltration may also be carried out in boreholes from the underground construction to the superficial bedrock or directly to the overlying soil. This type of artificial recharge has in general been successful in restoring the groundwater level. However, problems such as low infiltration capacity or recirculation of the injection water to the tunnel or rock cavern (short-circuits) have occurred, especially in the initial stage of the injection. There are also some examples in Sweden of specially designed water filled tunnels, constructed for artificial infiltration. Such tunnels have proven to be very effective in preventing drawdown of the groundwater level and this is probably the most effective method to maintain a high groundwater level in large areas.

The highest running costs are usually related to the consumption of water, unless leakage water or storm water is used. Tunnels specially designed for artificial recharge have a high initial capital expenditure, whereas the running costs are moderate. In order to get an adequate system for artificial infiltration, a profound knowledge of the hydrogeological conditions in the area is required in order to set up detailed programmes for the construction as well as for the operation and management of the system.

Innehållsförteckning

1. Projektets bakgrund och syfte.....	1
2. Infiltrationsanläggningar	4
2.1 Brunnar i jord eller berg	4
Exempel 1: Botkyrka	6
Exempel 2: Karlaplan, Stockholm	10
Exempel 3: Kv Leoparden, Solna.....	12
Exempel 4: Arbetarinstitutet, Göteborg.....	13
Exempel 5: Kungsholmen, Stockholm.....	15
Exempel 6: Skarpnäcks station, Stockholm	18
Exempel 7: Jakobsbergs Centrum	22
Exempel 8: Toremossegatan, Göteborg	25
Exempel 9: Norrköping	27
2.2 Infiltrationstunnel	29
Exempel 1: Kista, Stockholm	30
Exempel 2: Vreten, Solna	32
Exempel 3: Enskededalen, Stockholm.....	37
2.3 Borrhål från tunnel	38
Exempel 1: Traneberg, Stockholm	39
Exempel 2: Pusterviksplatsen, Göteborg	42
Exempel 3: Tunnelbana Bagarmossen-Skarpnäck, Stockholm	43
2.4 Förstärkt naturlig infiltration via infiltrationsdammar	45
Exempel 1: Hisingen, Göteborg	45
3. Diskussion och slutsatser	47
Förekomst av anläggningar i Sverige.....	47
Anläggningarnas ålder.....	47
Typ av infiltrationsanläggningar	48
Val av infiltrationsmetod.....	49
Driftsförhållanden	49
Kostnader	51
Sammanfattande slutsatser och rekommendationer.....	51
Referenser	53
Bilaga 1.....	56

1. Projektets bakgrund och syfte

All form av byggverksamhet har inverkan på miljön. Vid byggande av bergrum och tunnlar i Sverige har alltsedan början av 1970-talet miljöeffekterna uppmärksammats i form av förändringar i de naturliga grundvattensystemen och de följdverkningar i form av sättningsskador på byggnader (Morfeldt, 1972; 1978), dränering av brunnar (Ahlberg & Lundgren, 1977; Sund et al, 1977; Olofsson, 1991) och i viss mån vegetationsförändringar (Palm, 1972) som uppstått. Kraven beträffande tolererad inläckning vid undermarksbyggande i tätorter är i regel mycket hårda och i vissa fall krävs det närmast helt torra anläggningar. Då de hydrauliska förhållandena i det svenska kristallina berget i regel är mycket heterogena har det hittills, trots mycket omfattande forskning bland annat inom ramen för det svenska programmet för kärnavfallsförvaring, varit närmast omöjligt att i detalj prognostisera vattenflöden i berg.

För att förhindra inläckage av vatten och efterföljande grundvattensänkning har oftast tätande åtgärder vidtagits i form av injektering av cement eller silikatgel i sprickor. Dessa, ofta lyckade, åtgärder reducerar flödena och kan i bästa fall helt förhindra inläckage. Injekteringen har dock i regel ökat byggkostnaderna och i vissa fall stört och försenat framdriften. Dessutom har det ibland, främst vid konventionellt sprängda tunnlar och bergrum, varit svårt att injektera i sulan där relativt stora läckage kan förekomma. Ett annat problem har varit att även till synes mycket små inläckage, på grund av den ringa grundvattenreservoar som berget utgör, har visat sig kunna ge betydande dränering av små jordmagasin med efterföljande geotekniska problem (Morfeldt, 1972; Hansbo, 1981).

För att motverka grundvattensänkning eller för att återställa grundvattennivåerna om grundvattensänkning har uppstått, har ibland vatten infiltrerats i jordlagren ovanpå berget eller direkt i berget. Såväl inläckande vatten som vanligt kommunalt dricksvatten har använts. Ett flertal olika metodlösningar har föreslagits eller har utförts, bl a :

- * kontinuerlig förinjektering av vatten i bergsprickor under byggskedet (Janelid, 1970)

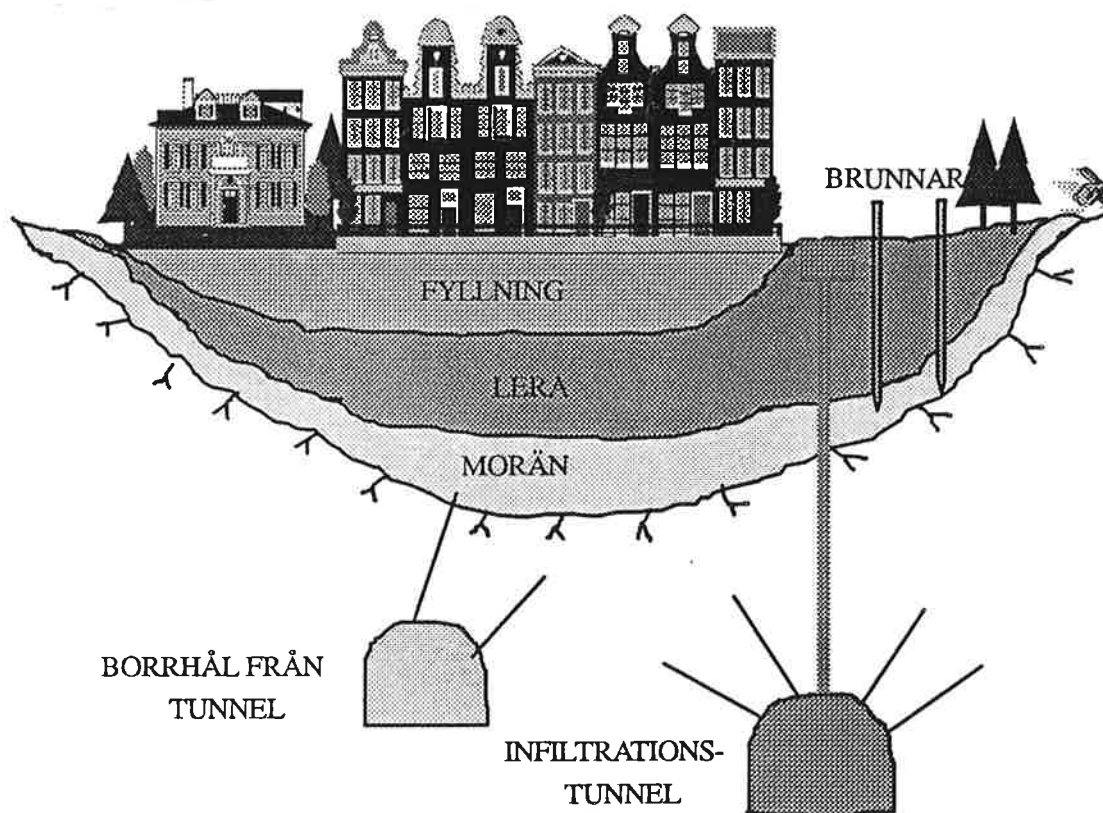
- * kontinuerlig infiltration av vatten via borrhål från undermarksanläggningen till det ytliga berget eller till ovanliggande jordlager (Bergman, 1976)

- * infiltration av vatten via borrhål från en särskild infiltrationstunnel (Ejerholm et al., 1977)

- * infiltration av vatten till ytligt berg eller djupa jordlager genom rör, borrhål eller brunnar från markytan (Gedda och Riise, 1976)

- * infiltration av vatten till jordlager via infiltrationsdammar (Larsson, 1970)

Principen för olika infiltrationsmetoder framgår av Figur 1:1.



Figur 1:1. Principskiss över olika metoder för grundvattennivåkontroll genom djupinfiltration av vatten.

Vid sidan av dessa infiltrationsmetoder som syftar till att återställa grundvattennivån lokalt eller regionalt finns ett stort antal lokala infiltrationsanläggningar för att hålla en hög vattennivå kring enskilda hus eller kvarter. Dessa metoder är i regel förknippade med någon form av tätskärm runt huset och är därför snarast ett alternativ till grundförstärkningsåtgärder och tillämpbara i de fall lokal grundvattenavsänkning uppstått. Dessutom finns ett mycket stort antal anläggningar för att underlätta passiv infiltration av nederbördsvatten i bebyggelseområden (LOD).

Ett omfattande forskningsarbete genomfördes inom den Geohydrologiska Forskningsgruppen vid Chalmers Tekniska Högskola under 1970-talet då tekniken med artificiell infiltration för att återställa grundvattennivåer var en relativt ny metod. Sedan dess har många av anläggningarna varit i drift i mer än 15 år. Detta projekt syftar därför till att:

sammanställa och utvärdera hittills vunna erfarenheter beträffande utförda djupinfiltrationsanläggningar i Sverige med avseende på tekniskt utförande, funktion, drift och underhåll.

Syftet har inte varit att värdera de enskilda anläggningarna och deras konstruktion och funktion utan endast att sammanställa erfarenheter av funktionen hos de olika typer av infiltrationsmetoder som förekommer. Syftet har heller inte varit att närmare gå in på teorierna bakom grundvattnets betydelse för skador i form av sättningar i olika

marklager. Projektet har begränsats till att omfatta endast aktiv infiltration av vatten för att förhindra grundvattensänkning eller för att återställa en regionalt avsänkt grundvattenyta. De små anläggningar vid enskilda hus som endast syftar till att höja vattennivån runt huset eller anläggningar för passivt och lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD) har inte medtagits.

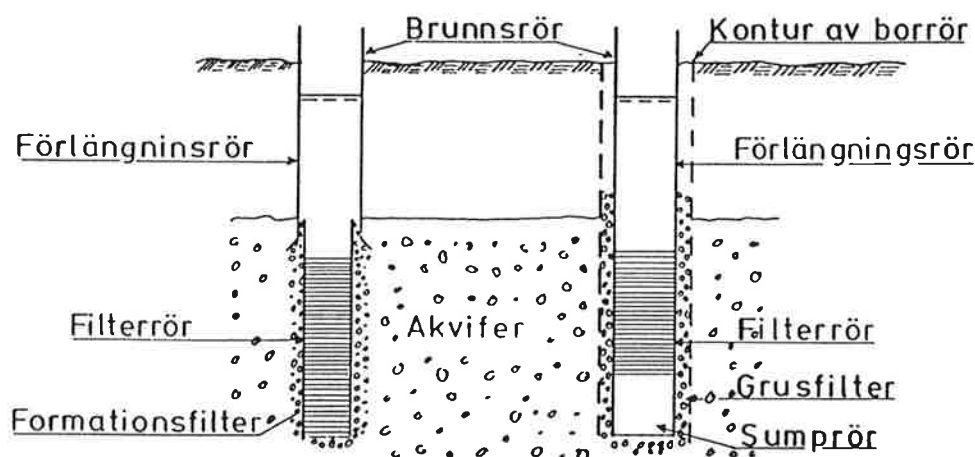
Projektet har dels bestått av en litteratursammanställning med avseende på infiltrationsanläggningar, dels av personliga kontakter och intervjuer. Mycket av erfarenheterna kring infiltrationsanläggningar finns samlade hos de personer inom konsultföretag och myndigheter som konstruerat anläggningarna eller handhar driften av dessa. En stor mängd personer har därför kontaktats inom ramen för projektet och intrycken och erfarenheterna från dessa intervjuer har sammanställts och utvärderats. Under projektets gång har också ett flertal infiltrationsanläggningar i funktion studerats vid fältbesök, huvudsakligen i Göteborg och i Stockholm.

De exempel på anläggningar som beskrivs i rapporten ger med stor säkerhet inte en fullständig bild över förekomsten av infiltrationsanläggningar i Sverige och de personer som kontaktats omfattar heller inte alla som har kännedom om dylika anläggningar. Det är också möjligt att vissa uppgifter som återges i rapporten inte är korrekta eftersom de bygger på muntlig information, varvid såväl felaktig information som missförstånd kan ha uppkommit.

2. Infiltrationsanläggningar

2.1 Brunnar i jord eller berg

Med brunnar i jord eller berg avses rör neddrivna från markytan till ett friktionsjordlager, vanligtvis under lera, eller direkt till berget. En infiltrationsbrunn består i stora drag av brunnsrör och filter. Brunnsröret delas in i tre delar: (i) filterrör, där vattenutflödet från brunnen sker; (ii) förlängningsrör upp till markytan; (iii) ett eventuellt sumprör under filterröret. Brunnsfiltret består av ett slitsat eller perforerat rör, filterröret, samt av filterfyllning. Möjlig infiltrationsmängd beror bl a på friktionsjordens genomsläpplighet, sprickighet hos berget och infiltrationstrycket. Den bergborrade brunnen kompletterar ofta en jordbördad brunn. Bergbrunnen måste drivas genom lösa jordlager och utförs vanligen som en rörbrunn med fördjupad del i berg. Figur 2:1 visar olika typer av rörbrunnar.



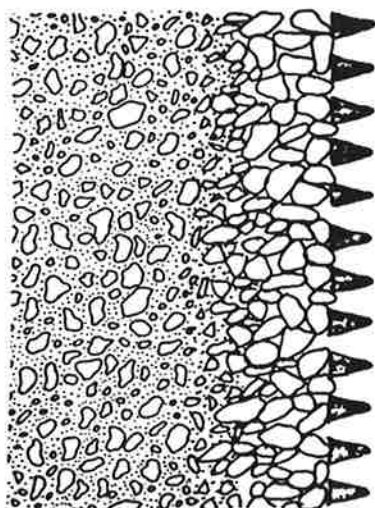
Figur 2:1. Olika typer av rörbrunnar (Andersson och Carlsson, 1980).

En infiltrationsbrunn dimensioneras i regel efter samma principer som en uttagsbrunn med avseende på (Andersson och Berntson, 1979):

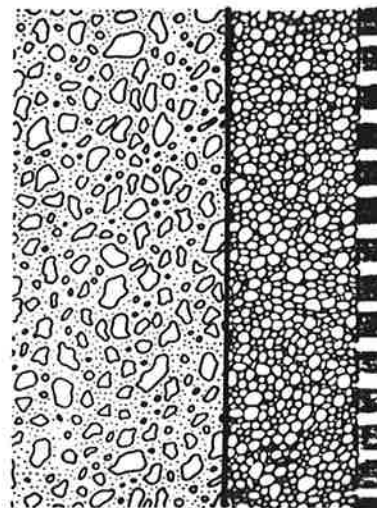
- utformning av brunnsfiltret och filterröret
- bestämning av materialet i brunnsröret
- val av rensningsmetod
- bestämning av infiltrationstryck och infiltrationsflöde för att upprätthålla laminär strömning i slitsarna
- val av erforderligt antal brunnar

I en rörbrunn strömmar vattnet horisontellt till eller från brunnen. Filterröret omges av en filterfyllning som förmedlar jordtrycket mellan akvifer och filterrör samt ökar akviferens vattentransporterande egenskaper närmast brunnen. Filterfyllningen hindrar också material från formationen att vandra in i brunnen. Ett avstånd på några decimeter bör hållas mellan perforeringarna i filterröret och det finkorniga jordlagret (Andersson och Berntson, 1979). Figurerna 2:2a och 2:2b visar de två slag av filter som finns att

tillgå; formationsfilter och grusfilter. Ett formationsfilter (naturligt filter) skapas genom att pumpa finare partiklar från formationen in i brunnen och sedan uppfordra dem. På så sätt bildas en zon med hög permeabilitet närmast filterröret. Vid användning av grusfilter (konstgjort filter) placeras material med hög permeabilitet närmast röret under borrhingsarbetena och finare material behöver inte pumpas bort. En spetsrörbrunn är en enklare variant av rörbrunn, men mindre vanlig. Den har vanligen liten diameter, max 100 mm, och drivs ned i formationen med hejare. Ett formationsfilter utvecklas genom renspumpning.



Figur 2:2a. Formationsfilter
(Andersson och Berntson, 1979)



Figur 2:2b. Grusfilter
(Andersson och Berntson, 1979)

Filtertyp väljs med hänsyn till kornstorlek hos det omgivande materialet. Om materialet är väl sorterat, dvs d_{60}/d_{10} är mindre än eller lika med 2.5, utförs brunnen med grusfilter. Slitsarna, hålen, i filterröret får inte vara så stora att de tillåter material från grusfiltret att vandra in i brunnen. För en brunn med formationsfilter anpassas filterröret direkt till formationens material med en slitsvidd $t=d_{60}$. Filterrörets diameter väljs främst med hänsyn till de installationer som ska finnas i brunnen men bör inte vara mindre än 100 mm. Slitsarna bör vara kontinuerliga och hydrauliskt väl utformade oavsett val av filtertyp. Ett formationsfilter ställer dock högre krav på slitsarna än ett grusfilter. Filterrörets längd anpassas till formationens mäktighet, så att så låg flödes hastighet (högst 0.03 m/s) genom filtret som möjligt erhålls.

Brunnsröret drivs oftast ner med hejare eller bergborrtröstning. Val av utrustning beror på jordlagerföljd och packningsgrad. Efter borrhningen är det lämpligt att lämna kvar borrhningsrören som förlängningsrör. Jordlagren störs då så lite som möjligt och strömning utmed brunnsröret, s k piping, minimeras. Filterröret ansluts till borrhret ett stycke under täckande lerlager för att detta inte ska påverkas vid renspumpning (Andersson och Berntson, 1979). Avståndet mellan leran och de översta slitsarna bör vara ca 1.5 gånger brunnsrörets diameter. Om borrhret ansluter direkt till filterröret bör avståndet vara ca 0.5 meter.

Enligt Thiems brunnsekvation är laminär strömning i slitsen och brunnsfiltret bestämmande för infiltrationsflödet och -trycket. Antalet brunnar som erfordras för att

upprätthålla en viss grundvattenbalans bestäms av att läckaget i princip ska balanseras av den infiltrerade mängden samt att en viss överkapacitet på brunnarna bör hållas i beredskap för att kompensera en igensättning med tiden (Andersson och Berntson, 1979). Innan en infiltrationsbrunn tas i drift ska den rensas för att dels ta bort den igensättning som uppstått vid borringen, dels öka akviferens permeabilitet närmast brunnen genom att finare material pumpas bort. Rensningen är troligen det viktigaste momentet i skötseln av en infiltrationsbrunn. De vanligaste rensningsmetoderna är manschettumpning vid perforerade slitsar och högttrycksspolning vid kontinuerliga slitsar. Som komplement kan kemisk rensning tillgripas.

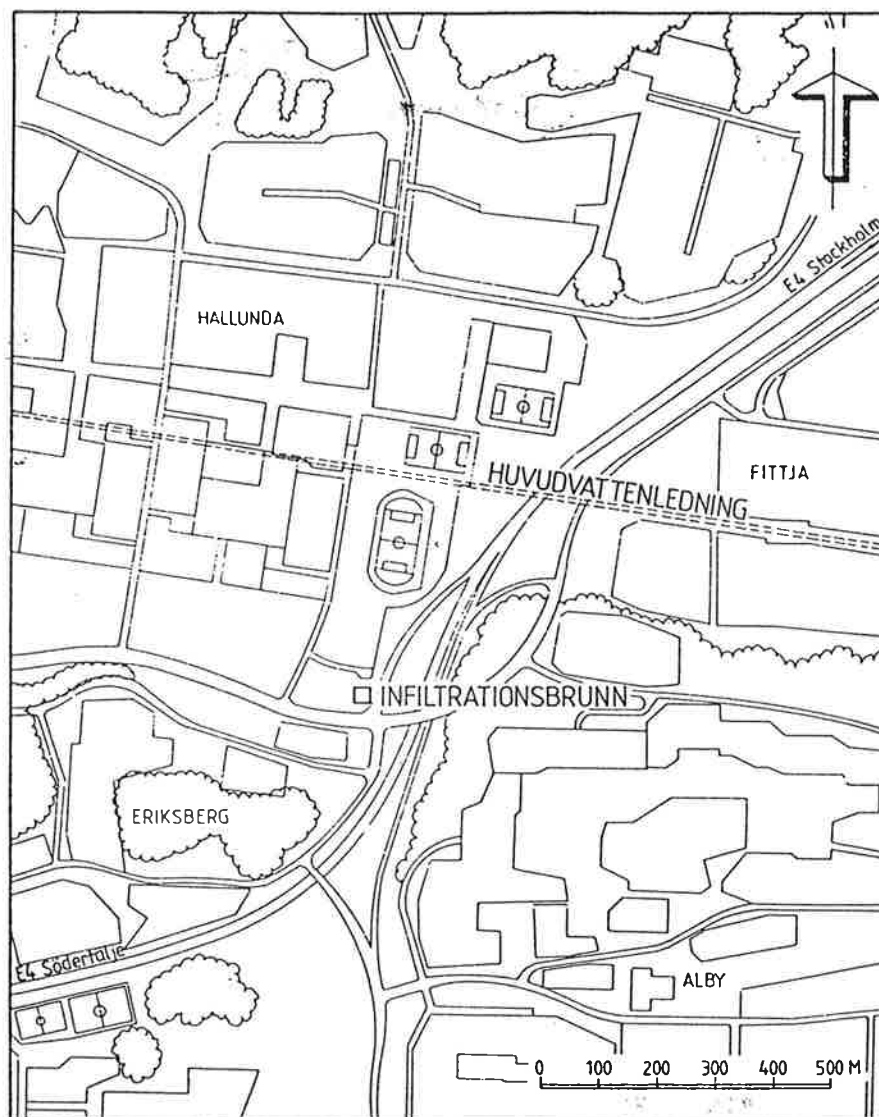
När brunnen väl har tagits i drift är det viktigt att den rensas kontinuerligt, minst en gång varje år, innan igensättningen blir för stor. Igensättning kan bero på ett flertal olika faktorer (Andersson och Berntson, 1979):

- Suspenderat material i infiltrationsvattnet avsätts i akviferens porer
- Infiltrationsvattnet är övermättat med avseende på gaser varvid dessa frigörs och avsätts i formationens porer
- Leraggregaten i akviferens material sväller eller dispergerar på grund av urlakning och transporteras och avsätts som suspenderat material
- Järnhydroxid fälls ut i kontaktzonen mellan järnhaltigt grundvatten och ett syrerikt infiltrationsvatten
- Mikrobiologisk aktivitet i brunnens närhet med igensättande växtlighet som produkt

Rent vatten ur konsumtionssynpunkt innehåller vanligtvis tillräckligt med suspenderat material och gaser för att brunnen ska sätta igen (Andersson och Berntson, 1979). För att bedöma graden av igensättning kontrolleras infiltrationsflöde och infiltrationstryck. En tumregel är att rensa brunnen när specifika kapaciteten sjunkit till sitt halva värde. Två metoder att eliminera risken för igensättning är att rena vattnet och/eller att rensa brunnen kontinuerligt. Rensningsmetoder kan vara filtrering, klorering eller avluftning av infiltrationsvattnet. Provtagning av såväl grundvatten som infiltrationsvatten ska helst utföras på infiltrationsplatsen eller i varje fall i dess närhet. Jämna kontroller av funktionen hos ventiler, filter, nivåvakter, mm är också av stort värde. Utformning och skötsel har stor betydelse för funktion och effekt av anläggningen. Nedan följer ett antal exempel på infiltrationsbrunnar placerade huvudsakligen i Stockholm och Göteborg.

Exempel 1: Botkyrka

Stora delar av Botkyrka sydväst om Stockholm bebyggdes under 1966-1973. Olika försörjningssystem, som el, vatten, avlopp och kommunikationer, förlades mestadels i tunnlar. Detta medförde en avsevärd påverkan på grundvattensituationen. Ett ur grundvattensynpunkt särskilt känsligt område är Hallunda, beläget i en dalgång. Mitt i dalgången korsas Stockholms huvudvattenledningar av en motorväg enligt Figur 2:3 och stora marksättningar skulle där kunna få förödande konsekvenser. Ett antal observationsrör för kontroll av grundvattennivån i friktionsjorden under leran utplacerades 1968. Sedan juli 1973 utförs porttrycksmätningar i två stationer.



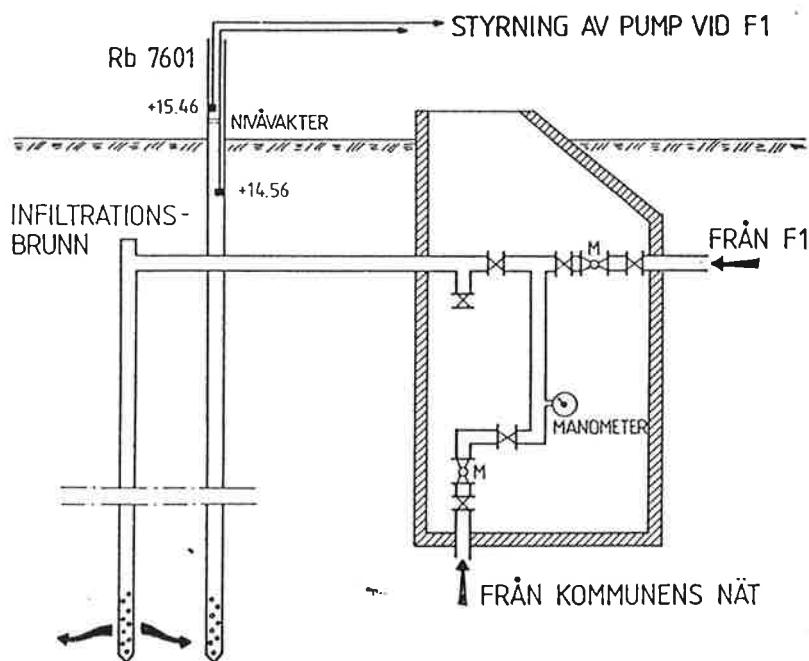
Figur 2:3. Karta över undersökningsområdet (Agerstrand och Gustafson, 1980).

Före exploateringen var grundvattenmagasinet artesiskt i de centrala delarna av dalgången och grundvattennivån upprätthölls av nederbördsinfiltration (Agerstrand och Gustafson, 1980). Efter hårdgörning av stora ytor och dränering genom tunnelsystemen hade grundvattennivån sänkts i området och marksättningar konstaterats. De två åtgärder som diskuterades var antingen att bygga om korsningen mellan vattenledningen och motorvägen eller att infiltrera för att höja grundvattennivån så att fortsatta sättningar undveks. En kostnadsjämförelse visade att infiltration skulle bli billigare både på kort och på lång sikt.

Svenska Bostäder i Botkyrka gav VBB VIAK uppdraget att undersöka möjligheterna att kontrollera grundvattennivån vid Hallunda med infiltration via brunnar. Berggrunden i dalgången täcks av ett moränlager med varierande mäktighet mellan 2 och 5 m. Lera upp till 30 m i mäktighet, underlagrad av friktionsmaterial, har avsatts på moränen. Leran i dalen var överkonsoliderad med ca 20 kPa och med hänsyn till detta skulle en grundvattensänkning på 2 m eller mer medföra risk för sättningar. Sommaren 1973 utfördes rörborrningar för att hitta ett lämpligt läge för en infiltrationsbrunn.

Platsen provpumpades och därpå följde ett sex veckor långt infiltrationsförsök, som gav en snabb höjning av grundvattennivån. Vid infiltrationsplatsen utgörs de understa delarna av lagerföljden av ett ca 1 m mäktigt skikt av grovt material med mycket hög permeabilitet (Agerstrand och Gustafson, 1980).

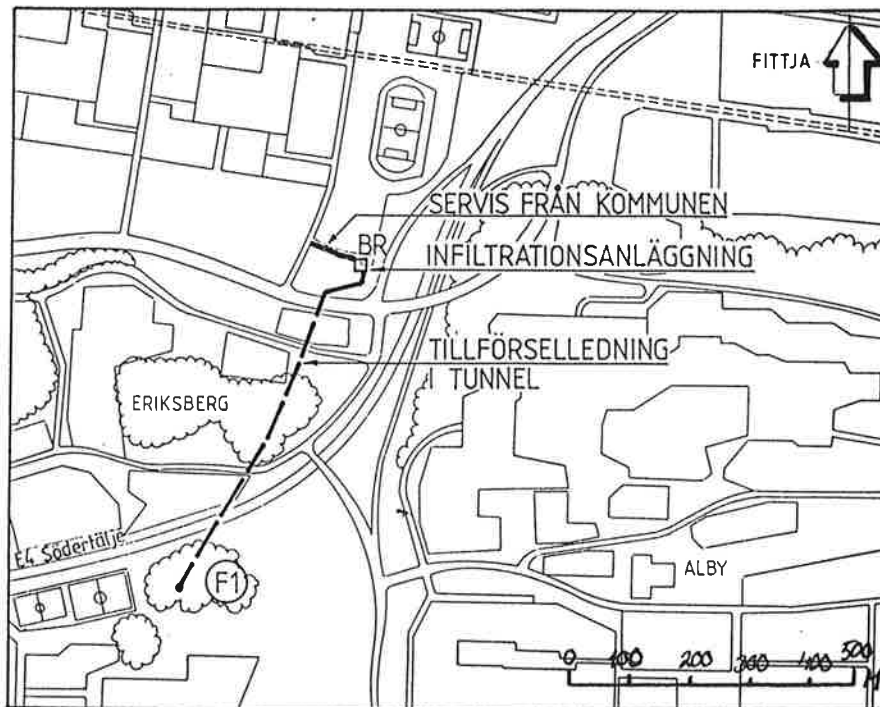
Pumpningen hade visat att grundvattenmagasinet var begränsat och att berggrunden utgjorde en väsentlig del av detta. Infiltrationsförsöket 1973 hölls med en kapacitet av 140 l/min. Höjningarna av grundvattennivån hade ett nära nog identiskt förlopp med avsänkingsförloppet under provpumpningen, då 133 l/min pumpades bort. Ett i stort sett stationärt tillstånd uppstod efter några veckors infiltration. Det tyder på att ett jämviktsläge utbildats och att infiltrationen balanserades av avflödena (Agerstrand och Gustafson, 1980). Grundvattenavsänkningen uppgick fram till hösten 1972 till maximalt ca 6 m. En återhämtning inträffade sedan relativt snabbt fram till årsskiftet 1973/1974. I början av 1976, dvs före infiltrationsstart, uppgick avsänkningen inom den centrala delen av dalgången till 2-3 m. Uppföljningen av sättningar inom området gjordes genom nivåkontroll av några transformatorstationer samt en vattenledning. Sättningarna hos transformatorstationerna uppgick 1972-76 till ca 3 cm medan vattenledningen uppvisade ett sättningsförlopp som i stort sett var 5 cm 1971-72, 10 cm 1972-73 och 4 cm 1973-76. Utformningen av infiltrationsanläggningen visas i Figur 2:4.



Figur 2:4. Utformning av infiltrationsanläggning (Agerstrand och Gustafson, 1980).

Infiltrationsbrunnen består av tre grundvattenrör, varav två utnyttjas för infiltration och ett för grundvattennivåkontroll och styrning av tillförselpump (Gustafson och Eriksson, 1976). Spetsrören med ϕ 50 mm är placerade i två betongbrunnar, över vilka en tråkista är byggd. Både spetsen och förlängningsröret består av icke rostfritt material. I marknivå är vattenmätare, manometer och luftningsventil installerade i direkt anslutning till infiltrationsröret. Samtliga installationer skyddas av en betongring ϕ 1600 mm. Vid höga grundvattennivåer i området regleras infiltrationsflödet av nivåvakter.

Vatten kan tas från två ställen; inläckande vatten i tunneln eller det kommunala nätet (se Figur 2:5). Under de inledande infiltrationsförsöken togs vatten från ledningsnätet. För den permanenta driften används huvudsakligen inläckande grundvatten i tunneln, men om det inte är tillräckligt pumpas ledningsvatten in (Rastborg, 1993; Ståhlberg, 1994; muntl. uppg.). Grundvattnet från tunneln samlas upp i en makadambädd varefter det pumpas till infiltrationsplatsen genom en befintlig tunnel medan ledningsvattnet tillförs genom en servisledning från kommunen. Båda tillförselledningarna är försedda med separata avstängningsventiler. Två elektroder har förts ned i nivåvaktträret och styr pumpen vid tunnelpåslag F1. På infiltrationsvattenledningen finns dessutom en avtappningsventil för vattenprovtagning och en manometer som visar ingående vattentryck (Gustafson och Eriksson, 1976).



Figur 2:5. Vattentillförsel till infiltrationsanläggningen (Agerstrand och Gustafson, 1980).

Efter inledande provperioder med lyckade resultat, startade infiltrationen från den permanenta anläggningen i juli 1976. Besiktningen av anläggningen i maj 1976 hade påpekat vissa brister och fel, bl a att provtryckning av reservvattenledningen och vattenprovning ej utförts. Vidare konstaterade besiktningsförrättare Melin (1976) att infiltrationen på 35 l/min var mindre än avsett. Under perioden augusti 1976 till februari 1979 infiltrerades sålunda i genomsnitt ca 50 l/min, huvudsakligen inläckande grundvatten. Infiltrationen var störst under sommar- och höstperioderna, medan det under tjällossningsperioden på våarna fordrades obetydlig infiltration för att hålla nivån i grundvattenmagasinet eftersom infiltrationsmängden styrdes av grundvattenmängden. Anläggningen blev mycket lite igensatt under de första åren, förmodligen beroende på att huvudsakligen ledningsvatten användes. Tunnelvattnet gav med tiden ökande igensättningar, som kunde avhjälpas med rensningar. I november 1977 funktionskontrollerades brunnen med ett flödesförsök vilket inte gav några tecken på igensättning. Ny kontroll i maj 1978 tydde på att en igensättning hade uppstått eftersom den specifika kapaciteten hade sjunkit med 50 %. En rensning av brunnen genom tillsats

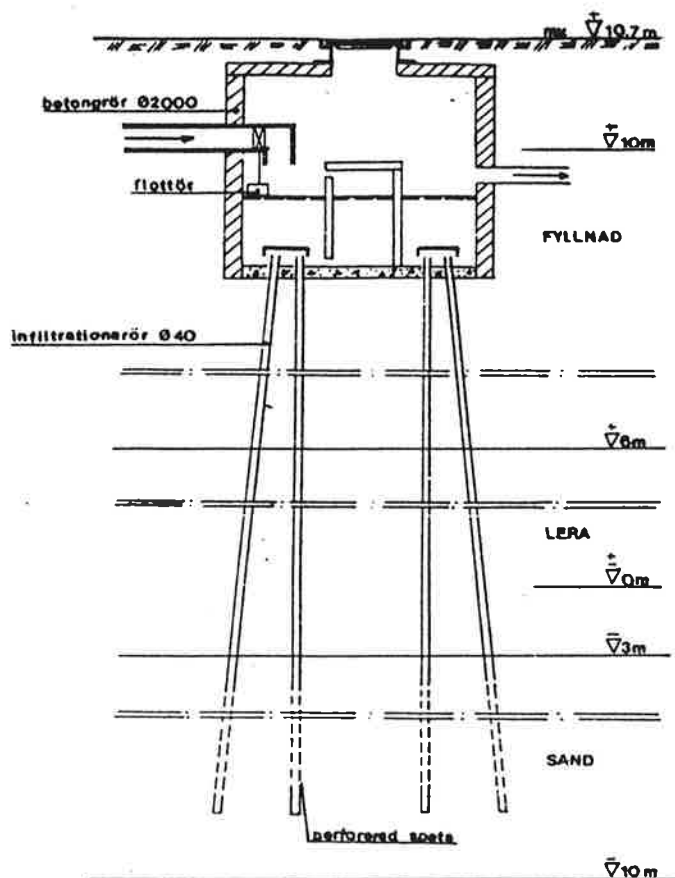
av sulfaminsyra gjordes i februari 1979. Igensättning medförde emellertid inte någon svårighet att infiltrera önskade vattenmängder.

Infiltrationen har medfört både en höjning och en stabilisering av grundvattennivån. Idag (februari 1994) krävs det i stort sett bara infiltration av inläckande vatten för att grundvattennivån ska hållas tillräckligt hög. Portrycken i leran följer förändringarna i grundvattennivån vilket betyder att infiltrationen gör det möjligt att kontrollera portryck och förhindra sänkning. Under den permanenta driften har dock sättningarna fortsatt i en takt av ca 1 cm/år, men detta har förmodligen berott på andra åtgärder än grundvattensänkning. Botkyrka Kommun mäter grundvattenståndet en gång per månad och kontrollerar brunnen var 14:e dag (Ståhlberg, 1994; muntl. uppg.). Brunnen fungerar bra och någon igensättning tycks inte ske. Byggkostnaden för den permanenta anläggningen inklusive projektering uppgick 1975 till 100.000 kr. Vid projekteringen beräknades byggande och drift under 30 år med infiltration av inläckande vatten kosta 350.000 kr medan infiltration med ledningsvatten beräknades kosta 2.200.000 kr.

Exempel 2: Karlaplan, Stockholm

Sprängningar för tunnelbanan till Ropsten under Karlaplansområdet i centrala Stockholm utfördes på beställning av Stockholms Läns Landsting under åren 1963-64 varvid grundvattensänkningar observerades. Läckaget i T-banetunneln var 1966 ca 100 l/min, vilket sedermera sjönk till 30 l/min. Jordlagerföljden i området består av ca 5 m fyllnadsmaterial ovanpå ett 10 m mäktigt lerlager med torrskorpa, underlagrat av 6 m sand och ett tunt lager morän. Den totala mäktigheten av jordlagret är ca 20 m. Sedan 1959 har grundvattennivån kontrollerats regelbundet. Däremot utfördes inga portryckmätningar i leran på 1970-talet. Sättningsmätningar påbörjades först 1972, då sättningar av storleksordningen 20-30 cm observerades, orsakade dels av grundvattensänkning, dels av den fyllning som lades ut när området bebyggdes 1920. Konsekvenserna av att grundvattnet sjönk upp till 6 m blev att golv och väggar sprack, gator sjönk, ledningar gick av, trottoarer blev oframkomliga och träpålar ruttnade. Fastighetsägarna stämde tunnelbyggarna och nådde förlikning efter 5 års tvist (Morfeldt, 1981).

Två infiltrationsbrunnar med principiell utformning enligt Figur 2:6, placerades av Stockholms Gatukontor nordost om Karlaplan. Brunn A vid Lützengatan togs i drift 1966 och brunn B vid Banérgatan 1968. Varje brunn bestod av fyra infiltrationsrör ϕ 40 mm, betongrör ϕ 2000 mm, nivåregulator och vattenmätare. Spetsarna, plasticsilrör med slitsbredd 0.5 mm, placerades i sandlagret under leran och omgavs av filtersand 0.2 - 2 mm. Brunnarna anslöts till vattenförsörjningsnätet. Brunn A hade kapaciteter på 17 l/min vid start och 10 l/min 13 år senare. Brunn B startade med 7 l/min och hade 1.5 l/min vid avstängning sju år senare. Infiltrationsflödena minskade med ca 2 l/min och är troligen på grund av igensättning, men efter rensning steg flödena åter. Brunnarna var ofta ur funktion på grund av dåligt fungerande flottörer. Under driftstiden 1966-77 inträffade avbrott i brunn A på grund av defekta installationer samt på grund av läckage till övre jordlager eller intilliggande byggnader.



Figur 2:6. Infiltrationsbrunn vid Karlaplan (Stockholms Gatukontor).

Sättningarna uppgick 1972-79 till 3-6 mm per år. År 1977 skedde en svag uppbromsning, möjligen beroende på en höjning av grundvattentrycket på grund av naturlig och artificiell infiltration. Bedömningar av förhållanden före och efter infiltrationsstart var ej möjliga eftersom mätningarna startade först 1972, dvs flera år efter det att brunnarna tagits i drift. Som regel uppmättes efter ca ett år från infiltrationsstart i de flesta observationsrör ungefär samma grundvattennivåer som innan infiltrationen började (Andersson och Berntson, 1979). Nivåökning respektive -sänkning kan till viss del hänföras till förekomst respektive avsaknad av nederbörd. Läckaget in till tunneln överstiger infiltrationen, men balans upprätthålls ändå. Möjligen beror detta på att läckaget har minskat sedan mätningar gjordes 1966 eller att infiltration och nederbörd tillsammans balanserar läckaget. Brunn A är fortfarande i drift 1994, men fungerar inte tillfredsställande. Den är gammal och svårhanterlig, vilket gör att det är svårt att kontrollera funktionen (Henriksson, 1994; muntl. uppg.). För 10 år sedan låg infiltrationsmängden på ca 5 l/min.

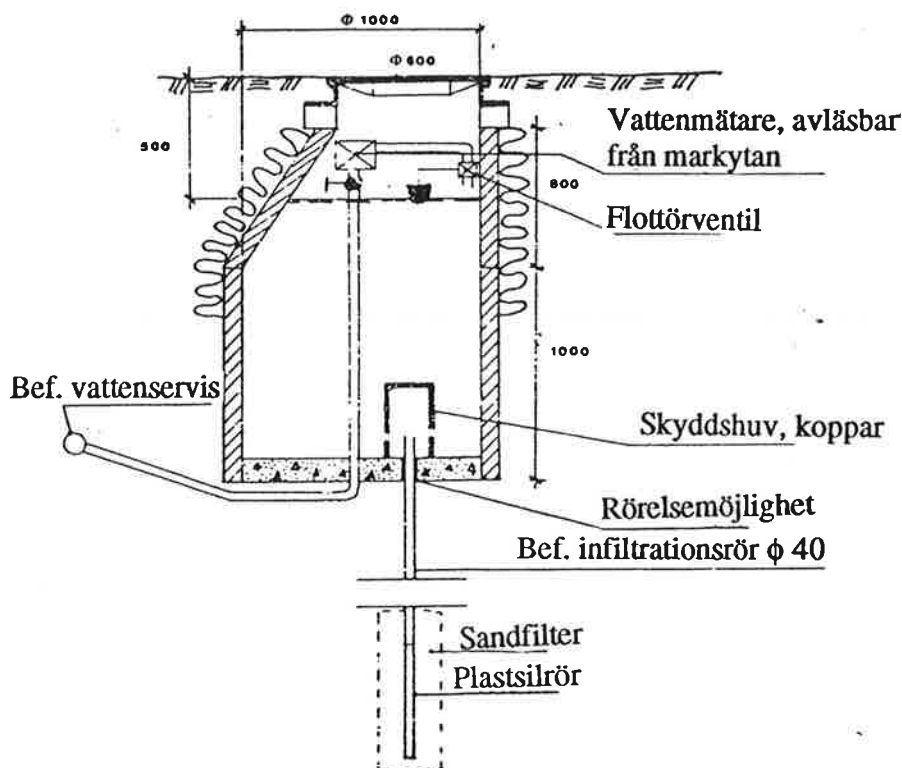
Karlaplansfallet visade att även mycket små vattenmängder kan dränera en lerlagerföljd så att stora sättningar snabbt uppträder (Morfeldt, 1978). Ofta kan förhållandena vara sådana att det redan vid sprängningen för undermarksanläggningen tappas ur vatten från siltskiktet och att de små vattenmängder som därefter uppträder är det vatten som pressas ur leran med sättningar som följd (Morfeldt, 1967). Förklaringen till den snabba effekten i Karlaplansområdet är att friktionsmaterial ligger mellan berget och leran. När friktionsmaterialet, som innehåller relativt blygsamma vattenkvantiteter, åderlättes

försvinner trycket runt leran och det är fritt fram för lerans porvatten att pressas ut (Morfeldt, 1967). I praktiken innebär varje avsänkt meter grundvatten en lastökning på underliggande jordlager med 1 ton/m^2 , dvs för Karlaplan ställvis 6 ton/m^2 .

Exempel 3: Kv Leoparden, Solna

Hyreshus uppförda i Solna i början av 1950-talet, grundlagda på stödpålar av betong eller direkt på berg, utsattes för marksättningar under 1970-talet. Området genomkorsas av VA-, el- och teleledning som är grundlagda direkt i mark utan någon grundförstärkning. Kv Leoparden utsattes för stora skador genom sättningar i lerlagren orsakade främst av belastningsökning på leran vid grundvattnets sänkning men även av uppfyllnad av marken (Andersson och Berntson, 1979). Skadorna märktes framför allt på beläggningar, utvändiga trappor, socklar mm i anslutning till husen. Infiltration från tre principiellt olika anläggningar prövades; brunnar, infiltrationsledning och bergborrhål.

En provisorisk anläggning med 25 rör i 15 punkter anlades 1972 i olika källarutrymmen och grönytor. J&W ersatte dessa 1973 med fyra jordborrade brunnar, som bestod av grusfilterbrunnar med plaströr enligt Figur 2:7. De ursprungliga rören slopades på grund av läckage utmed rören eller dålig effekt. De nya rören tätades uppåt med bentonit och hade samlingsbrunnar under mark bestående av betongringar $\phi 600/\phi 1000$ mm med vattenmätare och flottör. I juni 1973 anlade Stockholms Gatukontor en 70 m lång infiltrationsledning (Dränflex $\phi 100$ mm) på 2 m djup på makadambädd i moränlagret. Slutligen borrades hösten 1976 två bergborrhål $\phi 57$ mm till 40 m djup. Samtliga anläggningar var anslutna till vattenposter i Solnas vattenförsörjningsnät.

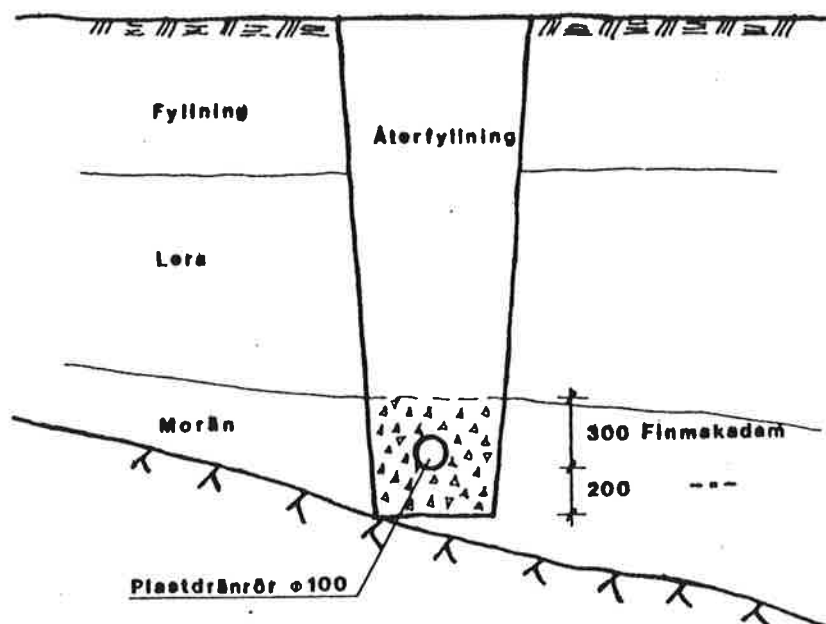


Figur 2:7. Infiltrationsbrunn i kv Leoparden (J&W).

Flödesfördelningen per rör eller hål var:

* Rör i jord:	3-10 l/min	sep 73 - dec 77
	7 l/min	1983
* Ledning:	15 l/min juni 73 - 5 l/min mars 77	
* Bergborrhål:	15 l/min okt 76 - 10 l/min dec 77	

Infiltrationsledningen i Figur 2:8 var avstängd åtskilliga tillfällen under driftstiden. Den allvarligaste incidenten inträffade 1974 då ledningen läckte till avloppet. Den infiltrerade vattenmängden minskade med tiden för alla tre anläggningarna. Flera av infiltrationsrören och infiltrationsledningen läckte till ytliga marklager och dräneringsledningar. Endast de fyra jordborrade brunnarna är i drift 1994. Anläggningen har dock inte fungerat tillfredsställande och byggdes nyligen om. Styransordningen av vattenflödet fungerade inte och orsakade översvämning vid stor nederbörd (Henriksson, 1994; muntl. uppg.). Genomsnittligt har infiltrationen påverkat grundvattennivån med en höjning från +12 till +16 m samt med en uppbromsning av sättningsförloppet.

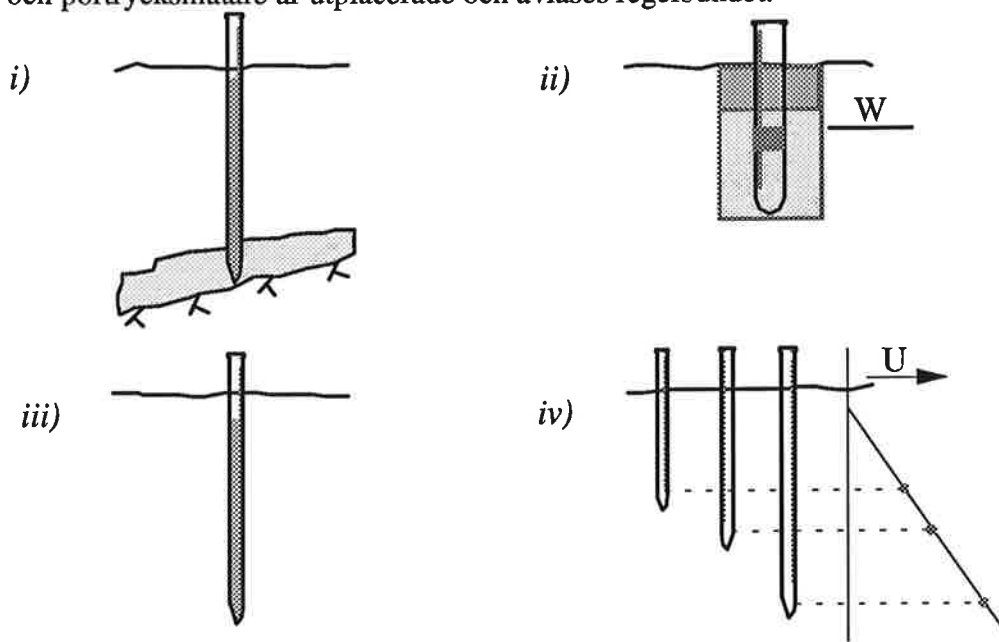


Figur 2:8. Infiltrationsledning i kv Leoparden (Stockholms Gatukontor).

Exempel 4: Arbetarinstitutet, Göteborg

Mellan 1968 och 1975 pågick ett antal tunnelbyggen för Televerkets räkning i Göteborgs centrala delar. Berggrunden består där av gnejs, som är starkt kuperad. Jordlagren består främst av mäktiga lerlager, där leran är normalkonsoliderad lös till medelfast. Friktionsjorden är vanligen sandigt-grusigt moränmaterial med en mäktighet som varierar från nästan 0 till 10 å 20 m. Ett år före tunneldrivningen utplacerades mätare av flera slag enligt Figur 2:9 (Gedda och Riise, 1976). De bestod av: (i) öppna rör med perforerad spets, neddrivna till friktionslagret; (ii) öppna rör med perforerad spets, placerade i grövre hål i ytlagren, kringfyllda med grus; (iii) porttrycksspetsar på olika nivåer i lerlagren för återkommande observationer; (iv) porttrycksmätare på olika

nivåer i lerlagren för korttidsobservationer. Längs hela tunnelsträckningen finns ca 150 st rör som alla till en början regelbundet användes för grundvattennivåobservationer. Idag omfattar kontrollprogrammet dock endast 30-40 st rör. Även ett antal sättnings- och porttrycksmätare är utplacerade och avläses regelbundet.



Figur 2:9. Mätare för grundvattenobservationer (efter Gedda och Riise, 1976).

Samtidigt med framdrivningen av tunneln konstaterades grundvattennivåsänkning inom vissa områden. Detta berodde på inläckage i tunneln varav en del kunde tätas med efterinjektering. Andra dräneringar av grundvattenmagasinet var svårare att lokalisera och systematisk injektering fick tillgripas. Inläckaget minskade visserligen med hjälp av dessa åtgärder, men återhämtningen av grundvattennivåerna dröjde på grund av liten naturlig infiltration. Prov med konstgjord infiltration genomfördes då (se även Exempel 2 under avsnitt 2.3). Några infiltrationsanläggningar anlades för kortvarig drift och avslutades 1975-76, medan andra permanentades. Lämpliga områden för infiltration ansågs vara punkter i urbergets djupfårar där såväl lerlagret som friktionslagret hade störst mäktighet. Sådana förhållanden gör det möjligt att använda ett högt infiltrationstryck (Gedda och Riise, 1976).

KM har (1994) hand om 8 st infiltrationsanläggningar i Göteborg. Av dessa är 5 st utförda från tunnel (se Exempel 2 under avsnitt 2.3) och 3 st från markytan. Vid Arbetarinstitutet i centrala Göteborg är två brunnar anlagda. Anledningen till varför infiltration påbörjades för ett tjugotal år sedan var att Arbetarinstitutet utsattes för omfattande sättningar och förstärkning var nödvändigt. Huset grundförstärktes med stålplåtar till berg och ett ok genom huset som vilar på plåtarna. Jordlagerföljden vid platsen består av 40 m lera ovanpå 0.5-1 m friktionsjord på berg. Området är mycket sättningsbenäget eftersom leran är lös. Den ena brunnen är drygt 20 år gammal och den andra anlades 1990. Båda brunnarna består av 4" stålror med tryckreduceringsventiler. Den yngre brunnen är borrhälad ca 10 m ner i berget och infiltrationen sker förmodligen både i berg och jord. Den äldre brunnen är också borrhälad till berg, men där sker infiltrationen endast i friktionsjorden. Ledningsvatten används till infiltrationen.

Huvudman för anläggningen vid Arbetarinstitutet är Göteborgs kommun. KM konstruerade den och BESAB utförde borrningsarbetena. Anläggningen fungerar bra (1994), särskilt sedan den nya brunnen tagits i drift. Till en början infiltrerades lika stora mängder i den äldre som den yngre brunnen. Den totala infiltrationsmängden ligger idag på 3.5 l/min, där den yngre brunnen svarar för ungefär dubbla mängden jämfört med den äldre. Tidigare låg infiltrationen på 5.4 l/min där den yngre brunnen svarade för 3.8 l/min (Lanz, 1994; muntl. uppg.). Denna infiltrationsmängd gav mycket höga grundvattennivåer, varför en minskning av infiltrationsmängden var nödvändig. Grundvattnet är dock fortfarande artesisikt inom ett begränsat område. Nivåobservationer i grundvattenrör och avläsning av sättningsmätare görs regelbundet och funktionen hos anläggningen är tillfredsställande. Grundvattennivåerna har i princip höjts under 1990-talet. I några rör var nivån mycket låg under 1980-talet medan i ett rör grundvattnet har varit artesisikt sedan 1985. Väster om tunneln ligger grundvattennivåerna lägre än öster om densamme. Sättningsarna uppgick i januari 1994 till ca 150 mm med avtagande hastighet. Ingen uppspolning av kanaler i jorden har märkts. Någon särskild funktionskontroll tycks inte göras. Driftkostnaderna för anläggningen är vattenkostnad exklusive avloppskostnad, dvs ca 8.000 kr/år.

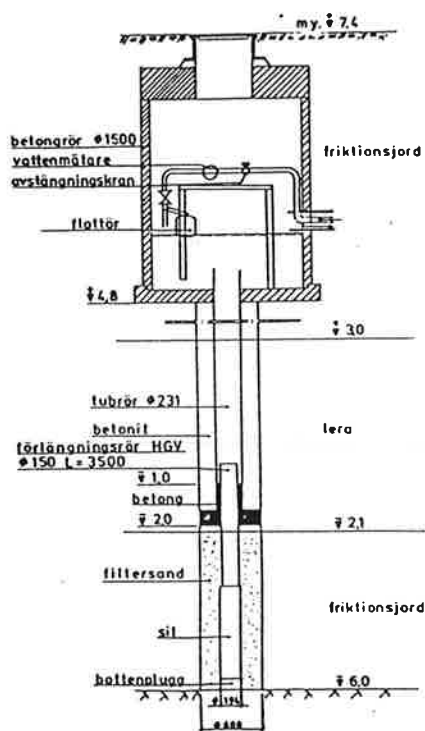
Mätning av infiltrerad vattenmängd och infiltrationstryck görs av KM en gång varje vecka. Infiltrationstrycket balanseras efter grundvattennivån och är omkring 100 kPa. Målet är att det inte ska ligga högre än ovanliggande jordtyngd. För reglering av infiltrationstrycket finns en tryckreduceringsventil och för kontroll av förbrukad vattenmängd en vattenförbrukningsmätare för varje brunn. Funktionen hos kopplingar, kranar och filter kontrolleras i samband med avläsningarna. KM påpekar om något behöver åtgärdas och Telia sköter underhållet. Grundvattenståndsroren och sättningsmätarna avläses en gång per månad av KM, som även sammanställer resultaten och presenterar dessa för Telia. Det är hela tiden en balansgång mellan infiltrationstryck och önskat resultat. Det är viktigt att inte ha för högt tryck eftersom det då blir risk för att piping uppstår. Ett för lågt tryck minskar infiltrationen och kan öka risken för igensättning. Några tendenser till uppspolning av kanaler i jorden vid brunnsinfiltrationen har inte märkts under de senaste åren. För att se om infiltrationsvattnet påverkar omgivande mark kemiskt har provtagningar och analys av omgivande leror utförts, men inga förändringar kunde upptäckas.

Exempel 5: Kungsholmen, Stockholm

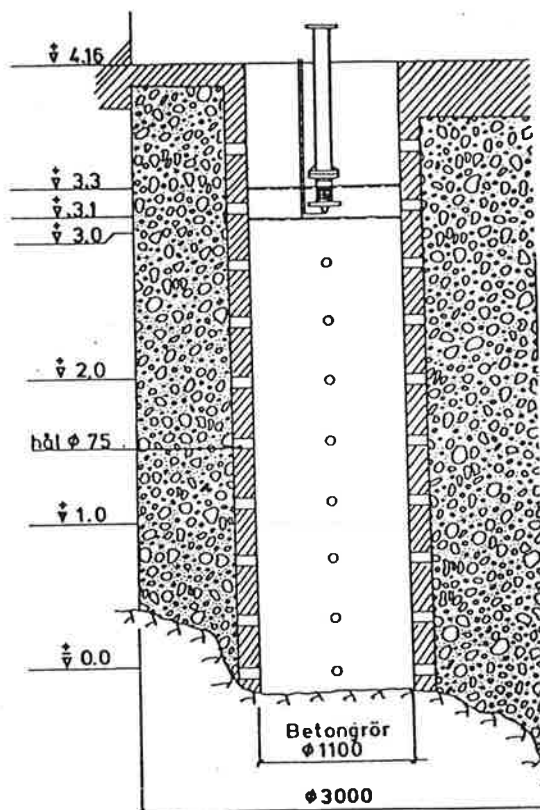
I början av 1960-talet sprängdes en teletunnel längs Kungsholmsgatan och 1969-70 en tunnel för tunnelbana från Klara sjö till Bergsgatan. Dessa arbeten innebar en rubbning av grundvattenbalansen trots omfattande tätning och efterinjektering i tunnarna (Andersson och Berntson, 1979). Gnejsberggrunden inom området innehåller en djup svacka (sträckning NO-SV). I höjd med Rådhuset ansluter en tvärgående sprickzon, som utgör den djupaste delen av området med bergnivåer på upp till 19 m djup. Jordlagerföljden i området består i stort sett av fyllningsmassor på ett 5-10 m mäktigt lager av lera, underlagrat av morän och berg. Enligt en utredning av Tyréns låg grundvattennivån år 1962 på + 8.3 i lerområdet mellan Polishuset och Fleminggatan. I början av 1963 sjönk grundvattennivån i samband med teletunnelutbyggnaden (djupnivå

-25) till ca + 6 m. Då T-banetunnelarna 1969 sprängdes under berggrundssvackan sjönk grundvattennivån vid Rådhuset drygt 4 m. Djupa schaktningsarbeten förekom samtidigt. Hösten 1969 skedde en återhämtning av grundvattennivån med ca 2 m.

Grundvattenmängden i friktionsmaterialet uppskattades till ca 25.000 m³ varav 5.000 m³ antogs kunna dräneras bort. Resten ansågs fast bundet till friktionsjorden. Stockholms Gatukontor uppskattade läckaget till T-banetunneln till 50 l/min medan teletunneln hade en inläckning på 35 l/min enligt Tyréns. För att höja grundvattennivån inom området inleddes infiltration av ledningsvatten genom brunnar från markytan. År 1970 anlade Stockholms gatukontor en infiltrationsbrunn enligt Figur 2:10 i hörnet Scheelegatan-Bergsgatan. Vid markytan sattes en betongbrunn ϕ 1500 mm med vattenmätare och flottörventil. Till denna anslöts en filterspets ϕ 194 mm med perforerad längd 2.5 m i ett sandfilter ϕ 600 mm. Brunnen placerades i ett 4 m mäktigt friktionslager och vilade på berg på nivån -6.0. Vattenytan i brunnen hölls konstant på +5.5 m. En äldre befintlig pumpbrunn i Rådhuset togs i bruk 1976 och visas i Figur 2:11. Vatteninfiltrationen startade primärt för att stoppa pågående sättningar i den del av golvet som ligger direkt på lermark ("Suckarnas gång") (Johnson och Bohm, 1984). Brunnen består av betongringar ϕ 1100 mm med vattenmätare och flottör samt ett makadamfilter ϕ 3000 mm. Den vilar direkt på berg och var ursprungligen byggd för att samla upp dräneringsvatten från hela Rådhuset, vars källargolv ligger under avloppsledningsnivån (Andersson och Berntson, 1979). Vattenytan i brunnen hölls vid infiltrationsstarten runt nivån +3.2 m.



Figur 2:10. Infiltrationsbrunn vid Scheeleg.-Bergsg. (Stockholms Gatukontor)

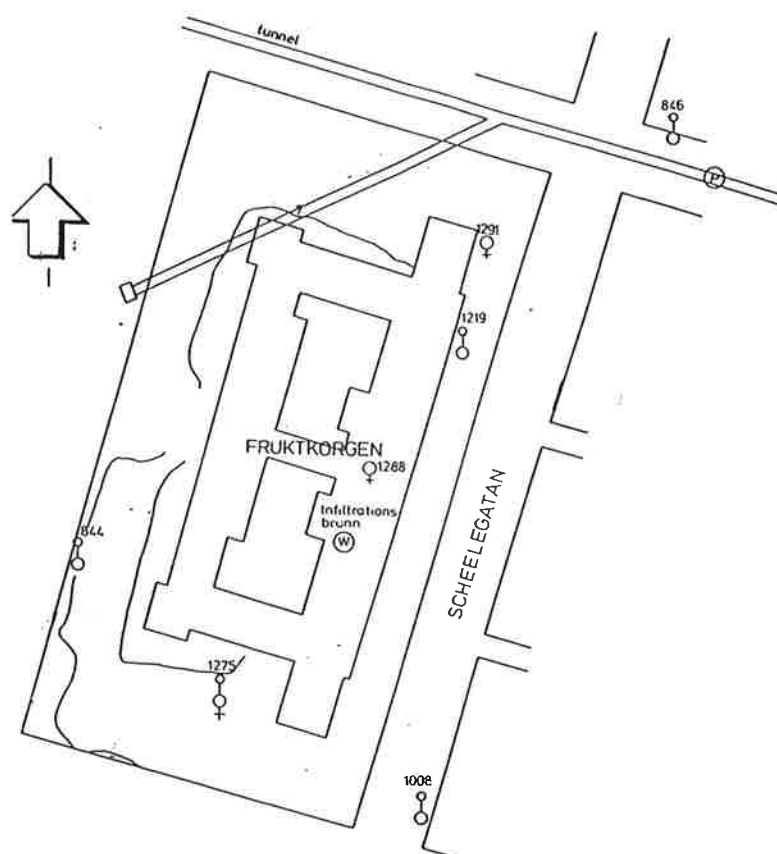


Figur 2:11. Infiltrationsbrunn i Rådhuset (Stockholms Gatukontor)

Brunnen vid Scheelegatan fungerade aldrig tillfredsställande beroende på att den inte var anpassad till geologin på platsen och att den inte rensades tillräckligt noggrant.

Vilka förlopp som styrde en eventuell igensättning var omöjligt att bedöma då inga undersökningar fanns av grund- och infiltrationsvattnet (Andersson och Berntson, 1979). Infiltrationsflödet låg till en början på 2 l/min, som två år senare sjönk till 1 l/min. Under 1974 utfördes en rensning av brunnen vilket tillfälligt höjde flödet till 3 l/min. Därefter varierade infiltrationsmängden mellan 0 och 7 l/min under tre år tills brunnen stängdes av 1977. Under driftperioden erhöles ett flertal driftstörningar då flottören ofta var ur funktion. Infiltrationstrycket hölls ganska konstant vid 50 kPa. En höjning av grundvattennivån på 2 m under 1971-74 kunde möjligtvis bero på tätning av tunneln. På grund av en period med liten nederbörd året därpå avsänktes grundvattennivån med 4 m.

Rådhusbrunnen hade vid starten 1976 en infiltration av ledningsvatten på ca 20 l/min, som ett år senare hade sjunkit till 14 l/min. Detta berodde på att grundvattennivån i akviferen hölls uppe genom naturlig infiltration (Andersson och Berntson, 1979). Före infiltrationsstart var sätningarna 20-25 mm stora, men de avbröts så snart infiltrationen påbörjats. Peglar och grundvattenståndsrör är utplacerade i området enligt Figur 2:12 och kontrolleras av Stockholm Konsult och J&W.



Figur 2:12. Vy över Rådhuset (Stockholms Gatukontor).

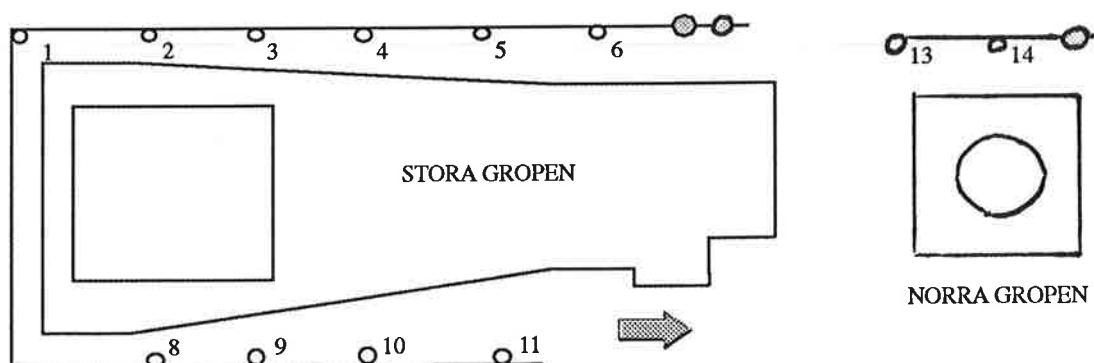
Läckaget till tunnlarna var ca 75 l/min 1976 och infiltrationsflödet 15 l/min; detta indikerar att höjningen i grundvattenmagasinet inte enbart förorsakades av den konstgjorda infiltrationen. I inledningsskedet av infiltrationen skedde en snabb höjning

av grundvattennivån till ungefär +3 m i hela sprickdalen. Nivån låg sedan relativt konstant på mer än +3 m fram till årsskiftet 1978/79. Infiltrationen stängdes då av på prov varvid grundvattennivån sjönk till ungefär +1 m. Sedan infiltrationen återupptagits steg dock nivån hastigt till sitt ursprungliga värde. Som mest låg flödet på 30 l/min men oftast har det pendlat kring 10-14 l/min. Idag (februari 1994) ligger infiltrationsflödet av ledningsvatten på ca 17 l/min (Engzell och Torstensson, 1994; muntl. uppg.), vilket innebär en årlig driftkostnad på närmare 40.000 kr.

Sedan 1992 leds dagvatten från en av Rådhusets innergårdar till infiltrationsbrunnen. Dagvattnet leds ner i en brunn på gården där det först filtreras innan det leds vidare. Varken sättningar eller igensättningsproblem har observerats sedan systemet togs i drift, men det återstår att se hur infiltrationsbrunnen i längden påverkas av dagvattnet. Nivåregleringen i infiltrationsbrunnen fungerar inte som den ska och det har medfört översvämningar vid kraftig nederbörd eftersom det flödar 17 liter ledningsvatten per minut oavsett vattenstånd i infiltrationsbrunnen. Fastighetsförvaltaren Vasakronan sköter avläsningen av förbrukad vattenmängd samt vattenståndet i infiltrationsbrunnen. Stockholms Stads Fastighetskontor rekommenderade vid överlåtelsen av förvaltningen 1984 att infiltrationen skulle fortsätta så länge byggnaden finns kvar för att undvika grundförstärkning och reparationer.

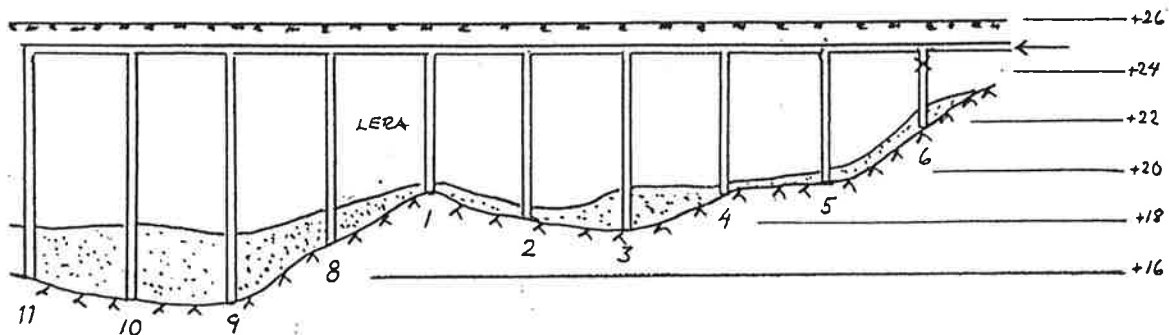
Exempel 6: Skarpnäcks station, Stockholm

Vid byggandet av Skarpnäcks station i samband med tunnelbanebygget Bagarmossen-Skarpnäck sydost om Stockholm 1990 var jordschaktning nödvändig eftersom berget inte gick i dagen. Tre djupa schaktgropar nära bebyggelsen utfördes. Stora schaktgropen erfordrades för biljetthall och nedgång till tunnelbanan. Spont slogs ned och för att undvika grundvattensänkning utfördes en tillfällig infiltration på utsidan av spanten. Sammanlagt elva infiltrationsbrunnar anlades, varav nio vid Stora schaktgropen och två vid Norra schaktgropen, se Figur 2:13. Anläggningen kring Stora schaktgropen bestod av en rörledning lagd i en slinga ϕ 50 mm. Slingan påfördes vatten vid spets nr 6 och löpte runt till spets nr 11 (Eresund, 1991). Infiltrationsvattnet hämtades från kommunens ledningsnät.



Figur 2:13. Infiltrationsanläggning vid Stora respektive Norra schaktgroparna (efter Lindgren, 1991)

Vid norra gaveln av Stora schaktgropen låg leran direkt på berget. Viktsonderingar visade emellertid att mellan leran, som var varvig och siltig, och berget fanns det vanligtvis decimetertjocka lager av sand eller mer vanligt förekommande silt (Lindgren, 1991). Sättningar i området skulle ha kunnat orsaka skador på framför allt rörledningar i marken. Eftersom leran var förkonsoliderad tilläts en viss grundvattensänkning. Den lägsta tillåtna nivån var +24 m norr om Skarpnäcks allé och +23.5 m söder om densamme (Lindgren, 1991). För att registrera grundvattennivåns fluktuationer installerades till en början sex stycken observationsrör. Avläsningar utfördes ungefär tre gånger per vecka och utgående från dessa mätningar trimmades anläggningarna för att hålla grundvattnet på rätt nivå. Avvägning av jordskruvar för sättningskontroll gjordes en gång per vecka. Infiltrationsanläggningarna bestod av rör ner i marken enligt Figur 2:14.

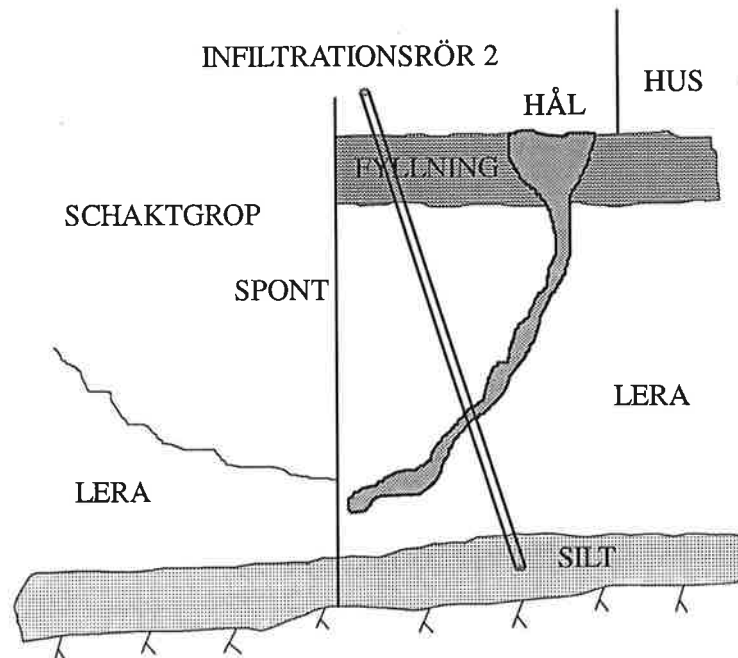


Figur 2:14. Sektion av anläggningen vid Stora schaktgropen (Lindgren, 1991).

Infiltrationen vid Stora schaktgropen startade 23 november 1990 med ett flöde på 75 l/min och fungerade till en början tillfredsställande. Avsikten var att hålla grundvattennivån mellan +24.2 och +24.5 m, dvs något högre än den lägsta tillåtna nivån. På grund av olika omständigheter var grundvattennivån för låg under kortare tidsperioder i början av december 1990. Några infiltrationsrör var avstängda då infiltrationen medförde läckage där svetsningsarbeten pågick. Nivån i ett observationsrör åkte då upp och ner ett tag. Ett infiltrationsrör visade sig ha direktkontakt med schaktgropen och stängdes därför av (Lindgren, 1991). För att kompensera bortfallet leddes mer vatten till övriga rör, vilket medförde en generell höjning av grundvattennivån. För att ytterligare öka nivån gjordes en tidsbegränsad flödesökning under en dag, då 300 l/min pumpades ner i jorden. Flödet minskades sedan till 170 l/min. Åtgärder gav en fullt acceptabel effekt på grundvattenmagasinet. Ett jämnt tryck i infiltrationssystemet var önskvärt och därför kopplades en slang från vattenposten till infiltrationsrör nr 11. Den största uppmätta sättningen var i början av december 13 mm intill observationsrör nr 3.

Den 5 december 1990 upptäcktes problem på flera håll. Infiltrationsrör nr 1 hade direktkontakt med schaktgropen och flödet fick strypas till 1/3. Ett större problem var det sänkhål som bildades intill en husvägg ca fyra meter från infiltrationsrör 2 enligt Figur 2:15 (Lindgren, 1991). Jord hade förmodligen transporterats med grundvattnet in i gropen och medfört ras. När hålet upptäcktes stängdes infiltrationen av på den sidan av schaktgropen. Senare på dagen öppnades några rör till 1/4. Hålet fylldes med makadam och grus. Ett relativt stort flöde in i schaktgropen intill spalten vid

infiltrationsrör 8 förklarades med att röret hade kontakt med ett annat infiltrationsrör eller annan flödeskälla. Tre nya observationsrör utplacerades samma dag. En vecka senare hade grundvattennivån stabiliserats, trots att det totala infiltrationsflödet hade minskat genom att vissa infiltrationsrör hade strypts helt eller delvis.



Figur 2:15. Antagen utbredning av sänkhålet i sektion (efter Lindgren, 1991).

Under ungefär en vecka i mitten av december var infiltrationen avstängd i både Norra och Stora schaktgroparna. Anledningarna till det var att stagen till det undre hammarbandet skulle sättas, att injektering skulle utföras och att grundvattenströmningen utan infiltration skulle undersökas (Lindgren, 1991). Fram till den 15 december uppmättes sättningar på 38-72 mm. En mur mellan ett förråd och ett bostadshus hade satt sig och lutade synligt mot schaktgropen. Fler sättningsmätare placerades då ut. I mitten av januari 1991 låg infiltrationsflödet på 3 l/min och infiltrationstrycket på 22 kPa. Läckvattenflödet var ca 30 l/min, men grundvattennivån var ganska stabil och hög; ca +24.5 m. Sättningshastigheten var avtagande och de sättningar som hade inträffat berodde på urspolning av kanaler i jorden. Kort därefter sjönk grundvattennivån kraftigt kring Norra och Stora schaktgroparna. I Stora gropen påbörjades samtidigt schaktning till berg och gjutning av tätklack.

I slutet av januari gjorde Eresund (1991) en noggrann sättningsberäkning. Han misstänkte stråk med trasigt och uppsprucket ytberg som korsade sponten i både Norra och Stora schaktgroparna. För Norra gropen föreslogs ökad infiltration samt injektering runt gropen. För Stora gropen föreslogs injektering genom en breddad tätbalk efter varje etapp med trasigt ytberg. Efterhand stängdes flera infiltrationsrör runt Stora schaktgropen av tills endast två rör var öppna. När jordschakten var färdig, öppnades nästan alla infiltrationsrör igen och flödet ökades till 33 l/min. Berget injekterades och tätklacken var nästan färdiggjuten vilket medförde en kraftig höjning av grundvattennivån.

I slutet av februari 1991 sjönk grundvattennivån i två av observationsrören, något som tydligen berodde på kanalbildning. Tecken som tydde på detta var att infiltrationsflödet ökade spontant, samtidigt som nivån var konstant eller sänktes (Lindgren, 1991). Infiltrationen stängdes temporärt av för att senare startas igen med ett lägre flöde. Grundvattennivån höjdes snart och stabiliserades kring +24 m. Största sättningarna konstaterades i området där urspolningen hade ägt rum och uppgick till 66 respektive 153 mm. När grundvattennivån hade stigit över +24 m stängdes infiltrationen vid Stora gropan av i april 1991. Infiltrationen hade då pågått i drygt fyra månader och på det hela taget fungerat enligt planerna. De resulterande sättningarna var inte alltför stora och grundvattennivån hölls efter avslutad infiltration uppe på naturlig väg.

Schaktningen för den Norra gropan påbörjades 24 oktober 1990 och då låg grundvattennivån på +24 m. Infiltrationen startade 12 november med ett flöde på 70 l/min i två infiltrationsrör. I början av december hade grundvattennivån stabiliserats vilket följdes av en höjning beroende på att ingen pumpning utfördes i gropan (Lindgren, 1991). Den 10 december upptäcktes att grundvattennivåerna i observationsrören vid Norra gropan hade sjunkit kraftigt. Orsaken kunde inte fastställas och gropan vattenfylldes varpå infiltrationen avbröts tills vidare. Ungefär en månad senare tömdes gropan på vatten eftersom schaktningen till berg skulle påbörjas. Grundvattennivån sjönk då kraftigt och sättningar utbildades i takt med grundvattensänkningen (Eresund, 1991).

Grundvattennivån låg under bergytan då bergschakten var färdig och betongklack gjutits intill sponten. Ytberget var ganska uppsprucket i vissa stråk och delar av berget tätades med betong. Infiltrationen låg på 30 l/min, men Eresund (1991) rekommenderade en ökning av flödet till 60 l/min samt en injekteringsskärm runt gropan. I början av februari steg grundvattennivån kraftigt samtidigt som sättningarna var små och avtagande. Injekteringen i berget medförde en minskning av läckvattenflödet. Infiltrationsflödet kunde minskas efter hand som grundvattennivån stabiliserades, vilket skedde mycket snabbt efter att de tätande åtgärderna utförts. Sättningarna på knappt 20 mm vid Norra gropan uppkom framför allt i januari, i samband med den kraftiga grundvattensänkningen vid schakt ner till berg (Lindgren, 1991). Infiltrationsflödet minskades till 7 l/min innan avstängningen i april 1991. Den sammanlagda vattenkostnaden (driftkostnaden) för den tillfälliga infiltrationen i Stora och Norra schaktgroparna uppgick till ungefär 35.000 kr, vilket innebär runt 30 kr per rör och dag. Ett infiltrationsrör med Johnsonfilter som drivs ner till friktionsjorden under leran kostade ca 10.000 kr år 1990. Grundvattenobservationsrör ϕ 2" kostade ca 7.000 kr.

Södra schaktgropen låg vid Pilotgatan ca 50 m från Stora schaktgropen. I början av december 1990 installerades ett grundvattenobservationsrör vid gropan för att kontrollera om infiltration skulle behövas även där. Grundvattnet sjönk snart och infiltration från T-banetunneln påbörjades den 10 december (se Exempel 3 under avsnitt 2.3). Infiltrationspunkten låg ca 30 m söder om schaktgropen och flödet var inledningsvis 11.5 l/min. Nivån i grundvattenröret påverkades inte nämnvärt av infiltrationen (Lindgren, 1991). Jordlagret närmast berget bestod av sand. Inläckande vatten kom främst ur bergsprickor. Grundvattennivån höll sig relativt stabil. Inläckningen minskade efter gjutning av tätklack samt injektering. Nivån i

observationsröret steg sedan långsamt. Skanskas grundvattenmätning för gropen avslutades i april 1991, men infiltrationen från tunneln är permanent och noggrann kontroll av grundvattennivån pågår alltjämt (1994).

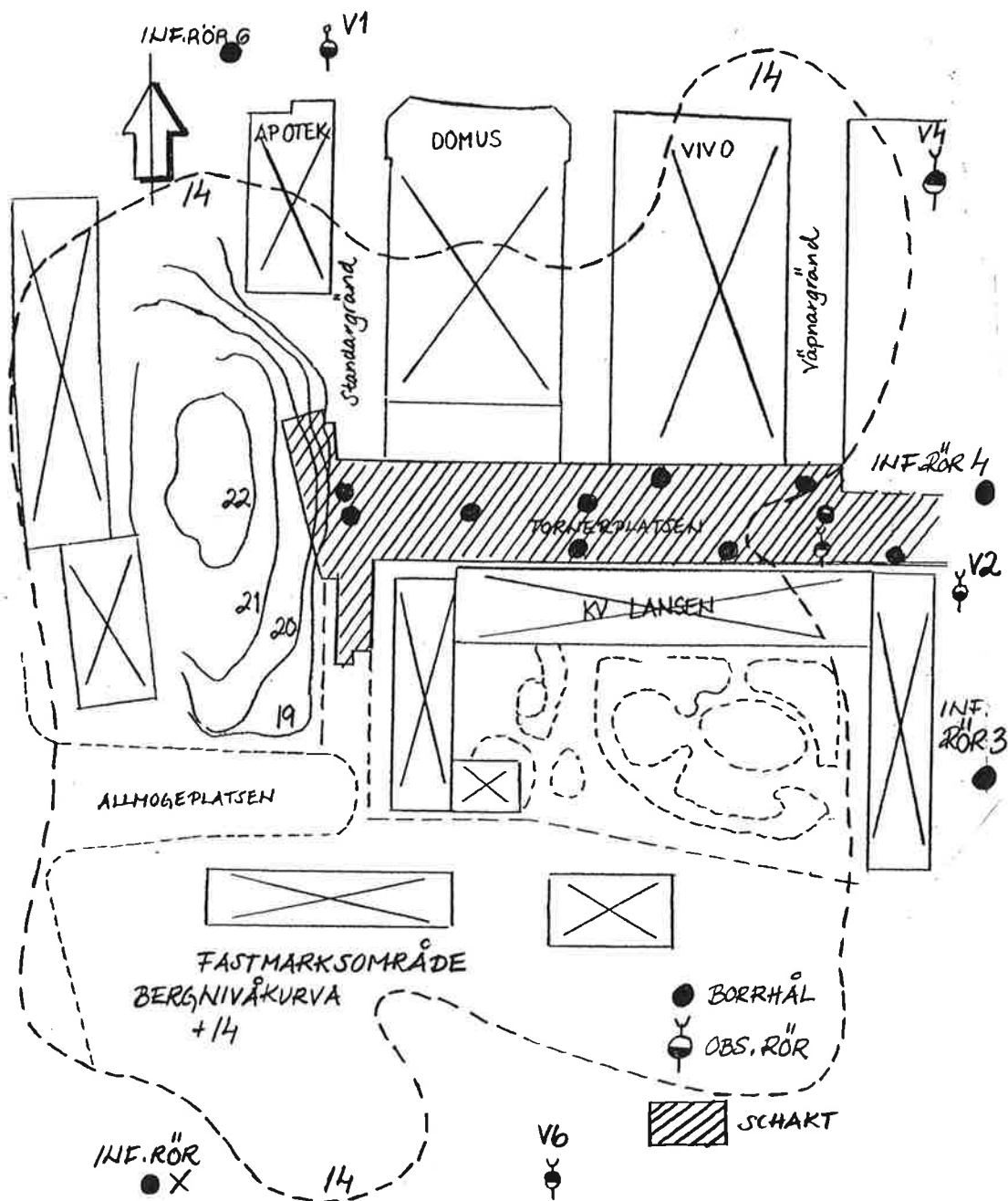
Exempel 7: Jakobsbergs Centrum

Under utbyggnaden av Jakobsbergs Centrum utanför Stockholm 1990 skulle en större bergschakt utföras i samband med tillbyggnad och överglasning av ett öppet torg. Skanska Teknik fick i uppdrag av Skanska Entreprenad att utreda möjligheten att utföra en tät bottenkonstruktion i berg med hjälp av ridåinjektering. En tätridå föreslogs för att minimera grundvattenflödet in till schakten. Inför schaktarbetet framtogs erforderliga infiltrationsbrunnar för att bibehålla grundvattenbalansen under byggskedet (Stille och Slokenbergs, 1990).

Geohydrologiska undersökningar utfördes av VBB VIAK för att kunna bedöma vilken mängd vatten som kunde pumpas ur grunden utan att grundvattenbalansen i området rubbades. Dessutom bedömdes erforderlig täthet på berget för att mängden inläckande vatten till grunden inte skulle överstiga ovan nämnda mängd. Utförda undersökningar inbegrep besiktning av avloppstunnel, utsättning av observationsrör, grundvattennivåmätning och provpumpning. Mätning av grundvattenytans läge utfördes i 7 st observationsrör i närheten av schakten samt i 7 st bergborrade hål i planerat schaktområde. Kontrollprogrammet omfattade enligt Slokenbergs (1990) följande aktiviteter; kontinuerlig mätning av grundvattenytans nivå, besiktningar av berget samt observationer av injekteringsresultat. Infiltration av vatten skulle påbörjas när grundvattenytan sjunkit under en bedömd tillåten lägsta nivå.

Förundersökningarna inför schaktarbetena innefattade geologiska ytstudier, tunnelkartering, jord- och bergsonderingar och vattentrycksmätningar. Bergarten bestod av gnejs med några dominerande sprickriktningar och två sprickzoner. Jordlagerföljden i området utgjordes av 5-10 m lera underlagrad av morän på berg. Leran var lös under 1-3 m torrskorpa. VBB VIAK:s och Skanskas bedömning av bergförhållandena var att om berget tätades med tätridåer runt schakten som även botteninjekterades till ett djup av 6-10 m under botten och väggarna tätades med tätskikt (Volclay), skulle tillräcklig täthet uppnås för att förhindra en grundvattensänkning under +13.5 m.

Utbyggnaden innebar att en lastgata och en källarvåning byggdes. Omkring 35.000 m³ berg sprängdes bort för källarvåningen. Provpumpning utfördes i två borrhål inom den planerade schakten. Den östra delen av berggrunden befanns vara mer vattengenomsläpplig än den västra, eftersom flödet i det östra borrhålet var större och grundvattennivån mer avsänkt. VBB VIAK bedömde att grundvattennivån kunde avsänkas ca 0.3-0.7 m till +13.5 m utan risk för sättningar. Den planerade bergschakten skulle gå ca 1.5 m under ursprunglig grundvattennivå. Lastgatan planerades att förläggas i berg med en lägsta nivå ca 1.5 m under grundvattennivån som rådde 1990. Grundvattenuttaget före utbyggnaden berodde förmodligen på husdräneringar och läckage till en avloppstunnel. Figur 2:16 visar schaktens utbredning och borrhålens placering i området.



Figur 2:16. Schaktens utbredning och borrhålens placering i Jakobsbergs Centrum (efter VBB VIAK).

Före utbyggnaden var storleken på grundvattenbildningen och läckaget för området lika stora och stabila förhållanden rådde (Djurberg, 1990b). Grundvattenflödet till avloppstunneln beräknades ligga mellan 5 och 100 l/min beroende på vilken transmissivitet som användes vid beräkningen. Enligt Djurberg (1990b) skulle en avsänkning av grundvattnet i lastgatan utan tätande åtgärder resultera i en allmän grundvattensänkning i området. En allmän sänkning av grundvattennivån kunde medföra risk för sättningsskador i området (Djurberg, 1990a), varför tätning av berget med cementinjektering vidtogs. För att följa upp förändringar i grundvattennivån och för att kontrollera hur bergets hydrauliska egenskaper förändras efter injektering

En viss grundvatteninläckning antogs kunna äga rum från ännu icke tätade schaktväggar och sprickzoner och därför anmodades beredskap för infiltration. Till en början skulle två hål borrar utanför östra delen av schakten eftersom berget var mer genomsläppligt där än i västra delen. Infiltrationsbrunnarna togs i bruk när grundvattenytan sjunkit under den kritiska nivån +13.5 m. Grundvattenytan i observationsrören mättes en gång varje vecka under schaktarbetet och därefter en gång varje månad tills byggnadsarbetena var avslutade. För att uppskatta vilken täthet som erhållits vid injekteringen utfördes provpumpning i borrhål före och efter injektering (Stille och Slokenbergs, 1990). Engvall (1989) hade rekommenderat att källaren skulle utföras antingen som en vattentät konstruktion eller med en vattentät skärm i berget. Båda åtgärderna genomfördes slutligen för hela utbyggnaden (Slokenbergs, 1994; muntl. uppg.). Under den fortsatta byggnadsperioden genomförde VBB VIAK flera korta provpumpningar i undersökningshål i lastgatan. Provpumpningarna gav brunnskapaciteter på ca 1-6 l/min medan i vissa fall brunnarna var helt torra.

The figure consists of two vertically stacked plots sharing a common x-axis representing time from May 1990 to April 1992.

Top Plot: Nivå (m ö h)
 The y-axis represents water level in meters above sea level, ranging from 13 to 16. The plot shows multiple time series for different gauging stations: G22 (topmost, relatively stable around 15.6 m), V4 (starting at 15.1 m, dropping to 14.1 m), GW7, V6, GW2, GW3, GW4, J1, V1, GW5, and GW6 (bottommost, fluctuating between 13 and 14.5 m). The lines show significant fluctuations, particularly in the lower stations.

Bottom Plot: Flöde (l/min)
 The y-axis represents discharge in liters per minute, ranging from 0 to 300. The plot is a bar chart showing the discharge over time. The discharge starts around 130 l/min in May 1990, peaks at approximately 250 l/min in November 1990, remains high (around 200-250 l/min) until June 1991, and then gradually decreases to near zero by April 1992.

24

Under schaktningens fortskridande installerades ytterligare infiltrationsrör eftersom grundvattennivån inte var tillräckligt hög. Infiltrationen ökades i etapper till 114 l/min. Strax innan infiltrationen stängdes av i september 1990 för provpumpning, låg grundvattennivån över erforderlig nivå i samtliga rör. Detta berodde förmodligen på större nederbörd än normalt. Grundvattenytan sjönk sedan infiltrationen avbrutits. När infiltrationen återupptogs med ökad intensitet, krävdes det uppåt 225 l/min för att höja grundvattennivån. Ytterligare tre rör installerades också. Från november 1990 kunde infiltrationen sänkas till ca 160 l/min, men ökades i december till 250 l/min. Efter en kraftig höjning till ca 290 l/min i februari 1991, sänktes infiltrationsflödet stegvis från april 1991 till avstängningen i oktober. Strax innan infiltrationen stängdes av låg flödet på ca 5 l/min. Totalt infiltrerades ungefär 104.000 m³ vatten under ett drygt år. Enbart vattenkostnaden för den mängden är ca 440.000 kr i 1994 års penningvärde. Som mest var tio rör i drift samtidigt.

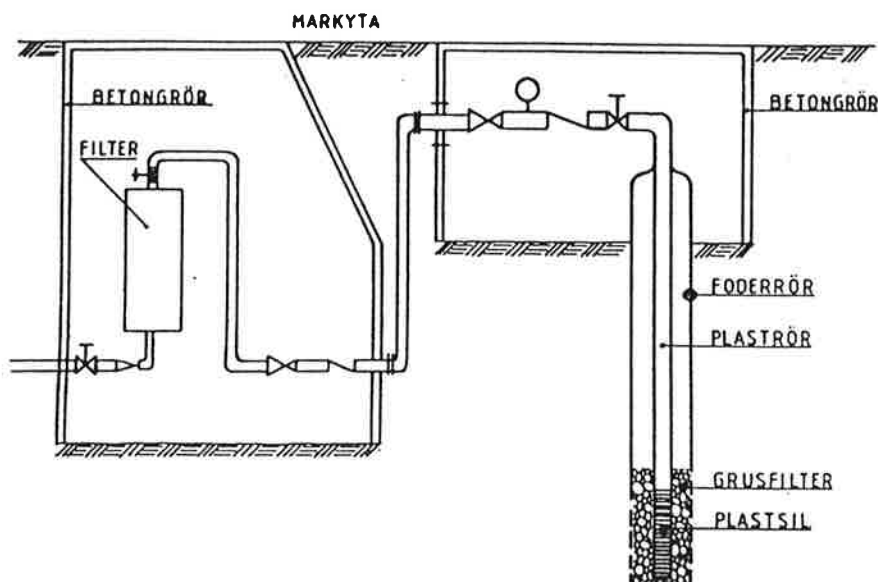
Mätningar av grundvattennivån gjordes regelbundet under åren 1990 och 1991. Grundvattenstånden fluktuerade rätt kraftigt, värst var det i augusti-oktober 1990. Först i september 1991 stabiliserades nivåerna och började då långsamt stiga. Av mätningarna framgår att grundvattenrören kunde delas in i tre grupper med hänsyn till grundvattennivåerna (Djurberg, 1992). Den första gruppen bestod av endast ett rör som var beläget nordväst om området. Grundvattennivån verkade inte påverkas av byggnadsarbetena. Någon påverkan för de rör som tillhörde den andra gruppen, belägen söder om området, kunde inte heller konstateras. För majoriteten av observationsrör sjönk dock grundvattennivån ca 1.5 m jämfört med de två andra grupperna. I slutet av 1991 befann sig grundvattennivån i rören tillhörande grupp 3 ca 0.5-0.8 m under nivån för grupp 2 (Djurberg, 1992). Då hade infiltrationen avslutats. Enligt Djurberg (1992) skulle grundvattensänkningen ha uppgått till ca 1.5 m inom området utan den omfattande cementinjekteringen. Resultatet blev istället en förändring av storleksordningen två decimeter.

Exempel 8: Toremosssegatan, Göteborg

En tunnelbyggnation med Göteborgsregionens Ryaverk som huvudman under åren 1969-70 orsakade grundvattensänkningar och därmed marksättningar i ett bostadsområde på Hisingen i Göteborg. Observationer av markrörelser startade hösten 1971. Sättningarna uppgick före infiltrationsstart till 10-12 cm, med störst sättningshastighet under sensommar och höst (Andersson och Berntson, 1979). Efter försök med infiltration i januari 1974 gjordes infiltrationen permanent. Jordlagerföljden i området omfattar torv och gyttjiga jordarter ovanpå fyllnadsmassor. Därefter följer ca 10 m lera underlagrad av siltskiktad lera och friktionslager. Den totala mäktigheten uppgår till högst 20 m.

I december 1973 anlades tre brunnar (A, B och C). De bestod av ϕ 50 mm rör i icke rostfritt stål med galvaniserad spets med kontinuerliga slitsar. De tre brunnarna hade gemensam reduceringsventil, manometer och flödesmätare. Rören var nedspolade och rensades med tryckluft eller vatten. Den fjärde brunnen, brunn D, anlades i juni 1977, se Figur 2:18. Den konstruerades som en grusfilterbrunn ϕ 113 mm med tvättat filtergrus. Ett tryckfilter som fungerade som en jonbytare installerades för att minska risken för

igensättning på grund av suspenderat material i infiltrationsvattnet. Rören var av plast och foderröret spolades på plats. Vid markytan placerades ett betongrör ϕ 1000 mm med reduceringsventil, manometer och flödesmätare. Rensning utfördes på samma sätt som för de andra tre brunnarna. Samtliga brunnar konstruerades med slutna system för infiltrationen, dvs helt utan avluftning. Trycket från vattenledningsnätet ansågs ge erforderligt infiltrationstryck.



Figur 2:18. Utförande av infiltrationsbrunn D (VBB VIAK).

Brunn A uppvisade i januari 1974 ett infiltrationsflöde på 10-13 l/min. I juli 1974 uppstod erosionsfenomenet piping och en ny brunn anlades. Den nya brunnen hade till en början ett flöde på 5 l/min. Brunn B hade i juli 1974 ett flöde på 3-5 l/min. I februari 1974 hade brunn C ett flöde på 10 l/min, som på en månad sjönk till 7 l/min. Piping uppstod i april 1974, men brunnen återställdes och infiltrerade därefter 10-15 l/min. Brunnarna kan sägas ha gått i permanent drift från januari 1975 (Andersson och Berntson, 1979). Infiltrationsflödena visade under 1976-77 en nedåtgående trend, från 12 l/min till 3 l/min. Brunn A stängdes av i juni 1977 och brunnarna B och C i februari 1977. Brunn D startade 1977 med ett infiltrationsflöde på 5 l/min och ett infiltrationstryck på 50 kPa. Flödet minskade sedan till 3.5 l/min vid konstant tryck. Rensning gav endast en tillfälligt förbättrande effekt och sedan 1980 är all infiltration i Toremosseområdet avstängd (Oscarsson, 1994; muntl. uppg.).

Infiltrationen stängdes av för att den inte fungerade tillfredsställande; knappast något vatten infiltrerades strax före avstängningen och följdaktligen skedde ingen höjning av grundvattennivån (Oscarsson, 1994; muntl. uppg.). Under 1974 hade grundvattennivåerna och portrycken stabiliserats, men inte höjts till ursprungliga nivåer och sättningarna hade inte avstannat. I lerlagret konstaterades dock en minskad sättningshastighet. Influensområdet hade en radiell utbredning på 75-100 m (Andersson och Berntson, 1979). Provpumpningar i bergborrhål utfördes 1979 och i början av 1980 genomförde BERGAB en bergteknisk utredning av området. BERGAB föreslog en tätande injekteringsskärm i berget, men den utfördes aldrig. Grundvattennivån är alltjämt låg (1994) och sättningar utbildas fortfarande, om än i långsam takt (Oscarsson, 1994; muntl. uppg.).

Förändringar i grundvattennivåer och porttryck inom influensområdet var oregelbundna på grund av brunnarnas funktion med bl a piping och sjunkande infiltrationsflöden. En bidragande orsak var troligen att läckaget till tunnlarna under långa perioder var större än infiltrerade vattenmängder. De troliga anledningarna till driftsproblemen var ett flertal (Andersson och Berntson, 1979). De största problemen berodde på för högt infiltrationstryck vilket medförde att infiltrerat vatten strömmade uppåt längs brunnrören (piping). Syremättat och järnrikt infiltrationsvatten bidrog förmodligen till igensättning av brunnarna. Filterspetsen hos brunn A kan ha varit hårt belastad eftersom den bara stod med några decimeter i permeabelt material.

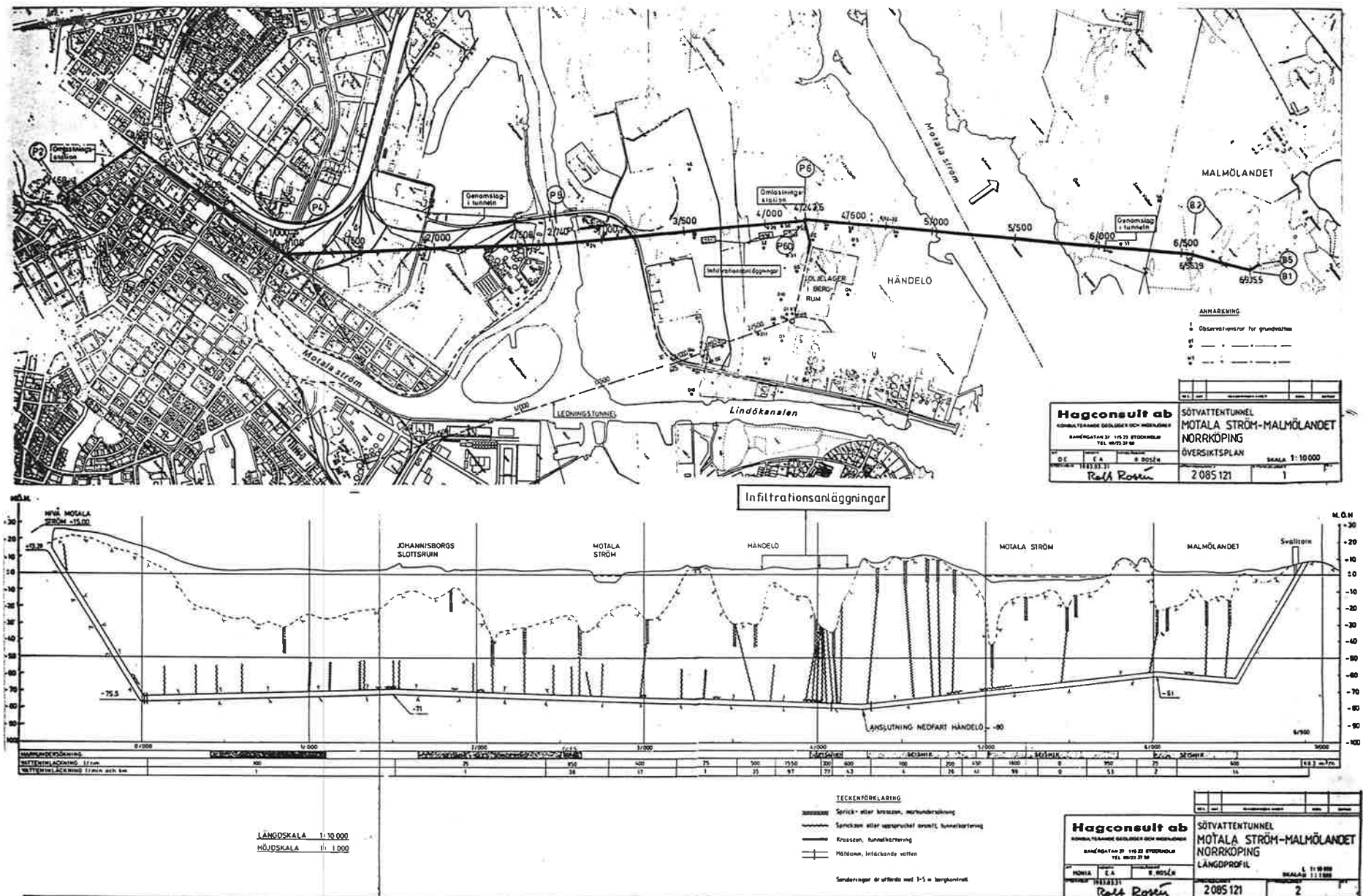
Exempel 9: Norrköping

Under april till november 1976 utsprängde Holmens Bruk en tunnel från Motala Ström till Malmölandet inom Norrköpings kommun för att försörja ett nytt pappersbruk, Braviken, med sötvatten. Tunneln har en längd av 7.5 km och en area på 7.5 m². Vattnet transporteras med självfall och vattenövertrycket under drift är 100-150 kPa. Figur 2:19 visar översiktsplan och längdprofil över sötvattenstunneln. Före utsprängningen av tunneln hade ett 60-tal grundvattenobservationsrör utplacerats och de kontrollerades sedan regelbundet fram till februari 1979.

Enligt vattendomen fick grundvattenytan inte avsänkas genom tunnelarbetena. Detta skedde ändå vid passage genom några regionala störningszoner i berggrunden vid Händelö och Malmölandet. Vid en av störningszonerna uppskattades inläckningen till 80 l/min. Efter omfattande injektering minskade inläckningen till 50 l/min. Grundvattensänkningen uppgick vid Händelö till ca 4 m (Rosén och Almling, 1984). Då beslöts att prova djupinfiltration i jordlagren för att tunneldrivningen skulle kunna fortsätta samtidigt som grundvattnet inte fick avsänkas ytterligare. På Händelö ligger förutom industrier en känslig oljelagringsanläggning. Malmölandet utgörs främst av jordbruksmark och grundvattenavsänkningen på 2.5 m bedömdes inte få så stor negativ inverkan. Därför utfördes ingen infiltration där utan endast tätning av tunneln genom cementinjektering. Tre stycken infiltrationsanläggningar utfördes vid Händelö, vardera med två eller tre rör anslutna till kommunens ledningsnät. Jordlagerföljden vid infiltrationsplatsen bestod från markytan och nedåt av matjord på 1 m torrskorpelera underlagrad av 20 m lera på ett 10-15 m tjockt moränlager. Lokalt påträffades även grusskikt upp till 5 m i mäktighet.

Infiltrationen startade i april 1976. Den pågick under nio månader och avslutades ca två veckor innan tunneln vattenfylldes i februari 1977. Sammanlagt åtta rör placerades ut i de tre grupperna. Till en början monterades rören i nedborrade 3" foderrör som sedan drogs upp. Detta förfarande störde dessvärre leran så att infiltrationsvattnet följde rörens utsidor upp till markytan (Rosén och Almling, 1984). Rören trycktes då i stället ner genom leran med tung bergborrtrusning (Roc 601) till friktionsjorden utan förborring och på så sätt uppstod inget läckage. Varje infiltrationsrör bestod av 2" galvaniserade stålrör där infiltrationsspetsarna var utförda med kontinuerliga slitsar på en längd av ca 1 m. Rörlängderna i grupp 1 och 2 var ca 20 m och i grupp 3 ca 15 m.

Figur 2:19. Översiktsplan och längdprofil över sötvattentunneln (Rosén och Almling, 1984).



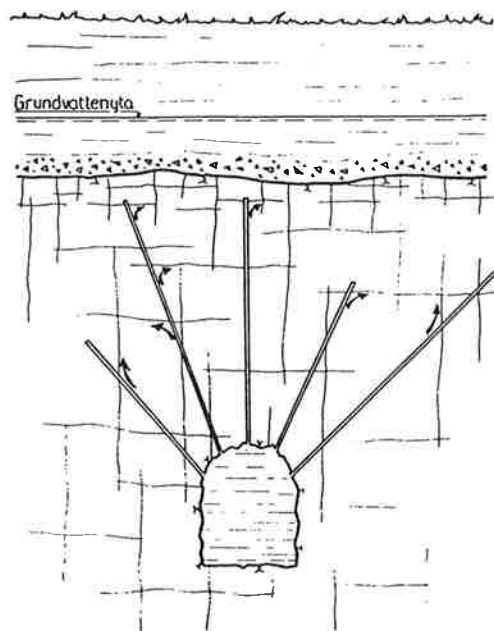
De försågs med vattenmätare, tryckgivare och regleringsventil och anslöts som ett slutet system via PVC-rör till kommunens ledningsnät. Före infiltrationsstart rensades rören genom spolning med tryckluft innan acceptabelt flöde kunde erhållas.

Varje rör klarade vid starten 40 l/min vilket indikerade att de blivit rätt placerade. Grupp 1 och 2 uppvisade därefter flöden på 20 l/min per rör under nästan hela infiltrationsperioden. Infiltrationstrycket låg inledningsvis på 100 kPa och ökade till 150 kPa mot slutet av infiltrationsperioden. Infiltrationen i grupp 3 stabiliserades efter inledande svårigheter vid 40 l/min. Trycket låg till en början mellan 10 och 20 kPa som mot slutet ökades till 50 kPa samtidigt som infiltrationsflödet minskade. Infiltrationen i grupp 3 utfördes i mer permeabla jordskikt jämfört med infiltrationen i grupp 1 och 2. Den höga kapaciteten i kombination med lågt tryck för grupp 3 kan bero på uppspolning av kanaler i jordlagren samt kommunikering mellan permeabla friktionsjordlager (Rosén och Almling, 1984). Under de nio månader som infiltrationen pågick infiltrerades 200 l/min eller totalt 80 000 m³. Av dessa mängder var det omkring 50 l/min som läckte in i tunneln.

Mätningar av infiltrerade vattenmängder, infiltrationstryck och grundvattennivå samt geologiska undersökningar utfördes av Hagconsult AB. Tillsyn och kontroll utfördes en gång varje vecka. Någon igensättning kunde inte konstateras under hela driftsperioden, förmodligen delvis beroende på att infiltrationen pågick under relativt kort tid (Andersson och Berntson, 1979). Inom ca en månad efter starten av infiltrationsanläggningarna höjdes grundvattennivån i området till nära nog de nivåer som normalt rådde innan tunnelutsprängningen påbörjades (Rosén och Almling, 1984). Efter avstängningen nio månader senare sjönk grundvattennivån ca två meter. Vattenytan pejldes då även i infiltrationsrören varje dag i en månad för att noggrant studera grundvattenbalansen i samband med vattenfyllning av tunneln. När tunneln vattenfylldes med ett övertryck på 100-150 kPa steg grundvattennivån igen och läckaget in i tunneln upphörde. Instängd luft läckte dock ur tunneln under åtta månader.

2.2 Infiltrationstunnel

En metod för att upprätthålla grundvattennivån är att infiltrera vatten från en helt vattenfylld tunnel. Infiltrationen verkar då inte bara inom själva infiltrationsområdet utan inom ett betydligt större område (Ejerholm et al., 1982). Speciellt utmed krosszoner sträcker sig infiltrationen långt från infiltrationszonen. Tunneln kan vara utsprängd i anslutning till en befintlig tunnel eller helt fristående. I det förra fallet måste infiltrationstunneln isoleras från huvudtunneln. Det görs vanligen med en tjock, vattentät betongvägg i vilken en inspektionslucka monteras. I båda fallen borrar hål ut i berget upp till det sprickrika ytliga berget eller friktionsjordlagret. Det finns också exempel på tunnlar där sprickorna i berget utnyttjas direkt, utan borrhål. Hålen är ofta starkt vattenförande och måste förses med backventiler. Principutförandet av systemet framgår av Figur 2:20.



Figur 2:20. Principutförande av en infiltrationstunnel (Morfeldt, 1979).

Tunnel- och borrhålssystemet står i hydraulisk förbindelse med en påfyllningsbrunn vid markytan. Hela systemet vattenfylls och trycknivån i systemet regleras av nivåvippor i brunnen. Vattnet tillförs från dricksvattnet och leds via borrhålen ut i bergets sprickor och därmed vidare upp i friktionsjorden, eller direkt upp till friktionsjorden. Systemet är i det närmaste självrensande på så sätt att det sker en sedimentering av tyngre partiklar på tunnelns botten, medan flytande föroreningar stannar kvar i påfyllnadsbrunnen. Risker för igensättning är mindre vid en infiltrationstunnel än vid annan djupinfiltration av följande orsaker (Ejerholm et al., 1982):

- infiltrationsarean (borrhål, sprickor och tunnel) är betydligt större än vid enstaka brunnar eller borrhål
- vattenöverttrycket är obetydligt
- eventuell förorening sedimenterar

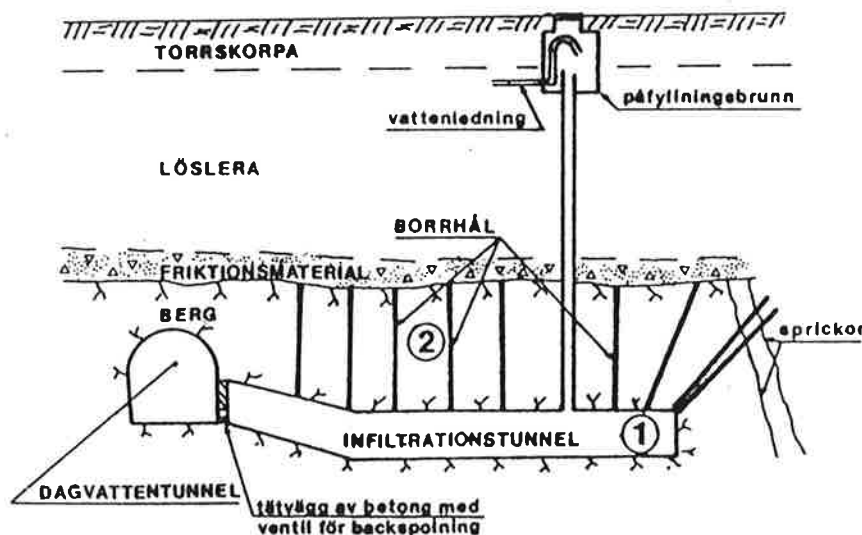
Skulle igensättning ändå inträffa finns det ofta möjlighet att tillfälligt kraftigt sänka trycket i tunneln genom att öppna en ventil i skiljeväggen i de fall tunneln ansluter till en icke vattenfylld tunnel och på så vis åstadkomma en bakspolning. Infiltrationstunnlar har anlagts i Stockholmsområdet, bl a i Kista och i Solna. I Enskede har en befintlig dagvattentunnel konstruerats om för att även tjäna som djupinfiltrationsanläggning.

Exempel 1: Kista, Stockholm

Ett väldokumenterat exempel på en infiltrationstunnel är den som ligger i Kista, norr om Stockholm. I samband med utbyggnaden av Kista Centrum i mitten av 1970-talet hade stora grundvattensänkningar med åtföljande marksättningar prognostiserats. Att täta de utsprängda tunnlar fullständigt var ur ekonomisk och teknisk synpunkt nästintill omöjligt. Avsikten med infiltrationstunneln var i första hand att möjliggöra en

säkrare och mer ekonomisk grundvattenprognos, dvs den skulle ge möjlighet att aktivt påverka grundvattennivån (Spångberg, 1982). Tunneln började byggas 1976. Ungefär ett halvår före tunnelbygget sattes tio mätstationer ut för mätning av grundvattennivån, porttryck och sättningar. Sättningarna uppgick 1982 till totalt 20 mm. Byggekostnaden i 1977 års penningvärde var 750.000 kr och driftkostnaden beräknades bli 10.500 kr per år (Ejerholm et al., 1977).

Infiltrationsanläggningen som visas i Figur 2:21 består av en ca 250 m lång bergtunnel i anslutning till en avloppstunnel 35 m under markytan från vilken 39 långa hål har borrats i berget i olika riktningar. Infiltrationstunneln är avskild från avloppstunneln genom en 90 cm tjock betongvägg, som är försedd med lucka och ventil för tömning. Tunnelns tvärsnittsarea är 9 m² och den löper parallellt med avloppstunneln. Borrhålerna projekterades solfjäderformigt i olika sektioner med ett inbördes avstånd av 20 m. Borrhållängden varierar mellan 20 och 50 m. Hålen borrades genom berget ut till ovanliggande friktionsjordlager. Borrhålerna försågs med backventiler försedda med filter omedelbart efter borrning eftersom de flesta hål var starkt vattenförande. Tillförsel av infiltrationsvatten görs genom en speciell brunn som består av ett ϕ 157 mm foderrör nedborrat till tunneln. Vid markytan avslutas brunnen av ett betongrör ϕ 2500 mm. Brunnen innehåller nivåstyrda ventiler, larmanordning och bräddavlopp. Vattenmätare för kontinuerlig kontroll av kapaciteten saknades till en början, men installerades senare (Ejerholm et al., 1977).



Figur 2:21. Infiltrationstunneln i Kista (Spångberg, 1982).

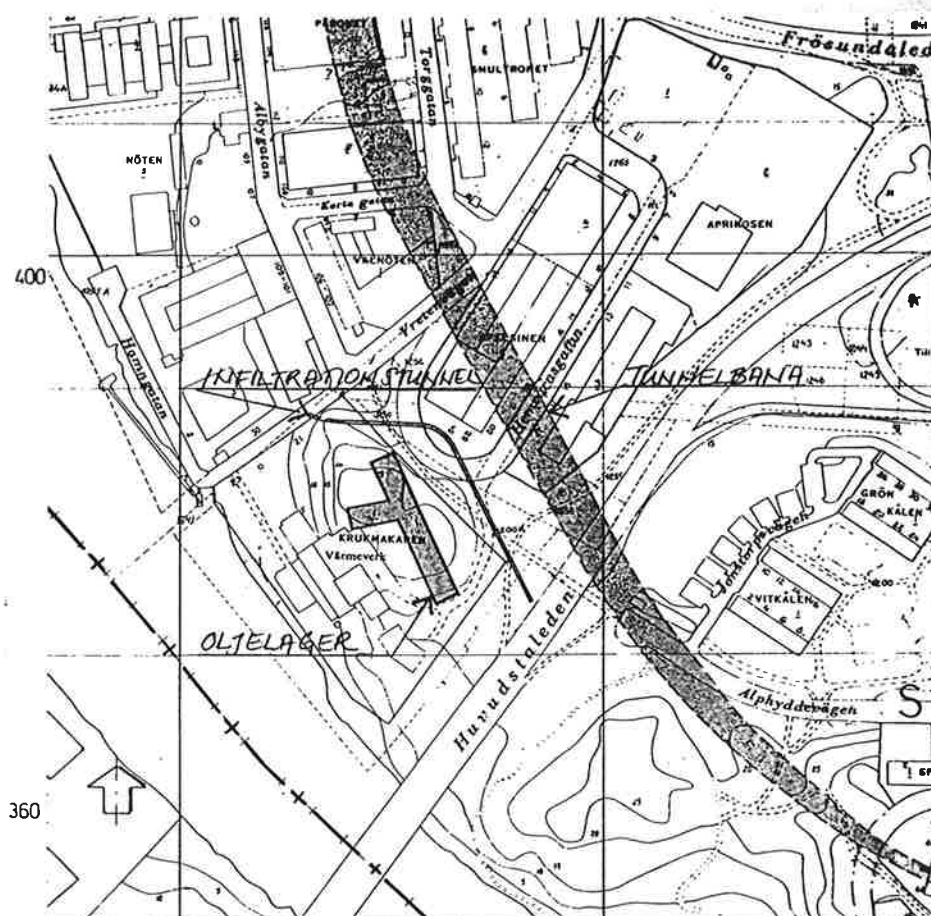
I månadsskiftet september-oktober 1976 togs tunneln i drift genom att borrhålerna öppnades och tunneln vattenfylldes med inströmmande grundvatten. Efter två dygn var tunneln fylld. Effekten av den kraftiga momentana grundvattensänkningen kunde därvid studeras (normalt fylls en tunnel genom påfyllnadsbrunnar). Därefter fylldes vatten i brunnen till nivån +8.30. Grundvattennivån i friktionsjordlagret, som sjunkit maximalt 13 m, steg nu snabbt. Redan efter ett dygn hade grundvattennivån i stort sett stigit till nivån i brunnen. Under 1976-80 utfördes en rad funktionsstudier. Sambandet grundvattennivå i friktionsjordlagret under lera, porttryck på olika nivåer i leran samt sättningar i olika punkter studerades (Ejerholm et al., 1982). Undersökningar av

omfattningen av eventuella igensättningar och inom vilken area infiltrationen hade verkat utfördes också. Maximala grundvattennivåsänkningar var 3-5.5 m i friktionsjordlagret. Efter 6 veckor konstaterades i observationsrören att grundvattennivån återstälts i ett område av storleken 300 000 m² (Morfeldt, 1981). Grundvattennivåerna påverkades inom ett område på upp till 350 m från tunneln med maximal höjning på ca 4 m (Andersson och Berntson, 1979; Ejerholm et al., 1977). Speciellt utmed krosszonerna spred sig stigningen långt ifrån tunneln. Sättningarna avstannade under 1977.

Någon igensättning tycks inte ha skett sedan anläggningen togs i bruk. Detta beror förmodligen bl a på att infiltrationsflödet i varje borrhål är litet, att filterarean som erhålls genom bergets sprickor närmast friktionsjorden är stor och att vattenkvaliteten är mycket god. Dessutom är skillnaden mellan vattennivå i brunn och grundvattennivå i grundvattenrören liten. Infiltrationsmängden varierade under början av 1990-talet från 370 l/min 1990 till 5 l/min under hösten 1991 enligt uppgifter från Stockholm Vatten. Vanligen har infiltrationen varit större under sommarhalvåret än under vinterhalvåret, förmodligen beroende på skillnad i nederbörd. Under de första månaderna av 1994 låg infiltrationsflödet på 11 l/min, vilket medför en årlig vattenkostnad av ca 25.000 kr. Enda tillsynen som behövts är kontroll av vattentillförseln i påfyllnadsbrunnen samt kontroll av brunnens funktion genom mätningar. Magasinsvolymen i påfyllnadsbrunnen mellan tillslag och frånslag har varit för liten vilket har medfört att antalet tillslag har varit för stort och att nivåvipporna skadats genom den kraftiga vattenströmningen vid fyllning (Ejerholm et al., 1982). En tryckdosa installerades men fungerade inte problemfritt varför vattentillförseln nu regleras med nivåflottör vilket ger ett jämnare flöde. Med rätt storlek på regleringsbrunnen och rätt reglerutrustning är driftsproblemen små. Frånsett vattentillförseln har tunneln fungerat bra och kräver ringa tillsyn.

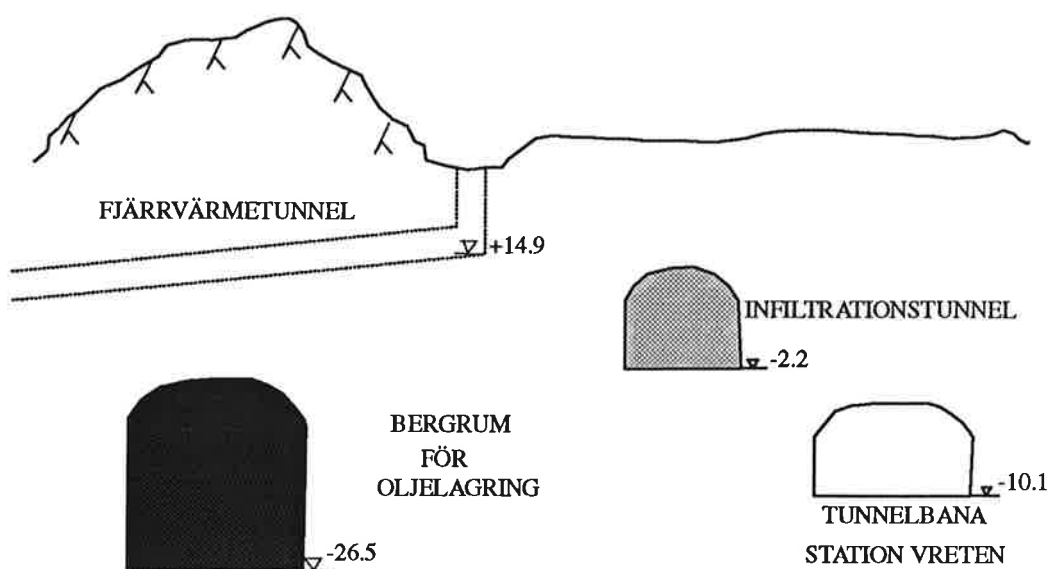
Exempel 2: Vreten, Solna

I slutet av 1970-talet skulle en ny tunnelbanesträckning byggas från Västra Skogen i Solna till Rissne i Sundbyberg. I närheten av station Vreten ligger ett bergrum för oljelagring. T-banans avstånd till oljelagret beräknades bli ca 80 m. Tunneldragningen var extra känslig på grund av bebyggda lerområden där grundvattensänkning redan skett samt på grund av oljelagringsanläggningen i berget, som kräver skyddande grundvattentryck i bergsprickorna för sin funktion (Morfeldt och Söderström, 1980). En grundvattensänkning skulle kunna få till följd att oljan vandrar ut i berget och förorenar grundvattnet, men vatteninläckningen till oljelagret får heller inte öka. Grundvattennivån i berget intill oljelagret får inte sänkas under uppfyllningsnivån som är maximalt -5 m. T-banetunnlarna och station Vreten skulle förläggas på nivån -10 m vilket riskerade att sänka grundvattennivån vid oljelagret. Genom en ständigt vattenfylld infiltrationstunnel mellan oljelagret och T-banan som i Figur 2:22 fås en stabil grundvattennivå och dessutom ett område som är mindre känsligt för framtida ingrepp i berggrunden (Morfeldt et al., 1978).



Figur 2:22. Vy över Vretenområdet (Hagconsult AB).

En bergbyggnadsteknisk och geohydrologisk utredning av området utfördes 1977 av Hagconsult AB på uppdrag av Stockholms Gatukontor, som projekterat tunnelbanan genom Vretenområdet i Solna. Utredningarna visade att tunneln borde placeras ungefär mitt emellan T-banan och oljelagret enligt Figur 2:23.



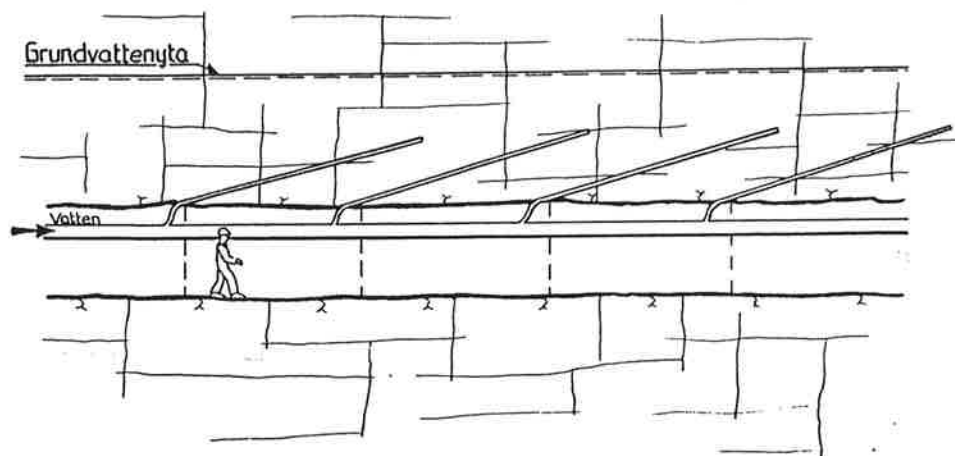
Figur 2:23. Sektion över Vretenområdet (efter Hagconsult AB).

Undersökningarna omfattade (Morfeldt et al., 1978):

- registrering av borrhjunkning, större sprickor, spolvattenförluster och kaxfärg i 7 st ca 40 m djupa borrhål med ϕ 76 mm
- granskning av berget i borrhålen med borrhåls-TV
- mätning av grundvattentrycket på olika nivåer
- sonderingsborrningar för kontroll av bergläget i tunnelsträckningen samt för undersökning av möjligheten att anordna ett påslag för tunneln från Vretenvägen
- pejling av vattenytorna i undersökningshålen under hela fältarbetet
- seismiska undersökningar

En av de väsentligaste frågeställningarna vid projekteringen av infiltrationstunneln var grundvattennivåerna i berggrunden samt grundvattnets kommunikationsvägar (Morfeldt et al., 1978). Berget i området utgörs huvudsakligen av grård finkornig stockholmsgranit med inslag av gnejs och pegmatit. I samband med utsprängningen av oljelagret undersöktes och karterades sprickor och svaghetszoner i väggar och tak. Särskilt markanta är de nästan horisontella svaghetszonerna med en maximal bredd av 1 å 1.5 m (Morfeldt et al., 1978). Berggrunden hade i regel en ganska låg vattengenomsläpplighet, undantaget det delvis sprickiga ytberget och sprickzonerna. Grundvattennivåerna i berget varierade kraftigt från ca +12 m till ca ± 0 m. Oljelagret påverkade grundvattennivån, speciellt i området intill anläggningen. För tunnelbanan under utsprängning föreskrevs kontroll av grundvattennivån runt tunneln, kontroll av inläckande vatten samt kontinuerlig förinjektering med cement för att minska vatteninläckningen till 1-10 l/min och 100 m tunnel.

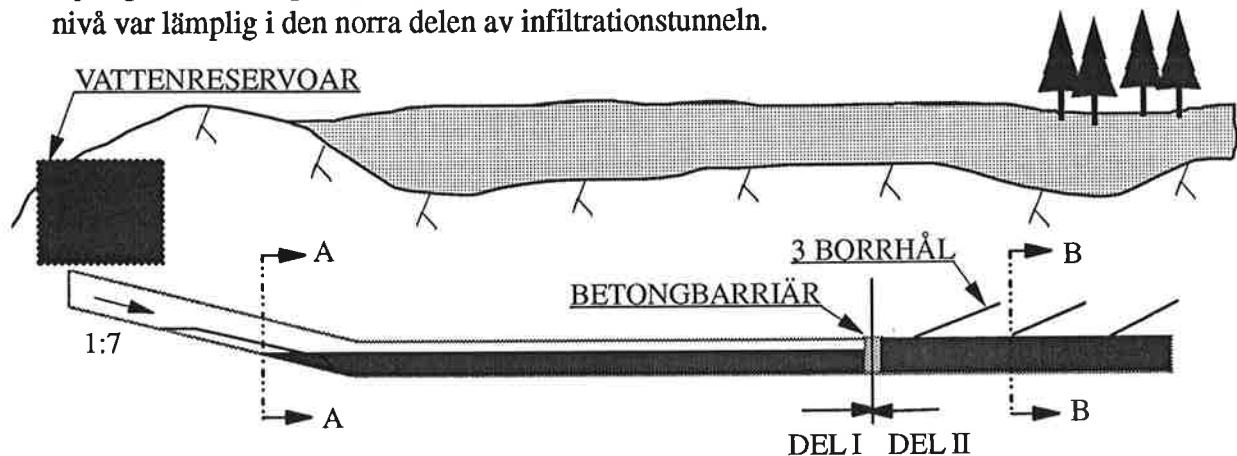
För att utsprängningen av infiltrationstunneln inte skulle skada bebyggelsen genom grundvattensänkning, hölls nivån uppe med hjälp av tillfällig infiltration via rör som borrades in i taket på tunneln enligt Figur 2:24. Detta förfarande medför att det inläckande vattnet kommer från dessa hål och därigenom påverkas inte grundvattennivån. Dränering av berget förhindras och sprickorna i berget förblir vattenfyllda (Janelid, 1970).



Figur 2:24. Förinjektering av vatten vid tunnelutsprängning (Morfeldt, 1979).

Borrhålen för den tillfälliga infiltrationen utfördes med ϕ 64 mm borrhål på ett sådant sätt att de senare kunde utnyttjas för den permanenta infiltrationen. I dessa borrhål monterades injekteringsrör med manschetter ca 1 å 1.5 m innanför bergytan i tunneln. Injekteringsrören i borrhålen kopplades till ett ledningsnät med minimikapacitet 200 l/min och sattes under ett vattentryck maximalt motsvarande vattenledningstrycket. Matarledningen försågs med reduceringsventil och manometer för inställning av önskat vattentryck.

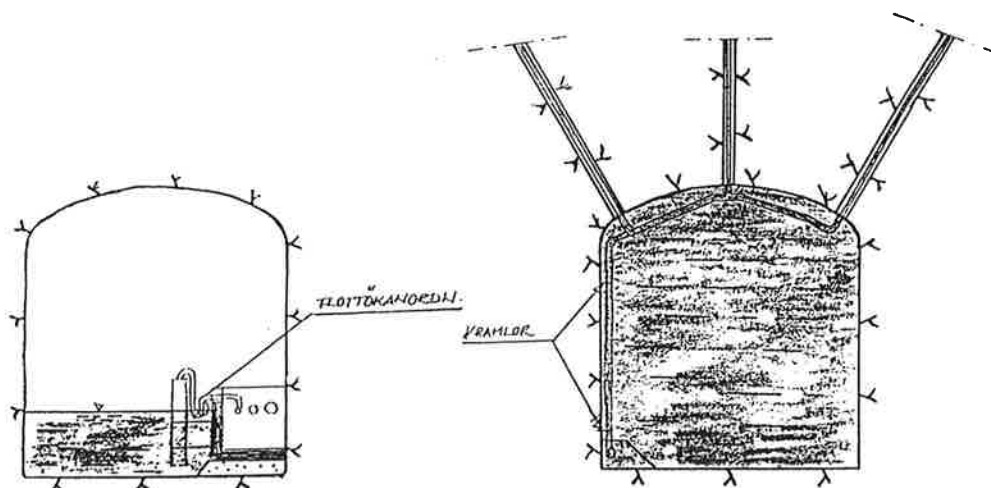
Vretentunneln är 200 m lång och avdelad med en betongvägg enligt Figur 2:25, vilket möjliggör två olika infiltrationstrycknivåer. Skilda infiltrationssystem ansågs lämpliga med tanke på de stora skillnaderna i grundvattennivåer. Då utförandet av infiltrationstunneln innebar en viss risk för temporär grundvattensänkning konstaterades att tunnelbotten inte borde läggas så lågt att oljelagrets funktion äventyrades (Morfeldt et al., 1978). Samtidigt måste dock tunneln förläggas så djupt att dess vattenreglerande funktion mellan det djupare belägna oljelagret och tunnelbanan optimerades trots att den vertikala hydrauliska kommunikationen bedömdes som generellt sett dålig. Med ledning av resultaten från undersökningarna visade det sig vara nödvändigt att för den södra tunneldelen (del II) avpassa tryckhöjden till +12 eftersom det annars fanns risk för att infiltrationstunneln skulle sänka grundvattennivån i jordlagren och orsaka marksättningar. I den norra delen (del I) fanns ingen sådan risk utan infiltrationstrycket kunde avpassas för ändamålet, vilket var att säkerställa en stabil grundvattennivå för oljelagret. Före utsprängningen låg grundvattennivån på ± 0 och det antogs att denna nivå var lämplig i den norra delen av infiltrationstunneln.



Figur 2:25. Längdprofil av infiltrationstunneln (efter Hagconsult AB).

Infiltration från tunneldel I (yttre delen) inklusive borrhål i botten görs med färskvatten från kommunens ledningsnät enligt Figur 2:26a. Infiltrationstrycket kan varieras genom reglering av vattenytan mellan nivåerna -1 m och +2 m. Tillflödet styrs av en flottör och för kontroll av vattenytans nivå har en pegel monterats i tunneln. Infiltration från tunneldel II görs också med vatten från ledningsnätet. Den kan utföras genom två separata system, varav det ena utgörs av en helt vattenfylld tunnel med borrhål i botten och det andra av långa flacka borrhål i tunnelns tak och gavel enligt Figur 2:26b. Det senare systemet är främst avsett för tillfällig infiltration om tunneldelen skulle behöva tömmas på vatten (Söderström et al., 1979). Infiltrationstrycket för systemen i tunneldel II erhålls genom reglering av vattenytans nivå i den reservoar som är placerad på markytan ovanför tunnelmynningen. Vattenytans nivå regleras av en flottörventil, placerad i reservoaren, och kan ställas in mellan +10.6 och +12.7 m. Alternativt kan

infiltrationstrycket för systemet med flacka borrhål erhållas direkt från serviceledningen. Larm utlöses om vattennivån i tunneldel I och/eller i reservoaren över- eller underskrider fastställda nivågränser (Söderström et al., 1979). Lämpligt infiltrationstryck i respektive tunneldel avgörs med ledning av vattenförbrukningen och de grundvattenobservationer som utförs i markområdet kring infiltrationstunneln.



Figur 2:26a. Sektion A-A i Figur 2:25
(tunneldel I) (efter Hagconsult AB)

Figur 2:26b. Sektion B-B i Figur 2:25
(tunneldel II) (efter Hagconsult AB)

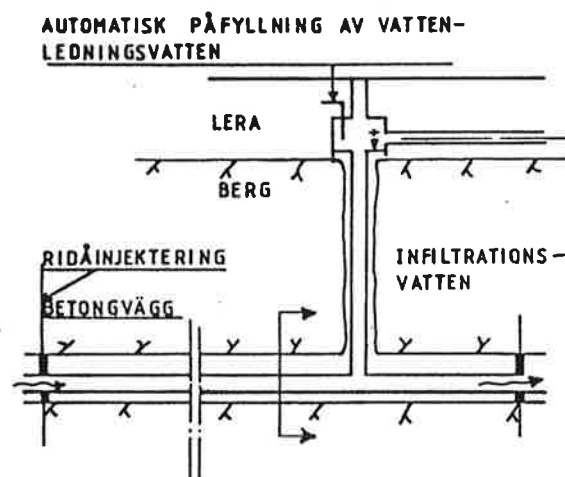
För att kunna tillföra vatten direkt till djupt liggande sprickor har ett antal hål borrats till nivå -25 m. I tunneldel I finns 7 st hål borrade i sektionerna 65 m - 155 m. I tunneldel II finns 3 st hål borrade i sektionerna 175-195 m. Övre delen av hålen har försetts med rostfria foderrör, vilka har gjutits fast i berg. Rörens överkant ligger på nivå -1.60 och har gängad överände som möjliggör förslutning med lock. Av samtliga hål är de i sektionerna 85m, 175m och 185m tillslutna. Öppnande och stängande av bottenhålen kan utföras under vatten av dykare eller efter vattentömning av tunneldelarna. Tunneldel I kan inspekteras efter tömning eller med dykare. Tunneldel II kan tömmas helt eller endast så mycket att vattentrycken i del I och II blir lika stora. I det senare fallet används dykare vid inspektion.

Infiltrationstunneln fylldes i april 1979 och grundvattennivån i observationsrören steg mycket snabbt. Redan några veckor efter det att tunneln vattenfylldes och tagits i bruk konstaterades höjningar av grundvattennivån i lerområden belägna 200-300 meter från tunneln. Under de första två åren infiltrerades ca 20-28 l/min från tunneldel I och ca 7 l/min från tunneldel II. En minskning av infiltrationskapaciteten uppkom 1981 genom att infiltrationstrycket i tunneldel I och II sänktes (af Forselles, 1982). Infiltrationsflödet för tunneldel I minskades då till omkring 4 l/min och för del II till 1.4 l/min. För närvarande (februari 1994) ligger infiltrationsflödet på 3 respektive 1.2 l/min. Den årliga vattenkostnaden uppgår därmed till ca 10.000 kr i 1994 års penningvärde. Avläsningar för förbrukad vattenmängd utfördes tidigare av Solna Stad, men sedan 1993 har skötseln övertagits av Norrenergi. Grundvattennivåerna kontrollerades under T-baneutbyggnaden av Stockholms Gatukontor och numera av J&W. Systemet anses vara robust och medför stabila grundvattennivåer.

Exempel 3: Enskededalen, Stockholm

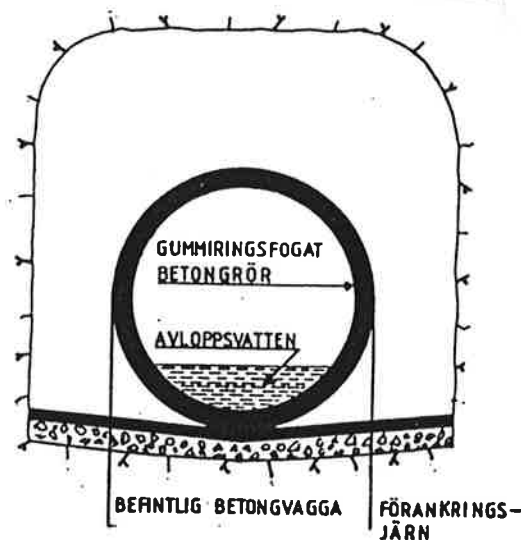
I Enskededalen söder om Stockholm finns en kombinerad infiltrations- och dagvattentunnel. Området präglas av äldre villabebyggelse. Dagvattentunneln under dalgången byggdes 1970 på uppdrag av Stockholms VA-verk och var konstruerad av Tyréns. I mitten av 1970-talet började husen uppvisa sättningsskador. Före exploateringen var Enskededalen känd för översvämningar och följaktligen kunde överskottsvatten föras bort utan att någon grundvattensänkning inträffade (Andersson och Berntson, 1979). Vid utbyggnaden av dagvattentunneln läckte dock stora kvantiteter grundvatten in i tunneln. Analyser av geotekniska och geohydrologiska förhållanden visade att grundvattennivån hade sänkts. Jordlagren inom dalgången utgörs främst av lera, silt och sand. Moränen under leran och silten bedömdes vara den normala för Stockholmstrakten, dvs halten finmaterial var hög.

För att höja grundvattennivån gjordes till en början försök med infiltration genom rörspetsar i jord, men detta gav inte önskat resultat. Sommaren 1975 startade en permanent anläggning för infiltration direkt i berget via dagvattentunneln enligt Figur 2:27. Infiltrationen utförs från en sträcka som är avgränsad från övriga delen av tunneln med betongväggar. Infiltrationen gjordes ursprungligen genom att ett tunnelavsnitt pluggades i ändarna och vattenfylldes under tryck varvid vatten transporterades genom sprickor i berget ut i jordlagren. I en senare etapp har det vattenfyllda tunnelavsnittet förlängts.



Figur 2:27. Infiltrationsanläggning i Enskede (Stockholms Gatukontor).

Dagvattnet transporteras på den igenpluggade sträckan genom ett gummiringsfogat betongrör enligt Figur 2:28, ϕ 1200 mm för etapp 1 och ϕ 500 mm för etapp 2. Genom att fylla mellanrummet mellan tunnelväggen och röret med vatten via brunnar i marknivå, skapas en tryckgradient mellan tunneln och dess omgivning (Andersson och Berntson, 1979). Etapp 1 med en längd av 345 m togs i drift 1975 och den 425 m långa etapp 2 startades 1977.

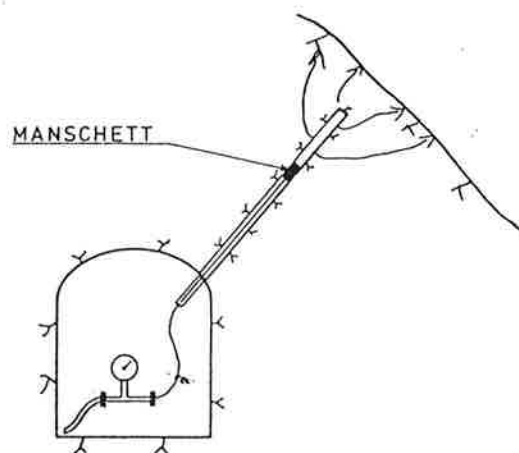


Figur 2:28. Sektion genom infiltrationstunnel med dagvattenavrinning (Andersson och Berntson, 1979).

Skiljeväggen mellan den vattenfyllda delen av tunneln och den torra delen har gjorts mycket tät genom noggranna tätningsarbeten. Infiltrationsvattnet utgörs i första hand av dagvatten, men vid små flöden utnyttjas vattenledningsvatten så att nivån i brunnarna hålls på vissa bräddningsnivåer. De erfarenheter som har gjorts är att etapp 1 inte hade tillräcklig effekt på grundvattennivån. Efter start av etapp 2 har dock grundvattenytan i princip höjts till önskad nivå. Detta visar på att inget grundvattenläckage sker till någon intilliggande icke vattenfylld tunnelsträcka (Andersson och Berntson, 1979). Uppgifter om infiltrerade vattenmängder saknas och några driftsproblem har inte rapporterats. Sättningsmätningar utförda på markpegel och dubbar i hus startade vid årsskiftet 1971/72. Utvecklingen har varierat i området, men flera mätare visade en markant högre sättningshastighet under 1973 varefter hastigheten i regel avtog.

2.3 Borrhål från tunnel

Istället för att spränga ut en separat tunnel kan den befintliga tunneln användas för infiltration. Borrhål borrar från tunneln till strax under bergytan eller ut i friktionsjordlagret. Tätande manschetter monteras i hålen enligt Figur 2:29. Vattnet tas från inläckningsvattnet i tunneln eller ledningsnätet och påkopplas med tryck strax ovanför grundvattentrycket. Berget fungerar som ett filter och bidrar till att begränsa igenslamningsrisken i de fall där borrhålen går till ytberget (Bergman, 1976). Det sprickiga ytberget fördelar infiltrationsvattentrycket och därför är risken att spola upp kanaler liten. Infiltrationshålen kan placeras i tunneln där de bäst behövs. Anläggningen är också skyddad mot åverkan och inläckande grundvatten kan återanvändas till infiltration, även om det finns exempel där ledningsvatten används som infiltrationsvatten. Infiltration genom borrhål utförs främst från tele- och fjärrvärmestunnlar i Stockholm och Göteborg samt från tunnelbanan i Stockholm.

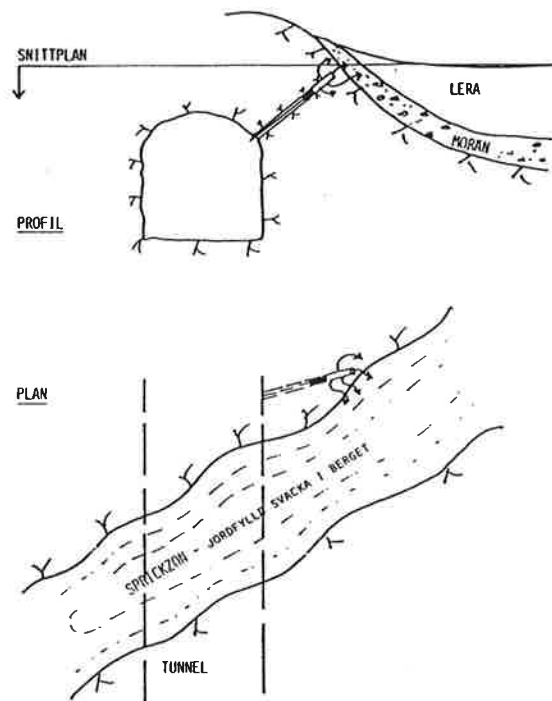


Figur 2:29. Manschett för infiltration i berg (Andersson och Carlsson, 1980).

Exempel 1: Traneberg, Stockholm

Vid utsprängningen av en teleledningstunnel i Traneberg, Stockholm sjönk grundvattenytan ca 7 m i en lokal lerfylld svacka i berggrunden. Avsänkningen startade när tunneln låg 300 m från svackan enligt mätningarna i grundvattenobservationsrören (Bergman, 1975). När tunnelfronten låg 125 m från området avsänktes grundvattennivån tydligt och när tunneln passerade området och gick igenom sprickzonen hade nivån sjunkit 5 m. Under de tre följande månaderna sjönk grundvattennivån ytterligare 2 m och grundvattenrören blev torra. Förinjektering av tunneln hade utförts eftersom genomgången av sprickzonen i anslutning till svackan förmodligen skulle bli besvärlig, men det kunde inte förhindra den stora grundvattensänkningen. Då beslöts att infiltrera vatten för att höja grundvattennivån.

Enligt Bergman (1975) hade Tyréns vid denna tidpunkt under ca 10 år utfört infiltration i de lösa jordlagren i både Stockholm och Göteborg med varierande resultat. Det genomgående största problemet var att rören efter ungefär ett halvår kraftigt minskade i infiltrationskapacitet och närmade sig infiltrationen noll. Orsaken var troligen igsättning av porerna i jorden kring rören. Eftersom infiltration i jordlagren fungerade dåligt, prövades en metod med infiltration i berget. Målsättningen var att borra hål från tunneln upp i det sprickiga ytberget och där infiltrera vatten (Bergman, 1975). Figur 2:30 visar principen för infiltration genom borrhål från tunneln. I Tranebergstunneln valdes att arbeta från en nisch i tunneln för att undvika störningar. Bergytans läge var noggrant bestämt genom jord-berg sondering inom det område där borrhålets beräknades gå ut ur berget. Det första försökshålet borrades i 45° upp till 10 m och gick ur berget. En manschett placerades i hålet ca 1 m ovanför tunneltaket och infiltrationen kunde starta.



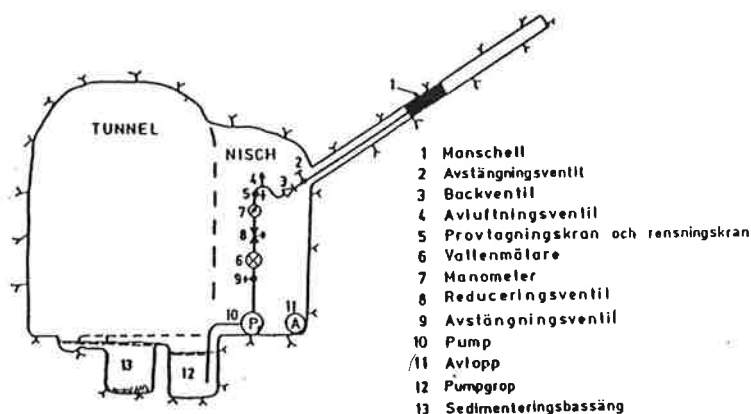
Figur 2:30. Principalskiss för infiltration i berg i profil och i plan (Bergman, 1976).

För att överhuvudtaget kunna pressa upp vatten till jordlagren måste infiltrationstrycket hållas så lågt som möjligt (Bergman, 1975). Vid för högt tryck finns det risk för omrörning av jordlagren på bergytan. Det första försöket pågick ca 14 dagar. Den inläckande vattenmängden i tunneln ökade men nivån i grundvattenobservationsrören höjdes inte. Detta berodde på att vattnet gick runt manschetten, ut i det uppspruckna området kring tunneln (den sk löskärnan) och läckte tillbaka in i tunneln (Bergman, 1975). Försök gjordes då med en lång manschett som placerades ca 2 m från bergytan. Provtryckningen hade dock visat att ett högt infiltrationstryck erfordrades för att kunna få ut något vatten. Efter bara ett halvt dygn var hålet igensatt.

Ett andra hål påbörjades med provtryckning från 10 m för varje meter med lång manschett (dvs när hålet borrats upp 11 m sattes manschett vid 10 m och provtryckning utfördes). Mellan 13-14 m kunde vattnet tryckas ut med något övertryck och borrhålet hade inte gått ur berget, men när infiltrationen startade med manschett på 13 m läckte vatten ur borrhålet in i tunneln. Manschetten hade placerats i sprickigt berg där vattnet runnit förbi manschetten. Efter det att manschetten flyttats ner ca 1 m stoppades läckaget. Ytterligare ett hål borrades med samma metodik som det andra hålet, men detta hål gick ur berget. Hålet spolades så att finmaterialet i moränen spolades ur. En lång manschett placerades ca 2 m från bergytan.

Som infiltrationsvatten användes till en början ledningsvatten men idag (februari 1994) används inläckande grundvatten som samlas upp och pumpas till infiltrationsplatsen ca 800 m från pumpgropan. De två borrhålen är placerade i nischer i tunneln enligt Figur 2:31 och har en diameter av 45 mm där långa manschetter är införda ca 10 m in i berget. Bredvid infiltrationshålen finns ytterligare ett hål med manschett och manometer för direkt avläsning av sprickvattentrycket. Tillloppsledningen är utrustad med

backventil, reduceringsventil med manometer, vattenmätare och avstängningskran. En kran finns på infiltrationsröret. Ovan tunneln finns två stycken grundvattenrör för kontroll av effekten hos anläggningen. Under infiltrationens två första månader observerades grundvattennivån nästan varje dag och därefter en gång per vecka. Efter tre dagar började grundvattennivån i observationsrören ovanför tunneln att höjas 4 m på 25 dagar. Den ursprungliga grundvattennivån var återställd efter 3 månader.



Figur 2:31. Utformning av tunnelanläggningen (Andersson och Carlsson, 1980).

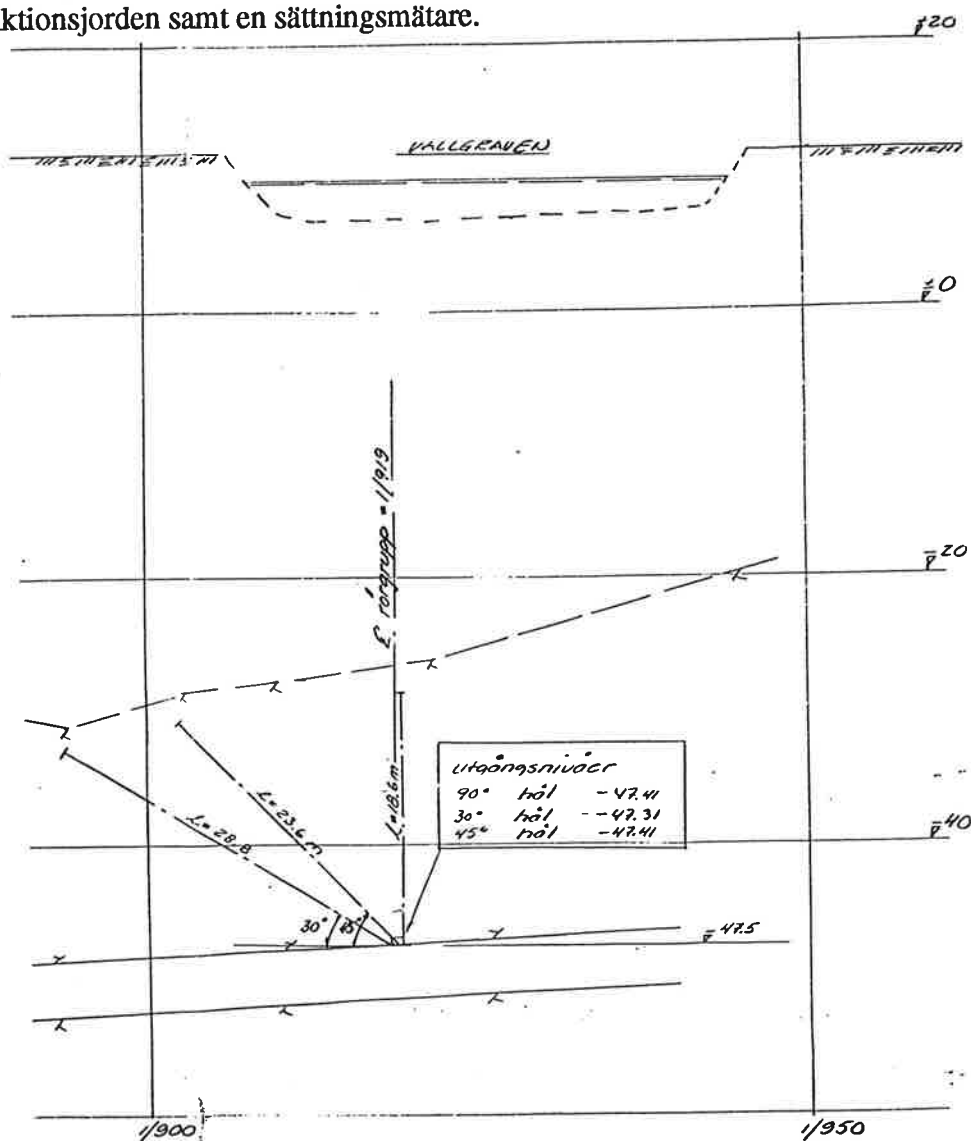
Anläggningen har varit i drift sedan 1973. Varje vecka avläser Telias entreprenör Fritjof Johansson AB infiltrerad vattenmängd, infiltrationstryck och sprickvattentryck. Mängden inläckande vatten till tunneln mäts inte för närvarande men möjligheten finns (Lundin och Benedik, 1994; muntl. uppg.). Infiltrationshålen har rensats tre gånger (1979, 1985 och 1988) på grund av igensättning, troligen beroende på järn som fällts ut. Rensningen utfördes med tryckluftblåsning och spolning. Vid den senaste rensningen ökade kapaciteten för det ena hålet från 2.6 till 4.3 l/min och från 3 till 5.5 l/min för det andra. Infiltrationskapaciteten var ursprungligen ungefär 10 l/min. Idag (1994) infiltreras ca 3 l/min i det ena hålet och 6.5 l/min i det andra. Infiltrationstrycket ligger runt 600 kPa, medan sprickvattentrycket är 180 kPa. Eftersom inläckande grundvatten används som infiltrationsvatten är driftskostnaden för vatten lika med noll. Underhålls- och reparationskostnader har inte gått att uppbringa.

Den intensiva bevakningen av grundvattennivån och infiltrationsanläggningen i inledningsskedet gjorde att driftsavbrott snabbt kunde avhjälpas. Enligt Bergman (1975) hade en perfekt fungerande anläggning kunnat återställa grundvattennivån på bara 2 månader. Den bästa effekten av infiltration uppnås om infiltrationshålen avslutas i det sprickiga ytberget utan att gå ur berget. Hålen ska borras så att de går nära parallellt med sprickdalens längdaxel för att få så lång infiltrationsyta som möjligt (Bergman, 1975). Nederbörden påverkade grundvattenbalansen i positiv riktning. En ökning av nederbörden medförde en minskning av infiltrationsmängden, samtidigt som infiltrationskapaciteten hos jordlagret ökar vid nederbörd. Efter en längre tids drift krävdes det större vattentryck för att erhålla samma infiltrationskapacitet som i början. I berghålet kan ett större motstånd genom sprickorna ha bildats vid ett högre grundvattentryck. I berg-jord hålet kan igensättning ha skett. Sättningar uppkom direkt i samband med grundvattensänkning och upphörde då grundvattennivån höjdes.

Exempel 2: Pusterviksplatsen, Göteborg

Vid Pusterviksplatsen i centrala Göteborg utförs infiltration från en teleledningstunnel (se även Exempel 4 under avsnitt 2.1). Tre hål har borrats in i tunneltaket och inläckande grundvatten används som infiltrationsvatten. Anläggningen är KM:s äldsta infiltrationsanläggning med mer än 20 års drift på nacken. Den anlades på grund av kraftig grundvatteninläckning i teletunneln i början av 1970-talet och därmed sjunkande grundvattennivåer. KM och Telia sköter gemensamt om anläggningen; KM läser av infiltrationsmängder och -tryck varje vecka och Telia sköter underhållet. Grundvattennivån mäts varje månad.

Borrhålen är borrade i solfjäderform från tunneltaket på ca 48 m djup och avslutas ca 5 m under bergytan enligt Figur 2:32. Nya hål har borrats under årens lopp när några av de första hålen har satt igen. Hålen är tätade med manschetter och de flesta rören är utbytta till rostfria stålrör. Grundvattnet är ganska aggressivt på grund av hög salthalt och korrosion inträffar förr eller senare om rören är av icke rostfritt stål, vilket var fallet från början. Ovan mark finns ett antal grundvattenobservationsrör som går ner till friktionsjorden samt en sättningsmätare.



Figur 2:32. Placering av infiltrationshål från tunneln (Kjessler & Mannerstråle).

Infiltrationsanläggningen har fungerat bra, förutom när de gamla rören har rostat igen. Noggranna och omfattande bergsonderingar ligger till grund för valet av anläggning (Lanz, 1994; muntl. uppg.). Sedan anläggningen kom igång har ingen grundvattensänkning skett i området utan nivåerna har varit relativt konstanta (Riise, 1994; muntl. uppg.). Infiltrationsmängden låg 1993 på 29 l/min. De andra infiltrationsanläggningarna i Göteborg har infiltrationsflöden mellan ungefär 1 och 5 l/min enligt uppgift från KM.

Grundvattennivåerna i området var ganska låga under 1970-talet, men under 1980- och 90-talen har en generell höjning och stabilisering skett. Nivån låg i januari 1994 ungefär i markytan eller någon meter därunder. Sättningsarna i området uppgår till ungefär 140 mm. Funktionskontroll gjordes 1985 och 1993 genom att läckagevattenmängden mättes upp och jämfördes med infiltrerade mängder (Riise, 1994; muntl. uppg.). Undersökningen 1985 uppvisade en total inläckning av 103 l/min varav ca 63 l kom från en fjärrvärmetunnel och 40 l från teletunneln. Inläckningen 1993 var totalt 60 l/min. Fjärrvärmetunneln har ett större tvärsnitt och är dessutom längre än teletunneln.

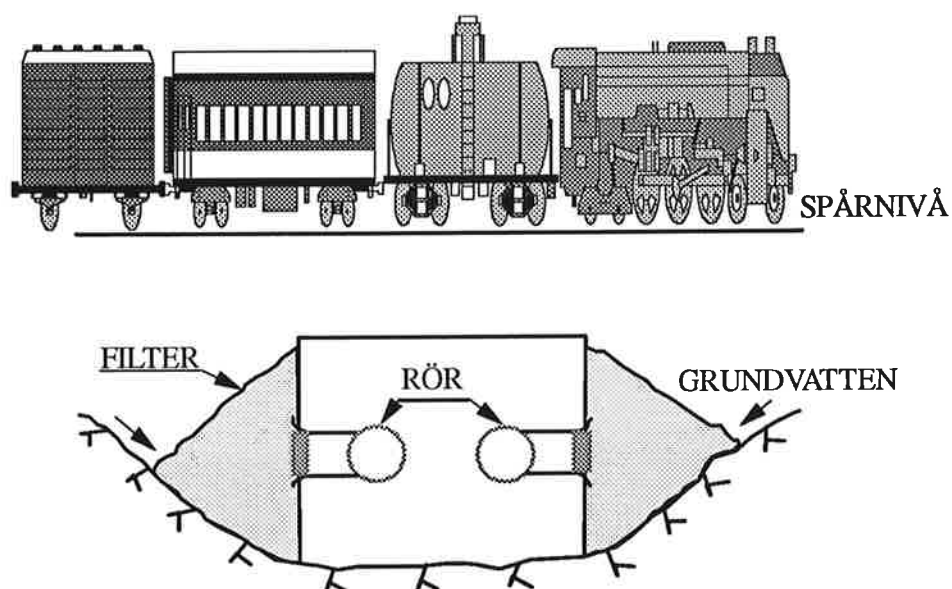
Exempel 3: Tunnelbana Bagarmossen-Skarpnäck, Stockholm

Vid byggandet av tunnelbanan Bagarmossen-Skarpnäck används konstgjord infiltration genom borrhål från tunneln. Det är speciellt under en sträcka där jordlagren består av ca 10 m lera underlagrat av ett tunt moränskikt på berg som grundvattenytan är extra känslig. Två naturliga grundvattennivåer är uppmätta i området i grundvattenståndsrör under en lång period innan tunnelutsprängningen påbörjades. Infiltrationen görs för att säkerställa grundvattennivåerna även vid stort läckage in i tunneln eller under torrperioder. Tunneln förinjekterades av Stabilator med ett cementbaserat material, sk "Bolmenbruk". De vattenförande sprickorna är tätade, men problemet är att sprickor som inte var vattenförande från början kan bli det med tiden då vattnet söker sig nya vägar (Tenlén, 1993; muntl. uppg.).

Avståndet mellan de två stationerna Bagarmossen och Skarpnäck är ca 2 km. Infiltrationsanläggningarna ligger i nischer i tunneln på var sin sida, hundra meter norr om Skarpnäcksstationen. Temperatur och fuktighet i bergrummen hålls på en jämn nivå för att inga delar av anläggningarna ska ta skada. I varje nisch är två borrhål borrade ut till moränskiktet ovan berg. Till en början borrades hål från tunneln ut i omgivande berg (Tenlén, 1993; muntl. uppg.). Det visade sig dock att det inte gick att infiltrera direkt i berget utan borrhålet måste förlängas ut till moränskiktet. Det finns mätutrustning för ett tredje hål i varje nisch, men den är inte i bruk idag. Till varje hål hör bl a vattenmätare, tryckreduceringsventil och kranar för avstängning och påslagning. Ett av hålen läcker tillbaka, men detta vatten fångas upp och leds ner till dräneringsledningar.

En provisorisk infiltration startade under 1991 och då användes mätutrustning som inte hade så stora krav på noggrannhet. Sommaren 1992 installerades den mycket noggranna mätutrustning som används idag. Mellan 1.5-3 l/min måste infiltreras i varje hål (totalt 4 st) för att funktionen ska upprätthållas. Infiltrationstrycket ligger på ca 240 kPa. Vattnet som infiltreras är renvatten från ledningsnätet. Eftersom infiltrationen görs i moränskiktet måste den pågå kontinuerligt för att hålet inte ska slamma igen.

Inläckningen av grundvatten till tunneln är ca 4 l/min. Det inläckande vattnet samlas upp och mäts mycket noggrant. Ett antal mätdammar mäter vattenmängden på olika sträckor och en uppsamlingsdamm med utseende enligt Figur 2:33 är placerad i tunnelns lägsta punkt. Vattnet leds sedan till ett dräneringsledningssystem under tunneln.



Figur 2:33. Mätddamm i lågpunkten (efter Stockholm Konsult).

På uppdrag av SL var Stockholms Gatukontor projekt- och byggledare för stombyggnadsarbetena (dvs utsprängning, tätning och förstärkning av bergtunnlarna), som utfördes av Skanska som generalentreprenad. Den totala entreprenadsumman för stombyggnadsarbetena inklusive infiltrationsanläggningar uppgick till knappa 200 miljoner (Tenlén, 1993; muntl. uppg.). Driftkostnaderna för enbart renvatten rör sig mellan 13.000-26.000 kr per år (1994). Tillsammans med avloppskostnaden blir kostnaderna för driften ungefär 37.000-74.000 kr per år (räknat på en förbrukning av 1.5-3 l/min på 4 borrhål och 1994 års taxa). Alla förbrukningsdata samlas för närvarande (december 1993) in i en bod uppe på byggsplatsen ovan mark, men senare är det tänkt att dessa ska gå direkt till en tunnelcentral i centrala Stockholm. Om vattentrycket sjunker för mycket larmas detta på centralen. SL Bansystem har ansvaret för anläggningarna. Det som återstod i december 1993 innan T-banan kan tas i bruk var inredning, belysning och färgsättning av stationerna.

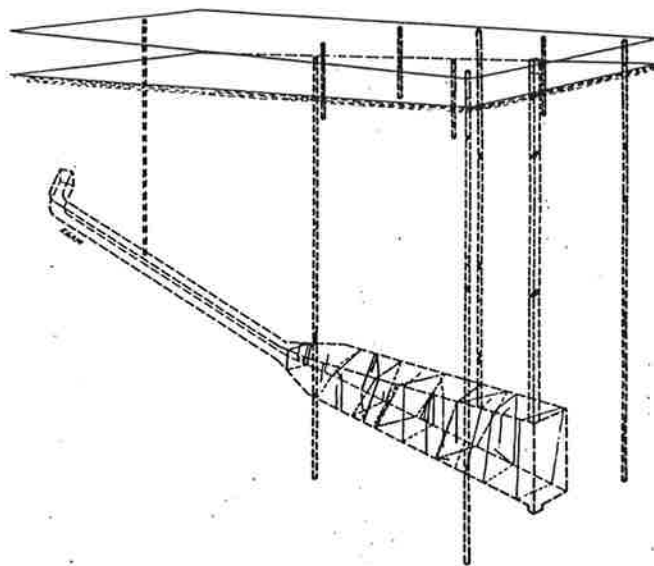
2.4 Förstärkt naturlig infiltration via infiltrationsdammar

En anläggning för djupinfiltration kan också ha en relativt enkel utformning. Om de geologiska förutsättningarna är de rätta, kan den naturliga nederbördsinfiltrationen förstärkas inom ett begränsat område. Denna typ av infiltration har utförts i lerfyllda svackor avgränsade av berg. "Lerbassängen" har innan berganläggningen tagits i bruk hållits fylld med vatten. Anläggningarna har endast varit temporära; efter en inkörningsperiod är det meningen att den naturliga infiltrationen ska vara tillräcklig för att hålla uppe grundvattentrycket.

Exempel 1: Hisingen, Göteborg

På Hisingen i Göteborg ligger ett raffinaderi, där ett berglager för petroleumgas har anlagts. Berggrunden består av relativt homogen granit med lokala skiffriga partier. Bergrummet förlades 90-120 m under markytan och dess längd är 80 m, bredden 15 m och höjden 22 m (Larsson, 1970). Bruttovolymen är 20 000 m³. Bergrummet är avskilt från tunnel och vertikalschakt genom 3 st 5 m tjocka betongpluggar, infällda i berget. Ett vattenfyllt vertikalschakt förbinder bergrummet med markytan och innehåller rörsystem för in- och utpumpning. Schaktet avslutas längst ner med en pumpgrop försänkt i bergrummet.

Under byggnadstiden sjönk grundvattenytan temporärt i berggrunden över bergrummet. Samtliga sprickzoner i berget var vattenförande och förseglades därför med injicering och pålagring av sprutbetong. Förutsättningarna för ett bergrum med fast vattenbädd är ett fullständigt gastätt rum, vilket uppnås när vattentrycket i bergets spricksystem är högre än gasens tryck i bergrummet. Ett stort problem i sammanhanget är att en hel del vatten dräneras ner i bergrummet under byggnadstiden. Grundvattenförhållandena kunde studeras i fyra kärnborrhål nedförda till samma nivå som bergrummets botten, och fyra grundare observationshål vilka visas i Figur 2:34.



Figur 2:34. Kontroll av grundvattenförhållandena kring bergrummet (Larsson, 1970).

Innan anläggningen togs i bruk genomfördes en konstgjord infiltration i berggrunden ovanför bergrummet genom att bassängen ovanför i markplanet hölls fylld med vatten. Inom raffinaderiområdet fanns en skålförmig fördjupning i berggrundsytan, fylld med morän och lera. Insänkningen bedömdes som gynnsam ur infiltrationssynpunkt (Larsson, 1970). Bergrummet förlades under den morän- och lerfyllda bassängen. Förutsättningarna för naturlig infiltration i berggrunden var goda och den naturliga infiltrationen kunde kompletteras med inpumpning av vatten i bassängen. Detta åstadkom en höjning av grundvattenytan till ursprunglig, naturlig nivå (Larsson, 1970). En stark torka under sommaren förorsakade breda torksprickor, där vattnet hastigt rann ner i bergbassängen. Observationer av grundvattennivån gjordes under ca ett år. Grundvattennivån fluktuerar säsongsmässigt beroende på nederbörden. Stabila förhållanden rådde dock under bygnadsperioden. Den totala inläckningen för hela anläggningen uppgick till ca 42 l/min. Större läckor tätades medan dropp tilläts. Eftersom grundvattenytan hölls stabil tyder det på att läckvattenmängden kompensades genom den naturliga infiltrationen.

3. Diskussion och slutsatser

Förekomst av anläggningar i Sverige

I denna undersökning har omfattande litteraturstudier genomförts, främst med avseende på svenska erfarenheter av djupinfiltration. Litteraturgenomgången har kompletterats med intervjuer med ett stort antal personer verksamma såväl vid företag som kommunala och statliga myndigheter. En lista över kontaktade personer återfinns i Bilaga 1. Kontaktpersonerna har dock mycket varierande erfarenheter av infiltrationsanläggningar. Många av dessa har inte känt till några befintliga infiltrationsanläggningar inom den egna verksamheten. En handfull personer i Sverige har mycket god kunskap och lång erfarenhet av olika typer av infiltrationsanläggningar och har medverkat vid konstruktion av ett flertal av de befintliga anläggningarna.

Totalt beskrivs i denna rapport ett tjugotal anläggningar i Sverige, varav ca hälften fortfarande är i drift (1994). Den lista med exempel på olika typer av infiltrationsanläggningar som ges i rapporten är långt ifrån komplett. Vid sidan av här beskrivna exempel finns ett stort antal små infiltrationsanläggningar, nästan uteslutande i jord, med syfte att hålla en hög lokal vattennivå i marken för att undvika skador på enskilda hus. Dessa anläggningar är ofta kombinerade med olika slags tätskärmar, t ex med bentonit runt det enskilda huset eller kvarteret, vilket ger en "badkarseffekt". Sådana anläggningar förekommer relativt spritt över landet men med starkast koncentration i Göteborgs- och Stockholmsregionerna. Eftersom dessa anläggningar endast syftar till att rädda enskilda hus och inte strävat efter att hålla den regionala grundvattennivån hög eller återställa densamma har de ej medtagits vid genomgången. Sådana anläggningar kan dock vara en räddningsåtgärd för byggnader i sådana områden där regional infiltration eller andra åtgärder för att återställa grundvattennivån i området misslyckats. Metoden är därför närmast ett alternativ till grundförstärkningsåtgärder (Hultsjö, 1993; Wassenius, 1993; muntl. uppg.).

Det finns också ett mycket stort antal anläggningar för passiv infiltration av främst dagvatten. Lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD) har närmast blivit en regel vid nyexploatering av sättningsbenägna markområden, inte minst av ekonomiska skäl. Denna typ av passiva infiltrationsanläggningar har studerats och utvecklats under mer än 20 år och har därför inte tagits upp här.

Större infiltrationsanläggningar som är i drift eller har varit i drift under 1970- och/eller 80-talen ligger nästan uteslutande i Stockholms- eller Göteborgsområdena, främst beroende på frekvensen av dränerande undermarksanläggningar. Undantag finns dock, t ex anläggningar för tunnelarbeten i Norrköping (Rosén & Almling, 1984).

Anläggningarnas ålder

Genomgången av de olika infiltrationsanläggningarna för grundvattennivåkontroll har visat att många av anläggningarna togs i drift under 1970-talet, medan endast ett fåtal uppfördes under 1980-talet. Huvudsakligen beror detta på att en stor mängd tunnlar

konstruerades under 1960- och 70-talen då injekteringsmetoder för cement och andra tätningssåtgärder fortfarande var dåligt utvecklade. En sammanställning och utvärdering av befintliga anläggningar under 1970-talet gjordes inom ramen för den geohydrologiska forskningsgruppen vid CTH av Andersson & Berntson (1979). Denna sammanställning beskriver tämligen detaljerat metoder och de erfarenheter som vunnits främst fram till slutet av 1970-talet. Många av anläggningarna hade då endast varit i drift en kort tid.

Under 1980-talet skärptes i regel kraven beträffande tillåten inläckning till undermarksanläggningar varvid påverkan av grundvattennivåerna och med detta sammanhängande geotekniska problem minskade. Därför har under 1980-talet endast ett mycket begränsat antal nya anläggningar tagits i drift och då speciellt i anslutning till särskilt känsliga anläggningar eller särskilt känsliga geologiska förhållanden. Mycket litet har därför också publicerats rörande infiltrationsanläggningar i Sverige under senare tid.

Många av de anläggningar som togs i bruk under 1970-talet har med tiden upphört, ofta efter att funktionen avsevärt försämrats genom igensättning och då nya rensningar och fortsatt drift inte bedömts nödvändig.

Typ av infiltrationsanläggningar

Den utan tvekan vanligaste och på många sätt enklaste och billigaste infiltrationsmetoden har varit nedsättning av infiltrationsbrunnar eller infiltrationsrör i jord. Metodiken är dock långt ifrån problemfri, utan tvärtom omfattar dessa infiltrationsprojekt även ett stort antal mindre lyckade exempel. Problemen har oftast uppstått till följd av att anläggningarna med tiden har satt igen helt eller delvis eller att infiltrationen på annat sätt, t ex genom piping, inte fått avsedd grundvattennivåhöjande effekt. Av totalt 16 här genomgångna infiltrationsbrunnar i jord har hälften av olika anledningar upphört. I vissa fall framgår att infiltrationsbrunnarna eller -rören endast var avsedda för tillfällig infiltration under byggskedet, i många fall har driften med tiden upphört ändå.

Knappast någon av de studerade infiltrationsanläggningarna med vatteninfiltration från markytan har med säkerhet drivits från markytan ner i berg, utan de flesta rören är nedsatta till djupa friktionsjordlager ovan bergytan. Det är därför vanskligt att utvärdera tekniken med infiltration från markytan till ytligt berg. Man kan dock anta att metodiken med infiltration i sprickigt ytberg kan vara tämligen gynnsam eftersom infiltrationen därigenom kan ges större spridning till de ovanliggande marklagren via de skilda sprickorna. I många fall, t ex i Stockholmstrakten, har det också visat sig att lera kan vila direkt på bergytan utan mellanliggande friktionsjordlager (Ekbäck, 1991). I dessa fall kan infiltration i sprickigt ytberg vara särskilt gynnsamt.

För större undermarksanläggningar, t ex teletunnlar och transporttunnlar, där regelbunden kontroll och underhåll kan påräknas, har anläggningar för infiltration genom borrhål från tunneln till berget eller direkt till jordlagren ovanpå berget konstruerats. Totalt har ca sju sådana anläggningar påträffats vid genomgången, varav

tre har redovisats. I några enstaka särskilda fall då grundvattennivåerna absolut inte fick avsänkas (Morfeldt och Söderström, 1980) eller för att hålla grundvattennivåerna höga inom en stor areal i samband med samtidig exploatering av ett större bebyggelseområde (Ejerholm et al., 1977) har infiltrationstunnlar nyttjats, dvs särskilda vattenfyllda tunnlar med infiltrationsborrhål konstruerade i skilda riktningar till berg eller ovanliggande jordlager.

Val av infiltrationsmetod

Det har varit svårt att få uppgifter om såväl vilka faktorer som lett fram till beslut om infiltration, som om vad som styr val av infiltrationsmetod. Infiltrationsanläggningar var emellertid sällan projekterade i förväg, förutom vid konstruktion av infiltrationstunnlar, utan ofta påbörjades infiltrationen mer eller mindre som brandkårsuttryckning då grundvattennivåerna märkbart sjönk i kontrollrör runt anläggningen eller i vissa fall då sättningsskador kunde noteras. Härigenom fanns sällan tid för noggranna förundersökningar beträffande placering, djup etc. Ofta ändrades utformningen under konstruktionsperioden eller i början av driftperioden av infiltrationsanläggningen då avsedd effekt inte uppnåddes. Eftersom analys av nivåmätningar av grundvatten i samband med undermarksbyggande i allmänhet är metodiskt mycket dåligt utvecklad (Olofsson, 1991), torde avsänkningen redan ha fortgått långt när den noterades. Det finns dock prognosverktyg idag som betydligt tidigare och med större noggrannhet kan ge signaler om effekter på grundvattensituationen.

Eftersom infiltrationstunnlar kräver noggrann planering och har tämligen lång konstruktionstid har denna typ av anläggning endast tagits beslut om efter noggrann avvägning av kostnader och alternativåtgärder. I vissa fall har emellertid även enklare anläggningar förberetts, som t ex en infiltrationsanläggning för Kungliga Bibliotekets utbyggnad i Stockholm 1993-94, vilken till följd av noggrann geohydrologisk utredning och god kvalitet hos berget (Benedik, 1994; muntl. uppg.) samt väl förberedd sprängning (Pettersson, 1994; muntl. uppg.) endast behövt tas i drift under byggskedet.

Val av infiltrationsmetod har troligtvis till stor del styrts av konstruktörens erfarenhet och flera av anläggningarna anlagda under 1970-talet har snarast haft karaktären av försöksanläggningar. Ett fåtal personer med stor hydrogeologisk kunskap och erfarenhet har oftast styrt metodutvecklingen.

Driftsförhållanden

De anläggningar som konstruerades under 1960- och främst 70-talet dokumenterades tämligen väl med avseende på anläggningens utformande samt drifts- och underhållsåtgärder. Troligtvis har detta berott på att tekniken var under utveckling och att det satsades forskningsmedel, främst från Byggforskningsrådet, under denna period. Det har emellertid varit betydligt svårare att få fram uppgifter om driftsförhållanden i det längre perspektivet. För infiltrationsanläggningarnas drift ansvarar oftast ägaren till undermarksanläggningen, vanligtvis via något konsultföretag. Företaget har då

regelbundet, t ex årligen, lämnat information om vattenförbrukning och driftförhållanden. I den mån ansvaret för anläggningen legat hos samma person under hela undersökningsperioden, har möjligheterna att få fram information varit goda. I många fall har dock ansvaret flyttats mellan olika personer och olika företag vilket försvårat framtagningen av information.

Infiltrationsanläggningar som inte direkt kan hänföras till en enda undermarksanläggning, t ex i delar av Stockholm där grundvattenavsänkningen är en följd av ett högfrekvent undermarksbyggande, sköts infiltrationsanläggningarna ibland av kommunen eller fastighetsägarna själva. I de fall då fastighetsägarna själva handhar drift och underhåll saknas ofta nästan helt information om flödesmängder och driftsförhållanden. I vissa fall pågår konflikter och rättsliga förhandlingar rörande grundvattendränering och sättningsskador, varför information om funktion, drift och underhåll över huvud taget inte varit tillgänglig eftersom parterna vägrat att släppa sådana uppgifter. Erfarenheterna av dessa anläggningar, kanske de mest intressanta, har därför inte kunnat tas med i rapporten.

Som ovan nämnts har många av infiltrationsanläggningarna i jord, huvudsakligen med infiltrationsrör, med tiden helt satt igen eller i varje fall fått en märkbart försämrad infiltrationskapacitet. Detta gäller trots att de flesta av anläggningarna har nyttjat kommunalt dricksvatten, vilket sålunda i regel innehåller tillräckligt med partiklar för igensättning. Försämrad infiltrationskapacitet har dock oftast märkts redan i ett tidigt skede och många anläggningar som klarat de första årens drift på 1970-talet är fortfarande (1994) i funktion. Rensningar har dock behövts någon eller några gånger under driftperioden.

Infiltrationsanläggningar till berg direkt från undermarksanläggningen har i de flesta fall fungerat bra. De problem som uppstått med dessa typer av anläggningar har oftast märkts under konstruktionsskedet, t ex att infiltrationskapaciteten varit för dålig eller att rundgång uppstått där vattnet återförts direkt till undermarksanläggningen. När anläggningen väl tagits i drift har den för det mesta fungerat bra. De anläggningar som här beskrivits har i allmänhet sköts noggrant med bl a regelbunden kontroll av infiltrerad vattenmängd och vattentryck (oftast veckovisa mätningar). I Göteborgsregionen har, på grund av kemiskt aggressivt vatten, korrosionsskador uppstått, varför delar av anläggningarna successivt byts ut mot rostfria material. Denna typ av skador borde ha kunnat förutses om vattenkemiska analyser genomförts och utvärderats korrekt.

Flera av infiltrationsanläggningarna från tunnel till borrhål i berg nyttjar inläckande grundvatten för infiltrationen. Därigenom ökar risken för igensättning högst betänkligt men samtidigt minskar de totala driftskostnaderna kraftigt. Mängden suspenderat urspolat finmaterial i det inläckande vattnet minskar dock i regel med tiden. Beroende på det inläckande vattnets kemiska sammansättning bör förberedande åtgärder såsom filtrering eller luftning genomföras.

Infiltrationstunnlar är inte särskilt vanligt förekommande men har oftast fungerat som planerat. Dessa tunnlar är goda exempel på anläggningar som planerats och iordningställts samtidigt eller före övrigt fortsatt undermarksbyggande i området.

Denna typ av preventiva konstruktioner bygger ofta på noggranna hydrogeologiska avvägningar. Systemet är i allmänhet mycket driftsäkert eftersom det i hög grad är självrensande, dvs flytande komponenter stannar kvar i tillförselbrunnen vid markytan, tyngre partiklar sedimenterar på botten av tunneln och medföljer inte infiltrationsvattnet in i berget.

Kostnader

Det har varit förvånansvärt svårt att erhålla uppgifter om kostnader i samband med infiltrationsprojekt, särskilt beträffande anläggningskostnader. Tvärtom borde det ligga i infiltrationsanläggningens ägares intresse att klargöra anläggningskostnaderna.

Rör eller brunnar i jord är givetvis billigast ur anläggningssynpunkt men kan ge ökade driftskostnader och nedsatt funktion om igensättning uppstår. Konstruktion av infiltrationstunnlar är dyrast ur anläggningssynpunkt men dessa kostnader kan lätt sammanläggas med övriga kostnader för undermarksanläggningar i området och tillkommer därför inte som någon obehaglig överraskning för projektören. Tunneln är också i regel många gånger effektivare att hålla grundvattennivån hög inom ett större område.

Den största driftskostnaden beträffande infiltrationsanläggningar är i allmänhet vattenkostnaden. Genom återcirkulation av inläckande vatten kan driftskostnaderna minska kraftigt, förutsatt att vattnets kemiska och fysikaliska egenskaper är gynnsamma, liksom att anläggningen utformas så att rensning lätt kan utföras. Återföring av läckagevatten har därför nästan uteslutande använts vid infiltration till berg direkt från undermarksanläggningen.

Sammanfattande slutsatser och rekommendationer

Infiltrationsanläggningar för grundvattennivåkontroll förekommer främst i Göteborgs- och Stockholmsregionerna. Många av anläggningarna var i drift redan under 1970-talet och endast ett mindre antal har blivit konstruerade under 1980- och 90-talen. Genomgången av anläggningarna visar att metodiken med infiltration har utvecklats till ett oftast fungerande verktyg för nivåkontroll men såväl infiltrationstekniker som hela systemet kring grundvattennivåkontroll kan och bör utvecklas vidare.

Den vanligast förekommande typen av infiltrationsanläggningar är infiltration av kommunalt dricksvatten i rör eller brunnar nedförda i jord. Metodiken har oftast tillämpats vid brådskande situationer då stark påverkan på grundvattenförhållandena eller sättningsskador redan har konstaterats. Många av anläggningarna har därför mer eller mindre misslyckats och inte givit avsedd effekt. Infiltrationskapaciteten har också ofta minskat med tiden till följd av igensättningar. I situationer då risken för grundvattennivåsänkningar är stor och då sådana sänkningar kan ge problem, t ex i form av marksättningar, bör därför ett lämpligt antal förberedande rör kunna installeras och funktionstestas redan innan undermarksanläggningen konstrueras. Dessutom bör grundvattennivåmätningar intensifieras i området och förändringar kontinuerligt

kartläggas utifrån utvecklad statistisk analys av nivådata. Därigenom kan åtgärder sättas in omedelbart då nivåförändringar konstateras och grundvattennivåerna behöver inte återställas, utan avsänkningen endast balanseras genom infiltrationen. Den ökade kostnad som dessa förberedande installationer medför kommer troligtvis att uppvägas av ökad effektivitet hos de därigenom redan testade anläggningarna samt minskade skador på mark, byggnader och VA-installationer. Projekteringen för denna typ av infiltrationsanläggningar kräver goda kunskaper om lokala hydrogeologiska förhållanden för val av lokalisering, djup, filtertyp, infiltrationstryck etc.

Det finns idag mycket lite erfarenhet beträffande infiltration genom rör nedförda i sprickigt ytberg. Teoretiskt finns fördelar med denna typ av infiltration. Det är dock, på grund av bergets heterogena hydrauliska egenskaper, mycket svårt att prognostisera effekten av en sådan infiltration. Vid särskilt känsliga områden kan infiltrationstunnlar konstrueras. Studier av de infiltrationstunnlar som idag är i drift visar att funktionen är god samt att anläggningarna är driftsäkra och kräver tämligen lite underhåll. Metodiken kräver dock god hydrogeologisk kunskap. På grund av höga anläggningskostnader kommer denna metodik att vara tillämpbar endast vid större byggprojekt.

De anläggningar med infiltration i berget eller ovanliggande jord direkt från undermarksanläggningen som har studerats inom detta projekt har i allmänhet fungerat tillfredsställande. De problem som förekommit i samband med denna typ av installationer har i allmänhet uppstått redan vid konstruktion av anläggningen främst beroende på att denna till följd av bergets hydrauliska heterogenitet inte fått avsedd effekt. Om till undermarksanläggningen inläckande vatten återinfiltreras till berget är det viktigt att vattnets kemiska egenskaper noggrant analyseras för att undvika snabb igensättning eller korrosion i systemet.

Genomgången av drifts- och underhållssituationen för många av anläggningarna har visat att det redan inför beslut om konstruktion av en infiltrationsanläggning är viktigt att uppställa en långsiktig plan för driften och det förmodade underhållsbehovet. Planen bör omfatta såväl ett mät- och kontrollprogram som program för sammanställning, utvärdering och redovisning av mätdata. Det är också viktigt att de verkliga och totala kostnaderna för infiltrationsprojekten, inklusive kostnader för underhåll, tillsyn, kontrollprogram samt el- och vattenförbrukning, kalkyleras för hela driftsperioden på ett mycket tidigt stadium. I kalkylerna måste medtas risken för att anläggningen inte får avsedd effekt och måste omkonstrueras, vilket har visat sig vara vanligt förekommande.

Referenser

- Agerstrand, T., Gustafson, G., 1980: Norra Botkyrka - infiltration för att motverka grundvattensänkning. BFR Rapport R24:1980, 61 pp, Stockholm.
- Ahlberg, P., Lundgren, T., 1977: Grundvattensänkning som konsekvens av tunnelutsprängning. Statens Geotekniska Institut (SGI), Rapport nr 1, 60 pp, Linköping.
- Andersson, A-C., Berntson, J., 1979: Kontrollerad grundvattenbalans genom djupinfiltration - en inventering av djupinfiltrationsprojekt. Chalmers Tekniska Högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen. Meddelande nr 26, 269 pp, Göteborg.
- Andersson, A-C., Carlsson, L., mfl., 1980: Djupinfiltration. En metod att upprätthålla grundvattentrycket i slutna akviferer. Utförande, drift och kontroll. BFR Rapport R166:1980, 92 pp.
- Bergman, G., 1975: Djupinfiltration i berg. BFR:s programgrupp för geohydrologisk forskning. Referat av Seminarium om grundvatten i berg den 6 dec 1974, pp 55-68.
- Bergman, G., 1976: Djupinfiltration i berg. Byggmästaren nr 3/76, pp 14-16.
- Djurberg, H., 1990a: Resultat från provpumpningar av bergborrade brunnar (BH 20 och BH 5). VIAK Vatten & Miljö, Stockholm (ej publicerad).
- Djurberg, H., 1990b: Geohydrologiska undersökningar i Jakobsbergs Centrum. VIAK Vatten & Miljö, Stockholm (ej publicerad).
- Djurberg, H., 1992: Redovisningar av provpumpningar av observationsbrunnar i Jakobsbergs Centrum. VBB VIAK R8092, Stockholm (ej publicerad).
- Ejerholm, K-G., Spångberg, B., Svensson, P-L., 1977: Kontroll av grundvattennivån genom infiltration via tunnel - ett fullskaleförsök. BFR Rapport R58:1977, 82 pp.
- Ejerholm, K-G., Spångberg, B., Svensson, P-L., 1982: Infiltrationstunnel i Kista. Uppföljning av funktion och drift 1976-1980. BFR Rapport R74:1982, 35 pp.
- Ekbäck, P., 1991: Hydrogeologin vid Stora Skuggan, Norra Djurgården. Examensarbete, Inst. för mark- och vattenresurser, KTH, Stockholm. TRITA-KUT 91:3052, 60 pp.
- Engvall, L., 1989: PM angående grundvatten, Järfälla Centrum. VIAK AB, Stockholm (ej publicerad).
- Eresund, S., 1991: Sättningsberäkningar för Skarpnäck. Korrespondens Skanska (ej publicerad).

af Forselles, T., 1982: Rapport över minskning av infiltrationskapaciteten för Vretentunneln. Hagconsult, Stockholm (ej publicerad).

Gedda, C., Riise, P., 1976: Djupinfiltration av vatten i jord. Bearbetning av erfarenheter från praktiska prov. BFR Rapport R43:1976, 28 pp, Stockholm.

Gustafson, G., Eriksson, K-O., 1976: Botkyrka kommun. Infiltrationsanläggning vid Hallunda. Program för grundvattennivåbestämningar (ej publicerat).

Hansbo, S., 1981: Det farliga droppet - om tunnelbyggande i otätt berg. Ur: En grund att stå på. Konferens om grundförhållanden och grundförstärkning i befintlig miljö, okt. 1978. BFR Rapport T35, pp 14-16.

Janelid, I., 1970: Metod för att bibehålla grundvattnet som tätande medel kring berggrum. IVA Bergmekanikkommittén, diskussionsmöte 13 februari 1970. IVA Rapport nr 29, pp 185-196.

Johnson, S., Bohm, H., 1984: Sättningsfrågor. Kv Fruktkorgen (Rådhuset) Kungsholmen. Brev till Byggnadsstyrelsen 1984-10-30, Stockholm (ej publicerat).

Larsson, I., 1970: Berggrum för lagring av flytande petroleumgas i Göteborg - bergtekniska synpunkter. IVA Bergmekanikkommittén, diskussionsmöte 13 februari 1970. IVA Rapport nr 29, pp 161-170.

Lindgren, J., 1991: Lägesrapporter över infiltration i Skarpnäck. Skanska Teknik, Stockholm (ej publicerat).

Melin, O., 1976: Besiktningsutlåtande över utförd slutbesiktning av entreprenad A-H5, Botkyrka kommun. Protokoll fört av Noldis Millers (ej publicerat).

Morfeldt, C-O., 1967: Problem med vatten vid tunneldrivning i berg. IVA Bergmekanikkommittén, diskussionsmöte 3 mars 1967, pp 21-36.

Morfeldt, C-O., 1972: Drainage Problem in Connection With Tunnel Construction in Precambrian Granitic Bedrock (in Sweden). Symposium Percolation Through Fissured Rock, Proceedings, Stuttgart. Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Essen, Germany, pp T4-G 1-9.

Morfeldt, C-O., Söderström, K., Brinck, B., 1978: Bergbyggnadsteknisk och geohydrologisk utredning. Hagconsult, Stockholm (ej publicerad).

Morfeldt, C-O., 1978: Staden och grundvattnet. Särtryck ur Ymer 1978, Stockholm, pp 45-69.

Morfeldt, C-O., 1979: Varför bygga under marken? Publikation 68, Hagconsult, Stockholm, 29 pp.

Morfeltdt, C-O., Söderström, K., 1980: Grundvattennivå på beställning, en metod att rädda gamla stadskärnor. Ur: Grundvattengeoteknisk forskning, BFR rapport G12:1980, pp 4:9-4:18.

Morfeltdt, C-O., 1981: Grundvattennivå på beställning - om infiltrationstunnlar. Ur: En grund att stå på. Konferens om grundförhållanden och grundförstärkning i befintlig miljö, okt. 1978. BFR Rapport T35, pp 21-27.

Olofsson, B., 1991: Effects on Groundwater by Tunnelling in Hard Crystalline Rocks - Analysis of Groundwater Level Data From the Bolmen Tunnel 1969-1987. Research Report, Dept. of Land- and Water Resources, KTH, Stockholm, TRITA-KUT 1062, 90 pp.

Palm, R., 1972: Grundvattensänkning farlig för vegetationen? Byggmästaren nr 8, pp 7-12.

Rosén, R., Almling, E., 1984: Avsänkt grundvattenyta i urbant område. Djupinfiltration samt vattenfyllning av bergtunnel med 150 kPa övertryck. BFR Rapport R61:1984, 17 pp.

Slokenbergs, M., 1990: Lägesrapport 2 över kontrollresultat för etapp A Jakobsbergs Centrum. Skanska Teknik Jord- och bergmekanik, Stockholm (ej publicerad).

Spångberg, B., 1982: Resultat av försök med infiltrationstunnel i Kista, Norra Järfältet inom Stockholms kommun. Seminarium: Bergtunnlar för vattentransitering. Inst. för vattenbyggnad, KTH, red.: Zbigniew Czarnota, pp 90-93.

Stille, H., Slokenbergs, M., 1990: Bottenkonstruktion med ridåinjektering, Jakobsbergs Centrum, Järfälla kommun. Skanska Teknik, Jord- och bergmekanik, Stockholm (ej publicerad).

Sund, B., Roosaar, H., Bergman, G., 1977: Vatteninläckning i bergtunnlar - dess verkan och influensområde. BFR Rapport R36:1977, 64 pp, Stockholm.

Söderström, K., af Forselles, T., Lagus, M., Lundström, L., 1979: Skötselinstruktion. Infiltrationstunnel i Vreten. Hagconsult, J&W, Stockholm (ej publicerad).

Bilaga 1

Kontaktperson	Företag	Objekt
Torbjörn Allenius	ADG Grundteknik, Sthlm	
Johan Alm	KM, Göteborg	Teletunnlar Göteborg
Ann-Carin Andersson	VBB VIAK, Jönköping	
Nils-Erik Andersson	Stockholm Vatten	Enskedetunneln
Ragnar Andersson	Norrenergi, Solna	Vretentunneln
Rasa Benedik	Tyréns Byggkonsult, Sthlm	Tranebergstunneln
Bengt Berg	KM, Göteborg	Teletunnlar, Göteborg
Jan Bergström	Stadsbyggnadskontoret Gbg	Teletunnlar Göteborg
Jan Berntson	KM, Göteborg	Teletunnlar Göteborg
Håkan Bohm	Stockholm Konsult	
Nils-Erik Bruse	Vägverket, Stockholm	Skarpnäcksbanan
Lennart Edgren	Bostadsbolaget, Gbg	
Staffan Ekenbark	Stockholm Vatten	
Allan Ekström	Banverket, Stockholm	
Tomas Eld	Bjerkings, Uppsala	
Ronnie Engzell	Vasakronan, Stockholm	Rådhusbrunnen
Anders Eriksson	J&W, Solna	
Ulf Eriksson	Tyréns, Uppsala	
Birger Fall	Tyréns Byggkonsult, Sthlm	Kistatunneln
Helge Fischerström	NCC, Solna	Vretentunneln
Johan von Garrelts	Tyréns Byggkonsult, Sthlm	
Christer Gedda	KM, Halmstad	
Anders Hallingberg	Banverket, Göteborg	
Arne Hellgren	Solna Stad	Vretentunneln
Lars-Gunnar Hellgren	Stadsbyggnadskontoret Gbg	Teletunnlar Göteborg
Lars Hellman	Lars Hellman Byggråd AB, Linköping	
Stig Henriksson	Stockholms Läns Landsting	Karlaplan, Leoparden
Sven Hultsjö	Grundförstärkningar AB, Sthlm	
Hans Hvass	SL Fastigheter	Skarpnäcksbanan
Göte Håkansson	Kristinehamns Kommun	
Eddy Ismael	Göteborgs Kommun	Teletunnlar Göteborg
Marlene Johansson	ADG Grundteknik, Sthlm	
Nils Johansson	Åke Larsson Byggare, Sthlm	
Christer Jönsson	Tyréns Byggkonsult, Sthlm	Kungliga Biblioteket
Stig Karlsson	Alingsås Kommun	
Lennart Lanz	KM, Göteborg	Teletunnlar Göteborg
Eino Leskinen	AB Frijo, Stockholm	Tranebergstunneln
Bo Leyon	J&W, Lidingö	
Magnus Lidholm	VBB VIAK, Göteborg	Toremossegatan
Johan Lindgren	Skanska, Stockholm	Skarpnäck, Jakobsbergs C

Kontaktperson	Företag	Objekt
Lennart Lorick	KM, Halmstad	
Kent Lundin	Telia, Stockholm	Tranebergstunneln
Per Lundin	Stockholm Konsult	
Gunnar Lundkvist	Grundförstärkningar AB, Gbg	
Christer Lundqvist	Scandiaconsult, Malmö	
Lars Lundström	J&W, Lidingö	
Lars Lönnkvist	Botkyrka Kommun	Botkyrkabrunnen
Berndt Mellberg	Solna Stad	Vretentunneln
Carl-Olof Morfeldt	Mineconsult AB/Geo Research Center, Sthlm	
Bertil Nilsson	Banverket, Borlänge	
Per Nordensjö	Tyréns Byggkonsult, Sthlm	
Örjan Nygren	Solna Stad	Vretentunneln
Tommy Olsson	Golder Geosystem, Uppsala	
Roger Oscarsson	Göteborgs Gatu AB	Toremossegatan
Lasse Pettersson	Vasakronan, Stockholm	Kungliga Biblioteket
Göran Rastborg	VBB VIAK, Stockholm	Botkyrkabrunnen
Per Riise	KM, Göteborg	Teletunnlar Göteborg
Hans Rydström	J&W, Lidingö	Skarpnäcksbanan
Thord Sjödahl	Tyréns Byggkonsult, Sthlm	Tranebergstunneln
Modris Skoste	Tyréns Byggkonsult, Sthlm	
Lennart Skårman	HSB, Göteborg	
Maira Slokenbergs	Skanska, Stockholm	Jakobsbergs Centrum
Staffan Strömkvist	NCC, Stockholm	
Holger Ståhlberg	Botkyrka Kommun	Botkyrkabrunnen
Kjell Söderström	Stockholm Konsult	
Gunnar Tenlén	Stockholm Konsult	Skarpnäcksbanan
Mats Tenne	Scandiaconsult, Stockholm	
Gunnar Tibblin	VBB VIAK, Stockholm	
Anders Torstensson	Vasakronan, Stockholm	Rådhusbrunnen
Jan Wassenius	Scandiaconsult, Göteborg	
Gillis Willfors	Stockholm Vatten	Kistatunneln