



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

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



**Rapport**

**R 20: 1974**

**Grundvatten  
och byggande**

**Nils-Erik Lindskoug  
& Lars-Yngve Nilsson**



**Byggforskningen**

# Grundvatten och byggande STEGAs arbete 1966-73

Nils-Eric Lindskoug & Lars-Yngve Nilsson

*Kännedom om grundvattenförhållandena är en viktig faktor vid projekteringen av byggnadsarbeten, särskilt vid komplicerad grundläggning på stort djup. Sjunkande grundvattennivåer – förorsakade av ökad dränering i kombination med minskad nederbörd/infiltration – kan orsaka svåra skador på både mark och byggnader.*

*Forskningsgruppen STEGA har under perioden 1966–73 arbetat på att åstadkomma ett bättre kunskapsunderlag för bedömning av de byggnadstekniska problem grundvattnet medför.*

## STEGA

År 1966 bildades på initiativ av Sven Tyrén forskningsgruppen STEGA. "Praktiskt inriktad grundvattenforskning i tätbebyggelse" var arbetsnamnet på gruppens forskningsuppgift. Den har omfattat fältundersökningar i Stockholms- och Göteborgstrakten. I slutrapporten redovisas följande delundersökningar:

- enkät och litteraturgenomgång.
- grundvattenmätningar i referensområden.
- sättningsskador i Huddinge och Stockholms västra förorter.
- grundvatten- och sättningmätningar m.m. i exploateringsområdena Botkyrka och Angered.
- grundvattenproblem kring tunnlar och djupa grundschakter.
- datormodell för grundvattenberäkningar.
- markkostnadsindex.
- grundvatten och vegetation.

– bakteriell nedbrytning av grundläggningsvirke.

I flera avsnitt behandlas hydrologiska, kemiska, geotekniska m.fl. frågor. För att inte tynga framställningen ges en orientering om den teoretiska bakgrunden i ett särskilt kapitel.

## Referensområden

Orörda referensområden behövs för att kunna avgöra vilka grundvattenförändringar som är naturliga och vilka som orsakats av tekniska ingrepp.

I Stockholmsregionen finns ett sådant referensmaterial i det s. k. grundvattenkorset. Detta består av fyra områden – Verka, Bogesund, Bornsjön och Berga. I Göteborgsregionen är motsvarande områden Harestad, Härskogen och Sandsjöbacka.

Här mäts, registreras och bearbetas grundvattenståndet kontinuerligt. Det har gett fakta om bl. a. karakteristiska årtidsvariationer och nederbördens inverkan.

Referensområdenas mätresultat har visat sig ha stort intresse även för en vidare krets. Inte minst vid de juridiska tvister om grundvattensänkning som ofta uppkommer i samband med djupa grundschakter och tunnlar är materialet värdefullt.

## Skadeinventering

I Huddinge söder om Stockholm har ständiga bekymmer med marksättningar förekommit. Centrum är byggt på postglacial lera med organiskt ytmateriale och sådana områden har visat sig

# Bygghorsningen Sammanfattningar

## R20:1974

Nyckelord:

*grundvatten*, samhällsplanering, grundläggning, tunnelarbete, skada, STEGA-gruppen

Rapport R20:1974 hänför sig till forskningsanslag C 305 från Statens råd för byggnadsforskning till Sven Tyrén AB, Stockholm

UDK 624.131.6/.7  
624.193  
SfB 69.059.2  
ISBN (19)  
91-540-2365-3

Sammanfattning av:

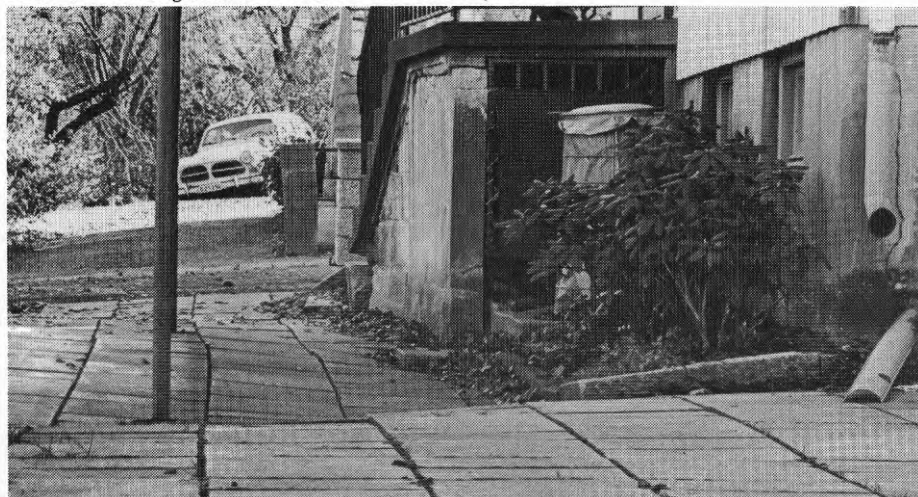
Lindskoug, N-E & Nilsson, L-Y, 1974, *Grundvatten och byggande. STEGAs arbete 1966–73*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R20:1974, 164 s., ill. 27 kr.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, 111 84 Stockholm  
Telefon 08-24 28 60  
Grupp: konstruktion

FIG. 1. Sättningskador i Stockholms västra förorter.



vara särskilt utsatta för mark- och byggnadsskador. 1971 påbörjades genomgripande grundläggningsreparationer. Knäckta pålar och korrosionsskador på järn och betong hörde till skadebilden. 1972 fick tingshuset utrymmas på grund av risk för ras.

Förutom kartläggning av grundvattenståndets förändring från det jungfruliga området till det exploaterade har prognoser ställts upp över risken för framtida ytterligare sänkningar och konsekvenser därav.

I *Stockholms västra förorter* finns åtminstone två småhusområden, där pålastning och grundvattensänkning gett så stora skador på mark och hus att återställningskostnaderna har blivit upp mot 50 % av husens värde. STEGA har följt dessa projekt och har dessutom inventerat hela västerort med avseende på områden med postglacial lera. De kartlagda områdena har sedan genomskotts och fotograferats. Händelseförloppet är särskilt intressant bl. a. därför att tunnelarbeten av olika slag pågår inom området.

### Undersökningar i nybyggnadsområden

I avsikt att kartlägga samspelet mellan grundvatten och byggande mer i detalj valdes två modellområden, Botyrka i Stockholmstrakten och Angered i Göteborgstrakten. Här har grundvattenförhållandena kunnat studeras såväl före som under en intensiv utbyggnad. Grundvattenprognoser med ekonomiska kalkyler ingick i planeringsarbetet, vilket också påverkat den slutliga utbyggnaden med bättre anläggningsekonomi som resultat.

Vid uppföljningen gjordes sänkings-

trender för olika avrinningsområden. Dessutom konstruerades en hydrologisk datormodell.

En långsiktig uppföljning av såväl grundvattenstånd som sättningar kompletterad med porvattentryckmätningar borde vara den naturliga fortsättningen av forskningarna i Botkyrka och Angered.

### Tunnlar och djupa grundschakter

En vanlig orsak till grundvattensänkning är tunnlar och djupa ledningsgravar. Några projekt i Stockholm och Göteborg har följts upp med mätningar. Konstgjord infiltration samt förinjektering har prövats. Det har i allmänhet visat sig vara möjligt att begränsa läckningen i tunnlar till ca 0,5 l/s.

### Specialundersökningar

Risken för *vegetationen* vid grundvattensänkningar har undersökts. En grundvattensänkning visar sig påverka växtbeståndet endast i områden med grundvattnet mycket nära markytan. Däremot kan t. ex. skärningar och ledningsschakter samt ändring av markytans nivå fördärva vegetationens vattenhushållning.

*Bakteriell nedbrytning av grundläggningsvirke* har konstaterats i flera fall på pålar och rustbäddar som bevisligen alltid legat under grundvattenytan. En kartläggning av bakteriefloran visade att cellulosedbrytande anaeroba bakterier förekom i samtliga fall med angripet virke. Tidsförloppet för en bakteriell nedbrytning har inte kunnat klarläggas, men "säkra" trägrundläggningar i storstäder finns alltså inte.

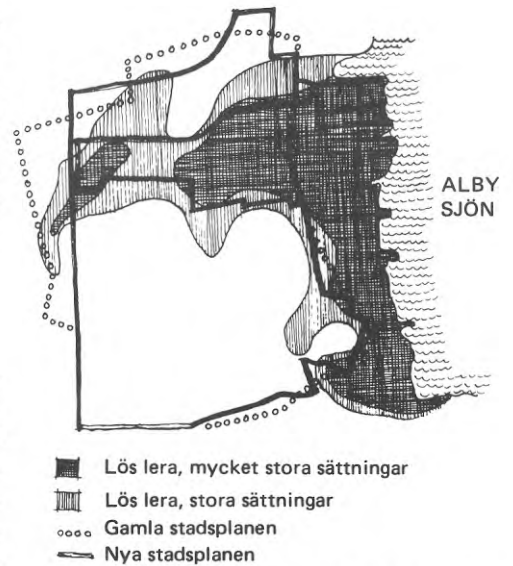


FIG. 3. Utbyggnaden av Botkyrka kunde planeras med hänsyn till grundvattenförhållandena.

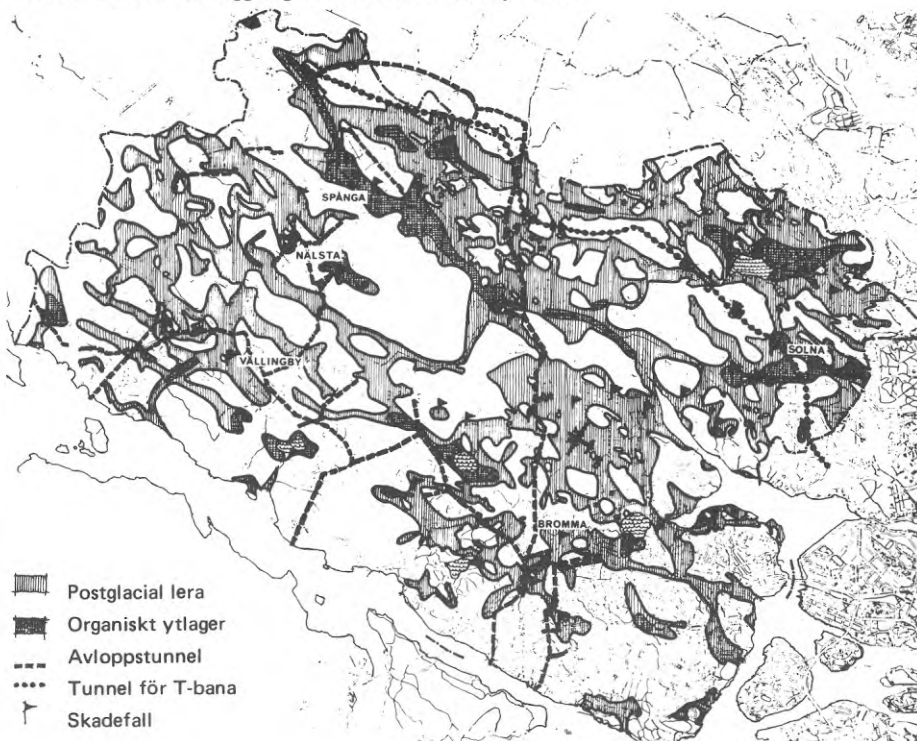
### Utveckling av planeringshjälpmedel

STEGA har bl. a. utarbetat *byggnadsgeologiska kartor*, dvs. där geologiska och geotekniska fakta av intresse för byggandet sammanställts. Kartor som bygger på informationerna om väntade grundvattensänkningar och sättningar har lett till *grundläggningskartor* och sedermera *markkostnadsindexkartor*, vilka direkt ger den relativa markbyggnadskostnaden. Dessa kartor har visat sig vara mycket användbara för ekonomiska optimeringar i samband med regionplanering, utformning av generalplaner samt bebyggelseplanering. Det är möjligt att också den hydrologiska *datormodell* som utarbetats med tiden kan utvecklas till ett verksamt planeringshjälpmedel.

### Den fortsatta forskningen

STEGA har inneburit initiativet till en översyn av ett stort och brett problemkomplex. STEGAs forskning är en början, där nu många tagit vid. En del problem som STEGA med sitt arbete belyst har redan börjat påverka lagstiftningsarbetet på området.

FIG. 2. STEGAs kartläggning av Stockholms västra förorter.



### STEGA

Bakom namnet STEGA döljer sig fem personer:

Sund, Buster, fil lic, geolog i Bergkonsult - Sven Tyrén AB. Till mitten av 1968 gruppens sekreterare, Tyrén, Sven, civ ing, Sven Tyrén AB. Ordförande, Eriksson, Erik, fil dr, professor i Hydrologi vid Uppsala Universitet, Gustafsson, Yngve, agr dr, professor i Kulturteknik vid Tekn Högskolan i Stockholm, Arnborg, Lennart, fil dr, geograf och hydrolog, direktör i Hydrokonsult AB. Avlidet 1972.

Sedan mitten av 1968 har Nils-Eric Lindsoug, civ ing, varit STEGAs sekreterare.

STEGAs centrala administration har under de sex år forskningen pågått handhållits av Sven Tyrén AB.

Följande institutioner har deltagit i arbetet:

- Institutionen för Kulturteknik, KTH
- Geologiska institutionen vid CTH
- Svenska Träforskningsinstitutet
- Institutionen för Mikrobiologi vid Statens Lantbruks-högskola i Uppsala
- AB Hydroconsult
- Institutionen för Hydrologi vid Uppsala Universitet
- Göteborgs gatukontor och VA-verk
- Bergkonsult - Sven Tyrén
- AB Botkyrka, Stockholm/VIK AB

# Ground water and urban planning Report from STEGA 1966-73

Nils-Eric Lindskoug & Lars-Yngve Nilsson

*Knowledge of ground water conditions is an important factor at the design stage and during the construction especially for complicated and deep foundation work. Sinking ground water levels – caused by increased drainage in combination with diminished precipitation and infiltration – can result in severe damages both on surfaces and to buildings.*

*During the period 1966–1973 the research group STEGA has been working with the aim of creating better general knowledge for judging the problems in building technology and structural engineering which are caused by the changes of the ground water level.*

## STEGA

In 1966 the research group STEGA was established on the initiative of Sven Tyrén. "Ground water research in urban areas with practical application" was the working name of the task. It comprised field research in the Stockholm and Gothenburg areas. The observation material has been processed by means of charting, trend analyses and prognoses. The final report is presented under the following headings:

- Inquiry and literature studies
- Ground water measurings in reference areas
- Damages caused by subsidence in Huddinge and in the western suburban areas of Stockholm
- Measurings of ground water levels and settlements in the urbanisation areas of Botkyrka in Stockholm and Angered in Gothenburg.
- Ground water problems in connection with tunnelling and deep founda-

tion excavations

- Land and foundation cost index
- Ground water and vegetation
- Bacterial decomposition of wooden piles and other foundation timber.

In several sections hydrological, chemical and geotechnical aspects are discussed. In order not to make the text too complicated, a special chapter has been devoted to the theoretical background.

## Reference areas

Virgin reference areas are needed for the judgement of whether changes in the ground water table are natural or caused by technical operations.

In the Stockholm region such a reference material has been created in the so-called "ground water cross". This is not really a cross, but four separate areas north, east, south and south west of Stockholm (Verka, Bogesund, Bornsjön and Berga). In Gothenburg three such separate areas form the reference cross (Harestad, Härskogen and Sandsjöbacka).

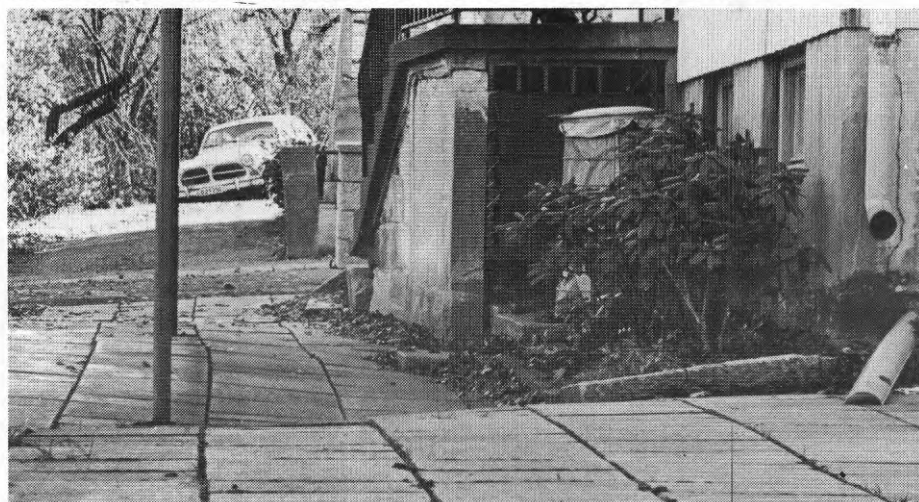
Continuous registration and processing of ground water level data has been carried out whereby facts about seasonal variations and the influence of precipitation, etc., have been obtained.

## Recording of damages

In *Huddinge*, south of Stockholm, there have been incessant problems with the ground subsidence. The shopping centre was built on post glacial clay with organic soils on top and such areas have proved to be especially subjected to damages.

Radical repair of the foundations be-

FIG. 1. Damages caused by subsidence in the western suburban areas of Stockholm.



## National Swedish Building Research Summaries

R20:1974

Key words:

*ground water*, urban planning, foundation, tunnelling, damages, group STEGA

Report R20:1974 has been financed through Grant C 305 from the Swedish Council for Building Research to Sven Tyrén AB, Stockholm.

UDC 624.131.6/.7

624.193

69.059.2

SfB (19)

ISBN 91-540-2365-3

Summary of:

Lindskoug, N-E & Nilsson, L-Y, 1974, *Grundvatten och byggande. STEGAs arbete 1966–73*. Ground water and urban planning. Report from STEGA 1966–73. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R20:1974, 164 s., ill. 27 Sw. Cr.

The report is in Swedish with summaries in Swedish and English.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, S-111 84 Stockholm  
Sweden

gan in 1971. Broken piles and corrosion damages on reinforcement bars and concrete were parts of the damages. In 1972 the District Court-House had to be evacuated owing to imminent risk of collapse.

In addition to plotting the ground water level change from the state of the virgin area to the present urbanisation area, prognoses have been made covering the risk of additional land subsidence and its consequences.

In the western suburban areas of Stockholm there are at least two one-family dwelling areas where severe damages have occurred. The loads caused by the filling up together with the lowering of the ground water table have caused considerable damages. The cost of the repairs has amounted to approximately 50 per cent of the property value. STEGA has studied these projects and has also made an inventory of the whole western suburban area, paying special attention to the area with post glacial clay. The mapped areas have been examined and photographed. The damages caused by this occurrence are especially interesting because tunnelling is at present going on in this area.

#### Surveys in areas under development

In an endeavour to evaluate the detailed relationship between ground-water and building activity two areas of reference were chosen, viz. Botkyrka, near Stockholm, and Angered at Gothenburg. Both before and during the intensive development it has been possible to study the ground-water. Prognoses of ground-water including economic estimates were part of the planning. This has also effected the actual development and resulted in a less costly development. In the feed-back program the trends of subsidence were investigated for various drainage basins. Further-

more, a hydrological computer model for data processing was designed.

A long-term continued investigation of the ground-water level and subsidence supplemented by the measuring of the pore water pressure should be the natural aim of the future research at Botkyrka and Angered.

#### Tunnels and deep foundation excavation

Tunnels and deep trenches are serious causes of sinking ground water. Some areas in Stockholm and Gothenburg have been studied and changes recorded. Artificial infiltration and preinjection have been tested. In most cases it has proved possible to limit the seepage to 0.5 l/s and kilometer tunnel length, which generally results in moderate ground water reductions.

#### Special investigations

The risks of *disturbed vegetation* at the lowering of the ground water table have been studied. The result of the study is that the reduction of the ground water table can only influence the vegetation in areas with a ground water level very close to the surface. On the other hand, e.g., cuttings for roads, etc., and excavations for trenches and also changes of soil levels can spoil the water balance for the vegetation.

*Bacterial decomposition of foundation timber* has been found in several cases in timber piles and beds, which assuredly have been located under the ground water level all the time. A study of the bacterial flora confirmed that cellulose decompositive anaerobe bacteria were present in all seriously damaged timber. The time needed for bacterial decomposition has not been evaluated, but on basis of the study it can be stated that safe timber foundations in big cities do not exist.

FIG. 2. Mapping of the western suburban areas of Stockholm, prepared by STEGA.

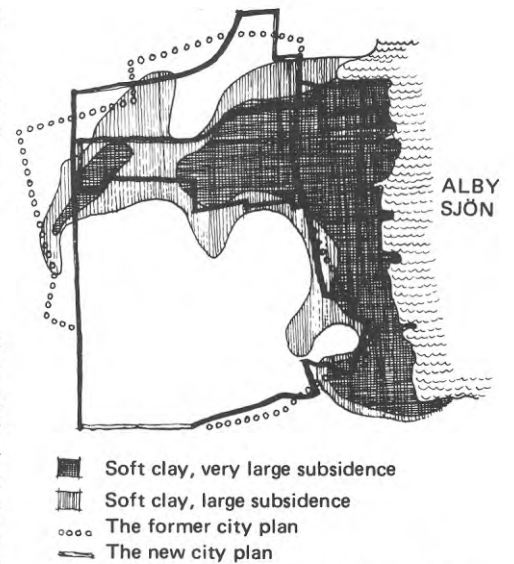
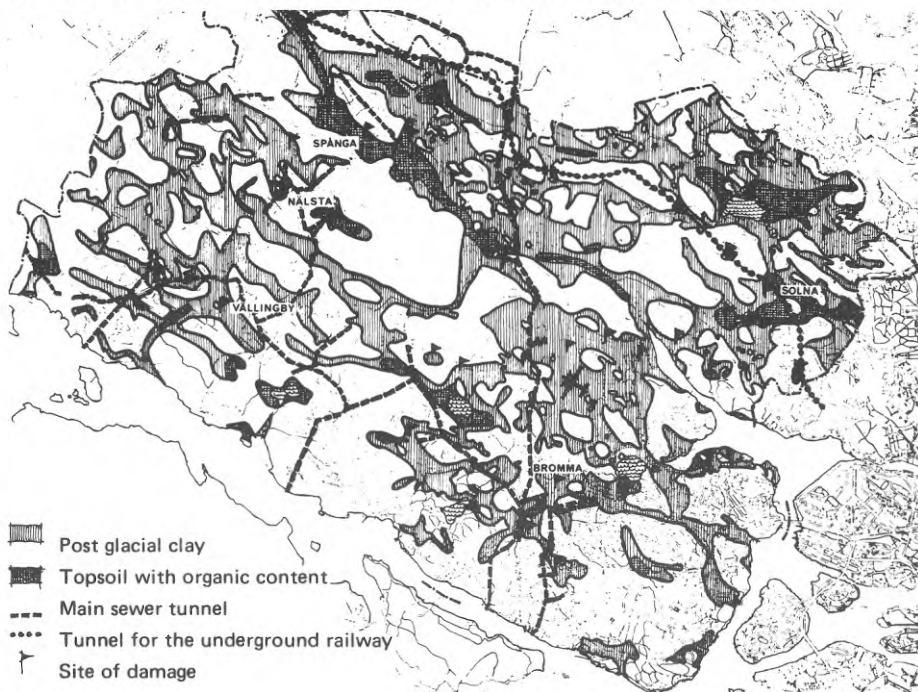


FIG. 3. The development of Botkyrka could be planned taking the ground-water conditions into consideration.

#### Development of planning aid

The STEGA group has i.a., prepared *building-geological maps* where geological and geotechnical facts of interest for the building activity have been compiled. Maps indicating available information as far as ground water reduction and subsidence are concerned with practical and economic data have been completed. These have subsequently resulted in *land and foundation cost index maps*, which directly indicate the relative cost in connection with all soil work concerned. These maps have proved to be very useful at the difference stages of the planning.

It is also possible that the *hydrological computer model* which has been designed, can in time be developed to become a useful planning instrument.

#### Future research

STEGA has implied the initiative to carry out the review of a comprehensive and important set of problems. The research initiated by STEGA is the first step of a research program which is now engaging many people. The most important principles revealed and illustrated by the STEGA group has already begun to influence the Swedish legislation concerning planning and building.

#### STEGA

STEGA consists of the following five persons:

- Sund, Buster, Ph L, Geologist in Bergkonsult - Sven Tyrén AB, Secretary of the group until the middle of 1968.
- Tyrén, Sven, Master of Civil Engineering, Sven Tyrén AB, Chairman.
- Eriksson, Erik, Ph D, Professor of Hydrology at the University of Uppsala.
- Gustafsson, Yngve, Dr Agr, Professor of Landimprovement and Drainage at the Royal Institute of Technology in Stockholm.
- Årnberg, Lennart, Ph D, Geographer, Hydrologist, Managing Director of Hydroconsult AB, deceased 1972.
- Nils-Eric Lindskoug, Master of Civil Engineering, has been Secretary since the middle of 1968.

Since the group STEGA was established six years ago the central administration has been managed by Sven Tyrén AB.

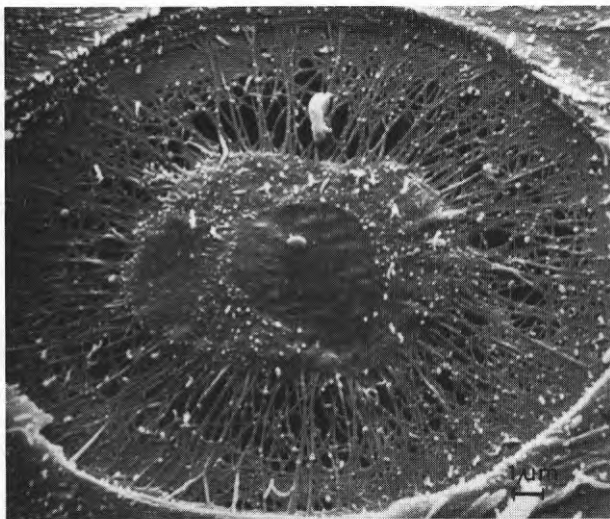
- The following institutions have also participated in the work:
  - The Royal Institute of Technology, Department of Land Improvement and Drainage
  - Chalmers University of Technology, Division of Geology
  - Swedish Forest Products Research Laboratory
  - College of Agriculture in Uppsala, Department of Microbiology
  - Hydroconsult AB
  - University of Uppsala, Division of Hydrology
  - The Highway and Street office of Gothenberg - Gothenbergs Water and Sewage works
  - Bergkonsult - Sven Tyrén AB
  - AB Botkyrka, Stockholm/VIÅK AB

# Rapport R20:1974

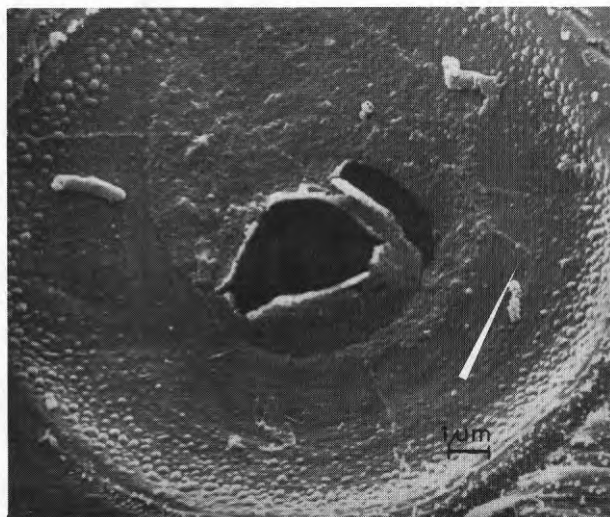
## Grundvatten och byggande

Nils-Erik Lindskoug & Lars-Yngve Nilsson

### ERRATA



FIGUR 14:8 Svepelektronmikroskopisk bild av gårdad por i frisk furusplintved.



FIGUR 14:9 Svepelektronmikroskopisk bild av nedbruten gårdad por i trä på vilket "pål bakterier" har ympats.

S. 153, figur 14:8 och 14:9 utelämnade, återges här.

S. 153, not nr 1), hänvisningen står på s. 152 i högerspalten.

S. 155, not nr 1), hänvisningen står på s. 154 i högerspalten.

"Nr 8, 25-28" ska vara "Nr 8, 29-32".





Rapport R20:1974

GRUNDVATTEN OCH BYGGANDE  
STEGAs arbete 1966-73

av Nils-Eric Lindskoug & Lars-Yngve Nilsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag C 305 från  
Statens Råd för Byggnadsforskning till Sven Tyrén AB, Stockholm

Kartorna i denna skrift är godkända ur sekretessynpunkt för spridning. Statens lantmäteriverk 1974-09-30.

Särtryck ur Topografiska kartan från Statens Lantmäteriverk och SRAs länsblankett, publiceringsnummer 9874, LiberKartor.

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm

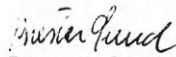
ISBN 91-540-2365-3

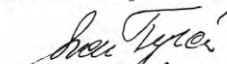
LiberTryck Stockholm 1974

Författaransvaret är fördelat förutom på huvudförfattarna även som följer:

Kap 4	Teori	hydrokemi geoteknik	Erik Eriksson Stig Bergström
Kap 6	Huddinge och		Sven Tyrén
Kap 7	Markskador i Stockholms nord- västra förorter, allmänt		Bengt Johansson
Kap 8	Botkyrka	hydrokemi	Erik Eriksson Ulla Kjellberg
Kap 9	Angered	allmänt  tektonik geoteknik exploatering hydrokemi	K Gösta Eriksson Chester Svensson Lars Nilsson Eddy Ismael Valter Svantesson Erik Eriksson Ulla Kjellberg
Kap 10	Tunnlar och schakter under grundvattenytan		Buster Sund, Heino Roosaar Göran Bergman
Kap 11	STEGA:s datormodell		Erik Eriksson, Pontus Sandborgh Roland Palm
Kap 12	Mi, markkostnadsindex		Bengt Johansson Roland Byström
Kap 13	Grundvattensänkning och vegetation		Roland Palm
Kap 14	Mikrobiologisk nedbrytning av grundläggningsvirke		Julius Boutelje, Bo Göransson Gunnar Granstrand
Kap 15	STEGA-problematiken i sitt större sammanhang		Sven Tyrén

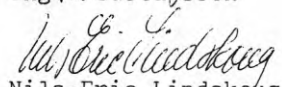
Stockholm i april 1974

  
Buster Sund

  
Sven Tyrén  
ordf

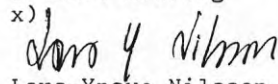
  
Erik Eriksson

  
Yngve Gustafsson

  
Nils-Eric Lindskog  
sekr

Lennart Arnborg

x)

  
Lars-Yngve Nilsson

x) avliden 25.11 1972

INNEHÅLL

1	INLEDNING	7	5.3	Observationsanordningar och mätprogram	28
1.1	Bakgrund	7	5.4	Resultat	29
1.2	STEGA:s målsättning och arbetsprogram	7	5.5	Hydrokemi	30
1.3	STEGA:s organisation och ekonomi	7	5.6	Framtida uppföljning	31
2	ENKÄT	9	6	HUDDINGE	33
2.1	Inledning	9	6.1	Allmänt	33
2.2	Frågorna	9	6.2	Topografi, geologi, geohydrologi	33
2.3	De bearbetade svaren	9	6.3	Bebyggelsen, skadebilden i kronologisk ordning	34
2.4	Sammanfattning och slutsatser	11	6.3.1	Centrumbebyggelsen vid Sjödals torg	34
3	LITTERATUR	12	6.3.2	Järnvägen, tingshuset	36
3.1	Allmänt	12	6.4	Grundvattnets roll i sammanhanget	37
3.2	Sättningar till följd av grundvattensänkning	12	6.4.1	Grundvattenobservationer, trendanalyser	37
3.3	Övriga byggnadstekniska problem i samband med grundvatten	13	6.4.2	Kemiska undersökningar	38
3.4	Mikrobiell nedbrytning av grundläggningssvirke	13	6.4.3	Upptagning av en avbruten påle under Domus-varuhuset	50
4	TEORI	15	6.4.4	Vattenbalans	41
4.1	Hydrologi	15	6.5	Diskuterade åtgärder	42
4.1.1	Grundvattennivå	16	7	MARKSKADOR I STOCKHOLMS NORDVÄSTRA FÖRORTSOMRÅDEN	43
4.1.2	Grundvattnets strömning	17	7.1	Inledning	43
4.1.3	Avvattning av moränjordar	17	7.2	Översiktlig skadeinventering	43
4.1.4	Urbaniseringens inverkan på vattnets kretslopp	18	7.2.1	Abrahamsberg	43
4.1.5	Bearbetning av grundvattennivåmätningar	20	7.2.2	Brommaplan och kringliggande bebyggelse i Riksby	45
4.2	Hydrokemi	21	7.2.3	Småhusbebyggelse söder om Islandstorget	46
4.2.1	Allmänt	21	7.2.4	Bromma kyrka vid Kyrksjön samt områdets anslutning till Bromma flygplats	46
4.2.2	Nederbördens kemiska sammansättning	21	7.2.5	Bromma flygplats	46
4.2.3	Kemiska processer i markskiktet	21	7.2.6	Bällstaån och Spånga centrum	46
4.2.4	Kemiska processer i grundvattensmagasinet	22	7.2.7	Solhem	48
4.3	Geoteknik	22	7.2.8	Räcksta	48
4.3.1	Allmänt	22	7.2.9	Kvarteret Uranet, sydväst om Vällingby centrum	48
4.3.2	Grundvattensänkning = lastökning	22	7.2.10	Hässelby gård	48
4.3.3	Konsolidering	23	7.2.11	Hässelby villastad	48
4.3.4	Normalkonsolidering och överkonsolidering	24	7.2.12	Solna centrum	50
4.3.5	Primärsättning	24	7.2.13	Ankdammsvägen, Solna	50
4.3.6	Forskningsbehov	24	7.2.14	Kv Smeden och Fräsaren, Solna	50
5	REFERENSOMRÅDEN	26	7.2.15	Virebergsområdet	50
5.1	Referensområden kring Stockholm	26	7.2.16	Kv Leoparden, Solna	52
5.2	Referensområden kring Göteborg	27	7.2.17	Pyramidvägen i Solna och kvarteren däromkring	52
5.2.1	Harestadsområdet	27	7.2.18	Bromstensvägen	53
5.2.2	Härskogen-området	27	7.2.19	Tensta	54
5.2.3	Sandsjöbacka-området	27			

7.3	Nälsta - Sämjevägen - Dalkärrensleden	54	9.4	Hydrologi	94
7.3.1	Allmänt	54	9.4.1	Allmänt	94
7.3.2	Topografi, geologi och geohydrologi	55	9.4.2	Nederbörd, ytvatten, avdunstning	95
7.3.3	Skadebilden	55	9.4.3	Grundvatten	95
7.3.4	Grundvattenobservationer - trend-analys	55	9.5	Exploatering	95
7.3.5	Sättningarnas storlek	57	9.5.1	Huvudlinjer	95
7.3.6	Praktiska konsekvenser	57	9.5.2	Tunnlar i stället för ytliga ledningsnät	96
7.4	Småhusområde i Nälsta, kv Faddrarna m fl	58	9.5.3	Några fall där grundvattenproblemen påverkat byggplaner och utförande	97
7.4.1	Allmänt	58	9.6	Mätprogram	97
7.4.2	Topografi, geologi och geohydrologi	58	9.6.1	Avrinning	97
7.4.3	Några detaljer i sättningsförloppet	59	9.6.2	Grundvatten	97
7.4.4	Grundvatten	60	9.6.3	Sättningar	98
7.4.5	Reparationen av husen i kv Faddrarna	61	9.6.4	Hydrokemi	98
			9.6.5	Specialundersökningar	103
8	BOTKYRKA	63	9.7	Bearbetningsresultat	104
8.1	Allmänt	63	9.7.1	Grundvatten	104
8.2	Topografi	63			
8.3	Geologi	64	10	TUNNLAR OCH SCHAKTER UNDER GRUNDVATTENYTAN	110
8.3.1	Berggrund	64	10.1	Allmänt	110
8.3.2	Jordlager	64	10.2	Observationer av vatteninläckning och grundvattensänkning i samband med tunnelarbeten	110
8.3.3	Geologisk områdesindelning	65			
8.4	Hydrologi	66	10.2.1	Mätningar	110
8.4.1	Allmänt	66	10.2.2	Undersökningsområden	110
8.4.2	Nederbörd, ytvatten, avdunstning	66	10.3	Försök med konstgjord infiltration	117
8.4.3	Grundvatten	66	10.4	Tätning av tunnlar med hjälp av injektering	119
8.5	Exploatering	67	10.5	Skador och skadekostnader	120
8.5.1	Huvudlinjer	67	10.6	Diskussion, slutsatser och praktiska rekommendationer	121
8.5.2	Några fall där grundvattenproblemen påverkat byggplaner och utförande	68	10.6.1	Framtida projektering	121
8.6	Mätprogram	72	10.6.2	Injektering	121
8.6.1	Avrinning	72	10.6.3	Konstgjord infiltration	121
8.6.2	Grundvatten	72	10.6.4	Tätningsskrav	121
8.6.3	Sättningar	72			
8.6.4	Hydrokemi	73	11	STEGA:S DATORMODELL FÖR GRUNDVATTENBALANSBERÄKNINGAR	122
8.6.5	Pumpning	77	11.1	Målsättning	122
8.7	Bearbetningsresultat	77	11.2	Huvuddragen av tankarna bakom modellens uppbyggnad	122
8.7.1	Avrinning	77	11.2.1	Allmänt	122
8.7.2	Grundvatten	79	11.2.2	Grundvattenbassänger	122
8.7.3	Sättningar	84	11.2.3	Grundvattentrösklar	124
8.7.4	Specialundersökning: Grundvattenförhållandena i övre Albydalen	85	11.2.4	Nybildning av grundvatten	125
8.8	Slutord	87	11.2.5	Beräkningssystem för den centrala, slutna bassängkedjan	126
			11.2.6	Modellens matematiska bakgrund	127
9	ANGERED	88	11.3	Beräkningsexempel, Norsborg-Fittjadalgången i Norra Botkyrka	128
9.1	Allmänt	88	11.3.1	Bakgrund	128
9.2	Topografi	88	11.3.2	Den första prognosen med den enklaste modellversionen	128
9.3	Geologi	89			
9.3.1	Berggrund	89			
9.3.2	Jordlager	91			
9.3.3	Geologisk områdesindelning	94			

11.3.3	Beräkning av den utvecklade modellen	129	15.2.2	Byggnadslov för anläggningsarbeten	160
11.4	Försök att utföra kontrollberäkningar enligt jämviktsekvationen	132	15.2.3	Förnuftig planering av fältundersökningar. Databank för markundersökningar	160
11.4.1	Beräkning av tröskelparametrar	133	15.2.4	Utvidgning och systematisering av kartmaterialet för planering, Mi etc	161
11.4.2	Beräkning av perkolation	134	15.2.5	Bestämning av riskområden för grundläggningsskador	161
11.4.3	Beräkning av läckning till tunnlar	134	15.3	Bevakning och bevarande av grundvattenytorna	161
11.5	Utvecklingsmöjligheter för modellen	134	15.3.1	Översyn av vattenlagen	161
12	MI, MARKKOSTNADSINDEX	137	15.3.2	Bevakningsnät och bevakningsrutiner	161
	Hjälpmedel att optimera markbyggnadskostnader. Schablonmetod för beräkning av tomtkostnadsbidrag. (Byggeforskningens informationsblad B12:1971)		15.3.3	Inläckning i tunnlar - kontinuerlig bevakning	162
			15.3.4	Konstgjord infiltration	162
			15.4	Hur gammalt får ett hus bli?	162
			15.5	Slutord	162
13	GRUNDVATTENSÄNKNING OCH VEGETATION	145			
13.1	Inledning	145			
13.2	Minskning av växttillgängligt vatten i rotzonen vid grundvattensänkning	145			
13.3	Fri och artesiskt bunden grundvattenyta	146			
13.4	Slutsatser	146			
13.4.1	Områden med genomsläppliga jordar	146			
13.4.2	Områden med torrskorpa på såplera	147			
13.4.3	Utströmnings- och översilningsområden	147			
13.4.4	Områden med högt grundvatten, myrmarker (ev med kärr och/eller mossar)	147			
13.5	Åtgärder vid exploatering	147			
14	MIKROBIOLOGISK NEDBRYTNING AV GRUNDLÄGGNINGSVIRKE	148			
14.1	Allmänt om bakgrunden till arbetet	148			
14.2	Uppläggnings- och undersökningen	149			
14.3	Redogörelse för provtagningar	150			
14.3.1	Tid och plats m m	150			
14.4	Resultat	150			
14.4.1	Ljuskroskopiska undersökningar	150			
14.4.2	Svepelektronmikroskopiska undersökningar	151			
14.4.3	Mikrobiologiska undersökningar	153			
14.4.4	Kemisk analys	154			
14.4.5	Trätekniska data	157			
14.4.6	Diskussion	157			
14.5	Provtagning av trä ur en myr i Sveg	158			
14.6	Sammanfattning	159			
15	STEGA-PROBLEMATIKEN I SITT STÖRRE SAMMANHANG	160			
15.1	Allmänt	160			
15.2	Planer för ny- och ombyggnad, översyn av byggnadslagen	160			
15.2.1	Stadsplaner för djupbebyggelse	160			

## 1 INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

"Grundvattenytan får inte sänkas" i samband med byggnadsverksamhet. Detta är myndigheternas principiella ståndpunkt när det gäller frågan om samspelet mellan grundvatten och byggande. Vattenlagen tillåter samtidigt uttag av 300 m<sup>3</sup> grundvatten per fastighet och dygn. Man vet vidare att all form av urbanisering innebär en påverkan på vattnets kretslopp och vattenbalansen och därmed helt naturligt även på grundvattnet.

Beträffande bygghet kan generellt sägas att nederbördsinfiltrationen i marken och därmed grundvattenbildningen minskar till följd av hårdgörning av markytor och bortledning av dagvatten. Vidare avtappas grundvattenmagasinen genom grundschakter och tunnlar. Bygghet innebär alltså normalt att grundvattenytan eller grundvattnets trycknivå sänks.

Sjunkande grundvattenytor kan orsaka sättnings-skador på såväl mark som byggnader. När detta skrivs finns ett stort antal "säkra" fall med allvarliga grundläggningsskador till följd av överlast i kombination med grundvattensänkning. Katastrofras har kunnat hindras eller undvikas mer av tur än av skicklighet.

Dessa allvarliga skadeverkningar var ytterst litet kända vid mitten av 60-talet och vid ett akut problem av denna art uppmanades Sven Tyrén av representanter för Stockholms stad att söka forskningsanslag för att utreda problemkomplexet "grundvatten och byggande". Skador och betydande reparationsbehov hade vid denna tidpunkt börjat uppstå bl a i Stockholms förortsområden samtidigt som man kunde konstatera att grundvattenfrågorna inte beaktades i tillräcklig grad vid planarbetet.

År 1966 bildades på initiativ av Sven Tyrén forskningsgruppen STEGA.

### 1.2 STEGA:s målsättning och arbetsprogram

"Praktiskt inriktad grundvattenforskning i tätbebyggelse" var det första arbetsnamnet på gruppens forskningsuppdrag. Verksamheten har

med denna allmänna målsättning omfattat följande delar

- Landsomfattande inventering rörande grundvattenproblem i samband med byggnadsverksamhet (kap 2)
- Litteraturgenomgång (kap 3)
- Detaljerad genomgång av material från ett antal områden där grundvattensänkningar och sättningar ägt rum (kap 6 och 7)
- Undersökningar i nybyggnadsområden (kap 8 och 9)
- Undersökningar kring bergtunnlar (kap 10)
- Upprättande av referensområden för grundvattenförändringar (kap 5)
- Utveckling av datormodell för grundvattenbalansberäkningar (kap 11)
- Undersökningar över samspelet mellan grundvattensänkning och vegetation (kap 13)
- Utveckling av begreppet markkostnadsindex (kap 12)
- Undersökningar angående mikrobiologisk nedbrytning av grundläggningssvirke (kap 14)

### 1.3 STEGA:s organisation och ekonomi

Bakom namnet STEGA döljer sig följande fem personer

<u>Sund</u> , Buster	fil lic geolog i Bergkonsult - Sven Tyrén AB (fram till mitten av 1968 gruppens sekreterare)
<u>Tyrén</u> , Sven	civ ing - Sven Tyrén AB (ordförande)
<u>Eriksson</u> , Erik	fil dr - professor i Hydrologi vid Uppsala Universitet
<u>Gustafsson</u> , Yngve	agr dr - professor i Kulturteknik vid Tekniska Högskolan i Stockholm
<u>Arnborg</u> , Lennart	fil dr - geograf, hydrolog - direktör i Hydroconsult AB (avlidet 1972)

Sedan mitten av 1968 har Nils-Eric Lindskoug fungerat som STEGA:s sekreterare.

På särskild anmodan från Bygghetens rådet upptog STEGA uppgiften "mikrobiologisk nedbrytning av grundläggningssvirke under grundvattenytan" på sitt program. Här ansvarar Julius Boutele vid Svenska Träforskningsinstitutet för arbetet. Bo Göransson vid Mikrobiologiska In-

stitutionen, Lantbrukshögskolan, svarar för det biologiska arbetet.

Utöver de nu nämnda har en hel rad personer och institutioner varit involverade i STEGA:s verksamhet.

Bergström, Stig Sven Tyrén AB	geotekniska frågor
Byström, Roland Sven Tyrén AB	-"-
Bågevik, Kåre Sven Tyrén AB	-"-
Eriksson, K Gösta Chalmers, Gbg	ansvarig för Göteborgs-undersökningarna
Granstrand, Gunnar AB Hydroconsult	ansvarig för avläsningar och provtagningar
Ismael, Eddy Gatukontoret Gbg	geotekniska frågor
Kjellberg, Ulla AB Hydroconsult	kemiska analyser
Nilsson, Lars (avliden 1972)	geologi
Nilsson, Lars Y Kulturteknik, KTH, Stockholm	databearbetning
Palm, Roland Sven Tyrén AB	vegetation
Roosaar, Heino Sven Tyrén AB	geologi
Sandborgh, Pontus Sven Tyrén AB	datormodell
Svantesson, Valter VA-verket, Gbg	geotekniska frågor
Svensson, Chester Geologiska Inst Chalmers, Gbg	geologi hydrologi

För bevakning av allt som skett av intresse för projektet inom Botkyrkaområdet har på sitt eget företags bekostnad Gunnar Brandt från VIAK deltagit. Kontinuerliga rapporter har kommit till gruppen. På samma sätt har VIAK:s samtliga kontrollanter inom Botkyrkaområdet deltagit, och deras chef på platsen, Svenska Bostäders Ingemar Jonzon, har lämnat skriftliga rapporter om entreprenadernas fortlöpande.

För projektet, som pågått under perioden 1967 - 1973, har Statens Råd för Byggnadsforskning bidragit med 2,2 Mkr, Göteborgs stad med 0,58 Mkr, AB Botkyrka - Stockholm med uppskattningsvis 0,3 à 0,5 Mkr. Därutöver kommer en rad gratis till förfogande ställda tjänster från olika håll.



## 2 ENKÄT

## 2.1 Inledning

Som en naturlig inledning av arbetet företogs år 1967 en inventering av grundvattenproblemen i svenska tätorter. Ett frågeformulär utsändes till 971 tätorter med över 500 invånare. Svartsprocenten 81,7 % - 793 av 971 - är anmärkningsvärt hög i sådana här sammanhang. Detta visar det stora intresset för frågeställningarna och det visar samtidigt att grundvattenproblem förekommer tämligen allmänt.

## 2.2 Frågorna

Formuläret omfattade tre huvudgrupper av frågor:

- Allmänna frågor rörande grundvattenproblem på byggplatser, förekomst av sättningar i husgrunder och gator av tjälskjutning eller grundvattensänkning, planer på bebyggelse inom områden där grundvattenproblem kan befaras, kommunala grundvattenuttag inom tätbebyggelse, föroreningar av grundvatten på grund av bebyggelse, bestämmelser m m.
- Frågor angående förekomsten och intensiteten av grundvattenobservationer i samband med byggverksamhet.
- Frågor angående förekomsten och intensiteten av grundvattenobservationer i samband med kommunala grundvattentäkter.

Vid bearbetningen behandlades svaren dels länsvis, dels indelade i sju kategorier. Svaren fördelade sig jämnt över landet och mellan de olika kategorierna, TABELL 2:1.

## 2.3 De bearbetade svaren

Svaren gav följande bild av grundvattenproblemen i tätorterna:

Tio tätorter (1 procent) anser sig allmänt ha stora grundvattenproblem på sina byggplatser, medan 203 haft små och 467 inga problem, fig 2:2. Förekomsten av grundvattenproblem av allmän karaktär är procentuellt sett större ju större tätorterna är.

Lokalt har 75 tätorter stora grundvattenproblem på sina byggplatser, medan 390 har små och 286

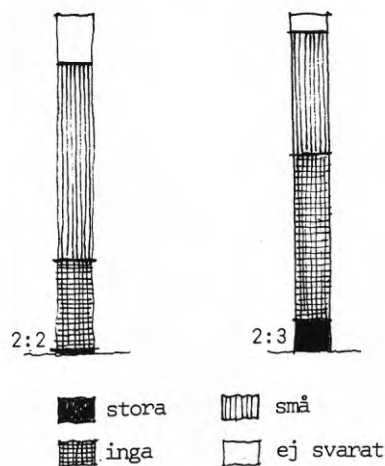
TABELL 2:1

Svarens fördelning på län och svars-kategorier

Län	Ja		Nej		Ej besv. frågan	
	Antal	%	Antal	%	Antal	%
A	1	100	0	0	0	0
B	10	23,3	30	69,8	3	7,0
C	1	4,6	21	95,5	0	0
D	2	7,4	22	81,5	3	11,1
E	0	0	28	96,6	1	3,5
F	6	14,6	35	85,4	0	0
G	3	9,1	29	87,9	1	3,0
H	5	11,4	39	88,6	0	0
I	0	0	6	100	0	0
K	2	13,3	13	86,7	0	0
L	4	8,2	43	87,8	2	4,1
M	3	5,9	47	92,2	1	2,0
N	1	5,3	17	89,5	1	5,3
O	3	12,5	20	83,3	1	4,2
P	5	10,0	39	78,0	6	12,0
R	3	10,0	27	90,0	0	0
S	1	3,2	29	93,6	1	3,2
T	0	0	34	97,1	1	2,9
U	4	23,5	13	76,5	0	0
W	5	9,1	47	85,5	3	5,5
X	5	12,5	33	82,5	2	5,0
Y	2	5,0	36	90,0	2	5,0
Z	2	11,8	14	82,4	1	5,9
AC	1	3,3	29	96,7	0	0
BD	2	4,6	41	93,2	1	2,3
Totalt	71	9,0	692	87,3	30	3,8

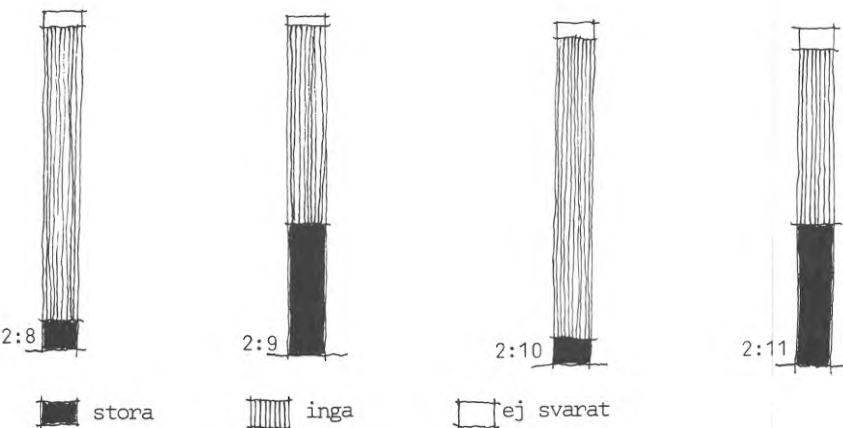
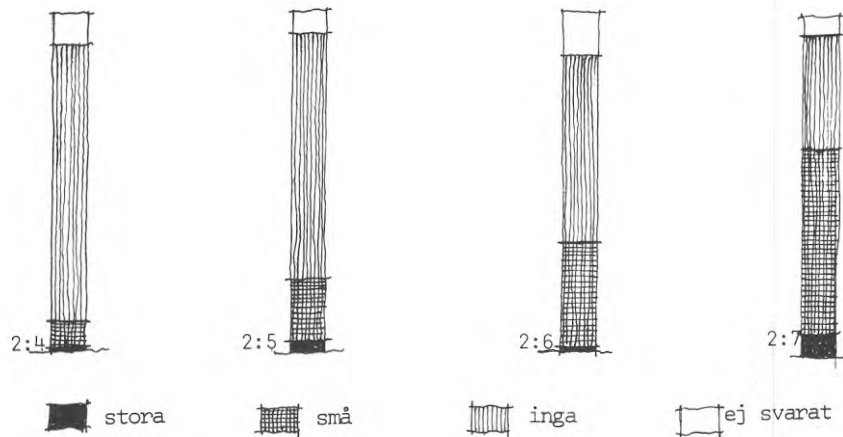
inga problem, fig 2:3. Av de stora tätorterna (>50.000 invånare) har de flesta angivit stora problem (78 procent).

Två tätorter har allmänt stora sättningar i husgrunder eller gator till följd av grundvattensänkning. I 59 tätorter förekommer små sättningar allmänt, medan 662 tätorter inte har några allmänna sättningsproblem. Förekomsten av sättningar växer med storleken hos tätorterna.



2:2 Förekommer ALLMÄNT grundvattenproblem på Edra byggplatser?

2:3 Förekommer LOKALT grundvattenproblem på Edra byggplatser?



2:4 Förekommer ALLMÄNT sättningar i husgrunder eller gator till följd av grundvattensänkning?

2:5 Förekommer LOKALT sättningar i husgrunder eller gator till följd av grundvattensänkning?

2:6 Förekommer ALLMÄNT sättningar i husgrunder eller gator till följd av tjälskjutning?

2:7 Förekommer LOKALT sättningar i husgrunder eller gator till följd av tjälskjutning?

2:8 Planeras inom den närmaste femårsperioden bebyggelse inom områden där grundvattnet kan befaras medföra problem för byggen- skapen?

2:9 Tas grundvatten ut genom kommunala vattentäkter inom nå- gon del av det tätbebyggda om- rådet?

2:10 Har grundvattenobserva- tioner förekommit i samband med byggverksamhet?

2:11 Har grundvattenobserva- tioner förekommit i samband med kommunala vattentäkter?

Lokalt förekommer sättningar i gator eller husgrunder tiofalt mer än "allmänt". dvs i ett relativt stort antal (22) tätorter. I 146 fall har sättningarna bedömts som små, fig 2:5. Förekomst- ten av sättningar är i detta fall mera jämnt fördelad mellan storleksklasserna.

Beträffande förekomsten av sättningar allmänt i husgrunder eller gator till följd av tjälskjutning har åtta tätorter angivit stora och 254 små sättningar, fig 2:6.

Lokalt förekommer sättning i husgrunder eller gator till följd av tjälskjutning betydligt mer än allmänt. 53 tätorter har angivit stora sättningar och 432 har angivit små sättningar, fig 2:7. Sättningsproblemen är jämnt fördelade mellan storleksklasserna, medan de olika länen uppvisar en större spridning.

I 71 tätorter (9 procent!) planerades inom den närmaste 5-årsperioden (1968-72) bebyggelse inom "områden där grundvattnet kunde befaras medföra problem", fig 2:8. Av dessa 71 tätorter

har 56 uppgett hur stor areal som skall bebyg- gas och 46 har även angett den beräknade folk- mängden inom dessa områden. Totalt utgör area- len 125 km<sup>2</sup> och folkmängden 116.000. Av de 71 tätorterna med befarade grundvattenproblem planerar 62 procent speciella förundersökning- ar och 41 procent speciella motåtgärder.

Kommunala grundvattenuttag förekommer inom 307 tätorter och är i 75 procent av fallen anlagda inom existerande tätbebyggelse. Av dessa 307 tätorter har 289 uppskattat och angivit det årliga uttaget, som uppgår till sammanlagt en halv miljard m<sup>3</sup> eller genomsnittligt nära 2 milj m<sup>3</sup> per tätort.

Vattentäkterna är i ca 45 procent av fallen be- lägna i isälvsmaterial, medan 25 procent ligger i morän, 21 procent i urberg och 8 procent i sedimentära bergarter.

Dessa vattentäkter har endast i några få fall (ca 2 procent) konstaterats medföra skador på bebyggelse. Bebyggelsen har däremot i viss ut-

sträckning påverkat grundvattenkvaliteten i bakteriologiskt avseende (81 tätorter) och i andra odefinierade avseenden (49 tätorter).

I endast 56 av tätorterna har grundvattenobservationer förekommit i samband med byggverksamhet, fig 2:10. Hälften av dessa tätorter har specificerat sina observationer, och det framgår att det i de allra flesta fall rör sig om observationsperioder kortare än två år. Totalt fanns 1967 inom landet 48 punkter där uppmätning av vattenståndet skett minst en gång per månad under längre tid än tio år i samband med byggverksamhet.

Grundvattenobservationer i samband med kommunala vattentäkter har förekommit inom 320 tätorter, fig 2:11. Av dessa har 56 procent specificerat sina observationer, vilket givit vid handen att det inom landet fanns minst 2.000 observationspunkter för grundvattenstånd i samband med kommunala vattentäkter, och att det i omkring 700 punkter skett mätningar av grundvattenstånd minst en gång per månad under längre tid än tio år. Kemisk eller bakteriologisk analys har skett på 95 ställen under längre tid än tio år.

#### 2.4 Sammanfattning och slutsatser

Att döma av denna enkät tycks olika slag av grundvattenproblem vara relativt vanligt förekommande även i de mindre tätorterna, och intresset för dessa problem är klart markerat genom den höga svarsprocenten (81,7). De stora tätorterna (50.000 invånare) har haft speciella svårigheter att besvara enkäten genom att problemen där är större och svaren i allmänhet ligger hos flera olika myndigheter och personer. De stora tätorternas grundvattenproblem belyses i väsentliga avseenden av kapitlen 5 - 10..

Trots att det i många fall förekommer stora grundvattenproblem i samband med byggverksamhet, har, enligt vad som framgår av enkätsvarnen, observationer av grundvattenstånd förekommit endast i liten utsträckning, tabell 2:12. När

TABELL 2:12 A, B

Sammanställning av frågor och svar

A Fråga:	Svar			Ej svar
	stora	små	inga	
Grundvattenproblem på bygplatser				
Allmänt	10	203	467	113
Lokalt	75	390	286	42
Sättningar i husgrunder och gator av grundvattensänkn.				
Allmänt	2	59	662	70
Lokalt	22	146	577	48
Sättningar i husgrunder och gator av tjäle				
Allmänt	8	245	437	103
Lokalt	53	432	270	38
B Fråga:	Svar		Ej svar	
	ja	nej		
Bebyggs inom fem år områden där grundvattnet kan ge problem	71	692	30	
Kommunala vattentäkter i tätbebyggelse	307	468	18	
Grundvattenobservationer vid bygplatser	56	709	28	
Grundvattenobservationer vid kommunala vattentäkter	320	425	48	

kommunen har grundvattentäkt observeras dock grundvattenståndet, vilket kan förefalla naturligt. I 3 à 10 procent av tätorterna förekommer åtminstone lokalt stora problem orsakade av grundvattnet. Därför är det anmärkningsvärt att bestämmelser med syfte att bibehålla grundvattennivån utfärdats av så få kommuner (1 - 2 procent).

Endast 12 tätorter har angivit att sådana bestämmelser i någon form finns. Till denna exklusiva skara räknar sig Märsta, Rosersberg, Österbymo, Hjulsbro, Linköping, Jönköping, Göteborg, Lerum, Karlstad, Gävle, Östersund och Öjebyn.

Trots att de stora tätortsregionerna är undantagna, kommer ca 40.000 lägenheter att placeras på mark där grundvattnet kan orsaka skador. Stadsbebyggelse med ett värde av 4 à 5 miljarder riskerar alltså skador, vilkas omfattning kanske är av storleksordningen 1-10 procent eller 40-500 miljoner kronor. Detta ger ett perspektiv på frågornas ekonomiska räckvidd.

## 3 LITTERATUR

## 3.1 Allmänt

Den geohydrologiska litteraturen är oerhört stor och den litteraturgenomgång som genomförts har i huvudsak endast baserats på synopsis och sammandrag. Den byggnadstekniska litteraturen har setts över av Institutet för Byggdokumentation. I övrigt har samtliga medverkande i STEGA-arbetet gått igenom den litteratur som de själva haft tillgång till och presenterat resultatet internt.

Arbetet har omfattat fyra sektorer.

- Genomgång av rapporten från Tokyo-konferensen 1969 "Land Subsidence"
- Direkt bygganknutna
- Grundvattenkemi
- Mikrobiell nedbrytning av grundläggningsvirke.

## 3.2 Sättningar till följd av grundvattensänkning

Sättningar förorsakade av grundvattensänkning är kända från olika delar av världen. En inter-

nationell konferens i Tokyo 1969, "Land Subsidence", med stort deltagarantal gav en god överblick av problemets omfattning och den forskning som bedrivs på olika håll.

Material redovisades framförallt från Japan och Amerika. Klassiska i detta sammanhang kan förhållandena i Mexico City sägas vara. Under en 30 års period har sättningar på upptill 8 meter kunnat konstateras i den centrala delen av staden.

I TAB 3:1 som sammanställts av J.F. Poland, finns angivna de områden där betydande sättningar till följd av grundvattensänkning skett.

I de flesta av de i tabellen nämnda fallen har grundvattensänkning åstadkommit genom uttag av grundvatten för vattenförsörjningsändamål (bl a konstbevattning). Grundvattensänkningen har i de relaterade fallen varit betydande, från något 10-tal meter till 60-70 meter. På något håll finns sättningshastigheter på upptill 25 cm per år rapporterade. Genom att begränsa uttagen har i flera fall sättningshastigheten kunnat begränsas.

TABELL 3:1 Description of areas of major land subsidence due to ground-water extraction

Location	Depositional environment and age	Depth range of compacting beds below land surface (meters)	Maximum subsidence (meters)	Area of subsidence (sq km)	Time of principal occurrence
Japan, Osaka and Tokyo	Alluvial (?): Quaternary (?)	10 - 200 (?)	3 - 4	?	1928-1943 1948-1965 +
Mexico, Mexico City	Alluvial and lacustrine: late Cenozoic	Chiefly 10 - 50	8	25 +	1938-1968 +
Taiwan, Taipei Basin	Alluvial, late Cenozoic	30 - 200 (?)	1	100 †	? -1966 +
Arizona, central	Alluvial and lacustrine (?): late Cenozoic	100 - 300 +	2,3	?	1952-1967 +
California, Santa Clara Valley	Alluvial: late Cenozoic	50 - 300	4	600	1920-1967 +
California, San Joaquin Valley (three areas)	Alluvial and lacustrine: late Cenozoic	90 - 900	8	9.000	1935-1966 +
Nevada, Las Vegas	Alluvial: late Cenozoic	60 - 300 (?)	1	500	1935-1963 +
Texas, Houston-Galveston area	Fluviatile and shallow marine: late Cenozoic	50 - 600 +	1 - 2	10.000	1943-1964 +
Louisiana, Baton Rouge	Fluviatile and shallow marine; Miocene to Holocene	40 - 900 (?)	0,3	500	1934-1965 +

Sambandet mellan grundvattensänkning och sättning har klart kunnat konstaterats och i exempelvis Santa Clara Valley i Kalifornien förorsakar en grundvattensänkning på 1 meter en sättning av 10 cm.

Dessa sättningar har i många fall åstadkommit skador på olika konstruktioner. I Mexico Citys centrala delar lutar exempelvis Guadalupe Katedralen kraftigt.

Vid Tokyo-konferensen liksom på många andra håll därefter har betonats att redan nu konstaterade grundvattensänkningar och därmed förorsakade sättningar endast utgör början av en utveckling. Mot denna bakgrund uttrycks samstämmigt ett behov av en ökad forskning på detta område för att kunna möta väntade problem och möjliggöra en ur denna synpunkt förnuftig byggnadsplanering.

Den nuvarande forskningen på olika håll i världen omfattar 3 huvudområden

- fältundersökningar innefattande sättningsmätningar och hydrologiska observationer,
- utveckling av olika typer av simulerings- och prognosmodeller,
- laboratorieundersökningar.

Vidare framgick vid konferensen att det är nödvändigt att grundvattenfrågorna i samband med urbanisering följs upp och att lagstiftningen beträffande grundvattensänkningar ses över. Följande utdrag som berör förhållandena i Tokyo får belysa detta

#### "THE FUTURE TREND OF THE MEASURES FOR RESTRICTION OF LAND SUBSIDENCE"

In order to check subsidence in Tokyo's low-lying sector, to protect the lives and property of about 3,3 millions of inhabitants living there, and to maintain the fundamental basis of activities by about 150.000 businesses which are located there, some positive steps must be taken to impose restrictions on the withdrawal of underground water for industrial purposes. Such withdrawal forms a vital factor responsible for the subsidence. For this purpose it is essential to complete the installation of a water works for the supply of industrial water. In addition, the geology and the hydrology of the undergroundwater system in Tokyo's low sector as well as other regions that lie on the same underground water system should be broadly elucidated, taking into account the social activities which have influences on it. Further, in spite of restrictive measures on the pumping of groundwater in the Johoku industrialized zone, about 300.000 cu m per day of groundwater are present by being pumped and a substantial volume of groundwater

is being pumped to cover the living requirements in Tokyo's perimeter regions which share the same underground water system.

With such a situation as background, the Tokyo Metropolitan Government in cooperation with some neighboring prefectures (Saitama, Chiba, and Kanagawa Prefectures) organized a broad regional cooperative structure and proceeded on preparations for development of new measures. At the same time the metropolitan government has strengthened its effort for observations and investigations within its jurisdictional area in conformity with the widening trend of the subsidence area. In addition, the metropolitan government began its preparation for the formulation of a re-development program, anticipating a change in the urban structure in Tokyo's lowland sector.

In the first place, efforts were made to strengthen the investigation and research for clarifying the hydrology of the regions lying on the same underground water system sprawling over the neighboring prefectures. For this purpose, the cooperative structure for investigations in cooperation with the neighboring prefectures must be strengthened and the observation and investigation structure must be built up to clarify the subsidence phenomena from a broader regional angle within the metropolitan government's own administrative area. Following the advance in investigation and research on these points, scientifically effective and appropriate measures should be put into action one by one, starting with those proposition that promise the easiest realization, and considering and studying various relative social factors. Needless to say, here again it would be imperative that steps be taken for fortifying the cooperative structure with the neighboring prefectures located on the same underground water system."

### 3.3 Övriga byggnadstekniska problem i samband med grundvatten

Genomgången av den synnerligen omfattande litteraturen har i stort sett gett resultatet att det mesta som skrivits berör sådana byggnadstekniska problem som spontstabilitet, erosion i läckvägar för grundvatten, länshållning av byggnadsplatser etc.

En rikhaltig litteratur finns också beträffande markvatten, där även byggnadstekniska aspekter berörs som t ex uppfuktning av svällande jordar under byggnader och vägar m m

### 3.4 Mikrobiell nedbrytning av grundläggningsvirke

En stor del av den litteratur som finns på detta område finns redovisad i handlingarna från det tredje årsmötet i Bryssel den 15 november 1971 av the International Research Group Wood Preservation (Working Group 1: Biological problems).

En uppsats "Bacteria and wood, a revue of the litterature relating to the presence, action and indirection of bacteria in wood" innehåller en översikt jämte en litteraturreferenslista på ca 125 titlar, varur det mesta aktuella materialet för dagen kan hittas eller spåras.

Barnes, C and Warden J (1971) "Microbial degradation. Fiber damage from Staphylococcus aureus" J.Am.Ass.Tex: Chem.Color. 3, (3), 52-56.

Clark, J (1970) (personalig kommunikation)

Stapp, C and Bortels, H (1934) "Mikrobiologische Untersuchungen über die Zersetzung von Waldstreu" Zentralbl. Bakt. II Abt., 90, 28-66 (p 31).

## 4 TEORI

I flera avsnitt i denna skrift behandlas hydrologiska, kemiska, geotekniska etc frågor och för att inte onödigtvis tynga framställningen i dessa, ges i detta kapitel en kort teoretisk bakgrund och kartläggning av vissa grundläggande begrepp.

## 4.1 Hydrologi

Det hydrologiska kretsloppet och vattenbalansen för ett givet avrinningsområde (ett vattendrags tillrinningsområde) brukar enklast beskrivas med den hydrologiska balanskvationen

$$N = A + E + M$$

N = Nederbörd

A = Avrinning

E = Avdunstning

M = Förändringar i olika magasin

Med undantag för avrinningsbestämningar, som direkt ger arealvärden, bestäms komponenterna genom mätningar i punkter och arealvärden erhålls genom olika typer av interpolations- och extrapolationsförfaranden. Generellt kan sägas

att de olika faktorerna i ekvationen uppvisar stora regionala och lokala variationer.

Nederbörden är den hydrologiska process som varit föremål för det intensivaste mätprogrammet och som kan uppvisa de längsta tidsserierna. Trots detta kvarstår stor osäkerhet vid bestämning av nederbörd i såväl enskilda punkter som över större arealer. Svårigheterna beror på nederbördens olika former (snö, regn ...), den stora lokala variationen och att mätanordningar alltid stör de naturliga förhållandena (vindförluster m m). Som exempel kan nämnas att officiell nederbördsstatistik för vårt land bedöms underskatta den verkliga nederbörden med 10 - 20 %.

Med interception förstås den del av nederbörden som aldrig når markytan utan fastnar i vegetationen för att sedan avdunsta.

Merparten av den nederbörd som når markytan tränger ned i marken, infiltrerar, och endast en liten del transporteras som ytavrinning. Ytavrinning kan förekomma i samband med snösmältning eller mycket intensiva regn.

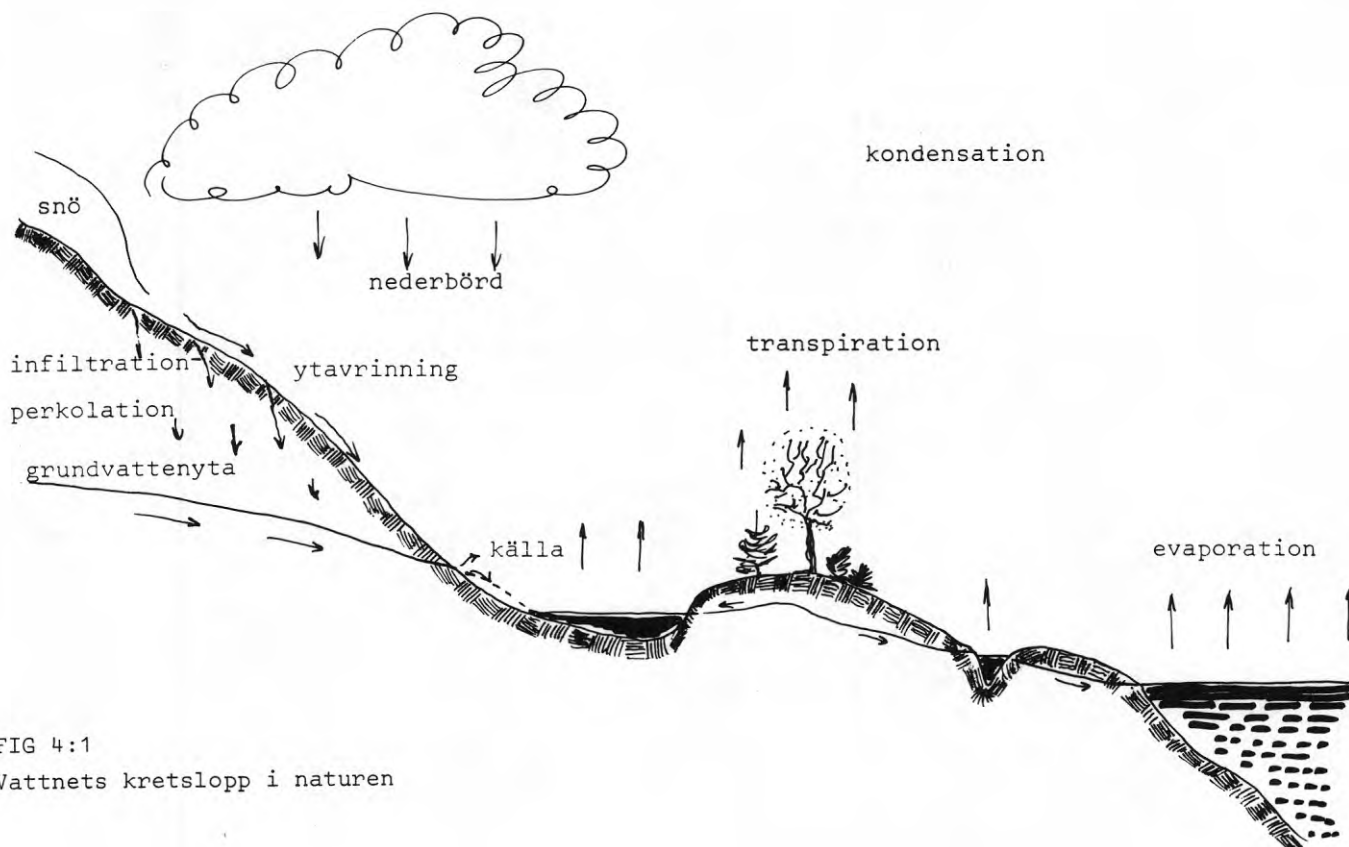


FIG 4:1

Vattnets kretslopp i naturen

Vattnet under markytan indelas grovt i två olika zoner. Närmast markytan den omättade zonen, markvattenzonen (hålrumsvolymen upptas av vatten och luft) och under denna den mättade zonen, grundvattenzonen (hela hålrumsvolymen upptas av vatten). Markvattenzonen sträcker sig från markytan ned till växternas undre rotzon. Dess mäktighet och vatteninnehåll varierar inom vida gränser beroende på jordartsförhållanden och vegetationstyp. Det vatten som rör sig mellan mark- och grundvattenzonen (perkolerar) brukar benämnas sjunkvatten.

Grundvatten i jordlager kallas jordgrundvatten och grundvatten i berg för berggrundvatten. Ofta förekommer grundvattnet i flera olika våningar på en och samma plats skilda åt av svårgenomsläppliga jordlager. I exempelvis lerområden skiljer man mellan lerans mättnadszon och det grundvattenmagasin som finns i det grövre material som ofta ligger mellan berggrund och lera.

Man skiljer vidare mellan artesiska och icke artesiska grundvattenmagasin (akvifärer). Om akvifärens övre yta står under atmosfärstryck, dvs vattenytan i ett observationsrör sammanfaller med övre grundvattenytan, råder icke artesiska förhållanden. Står övre grundvattenytan under övertryck råder artesiska förhållanden. I lager av friktionsmaterial mellan exempelvis lera och berg råder i allmänhet artesiska förhållanden. Tryckytan kan i många fall vara flera meter över markytan. Den vattenyta som mäts i observationsrör i detta sammanhang är en tryckyta snarare än en grundvattenyta.

#### 4.1.1 Grundvattennivå

Grundvattnet ingår i vattnets kretslopp och de olika akvifärernas vatteninnehåll och trycknivå undergår därför ständiga förändringar. Beträffande grundvattennivån kan tre huvudtyper av variationer särskiljas. Långtidstrender (över flera år), årstidsvariationer och korttidsvariationer.

Under våra klimatförhållanden når grundvattenytan normalt en maximihöjd i samband med tjällossning och snösmältning under våren. Därefter sker en avsänkning under sommarperioden. Den direkta avdunstningen och växternas vattenupp-

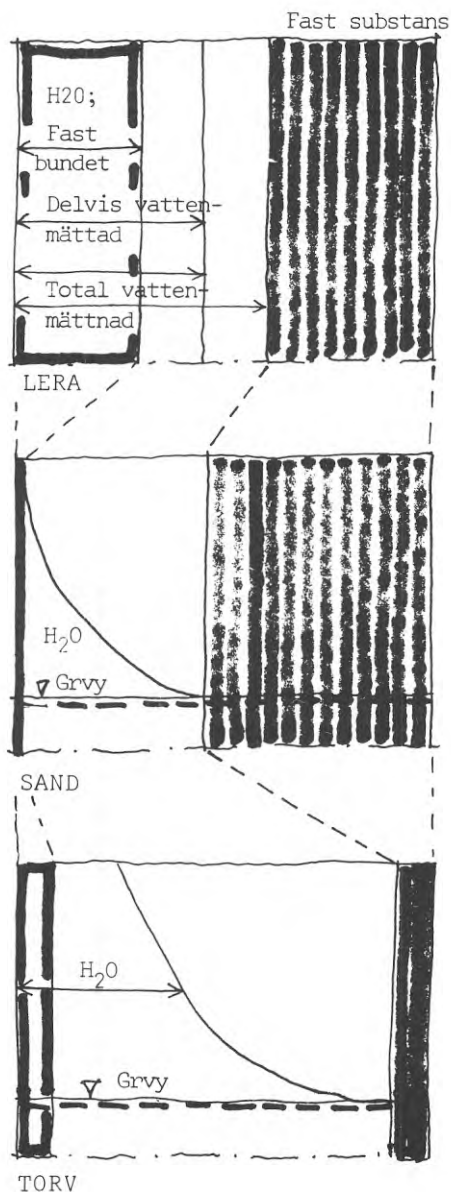


FIG 4:2

Vattnets bindning i marken

tagning är under denna period så stor att någon tillförsel av vatten till grundvattenmagasinen inte sker. Avsänkningen sker genom grundvattenavrinning. Efter vegetationsperiodens slut, efter påfyllning av markvattenmagasin, sker ånyo grundvattenbildning. I exempelvis mellan-Sverige når grundvattenytan en andra maximipunkt i perioden oktober - december. Efter tjälning sker ny avsänkning (genom grundvattenavrinning) fram till nästa vårtopp. Detta årstidsförlopp varierar med hänsyn till geografisk belägenhet, aktuell klimatsituation och typen av akvifär. Årsamplituden kan variera mellan några cm till flera meter. Denna nor-



mala årsrytm "störs" ofta av variationer med kortare tidsbas. Orsakerna till dessa kan vara direkta förändringar i akvifärens vatteninnehåll (t ex kortvariga intensiva regn, avdunstning, förändringar i närbelägna ytvattenmagasin) eller indirekta faktorer som påverkar tryckförhållandena (tyngdkraften, lufttrycket, jordbävningar m m). Överlagras årstidsvariationerna kan vidare flerårsvariationer (trender) förekomma till följd av bl a långsamma svängningar i klimatet. I exempelvis mellan-Sverige har sedan 1969 nederbörden uppvisat underskott (i jämförelse med normalperioden 1931 - 60) och är för närvarande (okt 73) ca 550 mm eller en hel årsnederbörd. Detta har haft till följd en sjunkande trend i grundvattennivån sedan 1969.

Den del av årsnederbörden som man bedömer bilda grundvatten brukar något oegentligt kallas infiltrationskoefficient.

#### 4.1.2 Grundvattnets strömning

Grundvattnets rörelse i marken beskrivs enkelt genom Darcy's lag som säger att strömningshastigheten  $V$  är lika med produkten av den hydrauliska gradienten  $i$  och permeabilitetskoefficienten  $K$ .

$$V = K \cdot i$$

Den hydrauliska gradienten (potentialskillnad per längdenhet) bestäms i fält genom mätning av grundvattnets trycknivå i observationsrör. Strömningen sker vinkelrätt mot ekvipotentiallinjerna. Bestämning av  $K$ -värden sker på laboratorium eller genom olika fältförsök (t ex spårämnen).

Med utgångspunkt från Darcy's enkla lag finns teoretiska beräkningar för flerdimensionell strömning och strömning i skiktade jordlager (olika  $K$ -värden).

Grundvattnets strömning är i allmänhet laminär med strömningshastigheter i storleksordningen cm - m/dygn i jordlager och berg. Avsevärt högre och lägre hastigheter kan förekomma.

På basis av grundvattnets strömningförhållanden kan landskapet indelas i inströmningso-

den (infiltrationsområden) och utströmningso-

#### 4.1.3 Avvattning av moränjordar

En stor del av de grundvattenmagasin som behandlas i denna skrift finns i moränjordar. När grundvattenytan sjunker i ett sådant magasin binds en stor del av grundvattnet i marken ovan grundvattenytan. Jorden intar dräneringsjämvikt med den nya grundvattenytan

Porvolymen (hålrumsvolymen) i morän varierar mellan vida gränser (20 - 40 %). Eftersom en stor del vatten stannar kvar i jorden blir den avdränerbara mängden vatten vid en grundvattensänkning bara en del av denna volym.

Det har visat sig vara svårt att entydigt kunna bestämma hur stor denna effektiva porvolym är. Det beror bl a på att

- morän är ett samlingsnamn för ett stort antal jordar med olika kornsammansättning och packningsgrad
- permeabiliteten hos moränjord är låg (enligt byggforskningen B7:1972  $10^{-5}$ - $10^{-11}$  m/sek), vilket ger en låg avvattningshastighet
- moränen är ofta skiktad. Olika lager har olika genomsläpplighet, vilket gör att vattenhaltsprofilen varierar med tiden under avvattningsförloppet
- undersökningar är svåra att genomföra både på laboratorium och i fält. Den naturliga lagringen m m går inte att reproducera på laboratorium. Vid in situ-prov är det svårt att inte få felkällor bl a genom att marken är så stembunden.

SGU har emellertid i en studie i Velen-området (1973-01-29) försökt att fastställa moränens effektiva porvolym. Den morän som undersöktes hade porvolym som varierade mellan 29,6 och 41,7 %. Vid in situ-mätningar fann man att den effektiva porvolymen efter 16 dygns fri dränering av en underifrån vattenmättad provkropp var ca 7,8 %. Detta värde är framräknat som ett medeltal för hela markprofilen. Man har alltså inte tagit hänsyn till att dräneringsjämvikten påverkas av närheten till grundvattenytan. Om man enbart tar med vattenhalten på nivåer som ligger på större avstånd från grundvattenytan

än 1,25 m blir den effektiva porvolymen efter 16 dygn 8 - 9 %. På större avstånd än 1,25 m från grundvattenytan anses grundvattnets påverkan av vattenhalten i jorden ha upphört. Ur materialet från Velen-försöken har en antagen avvattningskurva (dräneringsjämviktsskurva) konstaterats.

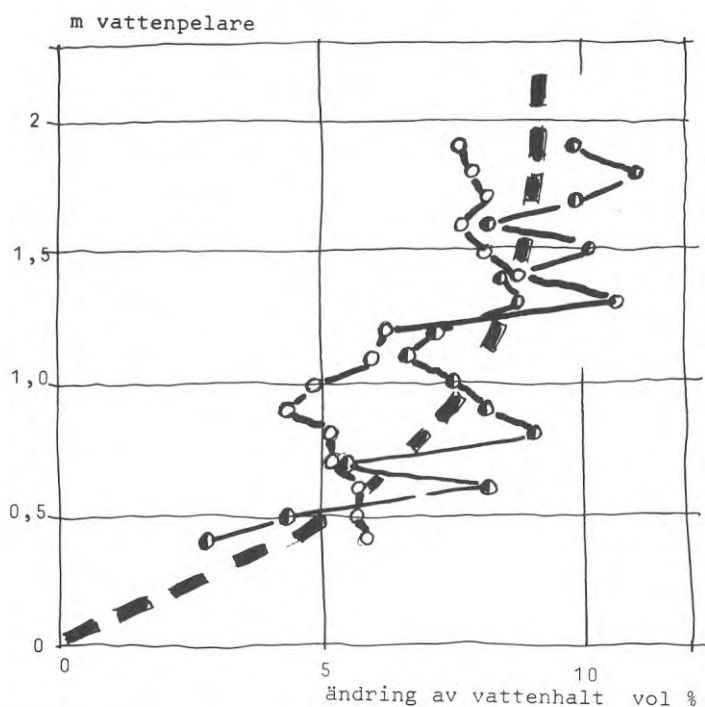


FIG 4:3

Två försöksserier (ringar) samt sannolik medelavvattningskurva (streckad) enligt Velen-försöken. Vid längre avvattningstider än 16 dygn flyttas kurvan mot högre "effektiv porositet".

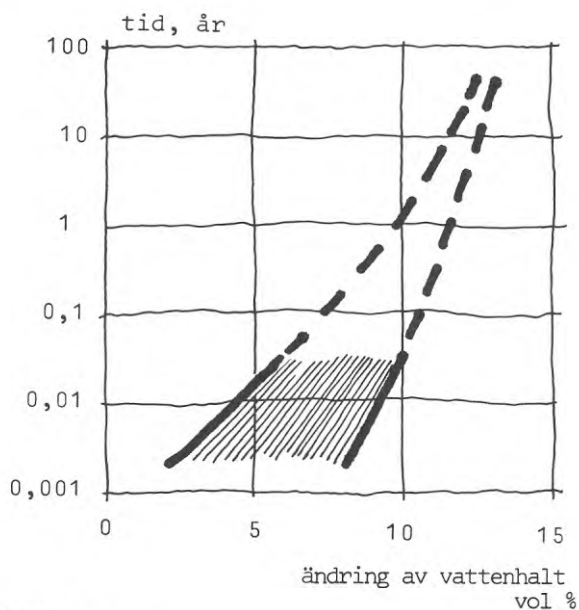


FIG 4:4

Schematisk representation av Velen-försökens tidsberoende

Eftersom moränens permeabilitet är låg måste vattnets rörelsehastighet vara liten. När de grövre porerna mist sitt vatten sker vatten-transporten huvudsakligen i det finare, ännu vattenfyllda porsystemet. Det är därför troligt att 16 dygn är en för kort tid för att bedöma den slutliga effektiva porvolymen. Om resultatet från Velen-försöken ritas in i ett diagram med tiden avsatt på en logaritmisk skala efter ena koordinataxeln och mängden avdränerat vatten på den andra syns det som om ytterligare ca 4 % vatten skulle kunna komma att avdräneras.

Att överföra de beräkningar som gjorts i Velenområdet till andra moräner är svårt. I de beräkningar som gjorts av grundvattensänkningen i Norra Botkyrka (se kap 8 och 11) har följande slutsatser dragits.

- Moränen i Botkyrka är av ungefär samma slag som i Velen. Diagram över kornstorleksfördelningen i Velen och i Norra Botkyrka (Slagsta) stämmer rätt bra överens.
- Variationen i grundvattenytans läge berör i huvudsak ytmoränen. Bottenmoränen ligger vanligen på så stort djup att grundvattensänkningarna inte når dit.
- Därför antas att ytmoräner (även relativt täta sådana) har en effektiv porvolym av ca 10 %, som avdräneras relativt snabbt. Detta procenttal anses karakterisera den cykliska avvattningen som sker med grundvattnets års-tidsvariation.
- Vid en permanent grundvattensänkning kommer ytterligare ca 4 % att avvattnas.

#### 4.1.4 Urbaniseringens inverkan på vattnets kretslopp

Vid tätortsbebyggelse påverkas vattnets kretslopp på många sätt. Klimatet kan ändras. Det blir ofta en uttalad "värmeö" kring bebyggelsen. Vind kan kanaliseras så att det lokalt blir högre vindhastigheter. Detta gör att avdunstningen ökar. På grund av att det bl a blir fler "kondensationskärnor" i form av stoft- och sotpartiklar i luften brukar också nederbörden öka något. Vegetation tas bort. Det leder till en minskad transpiration. I samband med att vegetationen tas bort och ytor hårdgörs minskar terrängens "råhet". Ytavrinningen underlättas

därmed. Infiltrationen minskar i proportion till andelen ogenomsläppliga ytor. Ett utbyggt ledningssystem tar hand om ytvattnet och leder bort det från området. Ledningar, kulvertar och tunnlar dränerar också av vatten ur marken.

#### 4.1.4.1 Grundvatten-sänkning vid minskad grundvattenbildning och vid ändrad dränering

Relativt små grundvattenavtappningar och strypningar av tillflödet till en grundvattenbassäng med artesiskt grundvatten kan märkbart påverka grundvattenståndet. Det vattenförande lagret under en i det närmaste ogenomsläpplig lera är vanligen tunt.

Vid minskad inströmning kommer grundvattnets trycklinje successivt att sjunka i sin övre ände. När grundvattenflödet är helt strypt ligger trycklinjen horisontell.

Om det däremot sker en dränering av det vattenförande lagret på en lägre nivå än den naturliga utströmningströskeln sjunker först trycklinjens nedströmsände till dräneringens nivå. Flödet genom bassängen ökar genom att trycklinjen blir brantare än den ursprungliga. Detta förhållande varar så länge det finns "överskottsvatten" i inströmningszonen. Snart stabiliseras dock flödet och blir slutligen lika stort som innan dräneringen. Trycklinjen återfår den ursprungliga lutningen men på den lägre nivå, som bestäms av dräneringen.

#### 4.1.4.2 Grundvattensänkning genom inläckning till tunnlar

Inläckning till tunnlar medför ofta avsevärda grundvattensänkningar. Hur stor grundvattensänkning man kan befara m m kan beräknas med hjälp av teorierna för potentialströmning. Det har visat sig att tre vägar därvid är särskilt användbara.

- Analytisk lösning
- Den s k relaxationsmetoden med hjälp av dator (nätverksmetod)
- Elektrisk analog

Vid homogent berg visar beräkningsmodellerna att hälften av det inläckande vattnet kommer från en zon som är dubbelt så bred som tunnelns djup under markytan. Från en zon som är

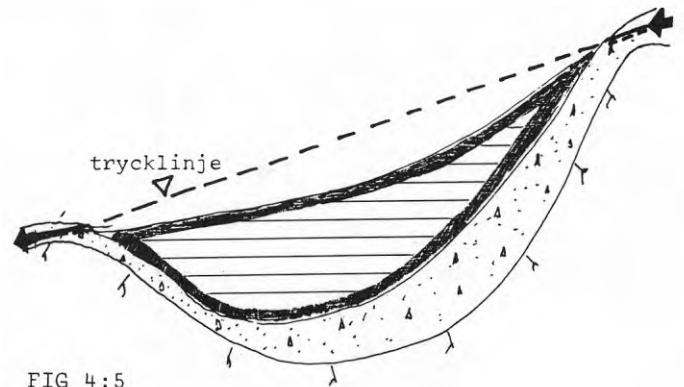
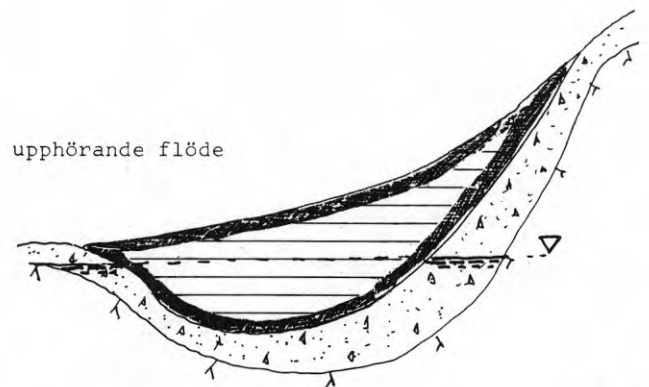


FIG 4:5



tryckändring vid införandet av en dränering

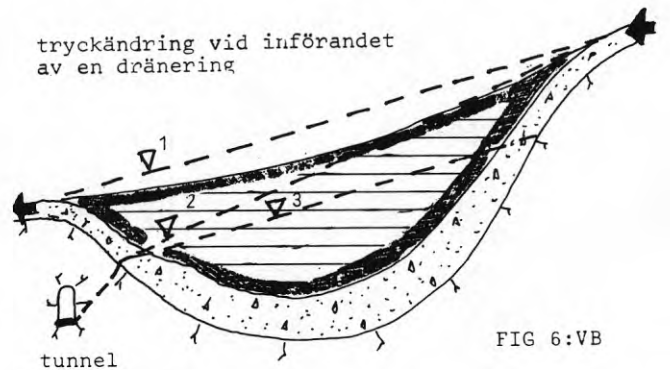


FIG 6:VB

FIG 4:6

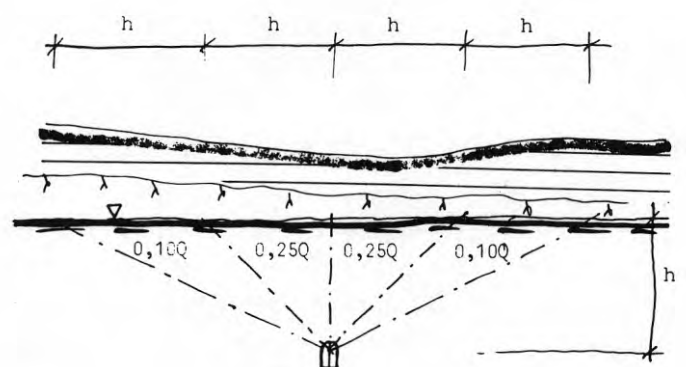


FIG 4:7

Flöde  $Q$  till en tunnel i homogent medium

fyra gånger tunneldjupet kommer ca 70 % av det totala flödet och från en zon sex gånger djupet ca 80 %.

Av beräkningar framgår också att

- influenszonens bredd inte påverkas av bergets permeabilitet
- inläckningens totala storlek och influenszonens bredd är linjärt beroende av tunnelns djup under nolltryckytan (grundvattenytan). Ökat djup ger ökat totalinflöde.

Vid heterogent berg är elektriska analoger eller nätverksberäkningar med dator de enda metoder som med måttlig arbetsinsats ger tillförlitliga resultat.

#### 4.1.5 Bearbetning av grundvattennivåmätningar

Insamlat observationsmaterial bearbetas statistiskt för att bedöma

- kvaliteten på mätdata (slumpmässiga och systematiska fel)
- i vad mån punktvisa data kan anses gälla för en viss yta (representativitet)
- förändringar i data med avseende på tiden (tidsserieanalys).

Hur väl mätningar i en punkt representerar en större yta studeras genom att data från olika mätstationer korreleras mot varandra. För beräkning av "arealvärden" tillämpas olika korrelationsmetoder.

Tidsserieanalysen omfattar

- bestämning av naturliga säsongsvariationer (periodisitet)
- bestämning av långtidsmässiga variationer (trender) genom anpassning av rätta linjer och polynom av högre gradtal
- analys av tillfälliga variationer (restvariation eller stokastisk variation).

Den viktigaste delen av bearbetningen i det nu aktuella sammanhanget är trendanalysen för att kartlägga långtidsvariationer och speciellt jämföra urbaniserade områden med icke urbaniserade områden (referensområden, grundvattenkors) i detta avseende.

På det insamlade materialet har två metoder utnyttjats. Anpassning av observationsdata

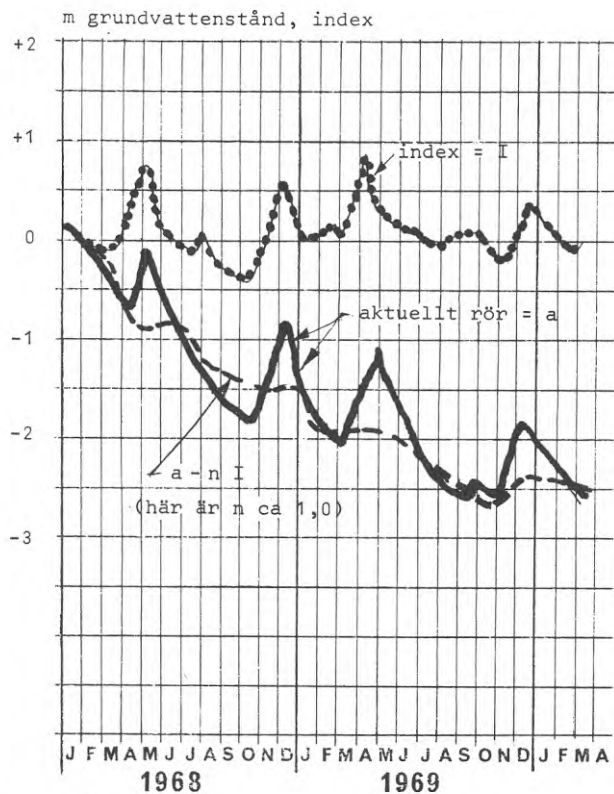


FIG 4:8

Metod för linjär regressionsanalys

har dels gjorts till rätta linjer, dels till polynom av högre ordning.

En linjär regressionslinje beräknas på följande sätt. För varje observationstillfälle sätts tiden som x-värde och grundvattenindex som y-värde. I dator subtraheras y-värdet med  $n = 0,4$  gånger referensområdets grundvattenindex.

De därvid erhållna resterande y-värdena anpassas med hjälp av minsta kvadratmetoden till en rät linje för det studerade tidsintervallet. Anpassningens korrelationskoefficient, regressionslinjens ekvation  $y = A + Bx$  och standardavvikelsen för linjens lutningskoefficient  $B$  beräknas. Förfarandet upprepas för  $n = 0,5$ ,  $n = 0,6$  etc till  $n = 4,0$ . Anpassningens korrelationskoefficient kommer att variera. Den stiger till ett maximivärde och sjunker därefter. Maximivärdet anger att den bästa anpassningen till en rät linje är nådd. Datorn skriver ut detta värde på korrelationskoefficienten, linjens ekvation och standardavvikelsen för lutningen  $B$ .

Beräkning av krökta regressionslinjer går till på analogt sätt. Den bästa successiva anpassningen söks först till en rät linje, därefter till polynom av successivt högre gradtal.

## 4.2 Hydrokemi

### 4.2.1 Allmänt

Grundvatten innehåller en rad "vanliga" ämnen såsom natrium, kalium, kalcium, magnesium, klorid, sulfat, bikarbonat och nitrat samt ibland också ammoniak och nitrit. Givetvis finns också en rad andra ämnen fast i mycket låga koncentrationer, och det är sällan en kemisk bestämning av dessa görs.

Praxis för vattenanalyser varierar ganska mycket, allt beroende på syftet med dem. Främst de ämnen som angivits ger information av mer allmänt intresse. Denna information kan användas vid studiet av problemet tätortsbebyggelse och grundvatten.

### 4.2.2 Nederbördens kemiska sammansättning

Nederbörd är långt ifrån bara destillerat vatten, något som man tidigare ansett. Den innehåller alla de "vanliga" ämnen som ovan nämnts, varför den också i avsevärd grad inverkar på grundvattnets kemiska sammansättning.

För att exemplifiera nederbördens sammansättning i östra Sverige har utvalts en plats vid sjön Erken, belägen nordväst om Norrtälje. Den torde representera landsortsförhållandena i detta område. Årsmedelvärden för koncentrationer av en rad ämnen för perioden 1954-1968 samt medelvärdet för hela perioden finns där registrerade, TABELL 4:7. Koncentrationerna är inte obetydliga.

I detta område avdunstar kanske upp till 90 % av nederbörden. Detta ger en koncentrationsökning i det vatten som slutligen bildar grundvatten av upp till tio gånger. Vissa ämnen får därför en koncentration som ligger ganska nära den som gäller för grundvattnet.

### 4.2.3 Kemiska processer i markskiktet

Markskiktet bär tydliga spår av de biologiska processer som är förknippade med växt- och djurlivet på land. Framför allt växtrötternas utbredning samt den oftast rika faunen av diverse insekter och maskar ger tydliga spår. Växtrötterna ersätts hela tiden så att de äldre, döda, bryts ner i en rad komplicerade processer till

TABELL 4:9

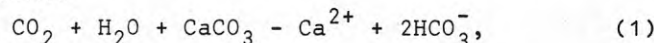
Exempel på nederbördens sammansättning i Erken, nordväst om Norrtälje. Extremer samt medelvärden för åren 1955 t o m 1966 (mg/l).

	S	Cl	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na	K	Mg	Ca	HCO <sub>3</sub>
Max	4,05	0,96	0,21	0,32	0,59	0,53	0,75	1,19	55
Min	0,81	0,27	0,09	0,05	0,34	0,19	0,11	0,50	0
Medel	1,37	0,61	0,15	0,18	0,45	0,37	0,24	0,77	17

pH-årsmedelvärden

år	-55	-56	-57	-58	-59	-60	-61	-62	-63	-64	-65	-66
pH	5,0	5,4	5,1	5,3	5,5	5,1	5,2	4,8	4,7	4,7	4,8	4,9

ursprungsmaterialet, dvs koldioxid och vatten jämte en del kväve och svavelföreningar. Den nederbörd som senare bildar grundvatten måste passera detta skikt och påverkas givetvis. Frigörelsen av koldioxid leder till relativt höga koncentrationer därav i markluften. I markens vattenutgörs den av kolsyra. Finns kalciumkarbonat närvarande neutraliseras kolsyran genom reaktionen



vilket torde vara den viktigaste reaktionen i markskiktet. Av reaktionen framgår att bikarbonat bildas till en dubbelt så stor mängd som den ursprungligen i vattnet lösta kolsyran. Mer sällan talas emellertid om bikarbonathalt. Oftast används i stället uttrycket alkalitet. Denna har för övrigt betydelse både för smaken och för användningen. Reaktionen beskriver att vattnet blir hårt.

Om nu inte kalciumkarbonat skulle finnas, blir kolsyrekoncentrationen i vattnet betydande. Eftersom andra mineral i marken vittrar endast långsamt, kommer större delen att återfinnas i grundvattnet som fri kolsyra. Denna är en annan viktig beståndsdel i vatten. Den gör vattnet vad man kallar aggressivt, dvs det verkar korroderande framför allt på betong och andra material som innehåller relativt lättvittrade kalciumföreningar. Kalciumkarbonathalten i jorden har alltså avgörande betydelse för grundvattnets egenskaper. Kalciumkarbonathalten beror i sin tur huvudsakligen på koldioxidproduktionen nära markytan.

Markskiktet innehåller en rad vittringsprodukter, framför allt aluminium- och järnhydroxider,

av vilka de senare har speciellt intresse. Om markskiktet av någon anledning, t ex ett plötsligt förhöjt grundvattenstånd, får syrebrist, kommer järnhydroxiderna att gå i lösning. Det bildas då ferrojärn, som kan nå höga koncentrationer.

Mangan uppför sig på samma sätt. En höjning av grundvattenståndet till marknivå leder ofelbart till frigörelse av tidigare anrikat mangan.

#### 4.2.4 Kemiska processer i grundvattenmagasinet

När vatten har infiltrerats och passerat vegetationsskiktet är dess kontakt med atmosfären praktiskt taget avklippat. Dess syre- och kolsyrehalt påverkas i nämnvärd grad endast om organiskt material skulle förekomma även på större djup.

En del av grundvattnet kommer kanske att passera havsavlagringar varvid framför allt natrium och klorid tillförs. Detta torde ske allmänt i lågt liggande mellansvenska områden. Kloridhalterna blir där ofta ganska höga.

En annan process av intresse är vad som kan kallas vittring. Denna är dock av en mindre destruktiv karaktär än vad som i allmänhet förknippas med ordet. Den under våra klimatiska förhållanden troligen vanligaste processen är omvandlingen av kalifältspat till kaolin. Schematiskt kan reaktionen skrivas

$H^+ + \text{kalifältspat} \rightarrow K^+ + \text{kaolinit} + \text{kiselsyra}$ ,  
dvs vätejonen angriper kalifältspaten så att kalium frigörs och kaolinit - ett fälkänt lermineral - och fri kiselsyra bildas. Reaktionen kan gå till jämvikt, och denna kan formuleras ganska enkelt genom villkoret

$$\frac{(\text{Kaliumjonkoncentrationen})}{(\text{Vätejonkoncentrationen})} = 10.000$$

eller enklare

$$pH - p(K) = 4 \quad (2)$$

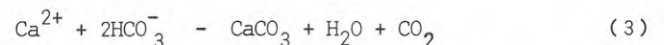
där  $p(K)$  i likhet med  $pH$  är logaritmen för kaliumjonkoncentrationen i ekvivalenter med negativt tecken.

I allmänhet varierar kaliumkoncentrationen obetydligt, varför reaktionen i de flesta fall innebär att  $pH$  justeras till jämvikt. Detta kanske

tar ett eller annat tiotal år. Tio år är emellertid en relativt kort tid för grundvatten.

Om grundvatten når markytan igen, kommer det omedelbart att söka jämvikt med atmosfären i fråga om syre- och koldioxidinnehåll. Detta innebär oftast att koldioxid lämnar grundvattnet. Koldioxidens partialtryck i grundvatten är praktiskt taget alltid mycket högre än i atmosfären på grund av den nämnda anrikning som skedde i markskiktet vid infiltrationen.

När grundvatten exponeras för luft kan reaktionen (1) omvändas, dvs koldioxid frigörs och kalk fälls ut:



Ganska allmänt i naturen förekommer så kallade bleke - ett slags gyttja av utfälld kalk - ofta i små skogssjöar på kalkhaltig berggrund. Så kallad kalktuff bildas också där grundvatten kommer i dagen.

Om grundvattnet innehåller löst järn, fälls detta ut i kontakt med luftens syre som järnhydroxid. Detta är allmänt förekommande.

De viktigaste kemiska processerna i vattnets kretslopp har därmed berörts.

### 4.3 Geoteknik

#### 4.3.1 Allmänt

Grundvattnet har stor betydelse i flera geotekniska sammanhang. Viktigast är förmodligen att en grundvattensänkning medför sättningar i kompressibla jordar.

I denna redogörelse behandlas enbart grundvattensänkningars inverkan på sättningar i lerjordar.

#### 4.3.2 Grundvattensänkning = lastökning

En grundvattensänkning, som mätts genom observation av grundvattnet i friktionsmaterialet under leran innebär att det hydrostatiska trycket vid lerans underkant minskar. En sänkning med 1,0 m motsvarar en trycksänkning med 1,0  $Mp/m^2$ . Vattentrycket (= porvattentrycket) i leran kommer med tiden att anta ett värde som överensstämmer med det nya grundvattentrycket under leran.

Förloppet kan beskrivas som en utjämning av ett porvattenövertryck i leran. Övertrycket minskar för att vid tiden  $t=\infty$  vara lika med 0.

Om inget vatten tillförs leran, varken uppifrån eller från sidan, kommer det ursprungliga vattentrycket i leran att på alla nivåer sänkas lika mycket som grundvattentrycket under leran (= grundvattensänkningens storlek).

Tillförs vatten hela tiden på en viss nivå blir den slutliga sänkningen av vattentrycket i leran proportionell mot avståndet till tillförselnivån.

Det totala vertikalktrycket, dvs summan av vattentryck och effektivt vertikalktryck ("korntrycket") påverkas inte av en grundvattensänkning. En minskning av vattentrycket i leran medför, som framgår av FIG 4:10-11, en motsvarande ökning av det effektiva vertikalktrycket. En grundvattensänkning ger alltså en lastökning som är lika stor som minskningen av vattentrycket i leran.

Genom denna lastökning pressas vatten ur leran och sättningar uppkommer. Andra slags sättningar förekommer, men de är små i förhållande till dessa sättningar och har därför lämnats utanför denna redogörelse.

#### 4.3.3 Konsolidering

Sättningar som orsakas av att vatten pressas ur jorden kallas konsolideringssättningar. Man skiljer på primär- och sekundärkonsolidering.

Den primära konsolideringen är beroende av lerans genomsläpplighet. Vattenutpressningen sker långsamt. Konsolideringen tar längre tid ju tätare leran är och ju tjockare lerlagret är.

Den sekundära konsolideringen sker så långsamt att något hydrodynamiskt motstånd inte uppstår. Konsolideringen beror på en krypning i jordmaterialets kornskelett.

Omedelbart efter en lastökning (genom t ex uppfyllning) sker en sk momentan sättning. Den är oftast av elastisk natur.

Såväl den sekundära konsolideringssättningen som den momentana sättningen brukar i leror

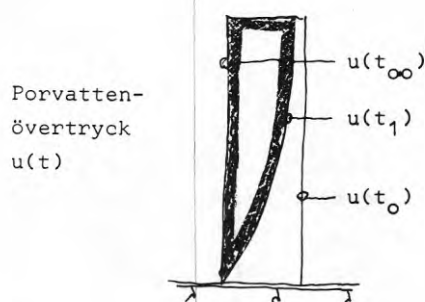
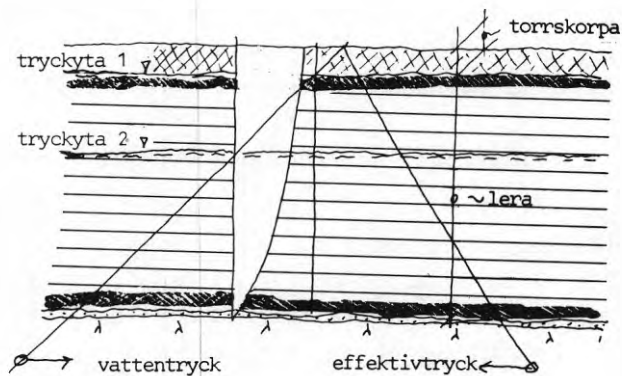


FIG 4:10

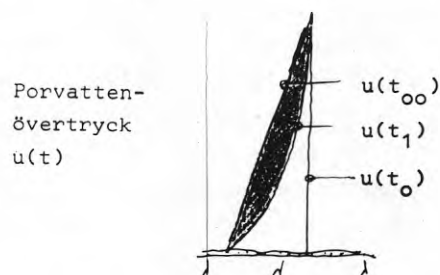
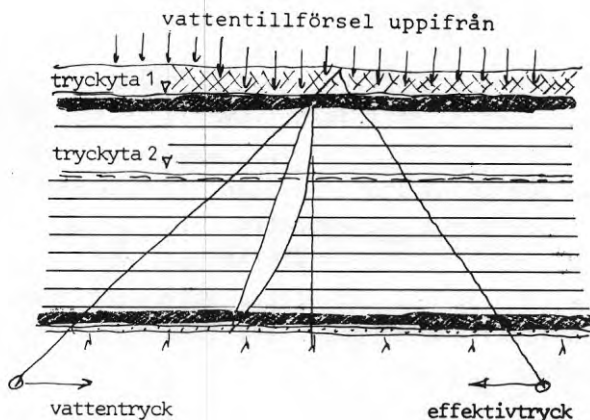


FIG 4:11

vara liten i förhållande till den primära konsolideringssättningen. De lämnas därför också utanför denna redogörelse.

#### 4.3.4 Normalkonsolidering och överkonsolidering

Ett lerlager som under sin geologiska historia aldrig varit belastad mer än av den överliggande jorden (= för tillfället rådande last) sägs vara normalkonsoliderad. Har lasten under någon tidsperiod varit större, t ex inlandsis och jord som eroderats bort, sägs leran vara överkonsoliderad eller förbelastad.

#### 4.3.5 Primärsättning

En lastökning (grundvattensänkning, uppfyllnad osv) som inte medför att trycket i leran blir större än det tryck för vilket leran tidigare varit konsoliderad (förkonsolideringstrycket) ger endast upphov till små sättningar. Dessa brukar därför ofta kunna försummas vid beräkning av sättningar.

Vid lastökning över förkonsolideringstrycket beräknas primärsättningen ur resultaten från kompressionsförsök i ödometer.

Enligt den s k klassiska konsolideringsteorin är den relativa sättningen i varje skikt (sättningen per längdenhet) proportionell mot logaritmen för förhållandet mellan det ökade effektiva trycket och ursprungstrycket. Ökning av det effektiva trycket i ett skikt i ett lerlagrets översta del ger alltså större sättning än vad samma ökning ger i ett lika tjockt skikt längre ner i leran.

Två fall kan särskiljas vad gäller tryckförändring i leran vid sänkning av grundvattentrycket under leran. I det första fallet (då inget vatten tillförs uppifrån) är trycksänkningen rektangulär, FIG 4:10. I det andra (då vatten tillförs) är den triangulär med spetsen uppåt, FIG 4:11. Den totala sättningen i det andra fallet blir alltså högst hälften av vad den skulle bli för ett lika tjockt lerlager i första fallet. Eftersom inverkan av en ökning av det effektiva trycket (= lastökning = minskning av vattentrycket i leran enligt ovan) är störst i den översta delen av lerlagret blir resultatet vid triangulär tryckförändring en sättning som är

mindre än hälften av vad den är vid rektangulär tryckförändring.

Vid rektangulär tryckförändring sker utjämning av porvattenövertrycket i leran enbart neråt. Detta framgår av grafen för porvattenövertrycket vid tiden  $t_1$  som ligger mellan begynnelse-tiden ( $t_0$  = tiden för grundvattensänkningen) och tiden för fullständig tryckutjämning ( $t_{00}$ ).

Vid triangulär tryckförändring sker utjämningen såväl uppåt som neråt trots att vattenflödet även i detta fall är neråtriktat.

Enligt den klassiska teorin är tiden för att uppnå porvattentryckutjämning proportionell mot lerans kompressibilitet, omvänt proportionell mot lerans genomsläpplighet samt proportionell mot kvadraten på lerlagrets totala tjocklek.

Vid beräkning av tiden för utjämning av porvattenövertrycket när tryckutjämningen sker både uppåt och neråt används lerlagrets halva tjocklek.

Konsolideringsgraden, dvs den del av den primära slutsättningen som uppnåtts vid olika tidpunkter efter en lastökning (grundvattensänkning), kan erhållas ur diagram. Den klassiska konsolideringsteorin förutsätter dock samma kompressibilitet och samma genomsläpplighet överallt i leran. Eftersom dessa faktorer vanligen varierar i verkligheten blir överensstämmelsen mellan de beräknade och de verkliga tidsförloppen ofta mindre god.

Viktigt att notera är att slutsättningen blir mer än dubbelt så stor när inget vatten tillförs leran, FIG 4:10, än när det sker vattentillförsel, FIG 4:11. Tiden att uppnå samma konsolideringsgrad blir däremot fyra gånger så lång. Efter en och samma (måttliga) tid blir konsolideringsgraden i första fallet avsevärt lägre än i det andra. Det gör att skillnaden i observerad sättning mellan fallen utjämnas. Först efter lång tid erhålls den stora skillnaden i sättning.

#### 4.3.6 Forskningsbehov

Det är som framgått utomordentligt betydelsefullt att ta reda på om vatten oavbrutet till-



förs ett lerlager uppifrån eller inte. För närvarande är föga känt om dylika frågor. Forskning skulle sannolikt kräva långtidsobservationer av porvattentryck på olika nivåer i jorden både i områden som inte berörts av grundvattensänkning och i områden där grundvattensänkningens förlopp studeras.

Sättningsproblematikens samband med grundvatt-net är en central fråga i STEGA:s arbete. De geotekniska principfrågorna har därför bedömts behöva beröras något. Ett mera djupgående studium ligger emellertid utanför arbetsgruppens forskningsresurser.

## 5 REFERENSOMRÅDEN

### 5.1 Referensområden kring Stockholm

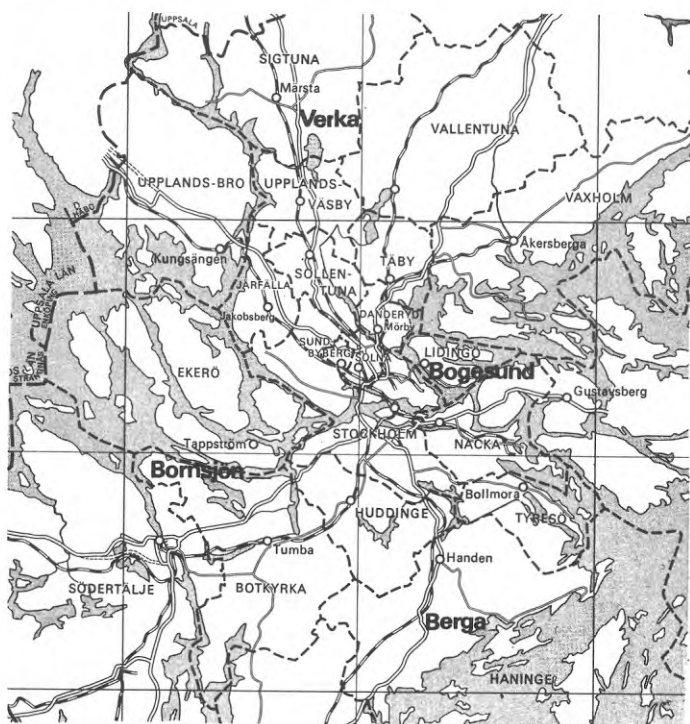
För att göra det möjligt att kartlägga naturliga grundvattenförändringar och avgöra effekter av urbanisering är det nödvändigt med observationer i icke urbaniserade referensområden. För Stockholmsregionen finns ett sådant referensmaterial i det s k grundvattenkorset. Detta består av fyra områden

VERKA  
BOGESUND  
BORNSJÖN  
BERGA

Verka-området, ca 3,5 mil norr om Stockholm (strax söder om Arlanda flygplats) ingår som ett s k representativt område i den Internationella Hydrologiska Dekaden (IHD). (ref) De undersökningar som bedrivs där skall i första hand fortlöpa under perioden 1965-1974 och omfattar studium av de olika hydrologiska processerna i vattnets kretslopp och vattenbalansen. Utöver detta studeras hydrokemiska förhållanden (nederbörd, grundvatten, avrinning) materialtransport i vattendrag, marktemperatur, tjäldjup m m.

FIG 5:1

Översiktsskarta över Stockholmsområdet med grundvattenkorset.



Undersökningarna inom Verkaåns avrinningsområde bedrivs av Institutionen för Kulturteknik vid KTH, Stockholm. De bekostas av Statens Naturvetenskapliga forskningsråd, som också bekostar arbetena inom de andra representativa områdena i Sverige, för närvarande fem stycken.

Mer än 100 stater deltar i denna internationella satsning på hydrologins område som IHD innebär.

Bakgrunden till IHD kan kort sägas vara det faktum att vattenproblemen på många håll i världen är synnerligen brännande. Det gäller vattenförsörjning, vattenkraft, materialtransport, vattenkvalitet m m och problemen förekommer i såväl i- som u-länder.

Verkaåns avrinningsområde valdes därför att det bedöms vara en god representant för mellansvensk jordbruksbygd beträffande geologi, markanvändning, topografi osv. Områdets lösa avlagringar har bildats under och efter istiden och först för omkring 2000 år sedan avsnördes området som ett bäcken av landhöjningen. Området som är ett jord- och skogsbruksområde avvattnas till Mälaren genom Verkaån. Totalarealen är ca 116 km<sup>2</sup> varav 40 % skog, 55 % öppen mark och resten sjöareal.

Grunden utgörs av urberg, som går i dagen här och var, men som i övrigt är täckt av morän. I dalgångarna finns lersediment av varierande mäktighet och dessa täcker ca 50 % av ytan och med största djup ca 20 m. En större rullstensår, den s k Stockholmsåsen går genom områdets västra del och i öster finns en mindre åsbildning.

Större delen av området är opåverkat av urbanisering och enligt aktuella planer kommer det att så förbli.

De tre övriga områdena i Stockholms grundvattenkors (Bogesund, Berga, Bornsjön) har utvalts på grundval av deras geografiska belägenhet i relation till Stockholms centrum, deras landskapskarakteristika och deras möjlighet att förbli opåverkade av urbanisering i överskådlig framtid. De är liksom Verka representativa för det låglänta mellansvenska landskapet och innehåller odlad bygd i en för regionen karakteristisk

utsträckning. Bogesundsområdet avviker något från de övriga tre. Det har mer av skärgårdsnatur med tunnare jordtäckte och berget i dagen i större utsträckning.

## 5.2 Referensområden kring Göteborg

I Göteborgs-regionen har idén om referensområden i fyra väderstreck i viss mån måst överges på grund av svårigheten att forma något lämpligt område i arkipelagen.

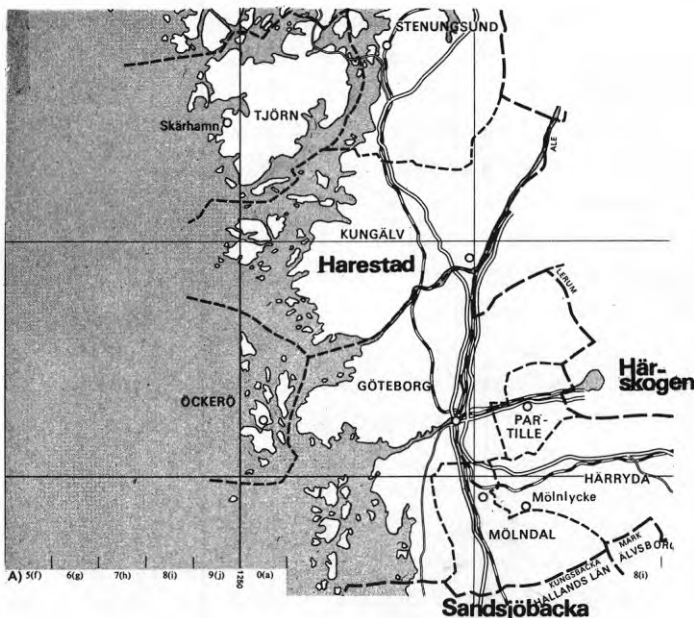
Vid upprättande av referensområden för regionen har målet varit att få med de jordartsgeologiska huvudtyperna. De stora lerfyllda, av nästan kalt berg omgivna dalgångarna, i huvudsak belägna under postglaciala gränsen (PG), representeras av Harestads-området i nordväst - ca 17 km från Göteborgs centrum. Moränområden över marina gränser (MG) representeras av Härskogen-området i öster - 30 km från centrum. Höjdintervallet mellan PG och MG med dess varierande geologi representeras av Sandsjöbacka-området i söder - 17 km från centrum

### 5.2.1 Harestadsområdet

Harestadsområdet genomdrages av en NV-SO orienterad dalgång, som utom i SO omges av relativt kalt berg. Berggrunden uppgörs av gotisk granit

FIG 5:2

Översiktsskarta över Göteborgsområdet med grundvattenkorset.



med basisk till sur sammansättning. Dalbotten ligger mellan 10 och 15 m ö h och de upp till 35 m mäktiga lösa jordlagren består huvudsakligen av lera, glacial och postglacial. Lerorna överlagrar ett tunt täcke friktionsmaterial, huvudsakligen morän, vilket dock ställvis saknas och leran vilar direkt på berg. Större ackumulationer av friktionsmaterial saknas, vanligen finns dock småpartier i anslutning till bergslutningarna eller i bergskrevor.

Friktionsmaterial av i huvudsak mo syns vara dominerande på sydvästsidan medan nordostsidans friktionsmaterial har grövre sammansättning. Materialfördelningen har samband med olika exponering för vågor under landhöjningen. Området utgör för närvarande jordbruksbygd och eventuell tätortsbebyggelse är ej aktuell inom 5 - 10 år.

### 5.2.2 Härskogen-området

Härskogen-området består av ett kuperat barrskogsbevuxet berg- och moränområde. Berggrunden består av omväxlande grå och röd gnejs, vilken ställvis är starkt förskiffrad. Moränen, som dominerar areellt, är föga mäktig, liksom i övriga delar av Göteborgs-området. Lokalt förekommer större moränackumulationer i form av friliggande ryggar eller anhopningar vid bergssidor. Moränen i området innehåller vanligen linser av sorterat material. Isälvsmaterial förekommer i de västligaste delarna i form av ett isranddelta samt små isolerade avlagringar i norr och söder.

I stora delar av området uppträder torvmarker av varierande storlek. Området dräneras via ett flertal bäckar huvudsakligen åt norr och väster. Större delar av området ingår i det föreslagna Härskogen-reservatet, varför någon exploatering av betydelse för grundvattnet ej kommer att ske.

### 5.2.3 Sandsjöbacka-området

Sandsjöbacka-området består av ett ganska kuperat terrängavsnitt, vilket dräneras av en bäck västerut med passpunkt strax öster om byn Torred i Släp socken. Mer än hälften av arealen upptas av bergområden med inget eller ringa moräntäcke. Morän uppträder normalt i smala stråk längs

bergssluttningarna och i sänkor mellan bergshöjderna. I sydöstra delen av området finns en drumlin, Sandsjöbackadrumlinen, med ca 55 meters relativ höjd. Moränen nedanför marina gränsen är vanligen svallad och svallmaterial har ofta förts ut över finkornigare sediment på dalgångarnas sidor. Svallgruskappan är dock föga mäktig - 1/2 m eller något mer.

Största förekomsten av isälvsgrus finns vid Högsered i norr, i övrigt finns blott mycket små anhopningar av sand och grus. Dalgångarna är delvis fyllda med tämligen lös lera. Vid rördrivning har maximal lermäktighet påträffats i Grönebur i söder - ca 18 m. Delar av dalgångarnas botten och små hållkar på bergplatåerna upptas av torvmarker, vilka flerstädes är påverkade av människans aktivitet. Området ingår i det blivande stora Sandsjöbackareservatet och kommer således troligen att förbli tämligen opåverkat i framtiden.

### 5.3 Observationsanordningar och mätprogram

Budgeten har i stor utsträckning bestämt vilka observationsanordningar som kunnat utföras. Exempelvis är observationshål i berg många gånger dyrare än observationsrör i lösa avlagringar, varför bergrör har fått undvaras i Bogesunds-, Berga- och Bornsjöområdena, där STEGA bekostat anläggningen. Samma gäller för referensområdena kring Göteborg.

Principen för rörens placering i terrängen var mycket enkel. Den var helt enkelt att sprida rören så jämnt som möjligt över området och att dessa skulle ha grundvattenkontakt. Därav följde att rören måste drivas i dalgångarnas lägre delar. Där är den naturliga lagerföljden torrskorpelera, lera av varierande mäktighet samt ytmorän och bottenmorän ovanpå berget. I allmänhet är den bästa vattenföringen i ytmoränen. Normalt är moränlagret mycket tunt, varför spetsen ofta står både i ytmorän och bottenmorän och i praktiken slås alltså rören till stopp.

Ekonomiska skäl har alltså gjort att grundvattenståndsmätningarna i stor utsträckning görs i den grundvattenförande morän, som underlagrar lerorna i dalgångarna. Endast i Verka sker för

närvarande studium av grundvattenståndsförändringar i berget. Därjämte sker en mer systematisk undersökning av förhållandena i rullstensmaterial i detta område.

Observationspunkterna utgörs av 2" galvaniserade järnrör som - sedan jordlagerföljden bestämts genom sondering - drivits till önskat djup. Rörens nedre del är perforerade och försedda med massiva spetsar och den perforerade delen har placerats i det grundvattenförande lagret.

Efter renspolning och provpumpning i flera omgångar har rörens funktion testats på så sätt att en mindre vattenkvantitet hålls i röret. Tidsförloppet till dess att den ursprungliga vattennivån nås studeras därefter. Regelbunden funktionskontroll är viktig eftersom rören kan slamma igen och utförs därför rutinmässigt.

Inom Verkaområdet finns för närvarande ett 40-tal observationsrör och inom vartdera av de övriga ca 15-20 rör. Rörens längd varierar mellan 5 och 30 m. Vattentillrinningen är normalt mellan något 100-tal och upp till 60000 l/h vid 2-3 m avsänkning av vattenytan.

Mätningarna påbörjades i Verka under 1965/66 och i de övriga områdena kring Stockholm hösten 1968. Områdena kring Göteborg togs i drift under perioden 1970-71. Mätprogrammet omfattar regelbunden pejling av vattenytans nivå i samtliga rör. Vissa av observationsrören inom Verkaområdet har tidvis varit försedda med kontinuerligt registrerande instrument. Vidare har vattenprovtagning för kemisk analys ägt rum i vissa rör vid några tillfällen.

Observationsintervallet för Verka är 1 vecka medan för övriga områden mätningar sker ca 1 gång/månad från och med 1970. Detta relativt stora mätintervall medför olägenheter vid vissa typer av bearbetningar men har nödvändiggjorts av ekonomiska skäl.

Mätdata lagras på hålkort och utvärderingen sker i dator enligt en metodik som utarbetats för Verkaområdet. Grundvattenytans läge bestäms dels som höjd över havet, dels som en relativ höjd i relation till en 0-nivå eller referensnivå. Beteckningen "grundvattenindex" har använts för denna relativa höjd. Referensnivån, som i och för sig kan väljas godtyckligt, hän-

för sig till Verkamaterialet där samtliga grundvattenytor gavs index 0 den 31 oktober 1966, då grundvattenytan hade en minimipunkt. Efter denna tidpunkt jämförs aktuella grundvattennivåer med nollnivån och skillnaden anger grundvattenindex som anges i m. För nästa område som "togs i drift" i Stockholms grundvattenkors antogs den relativa förändringen vara densamma som i Verka. Om medelindex då var +0,50 m sattes samtliga rör i det nya området till +0,50. Ett analogt förfaringssätt används för nytillkomna rör inom ett område.

På samma sätt har förfarits med mätningarna i exempelvis Botkyrka. Vid starten (före urbanisering) sattes samtliga observationsrör "index" lika med Verkaområdets medelindex. När avvikelser från referensområdenas index uppträder systematiskt är detta en indikation på "onormala" grundvattenståndsändringar.

Utöver beräkningar av index utförs rutinmässigt olika statistiska analyser av materialet i sin helhet och efter klassindelning med hänsyn till geologiska förhållanden. Resultat redovisas i tabellutskrift och datamaskinplottningar.

#### 5.4 Resultat

Vid sammanställning av mätdata från de olika referensområdena kan generellt konstateras att det finns en stor såväl geografisk som tidsmässig variation i grundvattennivån. Viss del av denna variation kan direkt relateras till fysikaliska orsaker medan resterande variationer enklast beskrivs med statistiska parametrar.

- Som framgår av fig 5:3 råder inom ett visst område ett klart samband mellan topografi och grundvattennivå. För områdena i grundvattenkorset kan man generellt säga att trycknivån under naturliga förhållanden ligger i marknivå eller 1 à 2 m under markytan.
- Grundvattenytan uppvisar en årstidsbetingad variation. Under våren i samband med tjällossning och snösmältning når grundvattennivån ett maximum. Grundvattenytan sjunker under sommaren. Detta beror på den tämligen konstanta grundvattenavrinningen i kombination med att markvattenmagasinet utarmas på

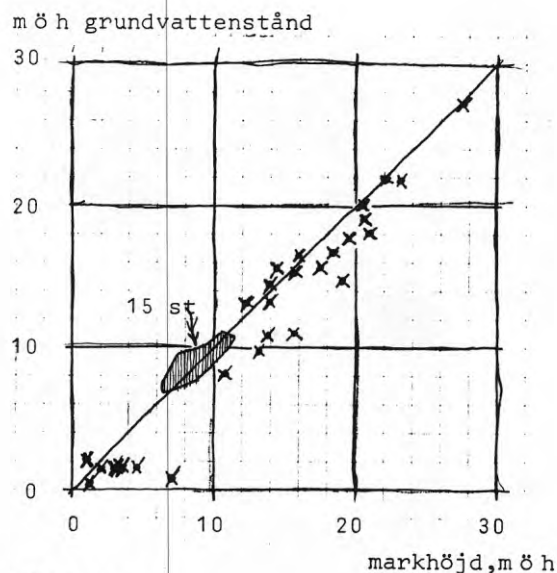


FIG 5:3

Samband mellan markens och grundvattenytans höjdläge

grund av växternas vattenuppsugning och avdunstning m m och att därigenom ingen nybildning av grundvatten sker.

En miniminivå nås under senhösten. Därefter uppstår ett nytt maximum efter det att höstregnen har mättat markvattenmagasinen. Grundvattenytan sjunker därefter åter långsamt under vinterhalvåret. Detta har samband med att marken tjälar och grundvatteninfiltrationen hindras.

- Grundvattennivåns årsamplitud varierar mellan de enskilda rören från några få cm upp till en eller annan meter. Den genomsnittliga årsvariationen i Verkaområdet och de övriga områdena i grundvattenkorset är något olika, fig 5:4. Orsaken till denna spridning är framför allt skillnader i grundvattenmagasins storlek samt olikheter beträffande infiltrationsförhållandena. För Verkaområdet, där materialet kunnat geologiskt klassindelas, syns klart exempelvis att rullstensåsarnas grundvattennivå har en mindre årlig amplitud än vad som förekommer t ex i moränmaterialet. Orsaken är närmast att rullstensåsarna utgör avsevärt större grundvattenmagasin än de andra.
- Förutom årstidsvariationerna kan grundvattenytan uppvisa tillfälliga fluktuationer till följd av extrema meteorologiska förhållanden. Dessutom förekommer en långtidsmässig varia-

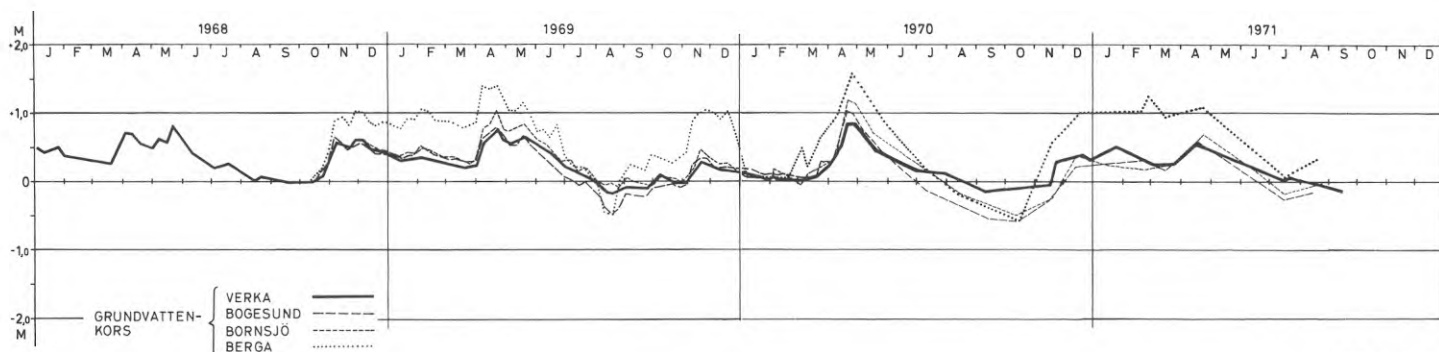


FIG 5:4

tion framför allt förorsakad av långtidsvariationer i klimatförhållanden.

På grund av flera torra år i följd (1969-73) har grundvattennivån i exempelvis Verka sjunkit i genomsnitt 0,5 meter under denna period (fig 5:4).

Det som sagts ovan gäller generellt för områdena i grundvattenkorset. Om de olika områdena i korset jämförs sins emellan kan man konstatera en god överensstämmelse med kanske ett litet undantag för Bergaområdet beträffande amplituden. Årsamplituden för Berga är något större än för de övriga områdena. Samstämmigheten mellan de övriga områdena kan tas som intäkt för slutsatsen att de är goda representanter för grundvattenförhållandena inom stor-Stockholmsregionen. Bergas avvikelse är inte så markant att detta område bör anses vara ett undantag när det gäller detta omdöme.

### 5.5 Hydrokemi

Grundvattenkemin i Stockholmskorset har följts under huvuddelen av försöksperioden. Följande kan noteras:

#### Berga:

Medelvärden från olika rör har sammanställts med rören ordnade gruppvis, TAB 5:5. Den första gruppen karakteriseras av förhållandevis låg kloridhalt, medelvärde 12,7 mg/l, medan den andra gruppen visar åtminstone ett par rör med höga kloridhalter. Nitrathalterna uppför sig ungefär som i Botkyrka-området, dvs oregelbunden variation. Av pH-värdena att döma har mättnad inträffat inom grundvattenzonen. Några av de andra rören uppför sig emellertid inte på detta sätt.

#### Bornsjön:

Av de tre grupperna har grupp 1 låg kloridhalt, grupp 2 har måttlig och grupp 3 hög kloridhalt,

TABELL 5:5 Medelvärden för olika konstituenten i grundvattnet från Stockholms referensområden

		K	Na	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Alk	pH	µS
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mekv/l		
Berga	grupp 1	2,7	18,0	30,3	7,6	12,6	18,0	0,2	2,26	8,1	262,9
	grupp 2	4,4	39,3	45,1	14,1	52,2	30,0	0,1	3,08	8,2	472,6
Bornsjön	grupp 1	2,1	9,4	26,8	5,9	8,6	18,0	0,2	1,65	8,2	200,8
	grupp 2	4,7	17,9	47,8	10,9	22,8	35,1	0,4	2,73	8,1	362,5
	grupp 3	20,0	31,1	81,8	18,5	72,2	29,0	0,2	3,60	7,7	664,9
Bogesund	grupp 1	6,0	56,7	41,2	7,4	34,6	29,8	0,6	3,73	8,6	470,6
	grupp 2	3,3	15,8	49,8	8,4	15,2	29,5	0,3	2,95	7,9	341,5

TAB 5:5 . Nitratvärdena är övervägande låga. pH-värdena är i regel måttliga - endast ett par av rören har så höga pH-värden att man kan miss-tänka kalkutlösning i grundvattenzonen.

Bogesund:

Medelvärdena redovisas i TAB 5:5 . Kloridhalter-na är mycket varierande men medelvärdet är mått-ligt. Endast ett fåtal rör visar pH-värden avse-värt högre än 8. Nitrathalterna är genomgående låga.

Sammanfattningsvis är den kemiska sammansätt-ningen av grundvattnen inom dessa delar av grundvattenkorset tämligen normal för denna region av Sverige med dess semi-arida klimat-prägel och mosaikartade uppbyggnad av kalkhal-tiga glaciala och post-glaciala sediment, del-vis inneslutande rester av vatten från Lito-rina-havet. Denna mosaik gör det i viss mån svårt att närmare tolka analyserna annat än på ett relativt generellt sätt.

Grundvattenkemin i Göteborgskorset har under-sökts vid några tillfällen under 1971 t o m 73. I Harestadsområdet varierar salthalten (klorid) mycket kraftigt i olika punkter, vilket tyder på inneslutet havsvatten i vissa delar av se-dimenten. Märkligt är den höga alkaliniteten i det fossila havsvattnet, vilket tyder på att det ursprungliga sulfatet (som nu är förhållan-devis lågt) reducerats vid nedbrytning av sam-tidigt innesluten organisk substans. Grundvat-ten som ej påverkats av marina inneslutningar företer för området normal sammansättning. Nit-rathalterna är genomgående mycket låga, dvs fö-reter ingen antropogen påverkan med undantag för ett observationsrör i Härskogen där de lig-ger över 1 mg/l. Harestadsområdet visar kalk-

mättnad i grundvattnet, förmodligen beroende på lerförekomsterna. pH-värdena är i allmänhet över 7 med undantag för Härskogen, där de lig-ger kring 6,5 %.

En sammanställning av analysmedelvärden från Harestad och Sandsjöbacka återfinns i TAB 5:6 Som jämförelse kan nämnas att kloridhalten i nederbörd på Västkusten är 3-4 mg/l inom det avstånd dessa områden ligger. Med hänsyn till torrdeposition skulle halterna ligga kring 10 mg/l. Om evapotranspirationen är ca 50 % för-dubblas koncentrationen i det infiltrerade grundvattnet. Detta stämmer tämligen bra med analyserna av icke marint påverkat grundvatten.

#### 5.6 Framtida uppföljning

Det är sannolikt att detta observationsmaterial kommer att bli av stort värde för den långsikti-ga bedömningen av grundvattenförändringar i fle-ra sammanhang. Den jämförelse med data från ny-byggnadsområden som STEGA främst tillämpar är ett exempel på hur informationen nyttiggörs.

För närvarande finns förutom det som beskrivits ovan ett par områden i Småland i närheten av den under utbyggnad varande Bolmentunneln. På ini-tiativ av IHD startades 1970 ett riksnät som för närvarande omfattar totalt ca 500 observa-tionspunkter och som drivs genom SGU:s försorg.

För närvarande finns beslut på att driften av referensområdena kring Stockholm och Göteborg fortsätts tills vidare.

På basis av erfarenheter vunna i samband med STEGA:s verksamhet borde det vara ett kommunalt intresse att bättre än nu kartlägga och följa

TAB 5:6

Medelvärden av grundvattenanalyser från Göteborgskorset

Plats	Antal anal.	Rör nr	k	Na	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Alkali-nitet mdv	pH	El-kond uS	FE-II mg/l
Sandsjö-backa	5	609	2.6	15	16	4	22	7	<0.1	1.10	7.6	190	2.43
Harestad	4	703	23.6	258	31	21	325	7	<0.1	5.65	8.6	1335	0.20
"	4	713	7.7	26	25	13	29	8	<0.1	2.32	8.0	303	0.90

upp grundvattenförhållandena. Ett tre-punkts-program enligt följande rekommenderas:

1. Observationsnät som kontinuerligt beskriver de naturliga grundvattenförhållandena etableras
2. Observationsnät i samband med byggnadsverksamhet av olika slag startas i god tid
3. Kontinuerlig uppföljning och utvärdering av observationer.

Ett sådant program skulle möjliggöra en vettigare byggnadsplanering och därmed spara pengar. Man skulle vidare ha ett bättre sakunderlag vid tvister beträffande grundvattensänkningar med åtföljande skadeverkningar. Dessa observationer skulle även kunna tjäna ett syfte i samband med kommunalt och enskilt utnyttjande av grundvatten för vattenförsörjning.



## 6 HUDDINGE

## 6.1 Allmänt

Där Huddinge centrum nu ligger var vid sekel-skiftet en myr till största delen av kärrkarakter. På vårarna förekom stora fria vattenytor strax efter snösmältningen.

Järnvägen genom Huddinge byggdes från mitten av 1800-talet till början av 1900-talet på bank tvärs över myrmarken vid nuvarande Huddinge centrum. Den dåliga marken medförde stora problem med stabilitet och sättningar.

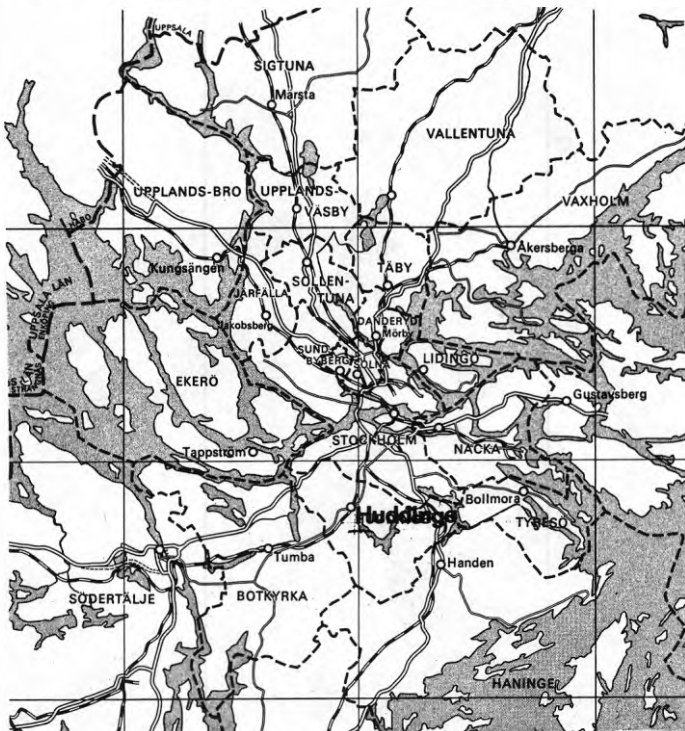
År 1949 invallades sjön Trehörningen och centrumområdet länsdumpades. Grundvattenytan var 1949 omkring +21,6 nere vid vallen. Pumpning sker nu fr o m nivån 19,9. Grundvattenytan sänktes alltså närmare 2 m.

Området bebyggdes successivt, något som närvaron av järnvägsstation bidrog att stimulera till. Stationen ligger delvis på fast mark.

Trots de svåra markförhållandena byggdes kärret med centrumbebyggelse under åren 1959-61. Sedan dess har ständiga bekymmer med marksätt-

FIG 6:1

Översiktsskarta över Stockholmstrakten



ningar förekommit och de kulminerade år 1971 i att genomgripande grundläggningsreparationer måste påbörjas i hela centrum. Tingshuset på järnvägens nordvästra sida fick utrymmas på grund av risk för husras i oktober 1972.

Hur problemen med ombyggnad av Huddinge centrala delar slutligt skall lösas är för närvarande inte bestämt. Hela frågekomplexet utgör en god illustration till vad marksättningar kan medföra.

## 6.2 Topografi, geologi, geohydrologi

Områdets topografi domineras av den centralt belägna sprickdalen som kan följas i NV-SO-lig riktning från E4 vid Kungens kurva till sjön Trehörningen. Markytan i den delvis lerfyllda dalgången, där centrumbebyggelsen uppförts, ligger på nivån ca +22,0 - +23,0. Genom nämnda dalgång avvattnas sjön Gömmaren i väster (nivå +45,7) till sjön Trehörningen i sydost (nivå +20,8).

Höjdryggarna på ömse sidor om dalgången består huvudsakligen av berg i dagen och morän. De högsta bergryggarna når till nivån ca +50,0.

Berggrunden består till övervägande del av gnejs med skiffriheten orienterad i ost-västlig riktning. Stupningen är huvudsakligen brant sydlig. Gnejsens strykning kan lokalt vara avvikande. I berggrunden förekommer flerstädes mörka inlagringar av förskiffrad grönsten, vars bergtekniska egenskaper är i huvudsak jämförbara med gnejsens.

Runt hällområdena inom de högre belägna terrängavsnitten förekommer vanligen morän. Denna är huvudsakligen sandig, moig och inga anmärkningsvärt höga blockhalter har observerats.

De största lermäktigheterna (20 m) har uppmätts på några få ställen i den NV-SO-liga dalgångens centrala delar. Lermäktigheter på 15-20 m är däremot vanliga inom stora delar av dalgången. Relativt stora lermäktigheter förekommer också i Huddinges södra delar (Storängen). Mäktigheterna är även här upp till 15-20 m.

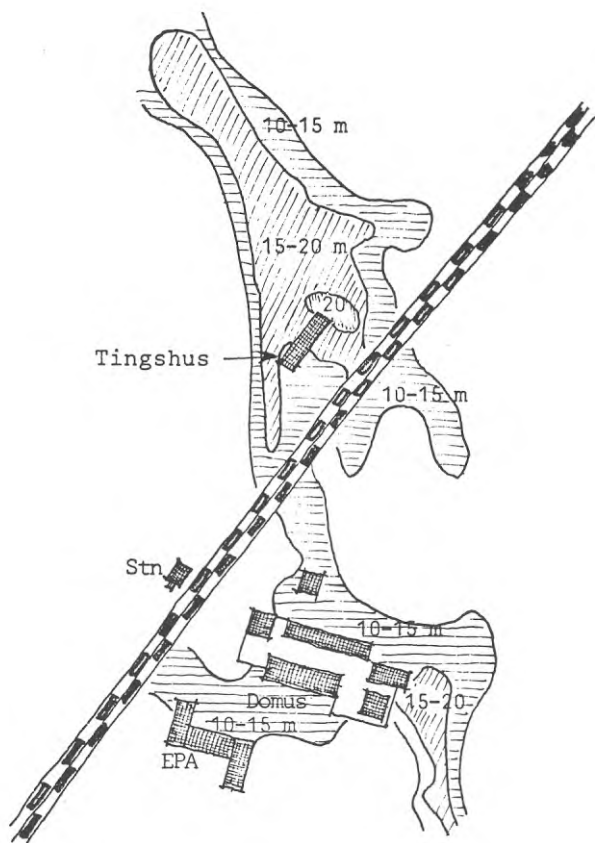


FIG 6:2 Lerdjup

Organiska avlagringar av torv, dy och gyttja förekommer i den stora dalgångens djupare delar. Måktigheterna av dessa avlagringar har i vissa provtagningspunkter uppmätts till ca 1-2 m torv och 3-4 m gyttjelera ovanpå den postglaciala leran.

### 6.3 Bebyggelsen, skadebilden i kronologisk ordning

#### 6.3.1 Centrumbebyggelsen vid Sjödals torg

Bebyggelsen i centrum (kv Forellen) består huvudsakligen av 2 trevånings varuhuskroppar med en källarvåning som förbinder de båda byggnaderna och bildar innertorg mellan dem. Längs den östra delen av detta innertorg finns ett låghus (B) vars källare är sammanbyggd med ett 17 våningars höghus (H). I väster finns ytterligare ett höghus som är 9 våningar högt (G).

Söder om det beskrivna centrum och även tillhörigt centrumbildningen ligger kv Hajen med ett

vinklat höghus i 8 + 2 + 8 våningar. Lerdjupet är mindre än i kv Forellen. Skador finns även i kv Hajen.

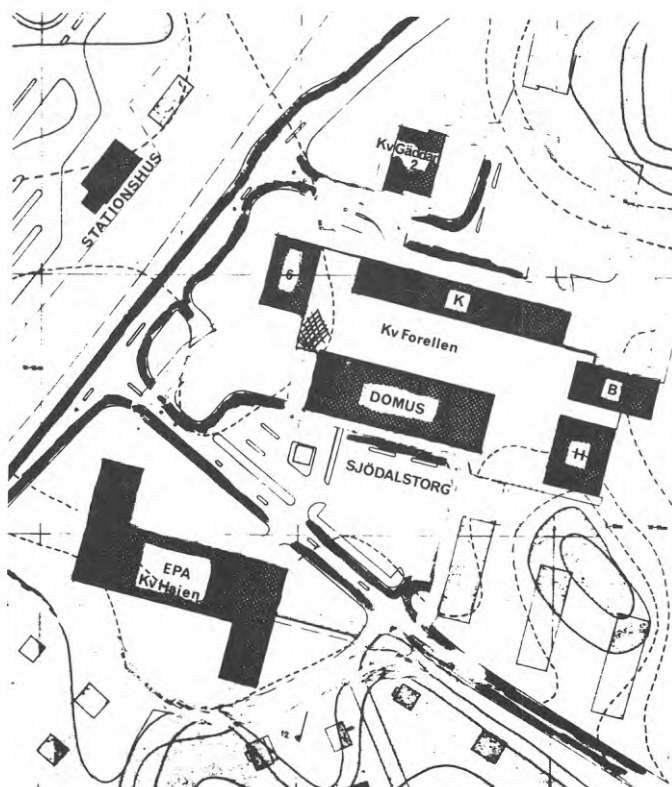
På andra sidan järnvägen, ca 600 m mot norr, står tingshuset, där ytterst allvarliga marksättningar ägt rum.

Marksättningarna i Huddinge har medfört att stora delar av markytan ständigt måste repareras för att vägar och entréer hjälpligt skall fungera. Många uppfyllningar har gjorts. Genom de ständiga lastökningarna på marken har sättningsarna förvärrats. Ledningssystem och grundläggning för hus har tagit skada. Trots att ledningssystemen är grundlagda till fast botten har ledningarna genom de stora påfyllnaderna och sättningsförelserna i marken brutits av eller krossats.

I kronologisk ordning har följande skador uppstått.

Våren 1966 konstaterades att ett hörn av ett garage sjunkit ca 12 cm mellan Domus och Forellen 6 (skrafferat). En förstärkningspålning

FIG 6:3 Huddinge centrum



utfördes då, men vidare undersökningar utfördes inte.

December 1967 omlades ledningssystemet utmed Domus' södra fasad och då upptäcktes att pålfundamenten hade vinkeländrats och pålarna måste bedömas vara mer eller mindre ur funktion. En förstärkningspålning vidtogs genom tryckpålning och denna tryckpålning utfördes inne i byggnaden med byggnaden som motvikt. Vad som skett med de ursprungliga pålarna klargjordes inte. Några större skador har inte inträffat på byggnaden, vilket uppenbarligen beror på att ett skyddsrum sträcker sig längs denna fasad och kan överföra laster till de centrala delarna av huset.

1970 inleddes en mer omfattande skadeinventering i alla till centrumbebyggelsen hörande byggnader.

I samtliga hus förekom i stor omfattning sprickor i källarväggar, golv och tak. Sprickorna i Domus-varuhuset var huvudsakligen koncentrerade till den västra delen. Sprickorna uppgick ibland till 5 mm.

I K-huset finns sprickor huvudsakligen längs den norra långfasaden.

En stor skjvspricka, ca 10 mm, finns från golv till tak i en bärande innervägg i pannrummet i höghuset kv Forellen nr 6.

Med ledning av detta underlag utfördes under första hälften av 1971 två provgropar. I K-husets norra fasad kunde konstateras att pålarna lutade inåt huset ca  $1-30^\circ$  och hade kraftiga sprickor. Infästningen uppvisade också skador, vilka tyder på att horisontalförskjutning av marken skett i samband med sättningarna.

I den andra provgropen vid Domus-varuhusets södra långfasad konstaterades att den ursprungliga pålningen helt var ur funktion, medan de år 1967 utförda tryckpålarna i huvudsak var intakta. En tid efter det att dessa undersökningar gjorts drogs såväl den yttre som den inre pålen i ett av de tre framschaktade fundamenten upp. Båda pålarna visade sig vara helt av ca 4 m under fundamentets underkant. Orsaken till

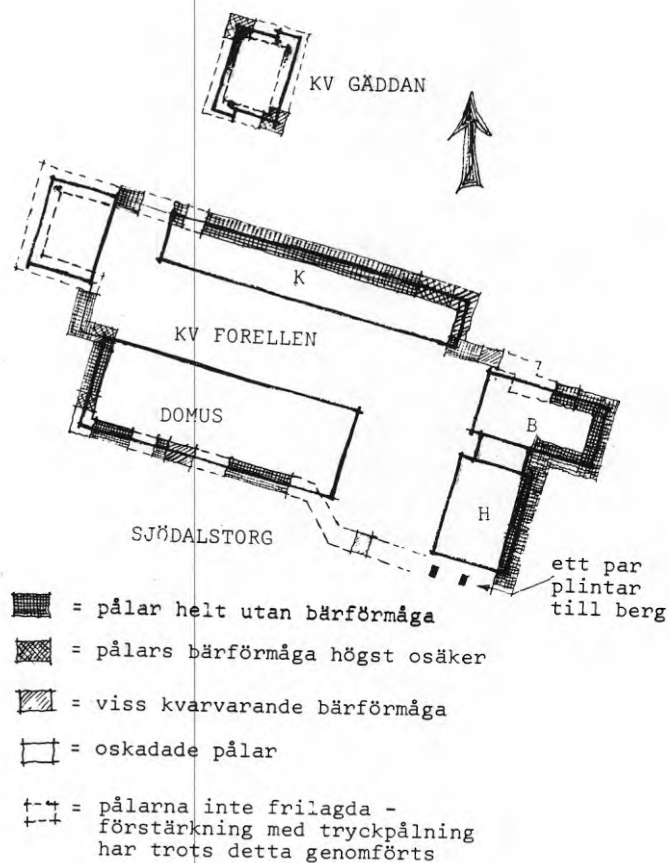


FIG 6:4

Grundläggningens tillstånd vid skadeinventeringen

detta var att de av marksättningen föranledda uppfyllnaderna orsakat ökade sättningar och sidopressningar av jorden in under huset. Detta har gett så stora utböjningar på pålarna att de belastats till brott.

Skadorna har visat sig vara betydligt allvarligare och mer omfattande än vad som från början kunde befaras - 70 % av de hittills besiktiga pålgrupperna under fasadväggarna bedöms vara helt utan bärförmåga.

Att t ex hus K dock inte har rasat beror på tvärväggarnas förmåga att överföra laster till de inre pålgrupperna. Dessa pålgrupper har fått stora överlaster och var innan förstärkningsåtgärder vidtogs på gränsen till brott.

Besiktning av befintliga pålar samt kompletterande grundundersökning har även utförts inom

kv Forellen nr 9, Forellen nr 7 (Huges höghus "H") samt Gäddan nr 2. Pålbrott kunde konstateras. Förstärkningsåtgärderna inom centrum måste således utökas och omfatta även dessa kvarter.

När detta skrivs har de befintliga tunga massorna invid byggnaderna schaktats av. En provisorisk överbrygning av schakten har gjorts längs Domusvaruhuset fram till Forellen 6 samt delvis längs norrfasaden på hus K. Pålförstärkning i form av tryckpålar under befintliga grundmurar slutfördes under första halvåret 1973. Fortlöpande kontroller bekräftar att inga ytterligare rörelser i byggnaderna har inträffat efter det att utförda förstärkningar utförts. Kring Gäddan nr 2 byts de tunga massorna mot lättklinker.

Avsevärda markskador i och kring kv Hajen (EPA:s hus), fig 6:2 och 6:3, i södra delen av Huddinge centrum har också uppstått. Säkerhetspålning utfördes emellertid före schaktningen för huset. Likaså utfördes efter samråd med SJ bankpålning längs järnvägsbanken som en förebyggande åtgärd.

Längs husets framsidor mot Sjödalstorg är trottoaren pålad, vilket minskar eller eliminerar risken för sidoförskjutning av husets stödpålar. Längs fasaden mot järnvägen, där inga trottoarpålar finns, sker kontinuerlig bevakning.

Undersökning av husets pålar har genomförts på ett par ställen. Full enighet beträffande resul-

tatet föreligger inte, men risken för allvarigare skador är liten. Sprickobservationer i huset sker också med jämna mellanrum.

Slutligen mäts markrörelselserna i hela området kontinuerligt med hjälp av inklinometererrör. En rörelse från järnvägsbanken i riktning mot Sjödalstorg har uppmätts. Om rörelsen fortsätter kommer en noggrann undersökning av EPA-husets stödpålar att genomföras.

### 6.3.2 Järnvägen, tingshuset

Som antytts är de aktuella problemen inte de första som uppstått i området. Vid lokalbangårdens utbyggnad inträffade år 1926 ett skred på järnvägens västra sida på en sträcka av ca 100 m ungefär mitt för det nuvarande tingshuset. Bankmassorna på denna sträcka gled ut mot väster. Några järnvägsvagnar drogs ned i samband med skredet. För att förhindra ytterligare skred lade SJ ut tryckbankar på ömse sidor om järnvägen. Dessa tryckbanksmassor har vid ett flertal tillfällen utökats och kompletterats med nya massor. Trots detta är bankstabiliteten än idag inte tillfredsställande.

En ombyggnad med höjning och breddning av peronger samt omläggning och justering av spår företogs 1966-67. Dessa åtgärder medförde ökade markbelastningar.

FIG 6:5

Kv Hajen från norr



FIG 6:6

Kv Hajen - västra flygel - vy västerut





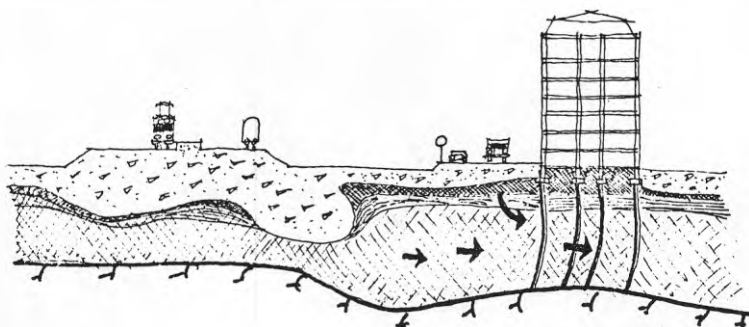
FIG 6:7

Tingshuset norrifrån, observera övergången från fast mark till ler- och kärrmark där sättningar tydligt syns.

Mellan banvallen och tingshuset går väg 226. Denna har delvis mycket tung trafik. Väg 226 anlades i början av 60-talet. På försommaren 1971 upptäckte Bengt Johansson och Sven Tyrén en 10 m långsgående spricka längs understa bjälklaget i sockeln mot väg 226 på tingshuset. Fortsatta undersökningar visade att en sidoförskjutning av marken under huset pågick. Under eftersommaren 1972 frilades en påle som visade sig vara nära brottlast. Byggnadsstyrelsen beslöt då att huset skulle utrymmas.

FIG 6:8

Tvärsektion genom tingshuset och banvallen. Observera fördjupningen med fyllnadsmassor från raset år 1926.



#### 6.4 Grundvattnets roll i sammanhanget

Av befintliga grundvattenobservationer i den stora dalgångens längdriktning framgår att grundvattenytan är ca 3 meter högre omedelbart söder om det smalaste stället (ca 800 m NV om tingshuset) än kring nuvarande Huddinge centrum. Härav framgår att ett grundvattenflöde mot sydost längs dalgångens bottensediment förekommer.

Hittills uppkommen grundvattensänkning inom Huddinge centrum är av storleksordningen 1,0 meter. Vad som inträffat är främst att den dyga leran börjat konsolidera under den påförda lasten. Grundvattensänkningen orsakar alltså bara en del och på sina ställen endast en mindre del av den påförda belastningen.

Torven hade på sina ställen en tjocklek upp till 2 m. Färdig markyta skulle enligt ritningarna vara ungefär 1 m ovanför torvens överyta. Vid påfyllningen av tunga massor ovanpå torven komprimerades denna. Den slutliga komprimeringen av torven är upp emot 90 % av den ursprungliga tjockleken, vilket betyder att avsevärt mycket mer tunga massor än det ursprungligen var avsett kom att belasta leran. Efter diverse reparationer är på sina ställen fyllningen mellan 3 och 4 m tjock.

Eftersom konsolideringskoefficienten  $c_v$  är låg borde sättningsförloppet också bli utdraget. I verkligheten har dock sättningen varit snabbare än vad  $c_v$  antyder. Detta beror sannolikt på genomgående dränerande molager i leran.

##### 6.4.1 Grundvattenobservationer, trendanalyser

Mätningar av grundvattenståndet vid Huddinge centrum har skett sedan början av 1971. Med ledning av dessa mätningar har trendanalyser utförts för 6 st grundvattenrör (FIG 6:9).

Under 1971 och 72 har grundvattenståndsförändringarna varit små. Trendanalyserna (FIG 6:10), visar dock på en sänkning nedströms på närmare en halv meter och en höjning av grundvattenståndet av ungefär samma storlek uppströms. Att detta är tillfälligheter kan inte helt uteslutas.

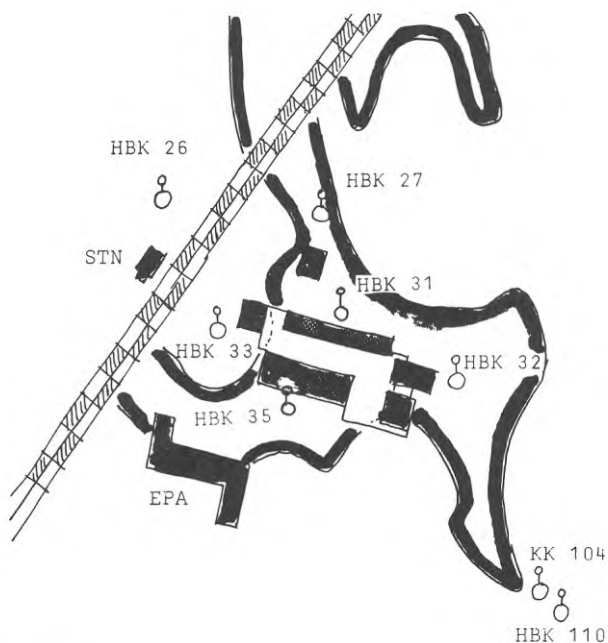
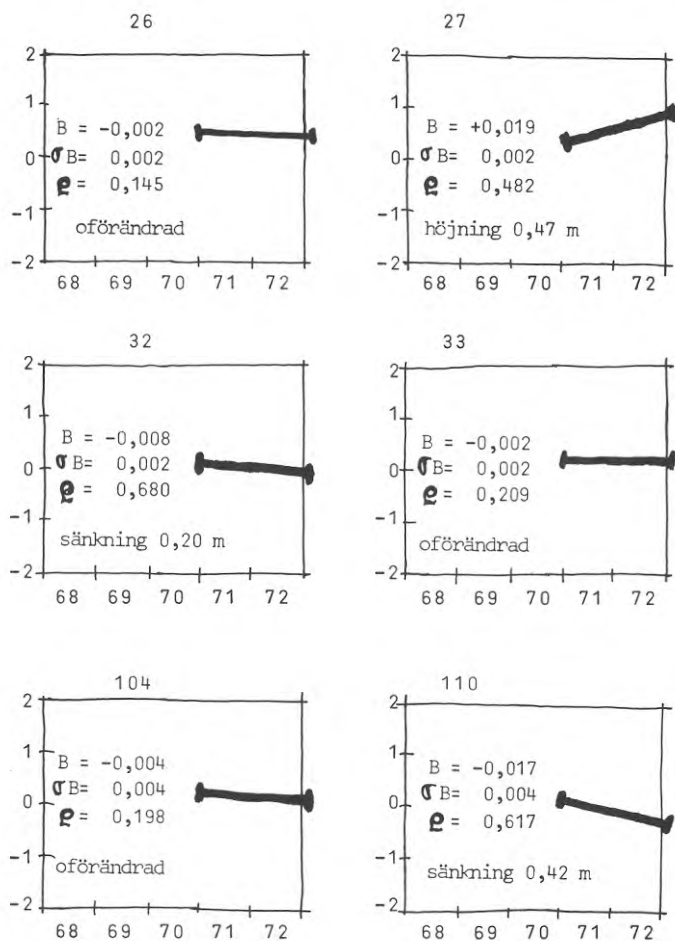


FIG 6:9  
Placering av grundvattenrör där trendanalyser är utförda

FIG 6:10  
Grundvattenståndsförändringar under år 1971 och 1972



Jämförs absolut höjderna i de tre rören HBK 27 och 110 samt KK 104 erhålls

	medelvärden	
	1971	1972
HBK 27	+21,9	+22,1
KK 104	+21,3	+21,2
HBK 110	+20,9	+20,8

Trendanalyserna har här alltså i vissa fall gett en aning "tendentiösa" resultat (nr 27 och 110).

#### 6.4.2 Kemiska undersökningar

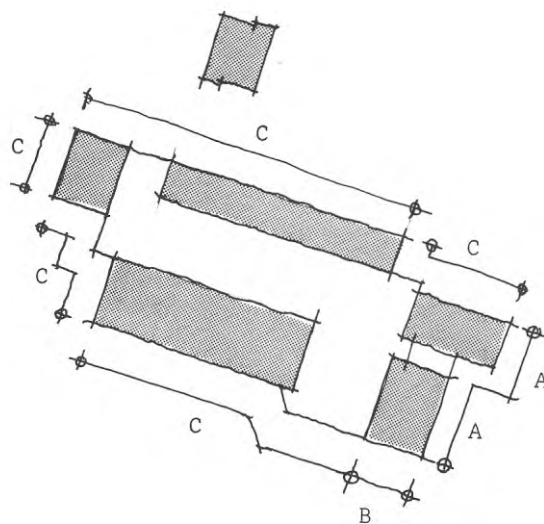
##### 6.4.2.1

Vid några tillfällen har prov tagits för kemiska analyser i några grundvattenrör.

Dessutom har såväl vatten- som jordprover tagits från olika ställen i byggnadernas omedelbara närhet respektive under fasaderna. Orsaken har närmast varit observerade långt framskridna korrosionsskador på vissa armerade betongkonstruktioner, främst avloppsrör.

FIG 6:11

- A: Korrosion på rälsplålar
- B: Ej undersökt
- C: Diverse korrosionsskador på betong



#### 6.4.2.2 Provtagningar

En provtagning för att undersöka risker för korrosion på järn och betong utfördes bl a av personal från Orrje & Co den 15.12.1972 och 18.12.1972. Provtagningen omfattade:

- Prov från träpålar med missfärgade partier
- Prov från platsgjuten betong
- Prov från betongrör
- Prov av lera avskrapad från träpåle
- Prov av lera från provgrop
- Prov av vatten från provgrop

Träpålarna har besiktigats okulärt och proverna från betongrör och från platsgjuten betong har undersökts kemiskt, där missfärgning uppstått. Dessutom har lerprover och vattenprover analyserats med avseende på ledningsförmåga, pH, klorid och sulfat. Lerprovernas sulfidhalt har bestämts samt totalhårdhet och bikarbonat har bestämts hos vattenproven.

#### 6.4.2.3 Resultat

Träpålarnas ändytor var blåfärgade. Träet var i huvudsak friskt och färgningen syns bero på att järnhaltigt vatten trängt in i veden och sedan utfällts som järnsulfid som har svart färg.

Stycken av den platsgjutna betongen slogs loss från betongplattan. Betongen var porös och gick att bryta sönder med händerna. Betongen var svartblåfärgad.

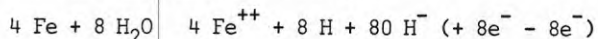
Vid prov med syra utvecklades svavelväte, vilket visade att den blåsvarta färgningen orsakats av utfälld järnsulfid. Betongen har uppenbarligen varit så porös att sulfidhaltigt vatten kunnat tränga in och fälla ut järnsulfid i betongen.

En viss färgning av betongrörskdelar kunde även iakttagas och bör ha haft samma orsak.

Vattenproverna var sannolikt inte representativa för miljön. Jordproverna var istället de som bör ligga till grund för slutsatser.

Av lerprovernas elektriska ledningsförmåga att döma är risken för korrosion på järn 3-5 mm/100 år. Risken för angrepp på stål genom bakteriell korrosion är liten vid lerans yta men ökar till mycket stor i lerlager på 1 till 5 m djup. Le-

#### Bakteriell järnkorrosion



ran innehåller rikligt med sulfat, som av de anaeroba järnbakterierna kan omvandlas till sulfider under samtidigt angrepp på järn. Den påtagliga till stora risken för bakteriell korrosion bör tolkas som en tillkommande riskfaktor.

Den höga halten av sulfat kan också medföra angrepp på betong genom "utvidgning". Här är närmast s k sulfatkorrosion.

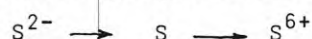
En väsentlig förutsättning för sulfatkorrosion är emellertid att sulfathaltigt vatten strömmar förbi korrosionspunkten. Risk skulle alltså föreligga för grundmurar och fundament nära ledningar. Vattenrörelser längs pålar kan också förekomma, varför pålar alltså inte kan anses ligga helt utanför farozonen.

En ytterligare risk, som emellertid måste beaktas uppstår om sulfidhaltiga skikt torrläggs. Då tränger syre ner och svavelsyra bildas, vilket kan ge svåra frätskador på både järn och betong. Detta är i själva verket den dominerande riskfaktorn i sammanhanget.

#### 6.4.2.5 Slutsatser

Gyttjejordarna skiljer sig i flera viktiga avseenden från andra jordtyper. Utom av hög svavelhalt kännetecknas de bl a av låg volymvikt, hög porvolym samt utpräglad tendens att krympa vid torkning. Ur hydrologisk synpunkt är detta senare av stor betydelse, emedan de efter jordens torrläggning bildade sprickorna är av permanent natur. Permanenta sprickor förekommer redan vid relativt liten innehåll av gyttja.

Sulfiderna i gyttjan oxideras på följande sätt:



Reaktionen leder till produktion av svavelsyra som, om svavelhalt är hög och kalkhalten låg, kan sänka jordens pH-värde så mycket att jorden blir fullständigt steril.

	enl vatten- prov	enligt jordprov vid ytan	djupare
<u>Järnkorrosion</u>			
Avfrätn mm/100 år	(2 - 3)	4	3 - 5
Risk för bakt.korr	-	liten	påtaglig -
<u>Betongkorrosion</u>			
Klass	(I)	V	V
Betongaggressivitet	(ingen)	mkt stark	mkt stark
Risk för sulfatkorrosion		stor	stor

Oxidation av sulfider och av organiska ämnen utgör en fara för betong och stålkonstruktioner. Oxidationsprodukterna är svavelsyra och aggressiv kolsyra, vilket åtminstone i strömmande vatten kan ge ytterst snabba nedbrytningsförlopp.

Sulfatreduktion är en annan fara som närmast berör järnkonstruktioner. Anaeroba bakterier reducerar sulfat till sulfider samtidigt som de utnyttjar väte. Bortförskaffandet av väte underhåller en reaktion där järn går i lösning. Denna process kan förekomma under grundvattenytan där marken har hög sulfathalt och utgör alltså där en fara för t ex rälsplåtar. - Korrosionsrisken för järn är totalt sett högst avsevärd.

I det aktuella fallet syns faran för betongkorrosion vara koncentrerad till ledningar, ledningsgravar och anslutande konstruktioner, där markvatteninläckning kan medföra att svavelsyrarhaltigt och/eller marmoraggressivt vatten strömmar till, längs eller genom betongen.

#### 6.4.3 Upptagning av en avbruten påle under Domus-varuhuset

I januari 1972 erhöll STEGA ett särskilt anslag för undersökning av en avbruten betongpåle under Domus-varuhuset i Huddinge centrum.

Den yttre pålen i ett pålok som vinkelställdes av ett skred in under huset avlägsnades sedan erforderliga uppmätningar gjorts. Därefter togs pålplattan bort och ett stålrör med diametern 1 m drevs ned runt den kvarvarande pålen. Jor-

den schaktades bort efter hand och pålen fri-lades ned till ca 1 m under brottstället. Pålen rengjordes och fotograferades samt ytterligare uppmätningar genomfördes.

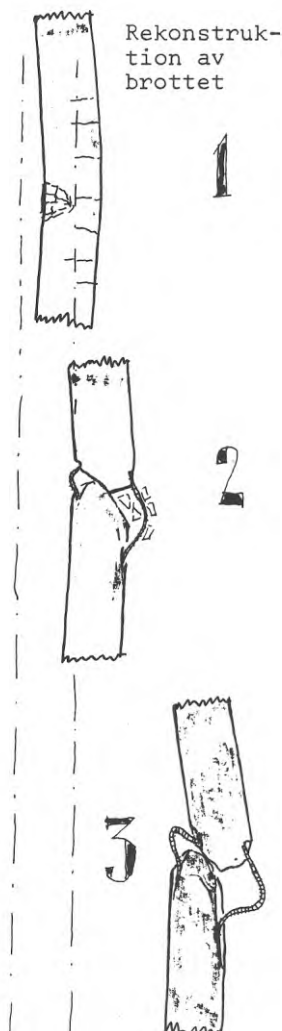
En beräkning av spänningar och deformationer gav vid handen att det primära brottet var ett böjbrott med krossning av tryckzonen. Efterhand som överdelen vinklats i förhållande till underdelen har böjbrottet övergått till att bli tryckbrott med betydande avspjälkningar av den ursprungliga dragzonen.

Efter fotograferingen på platsen kapades pålen och togs upp. Därefter har ytterligare fotograferingar genomförts och försök till rekonstruktion av brottförloppet har genomförts. Den här beskrivna brottbildens syns vara typisk för alla de avbrutna pålar som tagits upp under centrumbyggnadernas periferi i Huddinge.

FIG 6:12



FIG 6:13





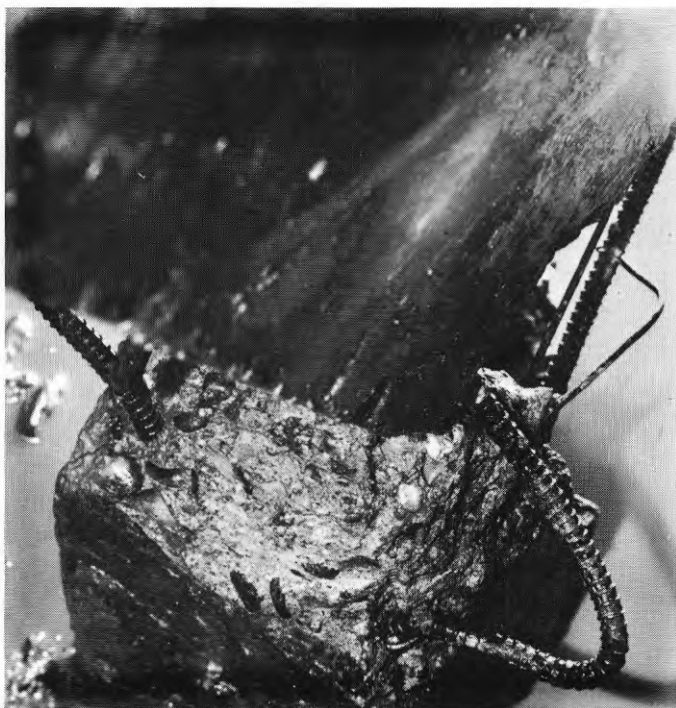


FIG 6:14

#### 6.4.4 Vattenbalans

Avrinningsområdet kring Huddinge centrum har ett inflöde av grundvatten av obekant storlek via dalgången från sjön Gömmaren. På samma sätt sker ett obehant utflöde av grundvattnet genom passet ner mot sjön Trehörningen

Grundvattenmagasinets storlek, sektionarsreor, infiltrationsytor samt sannolika infiltrationsflöden har beräknats för området före och efter nuvarande exploatering och för en framtida hårdare exploatering.

Grundvattenytans nuvarande läge jämte dess sannolika läge innan exploatering har varit utgångspunkt för några enkla beräkningar av trycklinjen vid olika flöden.

Med sannolika värden på inflödet till området uppströms ifrån och framräknade värden på infiltrationen kommer trycklinjens läge i utströmningssektionen att i dominerande grad bestämma grundvattenståndet i centrum. Sänks nivån 2 m i utflödessnittet sjunker grundvattnet med i stort sett samma belopp i centrum.

Extrema alternativ framgår av FIG 6:16.

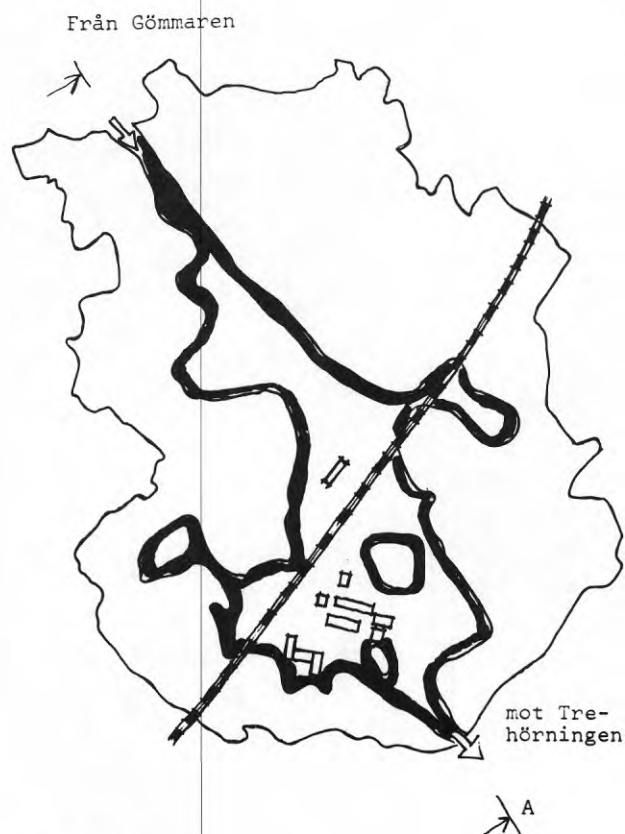
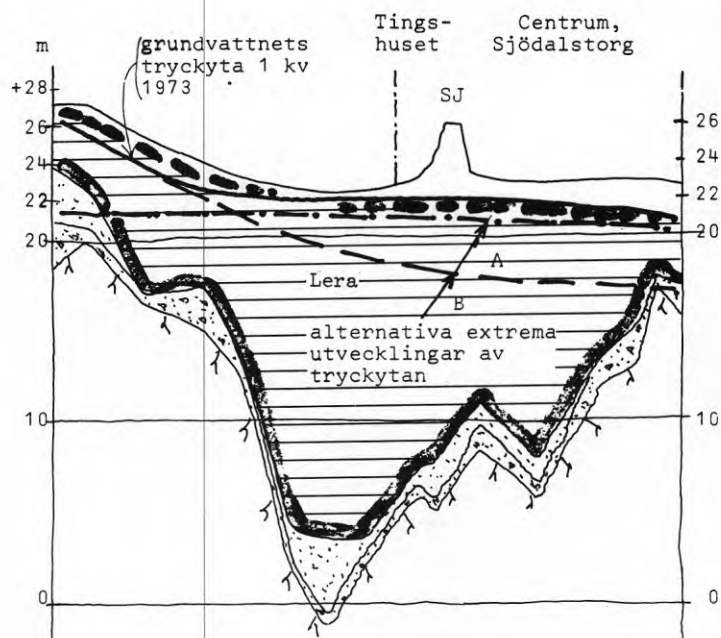


FIG 6:15

FIG 6:16

Längdsektion AA av Huddingesänkan.  
Alternativa grundvattenflöden och tryckkytor  
A = inflödet från NV = 0  
B = grundvattenytan nedströms sänks till i nivå med bergtröskeln



### 6.5 Diskuterade åtgärder

De provisoriska åtgärder som vidtagits inom centrumområdet måste, för att centrum skall kunna fungera väl, ersättas av mer permanenta anläggningar. Rent tekniskt dalstorget som Forelltorget utföras som pålade betongdäck. Den markförstärkta ytan bör utsträckas till att omfatta även Kommunalvägen.

Dessa dyra åtgärder kommer med all sannolikhet att leda till en ytterligare utbyggnad och tätning av centrum dels för att utnyttja den markförstärkta ytan, dels för att få förräntning på nedlagt kapital. Detta innebär i sin tur en ökad trafikbelastning, vilket i sin tur ställer ökade krav på vägsystemet.

Flera hus förutom själva centrumbebyggelsen befinner sig inom det område där skador uppstått. Reparationsarbeten kommer där att insättas, men de blir inte av så genomgripande karaktär att de förändrar stadsbilden.

För den framtida utbyggnaden av Huddinge föreligger illustration till generalplan daterad den 1.4 1971, vilken är reviderad den 24.4.72.

När detta skrivs föreligger "Förslag till generalplan för centrala Huddinge" från juni 1973. Enligt detta förslag kommer väg 226 att gå i en båge nordväst om Fullersta centrum. Vägen kommer därvid att passera dålig mark endast på en kort sträcka.

Vad det utrymda Tingshuset beträffar har Sven Tyrén AB i ett marktekniskt yttrande över generalplaneförslaget förordat en teknisk kompromiss mellan rivning och total rekonstruktion av grundläggningen. Denna kompromiss har följande huvudlinjer.

- Tingshuset tryckpålas med säkerhetsfaktorn 2,0 i stället för 1,2.
- En del av leran och torven under Tingshuset byts ut mot sand.
- En del av de tunga massorna i järnvägsbanken byts ut mot lättare.
- Väg 226 flyttas tills vidare närmare järnvägen som ett "långsiktigt" provisorium.
- Kontrollinstrument med avseende på markrörelser installeras.

Om detta program genomförs bör tingshuset åter kunna tas i drift och fungera minst 15 år framåt.

## 7 MARKSKADOR I STOCKHOLMS NORDVÄSTRA FÖRORTSOMRÅDEN

### 7.1 Inledning

Under STEGALs första arbetsår genomfördes förutom grundvattenenkäten även andra omfattande inventeringar av dagsläget. De besiktningar av markskador som utfördes skedde huvudsakligen i Stockholmstrakten. Det efter hand insamlade materialet är omfattande. Markskador och skador på byggnader orsakade av marksättningar finns inom hela Storstockholm och det har bedömts vara ett alltför stort arbete att inom STEGA:s ram göra en fullständig sammanställning av detta.

För att ändå kunna ge en någorlunda nyanserad bild av läget har istället Stockholms västra förorter undersökts mer noggrant.

Stockholms västra förorter är ett typiskt område för den problematik som STEGA behandlar. Geologin är den i Stockholmstrakten vanliga med ett småbrutet landskap bestående av branta bergklackar, moränkullar och lerfyllda svackor. På flera ställen har sjöar och kärr bildats när de mångflikade Mälärvikarna snörts av på grund av landhöjningen. Bällstaviken fortsätter exempelvis i ett långt stråk mot nordväst och praktiskt taget längs hela denna sträckning är marken täckt med organiskt ytmateriale, ibland av betydande tjocklek.

Uppgifter om skador har insamlats främst genom de konsultuppdrag som Sven Tyrén AB har haft och har inom området. Därefter har skadorna fotograferats vid olika tidpunkter under så lång tid som möjligt. Ett bildurval med typiska skadefall har därefter gjorts.

Dessutom har utarbetats

- kartor över lerområden, kärr och tunneldragningar
- kartor över avrinningsområden
- översiktskartor över skadefall och tidpunkter för olika markgrepp som kan ha samband med dem.

Händelseförloppen inom området är särskilt intressanta bl a därför att tunnelarbeten av olika slag pågått sedan rätt lång tid tillbaka och att stora sådana arbeten fortfarande pågår.

Stockholms stad har ett drygt hundratal grundvattenobservationsrör i västerort och en del observationer har pågått under 15 år eller mer. Alla dessa mätdata har stått till STEGA:s förfogande. Dessutom har ett antal observationsrör, som utförts i samband med konsultarbeten som Sven Tyrén AB har, kompletterat grundvattenbilden i områden av särskilt intresse.

### 7.2 Översiktlig skadeinventering

Det första steget i skadeinventeringen var en genomgång av den geologiska kartan.

Eftersom den postglaciala lera är den lösaste lertypen och glaciäler endast i undantagsfall (i Stockholmstrakten) figurerat i skadesammanhang identifierades därför helt enkelt samtliga områden med postglacial lera. Områdena lades in på en bebyggelsekarta och skrafferades.

Eftersom det visat sig att områden med organiskt ytmateriale i alldeles särskilt hög grad är utsatta för byggnads- och markskador, gjordes ytterligare en skraffering över dessa områden.

Slutligen inlades på kartan samtliga bergtunnlar inom området.

Därefter inventerades området systematiskt beträffande marksättningar och byggnadsskador.

Resultatet är i stora drag det att överallt där marksättningar och skador kunnat konstateras finns också postglacial lera. Frekvensen är markant högre i närheten av tunnlar och där organiskt ytmateriale finns.

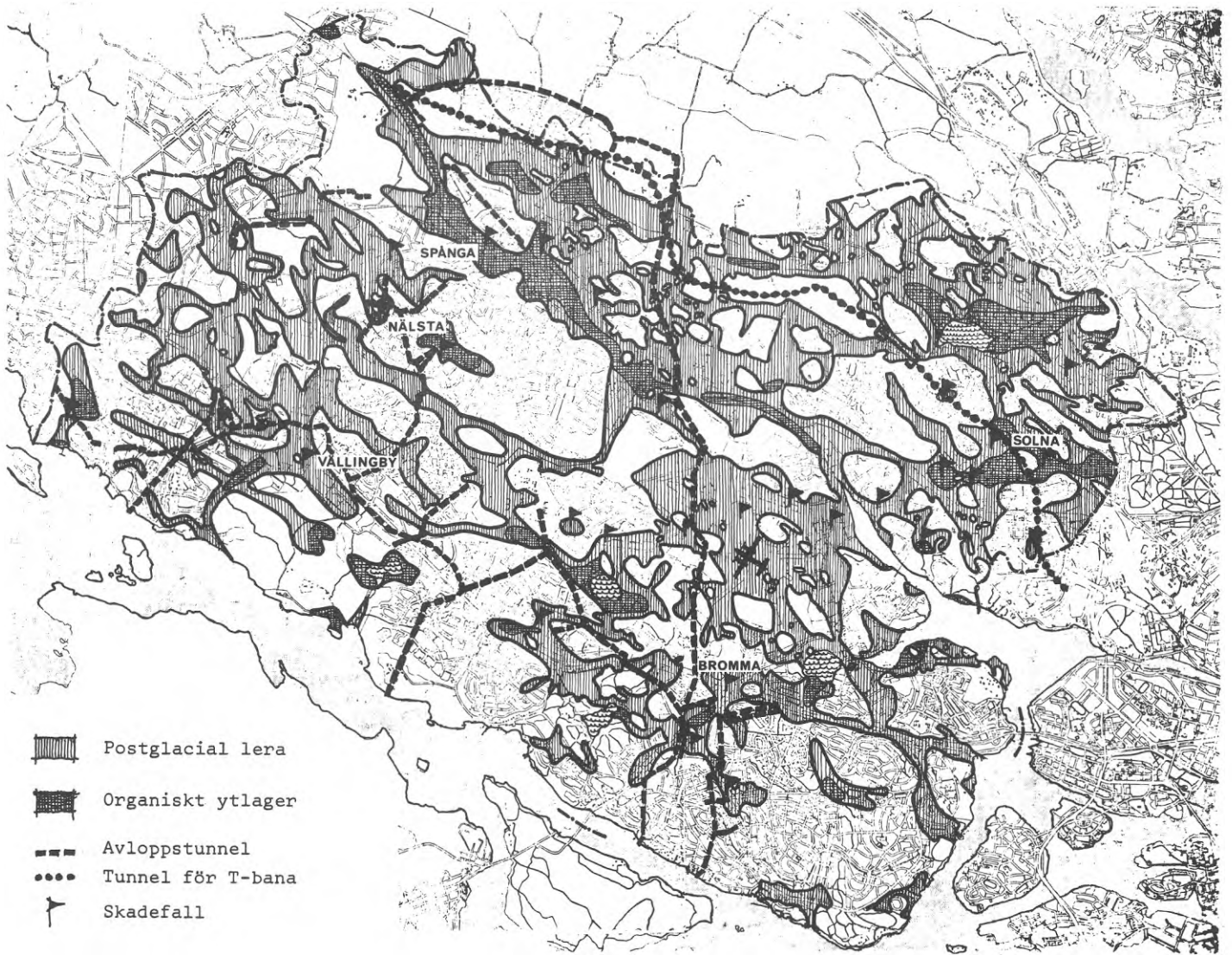


FIG 7:1

Kartläggning av områden med postglacial lera och organiskt ytmaterial. Avloppstunnlar och T-bana. Fotograferade skador utmärkta med vimpel.

FIG 7:4 7:5  
Kv Syskrinet



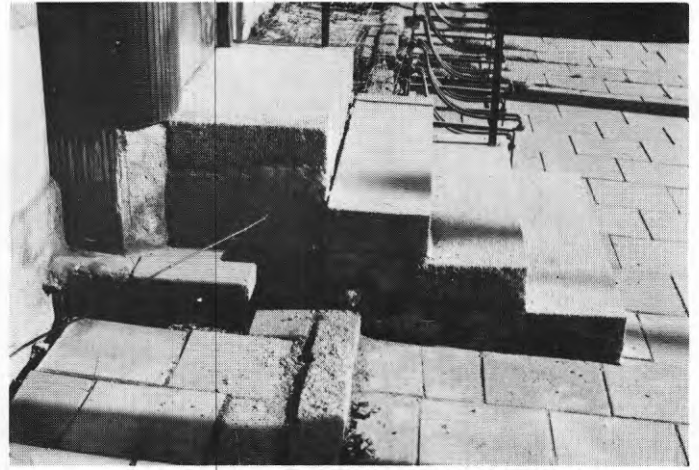


FIG 7:2, 7:3 Abrahamsberg, mars 1973

FIG 7:7 Olofslund kv Fållbänken  
(S Brommaplan)

#### 7.2.1 Abrahamsberg

Drottningholmsvägen har fått höjas i omgångar och i den senaste reparationsomgången behövdes närmare 1/2 m för att få vägen i lämplig nivå. En tänkbar orsak till marksättningarna är den tunnel som går i östlig riktning ner mot Högländet.

#### 7.2.2 Brommaplan och kringliggande bebyggelse i Riksby

I detta område har sättningsarna under de senare 3 à 4 åren uppgått till ca 1 meter på de mest utsatta ställena. Ett flertal reparationer har utförts. Särskilt synliga är skadorna kring stöden för tunnelbanan. Orsaken till dessa sättnings-skador förmodas vara de tunnelsystem som går ner mot Åkeshovs reningsverk strax sydväst om Brommaplan.



FIG 7:8 Åkeshov, kv Ryssmuren

FIG 7:6 Brommaplan vid T-banan





FIG 7:9

FIG 7:10



FIG 7:11 Attundavägen



### 7.2.3 Småhusbebyggelse söder om Islandstorget

Här har omfattande sättningsskador uppstått på marken kring flera småhus.

Detta är ett av de förortsområden där skador tidigast uppträdde i Stockholmstrakten. Redan under 1950-talet började reparationsarbeten i mindre skala. Sedermera har, på hus som utförts med s k kompensationsgrund eller med flytande grundläggning, grundförstärkning skett. På några ställen har grundläggning skett med träpålar. Enligt rapporterskall dessa träpålar nu ha kommit över grundvattenytan och löper risk för att ruttna. En plötslig sättning på husen kan då riskeras. Läget kan alltså eventuellt redan vara kritiskt.

Problemen har uppstått innan tunnlar dragits i närheten av området, vilket således bevisar, att grundvattensänkning och marksättningar kan ha andra orsaker. En tunnel, norost om detta område, har tillkommit under senare år och har kanske ytterligare förvärrat förhållandena.

### 7.2.4 Bromma kyrka vid Kyrksjön samt områdets anslutning till Bromma flygplats

En avloppstunnel i nordvästligaste delen av landningsbanan går alldeles intill det aktuella området vid Bromma kyrka. Gatukontoret har gjort omfattande utredningar i avsikt att grundförstärka berörda småhus.

### 7.2.5 Bromma flygplats

Längs den norra kanten av flygfältsområdet, där passkontor och EPA stormarknad ligger har särskilt stora sättningar uppträtt. Ett betydande antal reparationer har skett i detta område.

### 7.2.6 Bällstaån och Spånga centrum

Problem förekommer längs hela dalgången. Ler- och torvområden finns i hela dess sträckning ända upp till och förbi Tensta.

Redan för tio år sedan företogs förstärkningsåtgärder för en grupp med småhus i själva Bällsta utmed Bromstensvägen och mot travbanan.

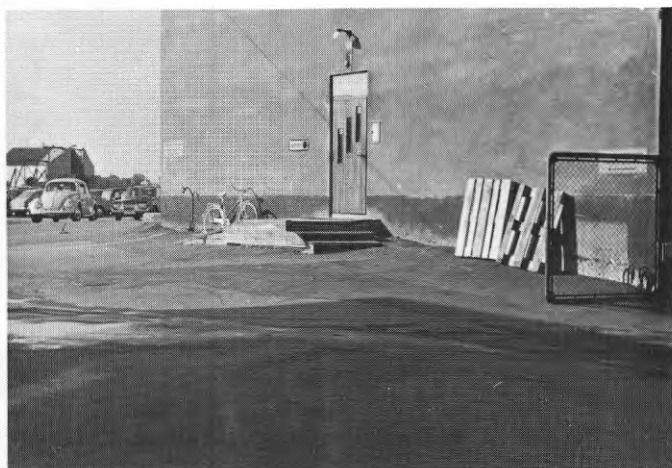


FIG 7:12, 7:13, 7:14  
Ulvsundavägen; flygplatsområde

I hörnet Spångavägen - Bromstensvägen finns flerfamiljshus där markskador utanför husen är av betydande omfattning.

Hela Spånga centrum har stora marksättningar.

FIG 7:17 Bällstavägen - Spångavägen



FIG 7:15 Spånga centrum - församlingshem



FIG 7:16 Spånga stationshus



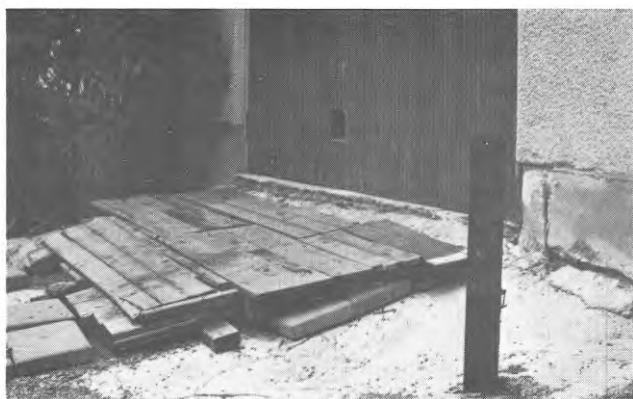


FIG 7:18 Solhem, kv Gubbörten



FIG 7:19 Kv Kontot



FIG 7:20 Kv Vagnhallen



FIG 7:21

### 7.2.7 Solhem

Ett äldre villabestånd med kompensationsgrundläggning har fått skador i samband med att tunnlar dragits i närheten. Även fördjupningar av avloppsledningar i närheten har bidragit till att sänka grundvattennivån och initiera sättningar.

Pålade hus har också fått skador.

### 7.2.8 Råcksta

I det lerområde med organiskt ytmaterial som börjat strax norr om Vattenfalls förvaltningsbyggnad och sträcker sig i nordvästlig riktning upp emot Vällingby centrum ligger både flerfamiljshusbebyggelse på den östra delen och industribebyggelse på den västra. Här har avsevärda marksättningar redan skett, vilket i huvudsak syns på gatunätet. Parkeringsplatserna bland flerfamiljshusen är också starkt utsatta. Entréerna till husen har måst repareras ett antal gånger.

### 7.2.9 Kvarteret Uranet, sydväst om Vällingby centrum

Stora sättningsskador har uppträtt på tillfartsgator till parkeringsplatser och till garageinfarterna till husens nedervåningar. Uppfyllning har skett ett flertal gånger och underhållsarbetena är ständigt pågående. I en livsmedelsbutik, där marken satt sig, bildades håligheter under huset på grund av den sjunkande marken. Man fick problem med råttor, som hade ett utmärkt gömställe under huset.

### 7.2.10 Hässelby gård

De stora torgen vid centrumbebyggelsen håller på att sjunka relativt kraftigt. Hur stora sättningarna är för närvarande kan inte uppges med större noggrannhet. De kan uppskattas till ungefär 50 cm under en tid av 10 år.

### 7.2.11 Hässelby villastad

I södra delen av Hässelby villastad finns ett lerområde där inslaget av organiskt material är synnerligen markant. Detta område är bebyggt med småhus och mycket stora uppfyllna-





FIG 7:23, 7:24 Hässelby gård



FIG 7:22 Kv Uranet



FIG 7:25 Neptunistigen

der har gjorts. Bebyggelsen gjordes i huvudsak under året 1970. Kraftiga sättningar har redan uppstått och det finns anledning förmoda att sättningarna kommer att vålla mycket stora bekymmer i fortsättningen.

Intill områdets södra gräns är en tunnel utsprängd. Denna tunnel passerar ett litet pass, där förmodligen avbördning av grundvatten dessutom sker. Det är möjligt att denna bergzon har skadats av sprängningen. Detta bör givetvis kontrolleras.



FIG 7:26

Sättningarna blir större ju längre ut i kärret husen ligger.



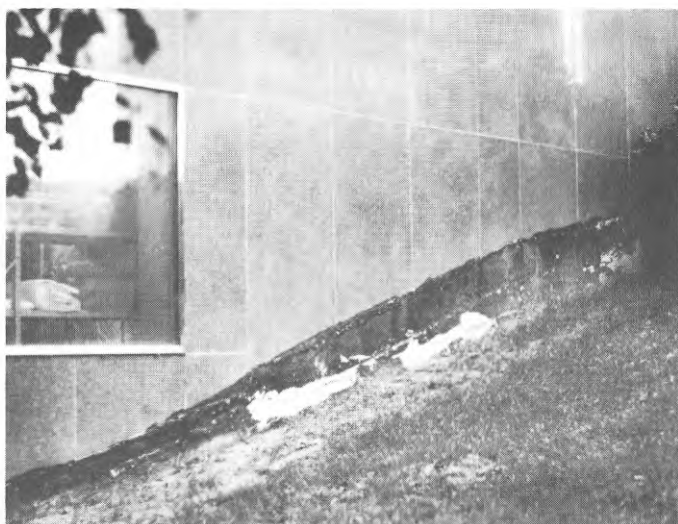


FIG 7:28 Sättning innan uppfyllnad sept 1971

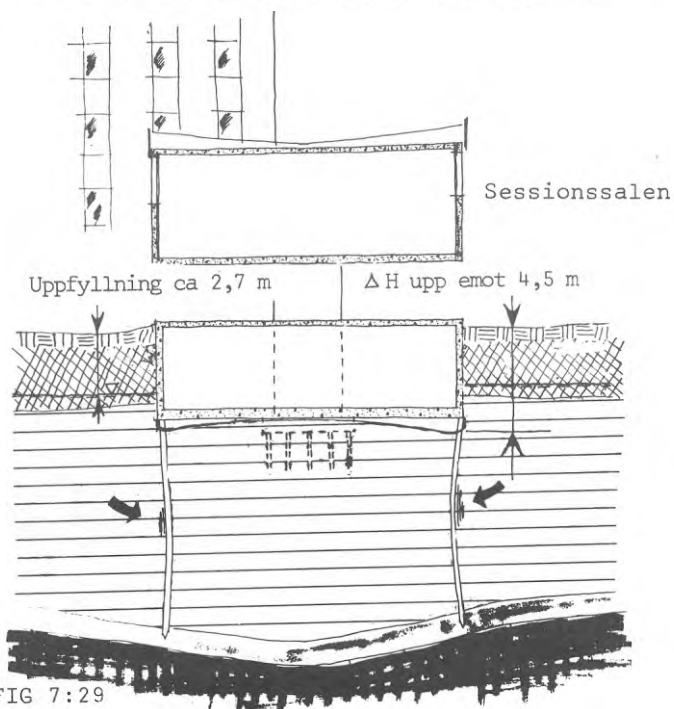


FIG 7:29

#### 7.2.12 Solna centrum

Utbyggnaden av Solna centrum började år 1968.

I kv Banken nr 2, runt sessionssalen till stads-  
huset, låg den naturliga markytan på +7,3, på  
vilken sedan uppfyllnader har skett till nivån  
+20. Grunden består av lös lera med en skjuv-  
hållfasthet på mellan 0,4 - 0,8 Mp/m<sup>2</sup>. Källar-  
våningen är där pålad med 30 x 30 pålar.

Längs den nordöstra anslutningen till Solnavä-  
gen har stora uppfyllnader skett på den parke-  
ringsplats som ligger där. Uppfyllnaderna har  
skett i flera etapper, varav den senaste som-  
maren 1972.

I kv Diamanten 1 och 2 vid Centralvägen ser det  
enligt ritningarna ut att vara uppfyllnader på  
ungefär 1,5 m. Reparationer med ytterligare  
uppfyllnader har skett i flera etapper. Den  
senaste uppfyllnaden gjordes sommaren 1972.

#### 7.2.13 Ankdammsvägen, Solna

Området ligger i samma lerfyllda dalgång som  
Solna centrum. Sättningshastigheten är stor  
och reparationerna täta.

#### 7.2.14 Kv Smeden och Fräsaren, Solna

Kring Naturvårdsverkets hus i kv Smeden finns  
enligt uppgift 2 - 3 m fyllning på 3 - 8 m lös  
lera. Sättningarna var vid årsskiftet 1972-73  
mer än 1,5 m stora. Uppfyllnader av motsvaran-  
de storlek har skett kring huset. Om sättning-  
arna under huset också är betydande finns risk  
för sidoböjning av pålarna. Källargolvet lig-  
ger 3 m under mark. Då sättningarna skett på  
kort tid - stombesiktningen skedde år 1967 -  
finns risk för ytterligare skador.

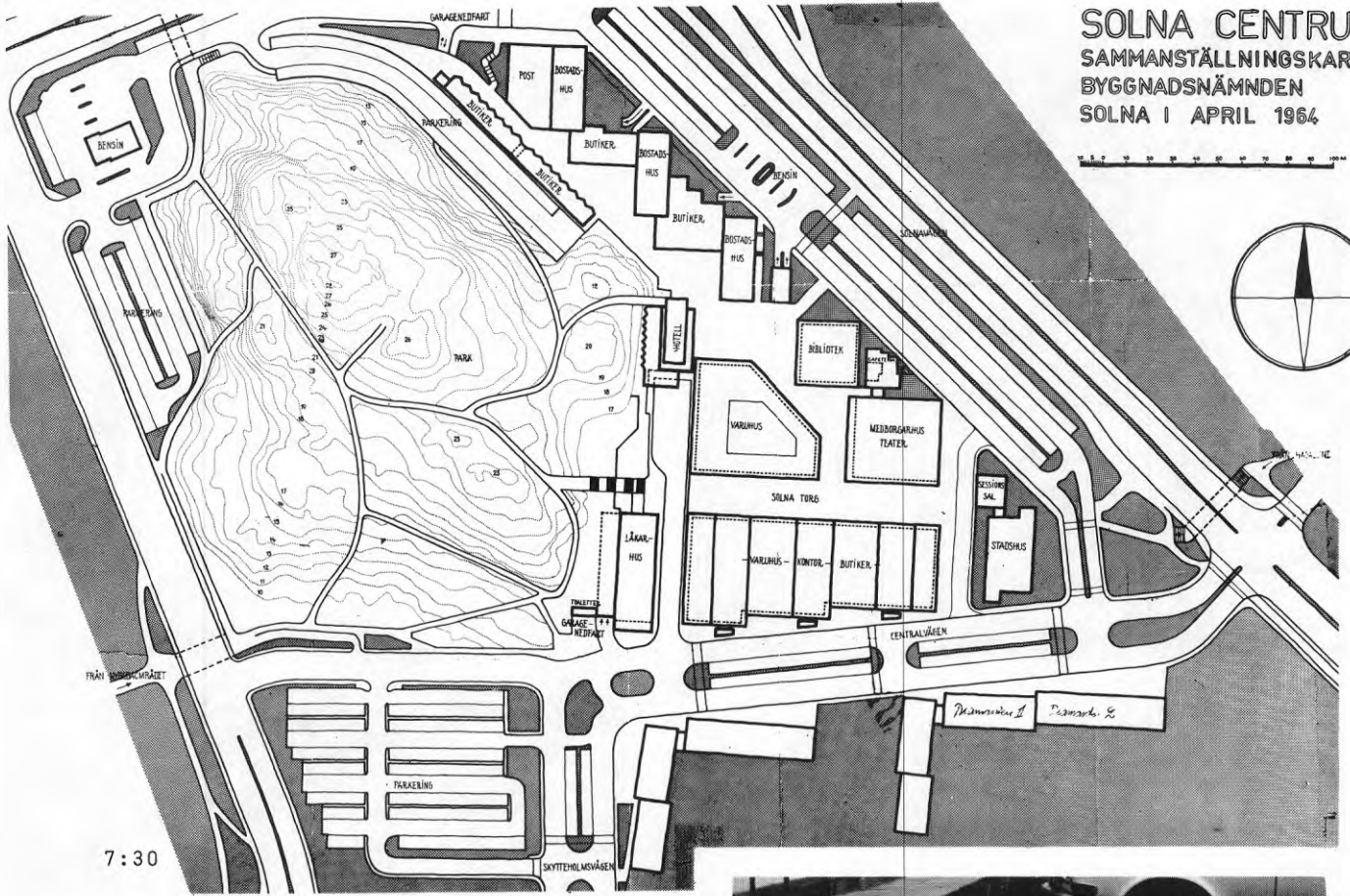
I kv Fräsaren är källare 3,7 m under gatunivån  
pålad. Även här finns viss risk för skador på  
pålgrundläggningen.

#### 7.2.15 Virebergsområdet

Marken består av lera ovanpå morän. Ett torv-  
område finns precis där sättningssskadorna är  
som värst. Hela området mellan Solna centrum

SOLNA CENTRUM  
SAMMANSTÄLLNINGSKARTA  
BYGGNADSNÄMNDEN  
SOLNA I APRIL 1964

0 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 M



7:30

FIG 7:31, 7:32, 7:33, 7:34  
Parkering fotograferad hösten 71,  
hösten 72 och sensommaren 73  
(7:34 detalj av 7:33)





FIG 7:35 Kv Fräsaren hösten 71

och Virebergssområdet med Svetsarvägen etc är ett gammalt kärr.

#### 7.2.16 Kv Leoparden, Solna

När tunnelbanan drogs förbi detta kvarter tömdes en ca 10 m djup "lerskål" på grundvatten

FIG 7:38 Kv Leoparden, hösten 72



FIG 7:36, 7:37 Kv Hexametern, Solna

och sättningar började uppträda i mycket snabb takt. Redan efter mindre än ett år var de omkring 25 cm. Då ytterligare ungefär två år har gått, torde sättningen ligga upp emot 40 cm. Försök pågår med konstgjord infiltration för att om möjligt återställa grundvattenytan. Grundvattenmagasinet var i detta område speciellt litet och det tömdes helt utan att något nämnvärt ökat läckage i tunneln kunde förmärkas.

#### 7.2.17 Pyramidvägen i Solna och kvarteren däromkring

Området ligger i en f d havsvik, som haft förbindelse med Brunnsviken. Organiskt material finns i ytan. Högst betydande marksättningar finns här kring ett stort antal hus.

Sättningen bedöms ligga kring 1 meter vid slutet av år 1972. Det är inte uteslutet att på grundläggningar kan ha skadats.



FIG 7:39, 7:40 Solna, Pyramidvägen

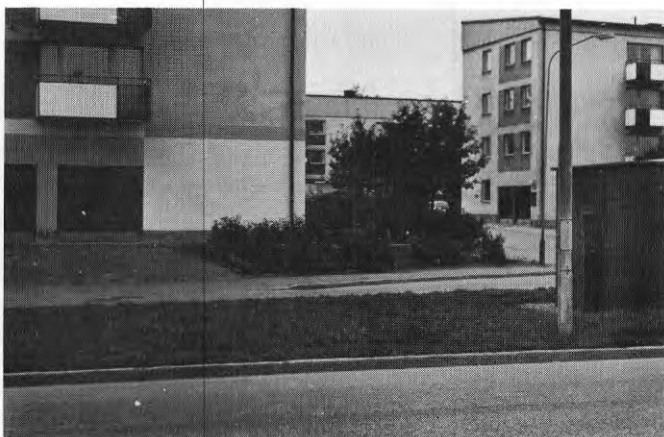
FIG 7:42, 7:43, 7:44  
Bromstenvägen (hösten 72)



FIG 7:41 Sundbyberg, kv Sjöboden (Tritonvägen)

#### 7.2.18 Bromstenvägen

Längs Bällstaån, som för inte alltför lång tid sedan varit en fortsättning av Bällstaviken, finns lös lera och organiskt ytmaterial. Bromstenvägen går till största delen längs Bällstaån och i snart sagt varje kvarter finns samma typ av skador som på alla de övriga ställena. Graden varierar men arten är densamma.





### 7.2.19 Tensta

Vissa delar av bebyggelsen i södra Tensta ligger på områden med lös lera, som ursprungligen varit en del av de mångförgrenade vikarna från Ulvsundasjön, Bällstaviken samt Brunnsviken. På sina ställen har sättningar börjat att utbildas, men det är svårt att ännu yttra sig om skadornas omfattning.

## 7.3 Nälsta - Sämjevägen - Dalkärrensleden

### 7.3.1 Allmänt

Med anledning av de skador på mark och byggnader som uppstått i kv Giljaren, Brudtärnan och Brudnäbben fick Sven Tyrén AB under 1968 uppdraget att utreda vilka åtgärder som borde vidtas för att återställa området i fullt brukbart skick.



Ett antal utredningar har presenterats med datum från september 1970 ända fram till mitten av 1972. Byggnadsbeskrivning dagtecknad 1972-07-01 föreligger.

STEGA har följt händelseförloppet, utfört trendanalyser på serier av grundvattennivådata samt granskat och deltagit i vattenbalansberäkningar för avrinningsområdet.

### 7.3.2 Topografi, geologi och geohydrologi

Det relativt lilla avrinningsområdet är ungefär 500x400 m (20 ha) och det begränsas i öster och väster av hållområden. Hälften av den sydliga begränsningen är också berg i dagen.

De centrala delarna av området var ursprungligen mycket sankt och kan närmast betecknas som ett kärr. Enligt uppgift uppstod varje vår en fri vattenyta. Vid tiden för bebyggelsen, år 1960-61 var kärret huvudsakligen lövskogsbevuxet. Det organiska ytlagret hade mäktigheter på upp till 2 m i mitten av kärret.

Marken består i övrigt huvudsakligen av lera, som vilar på morän av varierande mäktighet. De största lerdjupen är ca 20 m. Markytan ligger som lägst vid ca +20 och bergknallarna runt omkring når upp till ca +35.

FIG 7:45,  
7:46, 7:47  
Tensta





FIG 7:48

Mot norr leder en relativt trång lerdal och det kan förmodas, att en viss avbördning av grundvatten sker norrut genom denna.

De djupaste lerlagren, som också haft den största mäktigheten av organiskt material, förekommer vid Dalkärrens anslutning till Vinstavägen. Mot öster avtar mäktigheterna men är dock betydande i hela området.

### 7.3.3 Skadebilden

Det sättningsdrabbade området är bebyggt med 18 radhus och 6 kedjehus, varav 5 av radhusen och 2 av kedjehusen berörs i mindre grad eller inte alls av sättningarna. Husen uppfördes 1960-61 på tomträttsmark och det stipulerades i kontrakten att kedjehusens garage inte skulle iordningställas förrän marken hunnit sätta sig, vilket angavs ta en tid av 2 à 3 år i anspråk.

I mitten av år 1972 uppgick sättningarna som mest till 80 cm. Häri ingår till en liten del restsättningar i det organiska ytlagret, som i huvudsak torde ha komprimerats under byggnadstiden. Sättningarna fortsätter och kommer att uppgå till 2 m eller mer enligt beräkningar av Sven Tyrén AB om inga korrigerande åtgärder vidtas och ytterligare 2 m grundvattensänkning sker.

Konsekvenserna för de boende har varit att deras trädgårdar förstörts och att undersidan av deras hus exponerats för väder och vind. Det har därigenom blivit mycket kallt i husen - räknemässigt bör det vid stark kyla kunna bli golvtemperaturer under 0. Garagegolven, som gjutits direkt mot marken har fått armeringen exponerad, när marken sjunkit undan. Armeringen håller på att rosta sönder. Stora förskjutningar av vissa grundbalkar har skett och på ett ställe har provisorisk uppallning fått ske för att förhindra ras. Orsaken härtill bedöms vara den kontinuerliga påfyllning av gatan som skett och att trycket från dessa massor orsakat sidoförskjutningar i marken in under husen, varvid pålarna följt med eller eventuellt skadats.

Ledningsbrott har uppstått på grund av de relaterade sättningarna och förskjutningarna. Vid ett antal tillfällen har avloppen gått av och utrymmet under huset fått tjäna som reservoar för husets avlopp.

### 7.3.4 Grundvattenobservationer - trendanalys

År 1960-61 då området bebyggdes låg grundvattennivån i eller strax under markytan. Sedan januari månad 1970 görs kontinuerliga observationer av grundvattnet i fyra rör inom det aktuella avrinningsområdet. Dessa visar att nivån nu ligger 2 m under markytan. Korttidsobservationer gjorda 1965 och 1967 på skoltomten norr om Vinstavägen, vilken tomt ligger inom samma lerområde, visade ungefär samma nivå som den nuvarande.

Med ledning härav kan det antas att grundvattensänkningen skedde snabbt och att den inträffade strax efter det att området bebyggts. Orsaken till sänkningen är sannolikt

- minskad nederbördsinfiltration på grund av ökad exploatering inom området,
- dränering genom dag- och spillvattenledningar samt genom tunnlar,
- grundvattenutströmning genom det i norr liggande passet.

I början av 50-talet var området i stort sett obebyggt mark. Dag- och spillvattenledningar samt tunnlar var inte utbyggda. Fastigheterna

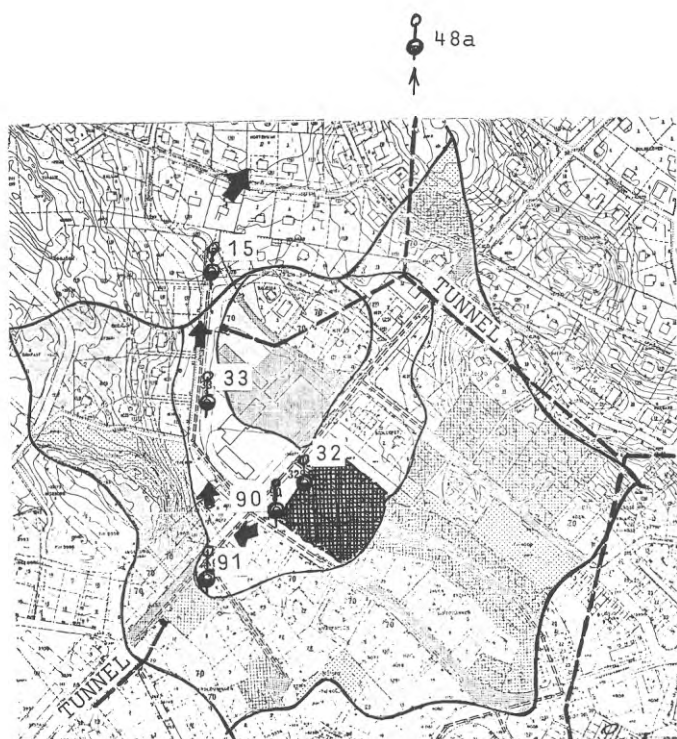


FIG 7:49

Nederbördsområdet med leran och skadeområdet i mitten. Grundvattenobservationsrör och flöden enligt uppmätta gradienter.

inom infiltrationsområdet hade egna färskvattenbrunnar och avloppsutsläpp i marken. Uppskattningsvis var infiltrationskoefficienten ca 0,15 inom infiltrationsmarken, som utgör 145.000 m<sup>2</sup> av avrinningsområdets totala yta på ca 190.000 m<sup>2</sup>.

Området har sedan mitten av 50-talet successivt exploaterats. Dag- och spillvattenledningar samt tunnlar har byggts ut samtidigt som bebyggelsen förtätats. Detta har medfört att stora delar av nederbörden som tidigare infiltrerats numera leds bort. Infiltrationen har beräknats minska från 0,15 till 0,09 i samband med exploateringen. Den fortsatta utbyggnaden inom infiltrationsområdet kommer att medföra ytterligare minskning till ungefär hälften av det nuvarande, dvs gränsvärdet för infiltrationskoefficienten kommer att ligga mellan 0,03 och 0,04.

De dag- och spillvattenledningar som genomkorsar området har säkerligen medverkat till den inträffade grundvattensänkning. Idag är grundvattenytan ungefär i nivå med lägsta ledningsdjup och ledningarnas framtida direkta inverkan på grundvattennivån är troligtvis ringa. Där ledningarna går genom infiltrationsmark kan det dock bedömas, att en del av

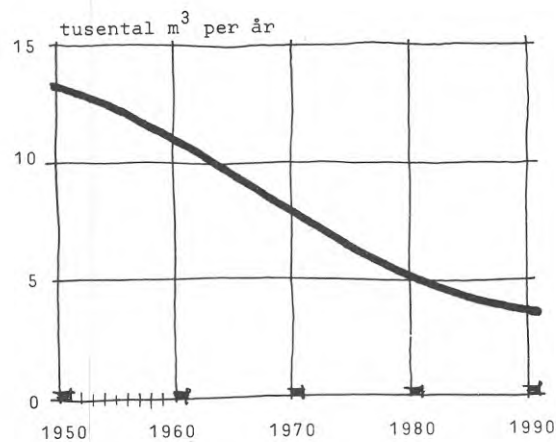


FIG 7:50

Minskning av infiltration med tiden.

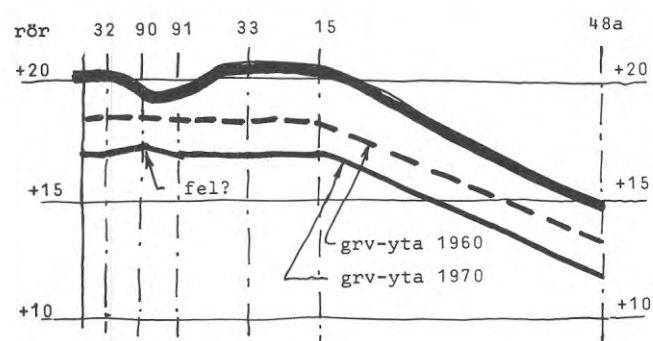


FIG 7:51

Skissade grundvattennivåer 1960 och 1970

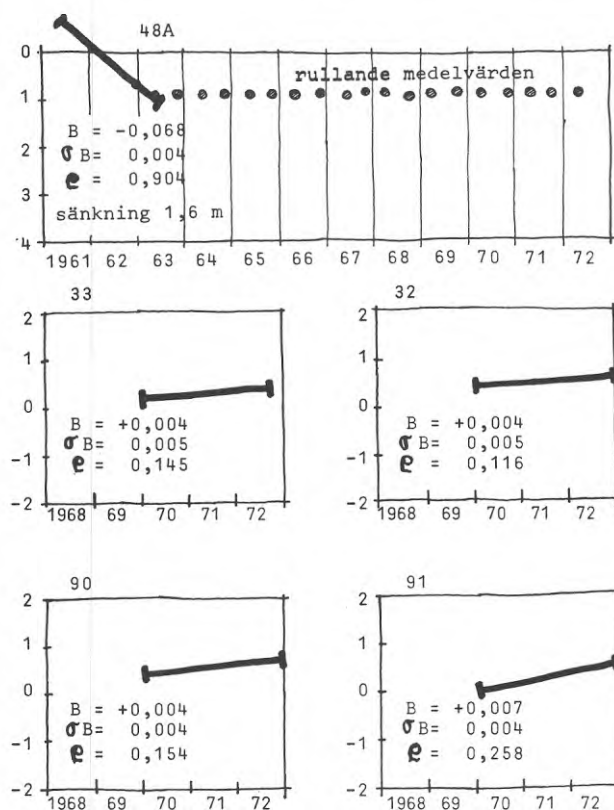


FIG 7:52

Beräknade trender för rören i och i närheten av Nälsta - Sämjevågen



det infiltrerade vattnet fångas upp och leds bort i ledningsgravarnas fyllning.

Spillvattentunneln i områdets norra del har med all sannolikhet medverkat till den inträffade sänkningen. Då tunneln ligger på ca +6,5 och grundvattenytan inom lerområdet för närvarande på ca +17 kan tunnelns inverkan på lång sikt också bedömas vara betydande.

En i sydväst liggande dagvattentunnel beräknas däremot inte inverka på områdets grundvattenbalans. Grundvattenytan inom området ligger högre än angränsande lerområdets grundvattenytor. Observationerna har visat att en grundvattenströmning mot det i norr liggande passet pågår. Hur stor utströmningen är kan inte entydigt bedömas, men att utflödet inverkar på balansen är obestridligt.

Hur stor grundvattensänkning som är möjlig kan inte entydigt beräknas. Vid en antagen sänkning av 2 m avstannar emellertid grundvattenutflödet norrut praktiskt taget helt på grund av bergtröskelns höjd. Det är därför motiverat att räkna med denna avsänkning som en dimensionerande storhet för de byggnadstekniska åtgärder som måste vidtas.

Lägsta punkten i ledningsnätet är enligt ritningar +16,9. Lägsta punkten i schaktgraven kan därför antas ha varit ca +16,5 vid utförandet. Sedan dess har sättningar på 1/2-1 meter uppkommit i det centrala området.

Tröskelhöjden i passet mot norr är ungefär +11,5 meter och tröskeln utgör alltså i sig inte något hinder för ett utflöde som ytterligare skulle kunna sänka grundvattenytan. Därför kan det antas föreligga risk för ytterligare sänkning från nuvarande årsmedelnivå, som ligger på ca 17 meter, till en nivå motsvarande ledningarnas nuvarande underkant.

### 7.3.5 Sättningarnas storlek

Kolborrprover har tagits och undersökts i laboratorium. Leran är varvig och mestadels mycket lös. Skjuvhållfastheten är som lägst 5 N/m<sup>2</sup> och tilltar med ökande djup. Kompressibiliteten är hög, särskilt för de djupare lerlagren

( $\epsilon_2 = 10$  à 14 %). Konsolideringen sker dessutom snabbt, varför skaderisken är särskilt stor.

Med utgångspunkt från dessa värden har sättningsförloppet beräknats för olika lermäktigheter. Med den grundvattensänkning som hittills skett samt med de uppfyllnader som gjordes vid byggandet samt icke minst de som därefter successivt gjorts har marken belastats med 3 à 4 ton per m<sup>2</sup> mer än vad leran konsoliderats för.

Som projekteringsförutsättning för åtgärder har förutsatts ytterligare 2 m grundvattensänkning enligt föregående kapitel. De totala sättningarna skulle år 2000 kunna bli

vid lerdjup m	40 års sättning m	slutsättning m
10	1,4	(1,8)
15	1,2	(2,4)
20	1,0	(2,7)

Det faktum att sättningarna på 40 år är störst vid måttliga lerdjup förklaras av att tidsförloppet är mycket utdraget vid stora djup.

### 7.3.6 Praktiska konsekvenser

De vanligaste åtgärderna i sättningsdrabbade områden är att återfylla marken till ursprunglig nivå. Där sättningarna är mycket stora har en viss kvarvarande sättning accepterats. Påfyllnaderna har medfört ökning av belastningarna på marken och därmed också ökade sättningar.

Det har i vissa fall visat sig att sättningarna i kombination med återfyllnader har skadat husens grundläggning. Pålarna har utsatts för så stora sidokrafter att de knäckts eller på annat sätt skadats. Byggnaderna har därmed skadats eller kommit i riskzonen för ras.

De två åtgärder som kan komma ifråga vid en reparation är följande.

- Reducering av markbelastningen genom avschaktning av tunga massor och ev ersättning av dessa massor med lättare material, t ex lättklinker
- Markförstärkning genom pålning och träbrygga eller hel betongplatta vilande på pålarna.

Ingen av åtgärderna är idealisk. Vid återfyllning med lättklinker reduceras visserligen sättningarna men oftast kan man inte gå så radikalt fram att alla sättningar elimineras och att framtida reparationer undviks.

Som reparationsåtgärd ligger dock alternativet med träbrygga från teknisk synpunkt nära ideal.

En fullständig markförstärkning genom pålning och gjutning av hel betongplatta är en tekniskt utmärkt lösning, men den är mycket kostnadskrävande. Praktiskt uppstår också stora svårigheter vid pålning i ett redan utbyggt bostadsområde på grund av markskakningarna. Även övergångszonerna vållar besvär.

#### 7.4 Småhusområde i Nälsta, kv Faddrarna m fl

##### 7.4.1 Allmänt

I ett 0,65 km<sup>2</sup> stort avrinningsområde - delvis en gammal sjöbotten - i stadsdelen Nälsta har byggts några småhusgrupper, bl a kv Faddrarna, Brudstolen, Lysningsdagen, Dopkalaset, Dopvattnet, Gudfadern, Dopmössan och Morsarvet. De nämnda kvarteren byggdes åren 1967-68.

##### 7.4.2 Topografi, geologi och geohydrologi

Avrinningsområdet begränsas av berg och moränryggar, som har en högsta höjd av ca +45 m. Själva området är plant och ligger på +17 à 18 m höjd.

Grundvattnets strömningsriktning är osäker, men en viss avbördning mot sydost verkar ha förekommit. Av allt att döma har strömmen nu vänt.

En inventering av genomförda grundundersökningar visar att marken i de centrala delarna huvudsakligen består av lera ovanpå ett lager av friktionsmaterial, som på sina ställen har betydande tjocklek. Lerans mäktighet varierar betydligt och de största lerdjupen som uppmätts är ca 18 m. Leran är mestadels mycket lös med en skjuvhållfasthet som ligger mellan 0,5 och 7 N/m<sup>2</sup> i de övre lagren. Hållfastheten stiger sedan med ökande djup. Kompressibilitete-



FIG 7:53  
Plan av Nälsta, Faddrarna m fl



FIG 7:54

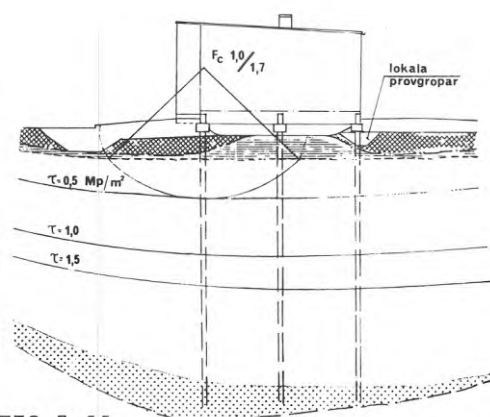


FIG 7:55  
Kv Faddrarna uppfyllnader och säkerhet för glidytebrott före och efter avschaktning

ten är hög, dvs stora sättningar kan befaras ( $\epsilon_2=8 - 15\%$ ).

I den norra delen av området är karaktären av kärrmark särskilt uttalad. Ytlagret av dytorv eller torv är mellan 2 och 3 m tjockt i kv Faddrarna. Även i kvarteren Brudstolen, Lysningsdagen och i Morsarvets norra del finns både stora lerdjup och ovanpå detta ett organiskt ytlager. Torvens tjocklek är dock inte mer än 0,2 till 1 m i denna del.

Inom de bebyggda områdena är torven kraftigt komprimerad av påfyllda massor.

#### 7.4.3 Några detaljer i sättningsförloppet

##### 7.4.3.1 Kv Faddrarna

Vid byggandet av kv Faddrarna påfördes uppfyllnadsmassor av i medeltal minst 1,5 m. Merparten av sättningarna i det organiska lagret uttogs då omgående. Innan reparationen våren 1972 var uppfyllnaderna i genomsnitt 2,0 m tjocka som kompensation för sättningarna.

Husen inflyttades i december 1968 och de sättningar som uppstått sedan dess är i kvarterets norra del 30 till 40 cm och den södra delen mellan 10 och 15 cm. Stora sättningar har alltså uppkommit under loppet av 3 år.

Under den värst utsatta norra delen har de stora uppfyllnaderna medfört markbrott och upptryckning av massor under huset. Längs hela nordöstra fasaden har grundbalken vridits med underdelen inåt så att en upp till 5 mm bred spricka uppstått mellan balk och tegelfasad. Att sprickan går längs hela byggnaden tyder på sidoförskjutningar i marken även där uttalat markbrott inte finns.

Säkerheten mot markbrott var lägst i kvarteret Faddrarna. I ett flertal snitt låg säkerheten mot glidytebrott nära 1. Alla glidytor ovanför den i skissen är lika farliga.  $F_c = 1,0/1,7$  anger säkerheten före och efter den föreslagna avschaktningen. Det förtjänar att understrykas att de sjunkande grundvattenytorna inte minskat stabiliteten.

På sina ställen har marken närmast grundbalkarna sjunkit undan på ett till synes oförklarligt sätt. Detta beror flerstädes på att motfyllnaden mot grundbalkarna under husen är bristfällig, så att jord runnit in under husen. Detta får inte förväxlas med sättningsskador eller stabilitetsproblem. - Detta gäller de flesta kvarteren.

##### 7.4.3.2 Kv Brudstolen, Lysningsdagen och Morsarvet

Byggnadstiden för dessa tre kvarter var 1967-68 med inflyttning i början av år 1968. I Brudstolens och Lysningsdagens södra delar samt i kv Morsarvets norra del har sättningar på mellan 10-20 cm uppstått sedan dess. Sättningarna i övrigt är hittills små.

##### 7.4.3.3 Övrigt om sättningarna

De pågående sättningarna orsakas främst av de uppfyllnader som utförts i vissa kvarter. Vid stort lerdjup kommer dessa sättningar att fortsätta under lång tid. Vid mindre lerdjup kan sättningarna beräknas vara avslutade inom tämligen begränsad tid. Sättningshastigheten är alltså inom vissa gränser rätt likartad för olika lerdjup. Sättningsförloppet kan grafiskt åskådliggöras i ett diagram med tiden på den horisontella axeln, lasten uppåt på den vertikala axeln och sättningsrörelserna nedåt på den vertikala axeln.

För kv Faddrarna kan sättningen beräknas med någorlunda god säkerhet. Figuren antyder osäkerheter i resultatet. På 30 år uppstår alltså en ytterligare sättning av ca 40 cm utöver den nuvarande om ca 1 m avschaktas och ytterligare uppfyllnad inte sker. Utan avschaktning blir det 70 cm i stället för 40.

För de övriga kvarteren är 30-årssättningen svårbedömlig, men slutsättningen som beräknats är någorlunda riktig med de angivna lastförutsättningarna.

Tidsförloppet för kv Faddrarna motsvaras närmast av ett  $c_v$ -tal på  $5 \cdot 10^{-13} \text{ m}^4/\text{s}$ . För övriga kvarter är  $c_v$ -talet i allmänhet högre.

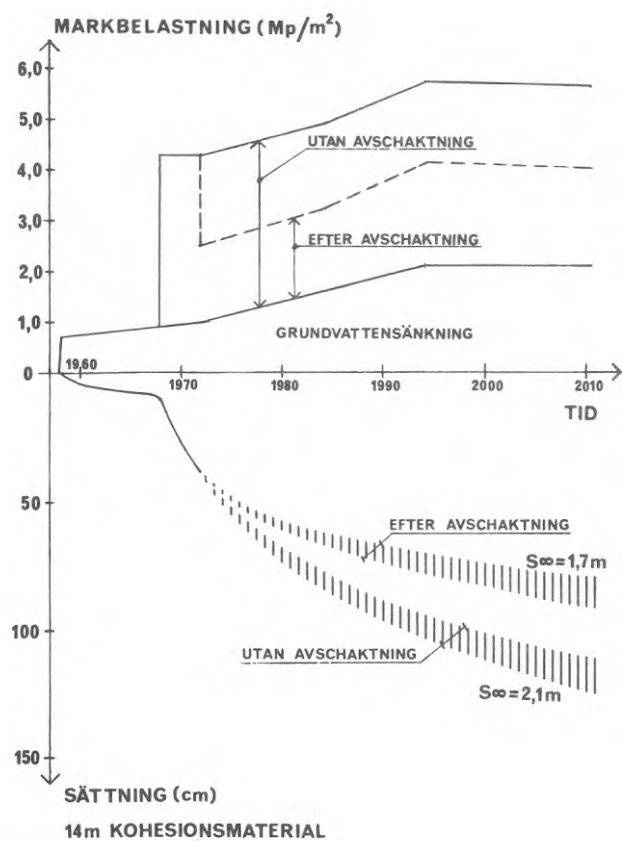


FIG 7:56  
Sättningar beräknade för kv Faddrarna

Därför har uppskattningen av sättningarnas tidsförlopp för dem baserat sig på  $c_v = 10^{-13}$   $m^4/s$ . Nu finns på sina ställen moskikt i leran. Om de är dränerande, vilket är möjligt, blir sättningarna väsentligt snabbare än vad som här redovisats.

#### 7.4.4 Grundvatten

Området var ända till omkring 1950 delvis kärrmark och grundvattnets trycknivå låg i markytan eller strax ovanför. År 1955-56 drogs en spillvattentunnel fram till områdets västra del och 1958-59 drogs en dagvattentunnel till ungefär samma punkt. Spillvattentunneln har i påslaget nivå +6,5 och dagvattentunneln +14,2. Grundvattnet i observationsrör nr 44, som ligger strax norr om påslaget sjönk år 1958-59 ca 1 m från ca 17,5 à 18 m nivå till omkring 16,5 à 17 m. Därefter har under 1960-talet grundvattenytan totalt sjunkit ca 1 m enligt den trendanalys som genomförts. Årsmedelnivån, dvs tids-

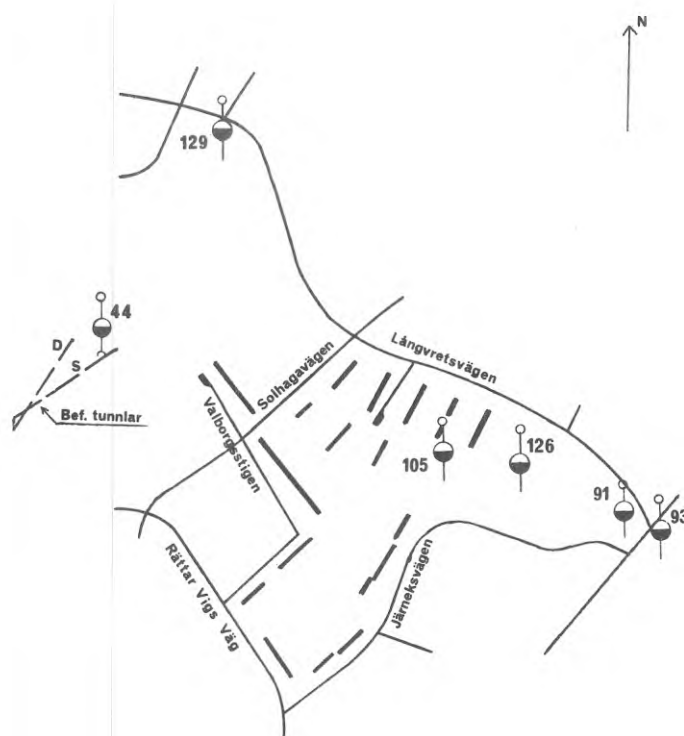


FIG 7:57  
Grundvattenobservationer

medelvärde, torde idag ligga strax under +16,0 vid rör 44. Huruvida nu tidsmedelvärdet är ett representativt mått på grundvattennivån är emellertid inte fullt klart.

Det kan på goda grunder antas att grundvattenståndet vid rör 44 i särskilt hög grad påverkats av tunnlar. Grundvattensänkningen blir nämligen störst närmast dräneringsstället och avtar sedan med avståndet härifrån. Av markprover att döma har grundvattensänkningen för vilken leran konsoliderats varit betydligt mindre i kv Faddrarna, där de största markproblemen finns. Den ursprungliga markytan ligger i provtagningspunkt GRK 17 på ca +17,0 och medelgrundvattenytan vid ca +16,3. Den totala grundvattensänkningen har alltså där varit 0,7 m räknat från markytan. Naturligtvis kan grundvattenytan ha stått betydligt över markytan, varvid grundvattensänkningen i motsvarande grad skulle ha varit större, men detta saknar intresse för lerans konsolidering.

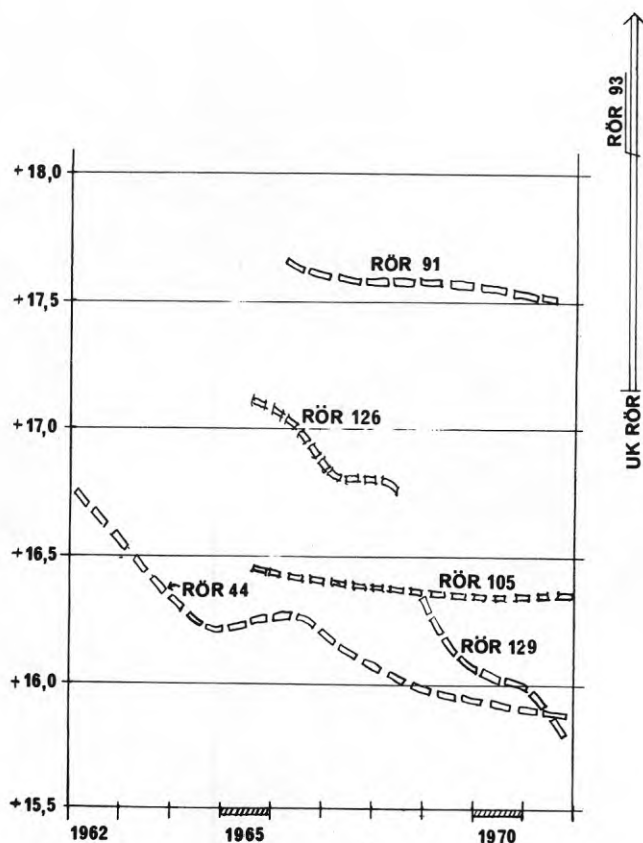


FIG 7:58  
Grundvattenståndets beräknade trender

Andra rör i området har också granskats och resultaten av observationer och trendanalyser är som följer.

Rör nr	Sänkningstendens	År
44	Ca 8 cm/år	1962-72
91	Ingen nämnvärd trend	1966-72
93	Ingen beräkningsbar trend	1966-72
105	Ingen nämnvärd trend	1964-72
129	15-20 cm/år	1970-72
126	Ca 10 cm/år	1965-68

Rören 129 och 44 tenderar att ha sina "medelnivåer" under +16,0 m för år 1972, vilket leder till slutsatsen att den närmaste tioårsperioden bör medföra en sänkning till ca 15,0 m. Ledningsgravarna kan i viss mån verka avsänkande på grundvattenytan genom dränering som sker i de avsnitt där ledningarna går i friktionsmaterial. Med de aktuella höjdlägen som gäller för grundvatten och ledningar syns ledningarna kunna medverka till ca 1,5 m grundvattensänkning räknat från tiden för husens färdigställande.

Ledningsnätet går ner till nivån +13,7 vid kv Faddrarnas norra ände. I de centrala delarna kring och strax söder om panncentralen är nivån +14,8 till +15,5.

Ytterligare orsaker till grundvattensänkningen är minskad infiltration och grundvattenbildning med ökad bebyggelse inom avrinningsområdet. Tunnelpåslagen syns ha påverkat åtminstone rör nr 44. Ytterligare tunnlar finns för närvarande inte planerade.

Det finns ännu en tendens som kan vara av intresse i grundvattenobservationerna. Med en sjunkande grundvattenyta har årstidsvariationen blivit större, vilket avspeglar ett minskande grundvattenmagasin. Förutom det att medelnivån blir lägre, kommer alltså lägsta årsnivå att än mer utpräglad tendera att bli lägre. Eftersom den lägsta grundvattennivån har längst varaktighet spelar denna nivå en större roll än medelnivån för lerans konsolidering även på kort sikt. På mycket lång sikt konsoliderar leran för årets lägsta grundvattennivå.

Den konstaterade trenden till grundvattensänkning innebär alltså att en inte försumbar ökning av markbelastningen måste påräknas.

#### 7.4.5 Reparationen av husen i kv Faddrarna

Reparationsåtgärderna var i stort sett följande.

De tunga massorna mot gatan schaktades bort till ett djup av knappt en meter ca 5 m ut från huset. Därefter fördjupades schakten och släntades enligt skissen. Den djupare delen fylldes med lättklinker. Ett pålat betongdäck göts och en länkplatta lades på däckets och på lättklinkerfyllningen. Därefter återställdes ytskikten.

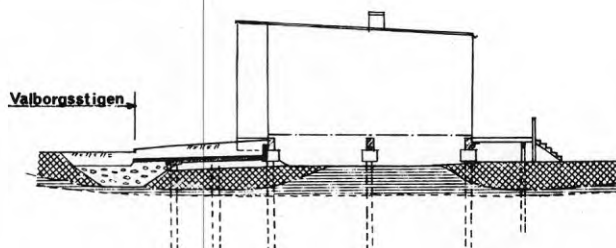


FIG 7:59  
Principsektion av reparationer

På trädgårdssidan planades schakten ut så flackt som möjligt. Arbetet måste bedrivas på båda sidor om husen samtidigt för att glidning i sidled inte skulle riskeras.

Efter avschaktningen fick vissa lokala provgropar göras, pålar och balkar besiktigas med avseende på eventuella skador och vissa reparationsåtgärder vidtogs.

På trädgårdssidan byggdes en 3 m bred träbalkong på tryckimpregnerade träpålar. Marken utanför avschaktades 0-1 m och ett tunt matjordslager (max 20 cm) påfördes.

Vid nordvästra gaveln avschaktades på liknande sätt som mot gatan samt påldäck och länkplatta byggdes. Återfyllning gjordes med lättklinker.

## 8 BOTKYRKA

## 8.1 Allmänt

I avsikt att kartlägga samspelet mellan grundvatten och byggande mer i detalj har två modellområden valts. Botkyrkaområdet i Stockholmstrakten och Angeredområdet i Göteborgstrakten representerar var sin storstadsregion i landet. Inom dessa har grundvattenförhållandena kunnat studeras såväl före som under en intensiv utbyggnad. I detta kapitel redovisas erfarenheterna från Botkyrka och i nästa erfarenheterna från Angered.

Den geologiska uppbyggnaden av Botkyrkaområdet har beskrivits av SGU - Möller, H och Stålhös, G -. Beskrivning till geologiska kartbladet Stockholm SV - SGU Serie Ae - N4 Stockholm 1969. Hagconsult AB gjorde 1966 en utredning benämnd Byggnadsgeologisk utredning för Botkyrkastaden. Denna utredning har sedermera kompletterats av VIAK AB och Sven Tyrén AB i deras rapport år 1968 benämnd "Markteknisk utredning för Norra Botkyrka". I denna ingår bl a även STEGA:s grundvattensänkningsprognos, vilken legat till grund för den marktekniska projekteringen och för stadsplanarbetet.

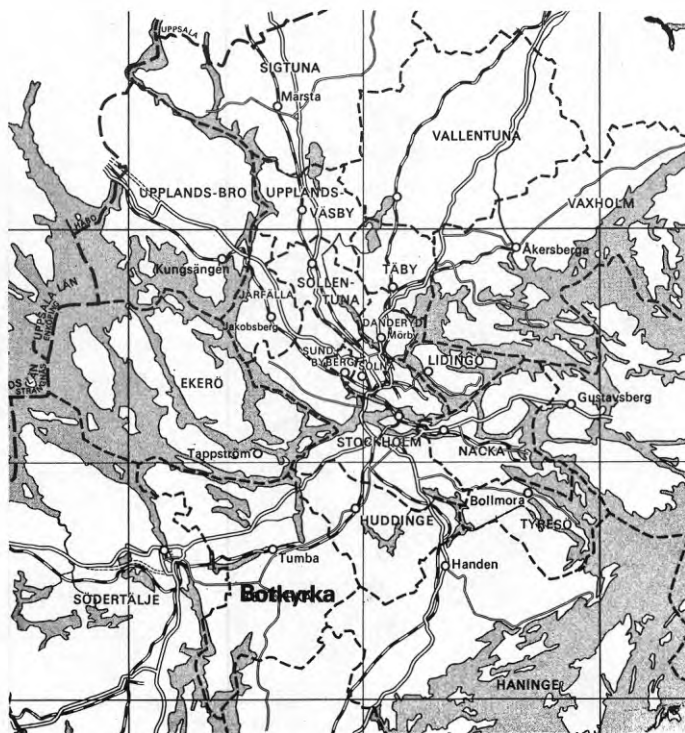


FIG 8:1

Översiktsskarta över Stockholmsområdet

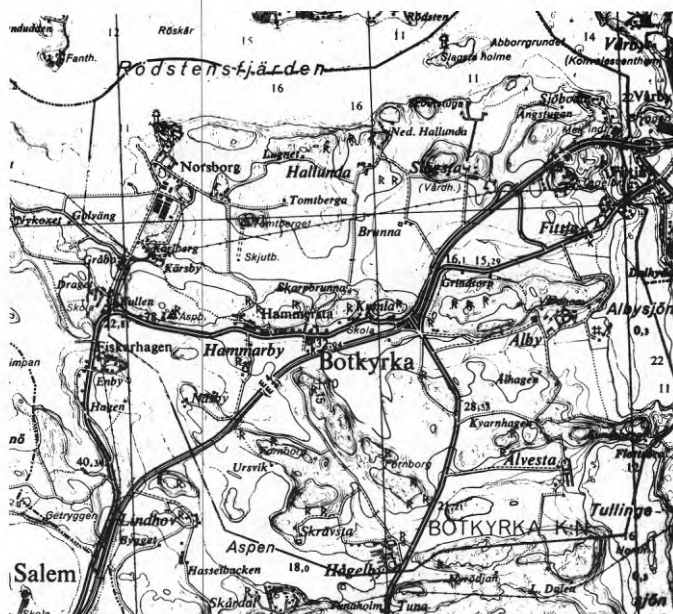


FIG 8:2

## 8.2 Topografi

Exploateringsområdet i norra Botkyrka begränsas norrut av Rödstensfjärden, österut av Albysjön, söderut av bergryggar med W-E- och SE-NW-lig sträckning mellan Albysjön och sjön Aspen, samt i väster av landsområdet mellan Aspen och Rödstensfjärden. Rödstensfjärden samt Albysjön ligger med MW på +0,3 m ö h och Aspen på +18,0 m ö h.

Områdets topografi präglas av tre i stort sett sammanhängande bergryggar med W-E- respektive NW-SE-lig sträckning. Mellan dessa ryggar ligger två markanta dalgångar, Norsborgs-Fittjadalen och Albydalen. I nordöstra delen tränger från Mälaren in en mindre dalgång, Hallundadalen, FIG 8:2.

Höjdsträckningarna når 50-60 m höjd och består vanligen av skogklädda berg och moränområden.

Dalgångarna har sedan lång tid tillbaka huvudsakligen varit odlad mark. I den västra delen av Albysänkan finns dock ett skogbevuxet sumpområde, som närmast kan klassificeras som mosse med smala laggkärr. Mossplanet ligger på ca 22 m. De högsta partierna i Albysänkan ligger söder om Botkyrka kyrka på 24 m ö h och i Fittjadalgången sydväst om Brunna på 22 m ö h.

## 8.3 Geologi

### 8.3.1 Berggrund

Berggrunden utgör rester av en prekambrisk bergkedja, kallad Svekofenniderna bildad för ca  $2 \cdot 10^9$  år sedan.

Bertarterna utgörs huvudsakligen av slirgnejser och gnejsgraniter. Slirgnejserna, som är de äldre bergarterna, förekommer väsentligen inom de lägre delarna av området, medan gnejsgraniterna dominerar höjdryggarna. De senare har trängt upp som magmor i skiktgränserna; de kallas även för urgraniter. I samband med senare veckningsprocesser har urgraniterna omvandlats och därvid fått en gnejsstruktur. Gnejsgraniternas stora motståndskraft mot vittring har medfört att de kvarstår i ryggar. De mer vittringsbenägna slirgnejserna har brutits ner i högre grad och återfinns i dalgångarna.

Bergarternas skiffrihet är E-W-lig i de östra delarna men böjer i de västra av mot NW. Stupningen är i allmänhet mycket brant sydlig eller vertikal.

#### 8.3.1.1 Förkastningszoner

Berggrunden genomsätts av två stora förkastningslinjer - utmed Rödstensfjärden samt i linje Albysjön - Tullingesjön. De två E-W-dalgångarna utgör likaledes krosszoner parallellt med Rödstensfjärden.

Det kan framhållas att sprickfrekvensen intill förkastningszonerna är hög.

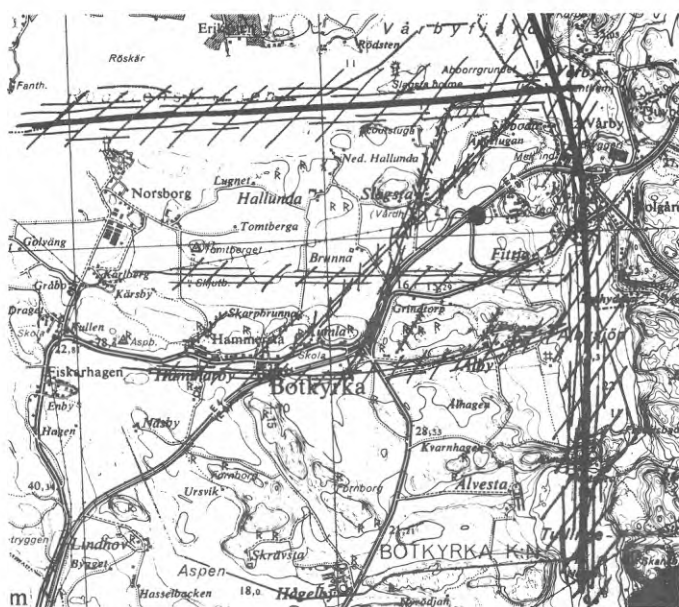


FIG 8:3  
Förkastningslinjer och krosszoner

### 8.3.2 Jordlager

Moränen går i dagen framför allt utmed bergryggarna. Den är företrädesvis sandig - moig. Grövre moränformer (normalblockig - storblockig morän) uppträder i huvudsak på sydsluttningarna. Moränens mäktighet överstiger på höjderna ej ca 2 m. Utmed dalgångarna har dock mäktigheter på över 10 m konstaterats. Med enstaka undantag saknar moränen egna ytformer utan återspeglar underlagets ytformer. Moränens mineralogiska sammansättning, i varje fall det grövre materialet, är likartad den berggrund över vilken isen närmast passerat i riktning mot avlagringsplatserna.

Isälvsavlagringar återfinns i områdets östra delar vid norra och södra delarna av Albysjön. Dessa åspartier utgör en del av den sk Tullingeåsen. Väster om området går delar av Uppsalaåsen mellan Aspen och Bornsjön. Tullingeåsen har endast delvis utfyllt depressioner i underlaget. Sannolikt återfinns dock åsmaterial även i Albysjön. Vid E4 närmast Albysjön och vid gamla bron vid Fittja förekommer endast rester av åsen, eftersom den till stora delar schaktats bort. Under landhöjningens gång har de ytliga delarna av isälvsavlagringarna omlagrats, varvid sandiga - moiga sediment utsvallats. Isälvsaterialets mäktighet över Albysjöns nordligaste del uppgår enligt seismiska grundundersökningar (Stockholms stad) till 50 - 60 m. Åsen fyller här delvis ut den mäktiga

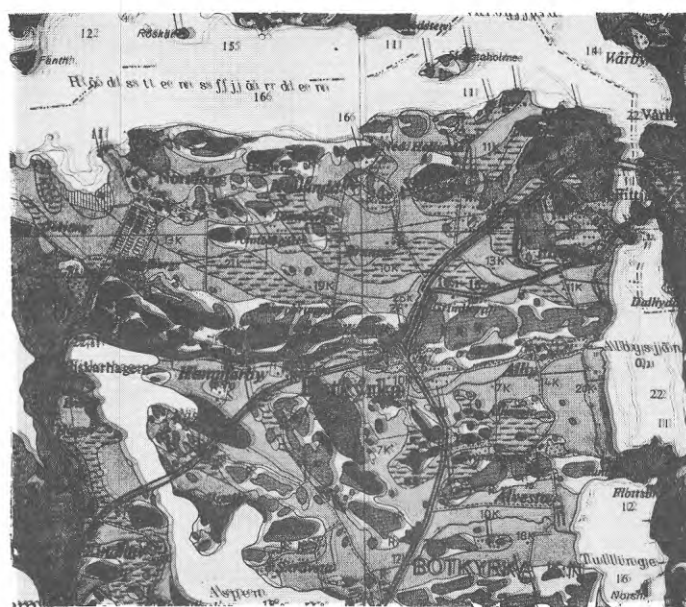


FIG 8:4  
Geologisk karta över Norra Botkyrka (utsnitt ur Geologiska kartbladet, Stockholm, SGU 1968)



sprickdal, som utgör förutsättningen för Alby-sjön och den vilar nästan genomgående direkt på berggrunden. Närmast norr om detta läge i norra delen av sjön övergår Tullingeåsens centrala del till sprickdalens västra sida.

Glaciala, finkorniga sediment - mo, mjäla, ler - finns i dalstråken och visar inom vissa områden betydande mäktighet. Leran underlagras av friktionsmaterial, FIG 8:6,:7. I den glaciala leran uppgår kalkhalten till omkring 10 viktsprocent  $\text{CaCO}_3$ . Med ökat inslag av mo avtar dock kalkhalten.

Postglaciala minerogena sediment utgörs dels av postglacial finlera, som täcker den glaciala leran i dalgångarna, dels av sandiga-moiga sväm-sediment. De senare påträffas framför allt öster om Tullingeåsen vid Fittja.

Torvmark förekommer i huvudsak endast SE om Botkyrka kyrka. Denna är till större delen utbildad som en tallrismosse. Före ingreppen var torvmarken omgiven av kärr med näringsrikt vatten från kringliggande fastmark. Mossen har beskrivits av E.Granlund, 1928, sid 80 - SGU, C 373. En pollen-analyserad lagerföljd redovisas av F.Nilsson, i torvarkivet SGU, 1922. Enligt denna består mossen på 0 - 1,8 m av vitmosstorv, 1,8 - 2,5 m av starrvitmosstorv och starrtorv, 2,5 - 3,2 m av gyttja och lergyttja samt därunder lera.

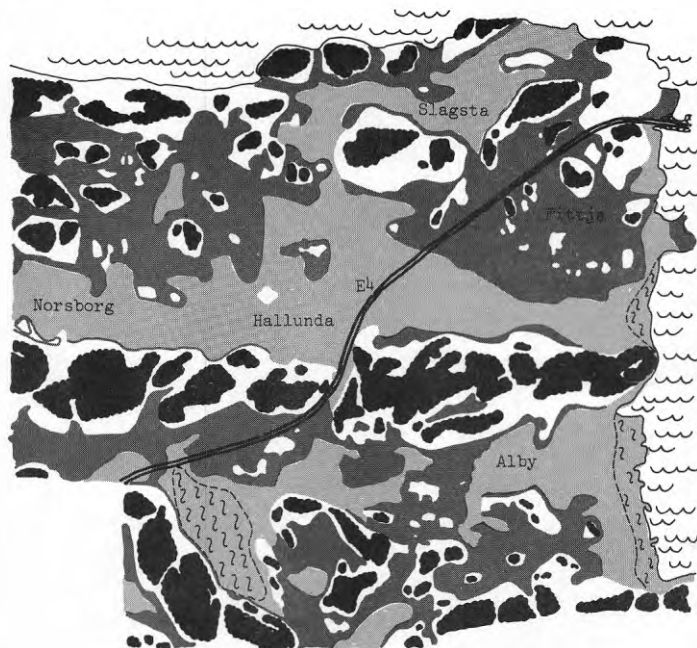


FIG 8:5  
Byggnadsgeologisk karta över Botkyrka.

### 8.3.3 Geologisk områdesindelning

För byggnadsändamål är det lämpligt att klassa marken med hänsyn till jordarternas tekniska egenskaper. Denna klassning har sitt värde även från geohydrologisk synpunkt, eftersom de olika marktyperna skiljer sig väsentligt från varandra, exempelvis vad beträffar infiltrationsförhållanden. Indelningen är som följer:

- B Berg i dagen eller på mindre än ca 1 meters djup under markytan.
- Fr Morän, grus, fast lagrad sand eller fast lagrad grovmo. Max 1 meters lösare jordtäckte kan förekomma.
- FrKo Huvudsakligen friktionsmaterial med inslag av tunna kohesionslager. Torrskorpelera med upp till 2 meters tjocklek räknas också till denna grupp.
- Ko Lerområden med lerdjup inklusive torrskorpa av över 2 meter.

Sammanställningskartor över samtliga grundundersökningar som gjorts inom Botkyrkaområdet utgjorde underlag för den byggnadsgeologiska karteringen.

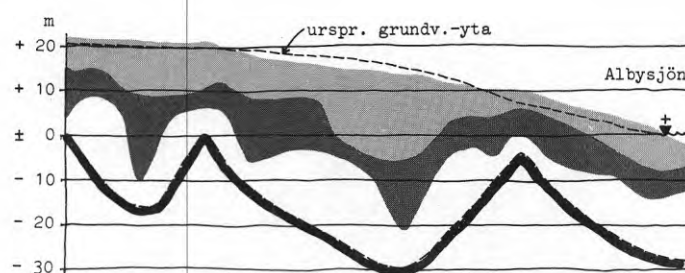


FIG 8:6  
Längdsektion genom Norsborgsdalgången

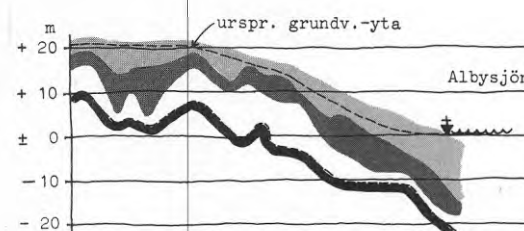
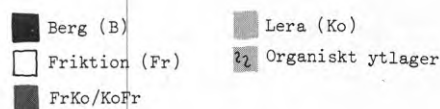


FIG 8:7  
Längdsektion genom Albydalgången



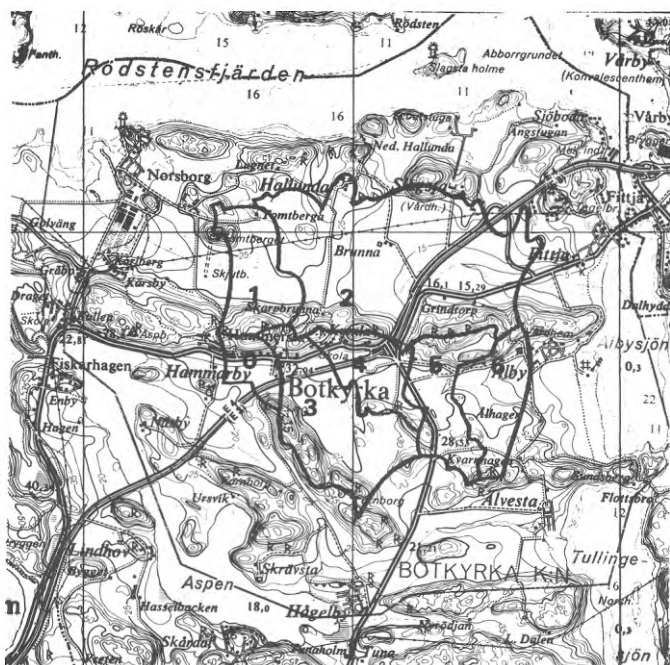


FIG 8:8 Avrinningsområden

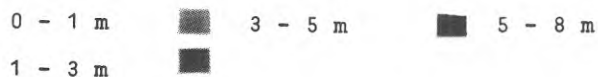
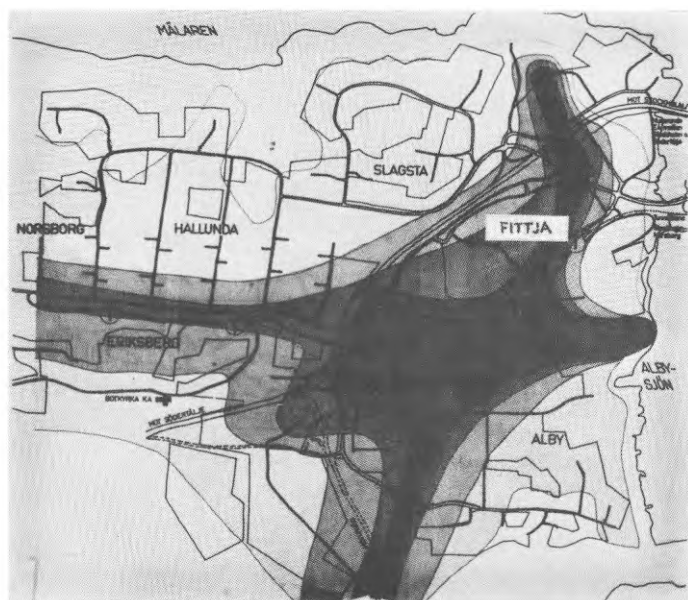


FIG 8:9 Bedömd grundvattensänkning

År 1968 bedömdes att grundvattnet skulle sjunka med upp till 8 m vid den planerade utbyggnaden av Norra Botkyrka. Största sänkningar borde det bli kring en nordsydlig regional spillvattentunnel och längs lokala tunnlar i Albyhöjden och Eriksberg.  
(Efter utredning gjord av VIAK AB och Sven Tyrén AB.)

## 8.4 Hydrologi

### 8.4.1 Allmänt

Området ligger inom den del av landet där man har ett sk lokalmaritimt klimat. Detta betyder att vintrarna är relativt milda och somrarna svala. Lägsta månadsmedeltemperaturen har februari med  $-3^{\circ}\text{C}$  och den högsta, ca  $+17^{\circ}\text{C}$ , har juli och augusti. Under vintern tränger tjälen i normala fall aldrig djupare än en meter under markytan.

### 8.4.2 Nederbörd, ytvatten, avdunstning

Områdets årsmedelnederbörd (baserat på perioden 1931-60) ligger på ca 580 mm, vilket är något lägre än de 600 mm som gäller för landet i sin helhet. Utmärkande för Östsveriges klimat är dess utpräglade försommartorka. Nederbörden under mars-april-maj är endast 30-40 mm per år, medan medelvärdet för augusti är 75-80 mm. Marken är normalt snötäckt ca 100 dagar per år.

Som ett årsmedelvärde för den verkliga avdunstningen inom denna del av landet finns angivet 300-350 mm. Siffran grundar sig på vattenbalansberäkningar, som utförts på ett antal avrinningsområden i Uppland.

Avrinningen från Botkyrkaområdet har skett genom de två huvudvattendragen i Alby- respektive Fittjadalgången. Under naturliga, normala förhållanden är årsavrinningen ca 200-250 mm med två utpräglade avrinningstoppar i samband med snösmältning under våren och regn under hösten.

### 8.4.3 Grundvatten

Inom exploateringsområdet kan urskiljas flera avrinningsområden med tillhörande centralt belägna grundvattenmagasin. Den västligast belägna vattendelaren går i nord-sydlig riktning över Norsborgsdalgången mot triangelpunkten på Tomtberget. Väster därom sluttar terrängen ner mot Norsborgs vattenverk och Mälaren, öster där om torde den huvudsakliga rörelseriktningen för vattnet vara östlig. Detta avrinningsområdes östliga begränsning har bedömts ligga i en linje som i huvudsak går i nord-sydlig riktning i höjd med Botkyrka kyrka. Begränsningslinjen i själva dalgången konstitueras av den markerade höjdrygg i berget i dalgångens botten, vilket här benämnts "grundvattentröskel".

Avrinningsområde nr 2 är det största inom norra Botkyrka. Det omfattar hela den centrala dalgången, begränsas av Hallunda och Slagsta gårdar i norr samt Albyberget i Söder. Dess "nedströmströskel" ligger endast 150 m väster om Fittja värdshus.

I Albydalgången är avrinningsområdena och grundvattenbassängerna flera. Vattendelaren för den nederbörd som rinner i östlig riktning går i nordsydlig riktning praktiskt taget genom Botkyrka kyrka. Den följer därefter berget söder om kyrkan i en svag östlig båge.

Område nr 3 omfattar i huvudsak mossen men har i sin sydliga del en utvidgning åt öster.

Område nr 4 omfattar ett litet område kring och strax söder om passet i Albyberget. Områdena 5 och 6 har sin nordliga begränsning på Albybergets krön och den sydliga i höjdstreckningen som går i öst-västlig riktning och avskiljer Albysjön från Tullingesjön.

På samma sätt som för Norsborgs-Fittjadalen har ett sista avrinningsområde ner mot Albysjön inte varit föremål för närmare undersökningar och kalkyler, varför det inte getts någon speciell beteckning.

Samtliga avrinningsområden och grundvattenbassänger har kartlagts och volymeräknats. De har sedan fått utgöra underlaget för vattenbalansberäkningar som refereras i ett följande avsnitt.

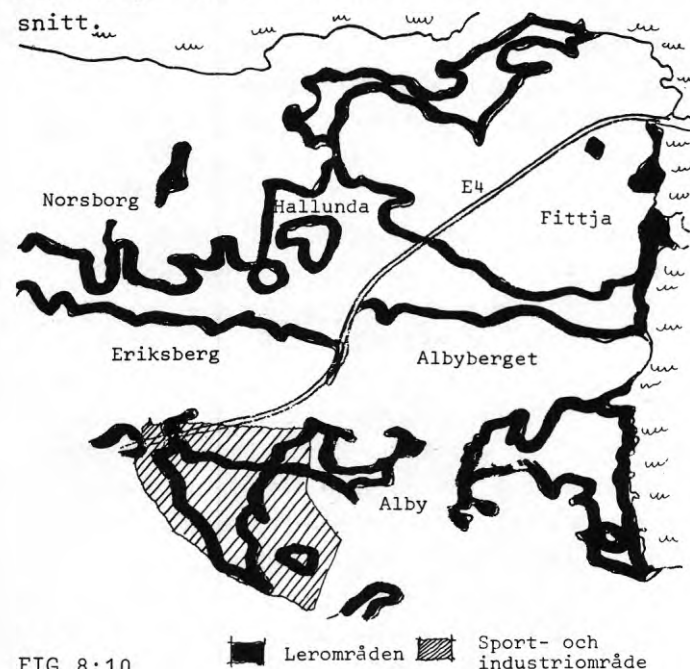


FIG 8:10

Inför exploateringen gjorde STEGA i samarbete med VIAK AB och Sven Tyrén AB en uppskattning av kommande grundvattensänkningar inom Botkyrka. Denna uppskattning baserades på antagandet att SYVAB:s avloppstunnel skulle gå vidare norrut från anslutningspunkten till avloppstunneln genom Albyhöjden. Ännu i mitten av år 1973 syns någon utbyggnad norrut inte komma att bli aktualiserad, vilket givetvis starkt påverkar grundvattenbalansen.

## 8.5 Exploatering

### 8.5.1 Huvudlinjer

Bebyggelseplanen utvisar i huvudsak tre bebyggelsekoncentrationer.

- Fittja, beläget med sin tyngdpunkt på höjden norr om Fittjadalgångens nedre del
- Alby, med en tämligen likformigt koncentrerad bebyggelse på Albyhöjdens högsta delar, på slutningen mot söder samt i den mittersta delen av Albysänkan
- Norsborg-Hallunda, med en kraftig koncentration av höghus och centrumbebyggelse i den övre delen av Norsborg-Fittjadalgången.

Kring bebyggelsekoncentrationerna finns lägre bebyggelse, huvudsakligen radhus, men även tvåvånings flerfamiljshus och friliggande enfamiljshus.

I områdets sydligaste del är utlagt ett industriområde samt sport- och idrottsområde.

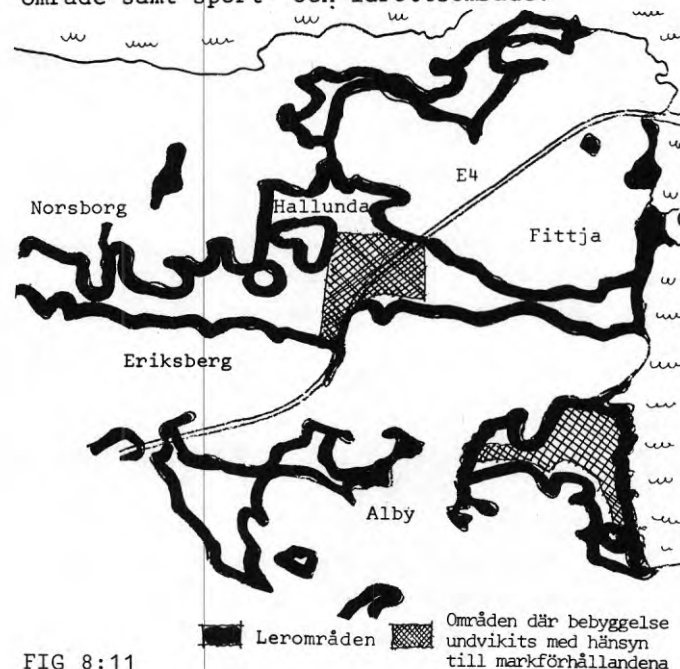


FIG 8:11

Trots den stora massan av bostäder som koncentrerats till ett enda nybyggnadsområde är exploateringsstalet förhållandevis lågt. Målsättningen för exploateringen var att skapa en miljö, som i högre grad än tidigare förortsområden kring Stockholm tillgodosåg människornas behov av kontakt med naturen.

Från hydrologisk synpunkt innebär detta bl a att begränsningen av infiltrationen genom hårdgörning av ytor inte blir så stor som kartor i förstone ger intryck av.

Vid bebyggelsens utformning togs hänsyn till STEGA:s preliminära uppskattning av grundvattnets inverkan på marksättningarna. Med ledning av de efter dessa principer upprättade grundläggningsskartaorna undveks de områden som har den djupaste och lösaste leran. Sådana områden lades ut till idrottsområden och grönområden i stället för att bebyggas.

#### 8.5.2 Några fall där grundvattenproblemen påverkat byggplaner och utförande

##### 8.5.2.1 Avloppssystemet - tunnlar i stället för ytligt ledningsnät

Huvudledningssystemet i Botkyrka projekterades på två alternativa sätt. Anläggningskostnader för ledningsarbeten är till 60 % eller däröver mark och bergbyggnad. Med ledning av det byggnadsgeologiska karteringsarbetet kunde överblick över problemställningarna skapas och alternativ som även tar hänsyn till underhållet framräknas.

Alternativ 1 omfattar ett konventionellt ytledningssystem för huvudavloppet. Vid placeringen av ledningssystemen har grundförhållandena varit helt avgörande. Sålunda har djupa ledningsgravar inom de från utförande- och grundläggningssynpunkt sämsta områdena i möjligaste mån undvikits.

Alternativ 2 omfattar det tunnelsystem som nu utförts i kombination med ytledning till tunnelsänkena.

Spillvattenledningen kopplas till SYVAB:s tunnelsystem i två punkter - en vid Albysjön och en vid Fittja industriområde.

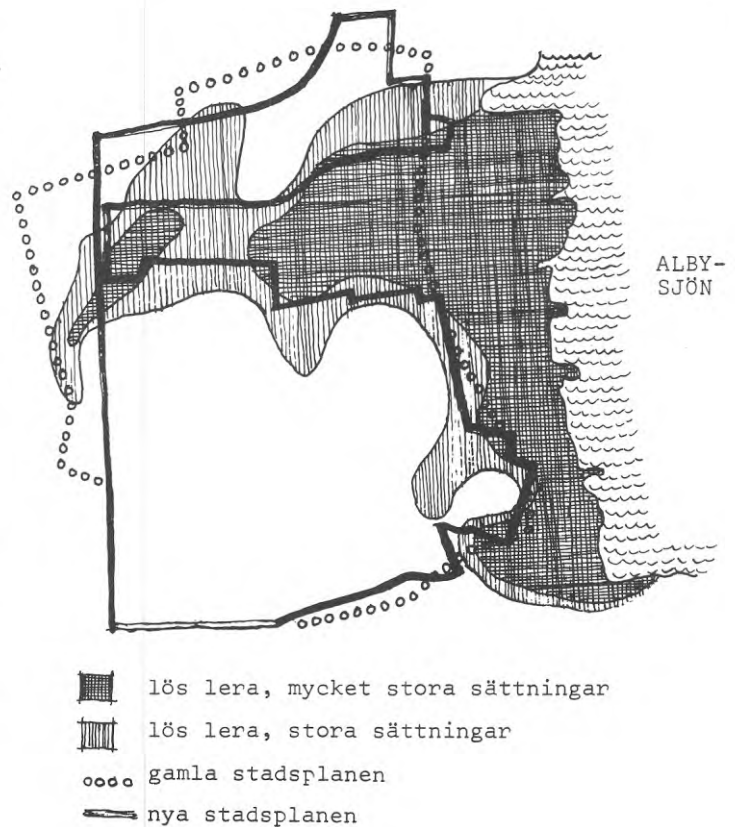


FIG 8:12

Dagvattenavledningen sker för huvuddelen av området till Albysjön. I alternativ 1 skulle dagvatten utsläppas till Mälaren på tre ställen längs Rödstensfjärden. I det utförda alternativet har det längst till väster belägna kunnat slopas.

Räknat i 1967 års kostnadsläge är tunnelalternativet 5 Mkr billigare i anläggning. Därtill kommer en ca 0,5 Mkr/år lägre driftkostnad, vilken kapitaliserad och tillagd anläggningsbesparingen ökar vinstposten till 13 Mkr.

VA-anläggningars utförande är som antytts i väsentlig grad ett markbyggnadsproblem. Därför är det också en viktig del av hela markhanteringsfrågan. Denna frågeställning är mycket komplex, eftersom turordning för utbyggnaden och störning av olika arbeten inbördes kan varieras på ett stort antal sätt. Massdispositionen medför också avsevärda kostnader och kan inplaneras på många olika sätt. Med hänsyn härtill finns klara skiljelinjer mellan de båda alternativen i det att tunnelalternativet ger klart mindre störning av andra arbeten.

Om ytledningssystemet hade utförts måste ledningar dras fram genom Fittjaområdet innan en utbyggnad av Norsborgsområdet skall kunna påbörjas. Eftersom Fittja skulle påbörjas något senare hade detta sannolikt krävt en del provisorier. En uppskattning av dessa ger storleksordningen 1 - 2 Mkr.

Även inom dalområdena hade avsevärda provisorier måst vidtagas vid ytledningsalternativet. Den frihet som tunnelalternativet medfört måste därför räknas som en betydande ekonomisk fördel även om det kan vara svårt att direkt översätta denna fördel i pengar.

Med avloppstunnlarna har rätt stor frihet att variera avloppshöjder inom varje anslutningsområde. För ett ytledningssystem förutsattes däremot i utredningen minsta möjliga läggningsdjup, eftersom varje avsteg härifrån skulle dra med sig en fördjupning av hela huvudsystemet nedströms.

Vid utbyggnad av gator, ledningar och hus inom Botkyrkastadens dalgångar har det varit ett väsentligt önskemål att få bort dagvattnet så fort som möjligt från områdenas schakter. Utbyggnaden av huvudtunneln med sina sticktunnlar påbörjades därför tidigt och dessa har kunnat göra tjänst från ett tidigt stadium av varje områdes utbyggnad. De bergmassor som erhållits från tunneln har kommit till användning vid anläggningen av gator och vägar, särskilt då Hallundaleden längs Albyhöjdens norra kant.

De avsevärda vinsterna som tunnelsystemen ger både direkt och kanske ännu mer indirekt får balanseras mot de större grundvattensänkningar än eljest som tunnarna medför. Denna avvägning är kanske den intressantaste i hela det problemkomplex som STEGA behandlar.

#### 8.5.2.2 Småhusområde i Alby

Ursprungligt Mi, se kap 12, för en del av Albybebyggelsen omfattade 6000 re i 1- och 2-våningshus var 1,9. Detta gav en kostnad på ca 4900 kr per re eller totalt ca 29,4 Mkr. Genom förtätning av bebyggelsen på bättre mark erhöles Mi = 1,4, vilket gav en kostnad av ca 3600 kr/re eller totalt ca 21,6 Mkr. Totalt gav detta en

kostnadsminskning med 7,8 Mkr. Här ingår även vinster för vägar och ledningar utom kvartersmark.

#### 8.5.2.3 Tidplanen och dess uppföljning

Utbyggnaden av Botkyrkastaden har noga följts av STEGA. För forskningsarbete har främst tre informationer varit av värde, nämligen:

- Tidpunkten vid vilken det inom bestämda ytor påbörjats markarbeten.
- Tidpunkten vid vilken bestämda ytor anslutits till dagvattenledningar
- Tunnelarbetenas förlopp (jämfte givetvis inläckningsförhållandena).

Utbyggnadsförloppet har följts dels med årliga flygfotograferingar, dels med hjälp av lägesrapporter från exploatören, vilka inkommit halvårsvis.

Av de kartor som blivit resultatet av denna uppföljning kan utläsas att

1970-10-01 (se föregående)

Markarbeten av rätt stor omfattning har påbörjats i Hallunda.

Markarbeten hade påbörjats även på Albyhöjdens östra delar samt längst ner i Fittjadalen.

Ett par smärre områden på Albyhöjden anslutits till dagvattenledningarna.

Botkyrkas avloppstunnlar var i huvudsak utsprängda.

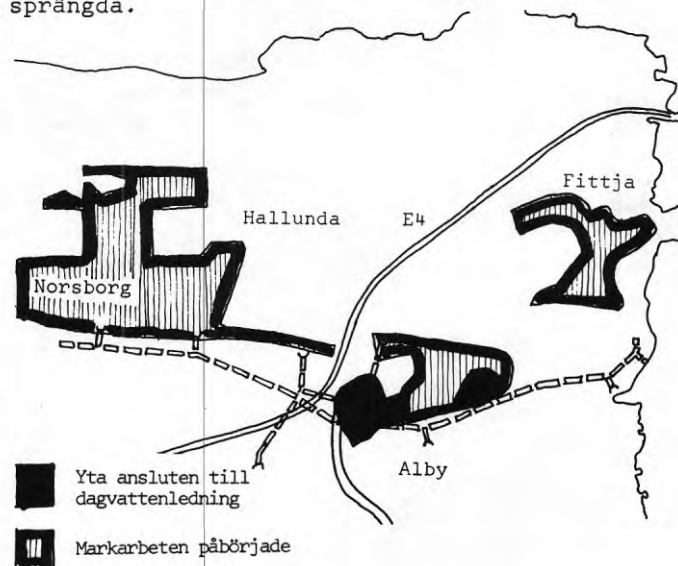


FIG 8:13 Exploaterings läge 1970-10-01

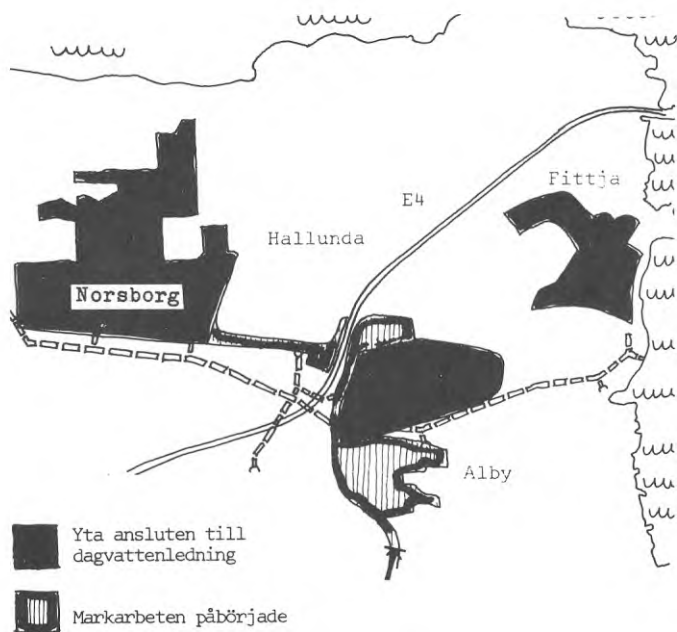


FIG 8:14 Exploateringens läge 1971-04-01

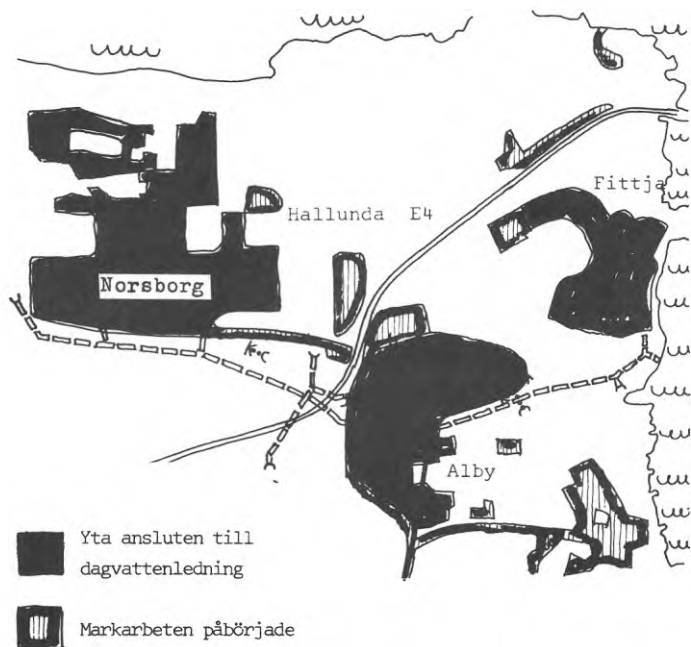


FIG 8:15 Exploateringens läge 1972-01-01

1971-04-01

De ytor där markarbeten påbörjats i oktober 1970 var nu anslutna till dagvattenledningar. Markarbeten i Albydalgångens mellersta del var påbörjade.

Utsprängningen av Botkyrkas avloppstunnlar var klar. SYVAB-tunneln hade nått Alby. Utsprängningen av T-banetunnelarna hade ännu ej påbörjats.

1972-01-01

Mellersta delen av Albydalgången var ansluten till dagvattenledningen.

Markarbeten påbörjats i de mellersta delarna av Albydalgången.

SYVAB-tunnelns front befann sig under Albyberget, och T-banetunnelarna har börjat ta form.

1973-01-01

Praktiskt taget hela bebyggelsen var ansluten till dagvattensystemet.

Vissa markarbeten kvarstod dock i Slagsta.

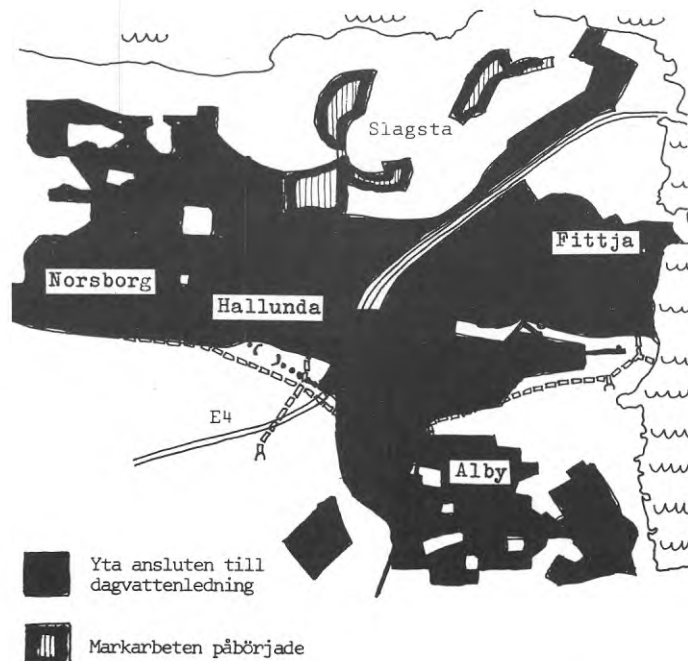
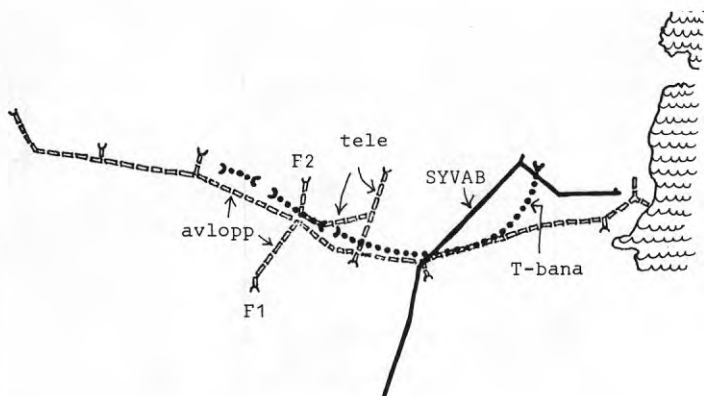
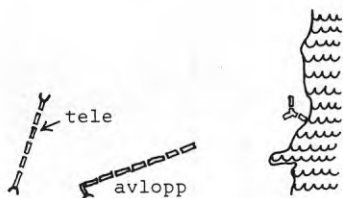


FIG 8:16 Exploateringens läge 1973-01-01



690626



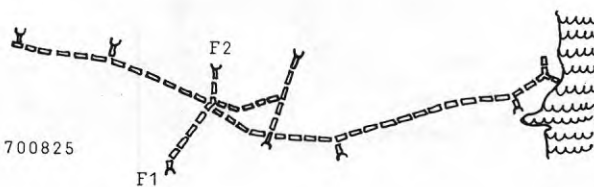
691023



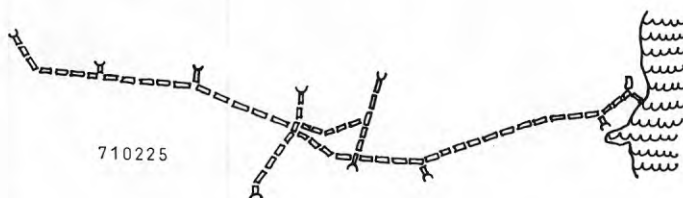
700227



700825



710225



### Tunnelsystemen

I mitten av år 1969 började tunnlar att sprängas. Arbetet framskred raskt och redan påföljande höst var avloppstunnlarna i huvudsak utsprängda.

Omkring den 1 april 1971 gjordes ett påslag för SYVAB i södra Alby och framemot senhösten påbörjades sprängningarna för T-banan.

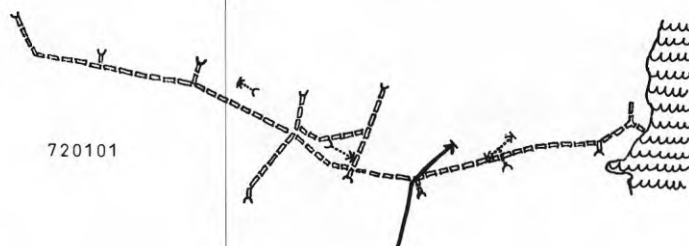
I januari 1973 var samtliga tunnelarbeten utom inredning i T-banetunneln helt klara.

De mest anmärkningsvärda vattenläckagen förekom i påslaget F2 under vintern och våren 1971 samt ända t o m våren 1972 i F1, där uppskattningsvis omkring 10 l/s rann in när det var som mest. Hösten 1972 färdigställdes mätanordning i F1 och en specialundersökning igångsattes. En redogörelse för detta finns redovisad i avsnitt 8.7.5.

710401



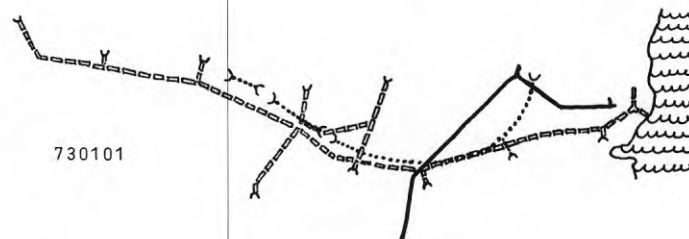
720101



720601



730101



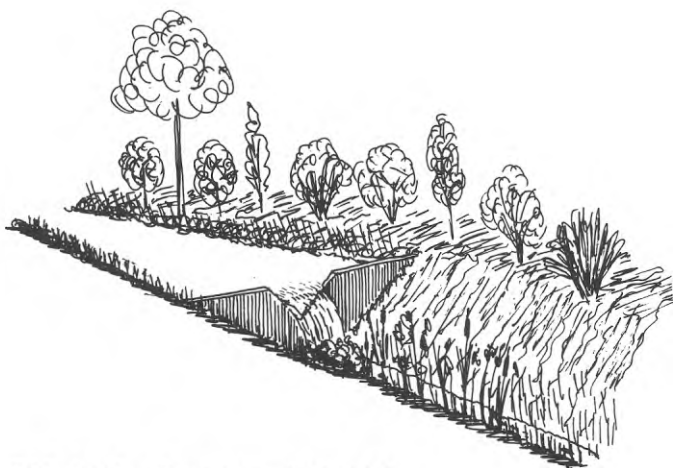


FIG 8:17 Thompson-överfall

## 8.6 Mätprogram

### 8.6.1 Avrinning

Inom Botkyrkaområdet har avrinningen studerats, dels för den norra dalgången (Fittja), dels för den södra (Alby). Dessa områden är 3,2 respektive 2,6 km<sup>2</sup> stora. Undersökningsperioden har för Fittja omfattat november 1968 till oktober 1970 och för Alby maj 1968 till juni 1971.

Avrinningens storlek har mätts kontinuerligt i V-formade mätdammar (se k Thompson-överfall), FIG 8:17. Mätningen tillgår så att vattenståndet i dammen ovanför skibordet (överfallet) registreras med skrivande instrument.

De registrerade kurvorna omvandlas till digitala storheter och stansas samtidigt på hålremsa (ett värde varannan timme) med hjälp av en sk koordinatormeter. Utvärderingen har därefter skett med hjälp av dator, varvid beräkningarna har omfattat bestämning av extremvärden samt bestämning av dygns-, vecko-, månads- och årssummor av avrinningen. Därtill har varaktighetskurvor uppritats.

### 8.6.2 Grundvatten

För att studera grundvattnets trycknivå och kemiska kvalitet har ett nät av observationsrör satts ut inom området. Nätet omfattade från början 10 st bergborrhål och 78 st jordrör. Efter hand har ett betydande antal (51 st) rör förstörts under byggandets gång. Hösten 1971 och våren 1972 bekostade STEGA nyanläggning av 23 rör. Det kvarvarande antalet rör i maj 1973 är trots detta endast 60 st. Punkternas läge

framgår av FIG 8:18. Berghålens djup varierar mellan 19 och 44 m. Jordrören som har perforerade spetsar, har i allmänhet drivits genom lera ner i friktionsmaterial. Deras längd varierar ungefär mellan 3 och 35 m. Rörens funktion har kontrollerats i samband med utsättning och därefter varje år enligt samma modell som skett för rören i referensområdena.

Regelbunden mätning av vattenytans nivå i rören startade 1968 med mätning 1 gång varje vecka. Fr o m 1970 har mätning skett endast 1 gång per månad, bl a av ekonomiska skäl.

Utvärderingen av mätdata har skett i dator. Primärbearbetningen innebär bestämning av absoluta höjder och relativa höjder enligt samma mall som användes för referensområdena (se avsnitt 5.3).

### 8.6.3 Sättningar

För att kartlägga eventuella marksättningar inom området har 33 st markpeglar applicerats (FIG 8:19). Avvägningar av dessa startade maj 1969 och har sedan dess skett vid ca 30 tillfällena. Markpeglarna är konventionella, men som komplement avvägs 8 st transformatorbioser som har flytande grundläggning. Uppföljningen har skett på enklaste sätt med uppritning av sättningen som funktion av tiden.

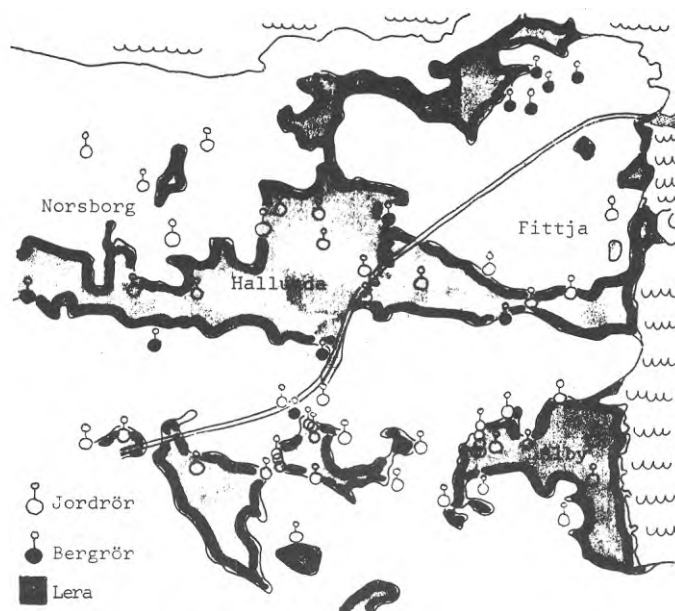


FIG 8:18 Kvarvarande grundvattenrör i Botkyrka, maj 1973.



#### 8.6.4 Hydrokemi

Yt- och grundvattnets kemiska kvalitet har studerats vid de båda avrinningsstationerna i Fittja och Alby samt vid ca 50 observationsrör. Prover har tagits fr o m oktober 1967 till december 1972. Analysen har omfattat följande komponenter:

El.ledningsförmåga  
pH  
Kalcium  
Magnesium  
Natrium  
Kalium  
Tot. alkalinitet  
Klorid  
Sulfat  
Nitrat  
Ferrojärn  
Tritium

Förutom det som sagts ovan har kemisk analys förekommit i samband med vissa speciella undersökningar.

Områdets hydrokemi kommer att diskuteras områdesvis. Albysänkan delas i två områden, ÖA (Östra Alby) och VA (Västra Alby). För Fittjasänkan är områdesindelningen ÖF (Östra Fittja), E4 (området intill E4:an) och NH (Norsborg-Hallunda). Områdena norr om Fittjasänkan benämns NG (Norra Gränsen), FIG 8:20.

Provtagning och kemisk analys av grundvattenprover har pågått under tiden 1967 - 1972, men

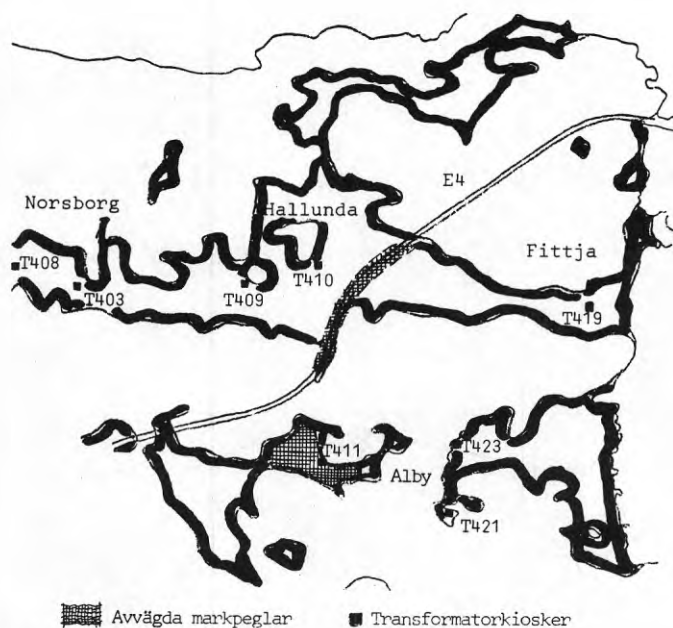


FIG 8:19

Läge av markpeglar och transformatorbiosker

endast en del av rören visar en obruten serie. 1967 och 1968 skedde provtagningarna något sporadiskt, därefter kvartalsvis från 1969 t o m första kvartalet 1972.

##### 8.6.4.1 Klorid och nitrat

Medelvärden för olika konstituenterna inom de olika delområdena redovisas i TAB 8:21.

##### Östra Alby (ÖA):

Kloridhalterna varierar mellan 10 och 118 mg/l. En granskning av värdena från varje rör visar emellertid en del trender i koncentrationerna, i de flesta fall mot lägre koncentrationer. Det är tydligt att den omsättning av grundvatten, som skett under provtagningstiden givit relativt stabila värden. Södra hälften av ÖA har grundvatten med en kloridhalt som ligger omkring 16 mg/l, medan den norra delen ligger något högre, ca 20 mg/l. Ett par rör nära landsvägen i norra delen visar emellertid inverkan av förmodligen vägsalt och det östligaste röret visar kraftig påverkan av marina avlagringar. Frånsett dessa avvikelser är bilden i övrigt förvånansvärt entydig. Skillnaden mellan södra och norra delen beror troligtvis på deras respektive olika infiltrationsområden. Tidsvariationen inom området framgår av FIG 8:22, där rören 2, 4 och 21 valts som representanter för längre serier.

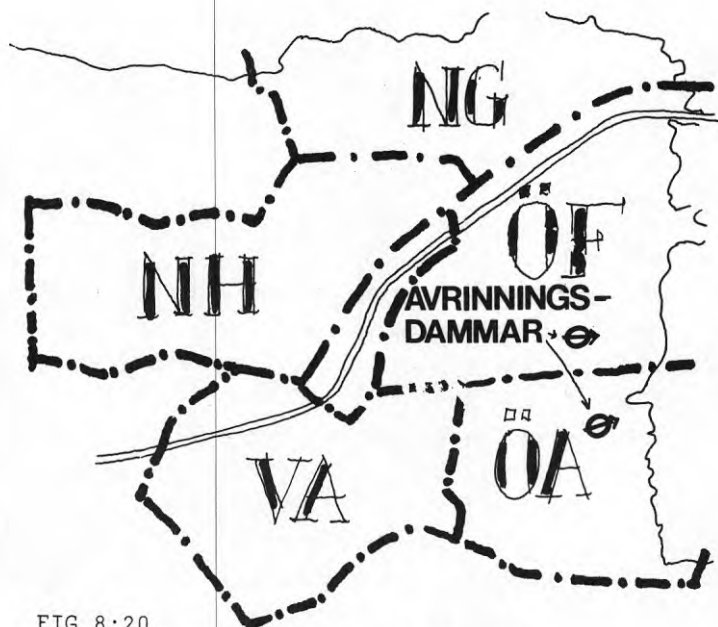


FIG 8:20

Områdesindelning i Botkyrka för de kemiska undersökningarna.

TABELL 8:21 Medelvärden för olika konstituenten i grund- och ytvatten från Botkyrka-området (läge se FIG 8:21)

Område	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Alk	pH	µS
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mekv/l		
ÖA	7,3	21,2	38,0	9,8	30,0 <sup>1)</sup>	38,5	0,5	2,16	8,0	360,0
VA	18,0	14,5	55,2	10,6	23,6	51,6	0,4	2,97	7,9	424,6
ÖF	6,3	14,4	56,0	11,9	27,9	55,8	0,2	2,58	7,7	420,0
E4	6,1	18,4	51,7	11,2	46,9	30,3	0,3	2,47	7,9	438,6
NH	5,3	13,2	41,6	9,2	13,8	44,8	0,9	2,08	7,4	315,7
NG	6,4	12,8	48,7	12,3	17,8	36,6	0,9	2,92	7,5	384,0

1) kraftig variation

Av intresse är också nitratkoncentrationens variation med tiden. Värdena är inte särskilt höga även om variationerna är kraftiga. Om grundvattnet infiltrerats i bergspartierna kan man heller inte vänta sig några större nitrathalter.

Västra Alby (VA):

Medelvärdena återfinns i TAB 8:21 och dessa skiljer sig inte särskilt från föregående område. Däremot visar de enskilda värdena emellertid här nästan inga trender.

De sydligaste och västligaste rören har relativt låga kloridhalter, 10 - 20 mg/l, medan de mera centralt belägna rören har högre, 20 - 30 mg/l. Skillnaderna kan även här bero på infiltrationsområdena. Fluktuationerna i kloridkoncentrationen är förhållandevis små, FIG 8:23.

Eftersom infiltrationen i lerområdena är försumbar är infiltrationsområdena begränsade till bergsområdena och de till dessa anslutna utsvämningsområdena med grövre sediment. Att områdena ÖA och VA är så relativt lika förklaras delvis härav.

Albydammen (FIG 8:20):

Här förekommer avsevärt högre koncentrationer av klorid och nitrat än i grundvattnet och kraftiga, årstidsbundna variationer, FIG 8:24. De högre kloridvärdena beror utan tvivel på den stora evapotranspirationen från odlade grödor. En del av det analyserade vattnet torde emellertid vara grundvattnet som trängt upp i markskiktet, varvid jonkoncentrationen ökat genom vattnets avdunstning. De höga nitralthalterna beror dock huvudsakligen på växtodlingen. Vattnet har således fått en kraftigt kulturpåverkad sammansättning.

Östra Fittja (ÖF):

Som synes stiger kloridhalten till ett relativt konstant värde, mellan 30 - 40 mg/l, FIG 8:25. Tendensen mot stationära förhållanden i fråga om kloridkoncentration är densamma som i Alby-sänkan.

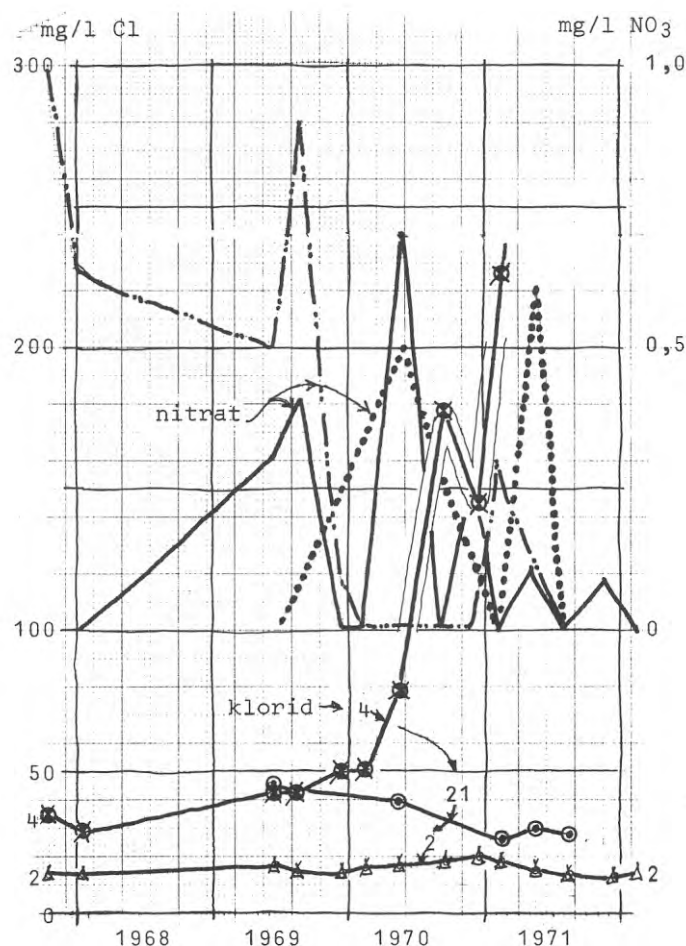


FIG 8:22 Variationer i klorid- och nitratkoncentrationen i rör 2, 4 och 21 inom område ÖA.

Rören i södra delen har högre kloridkoncentrationer än i norra delen. Det verkar som om bergryggen mellan Alby och Fittja ger grundvattnet med högre kloridhalter än de andra bergspartierna.

E4 (FIG 8:20):

Detta område är smalt och utgör till en del en grusås och följer vägen. Området är geotekniskt väl undersökt. Kloridhalterna varierar kraftigt. Rören i bergryggpasset har förhållandevis höga kloridhalter. I den norra delen är däremot koncentrationerna måttliga. Tidsvariationerna i klorid och nitrat i rören 30 och 31 framgår av FIG 8:26. Kloriderna sjunker anmärkningsvärt under 71/72, tydligen beroende på ändrad grundvattenregion till följd av byggnad.

Norsborg-Hallunda (NH):

Medelvärdena av analyserna återfinns i TAB 8:21. Kloridhalterna är förhållandevis låga, vilket tyder på goda infiltrationsförhållanden för grundvattnet. Tidsserierna för klorid (FIG 8:27) visar visserligen rätt stora fluktuationer men ingen trend frånsett rör 144. Nitratet visar det vanliga fluktuationsmönstret.

Fittjadammen (FIG 8:20):

FIG 8:28 redovisar tidsserierna av klorid och nitrat i ytvattnet i Fittjasänkan. Kloridhalterna är något lägre än i Albysänkan, medan nitraterna visar liknande mönster. Tydligen kommer också här en del av ytvattnet från uppsträngande grundvatten med åtföljande koncentring genom evapotranspiration.

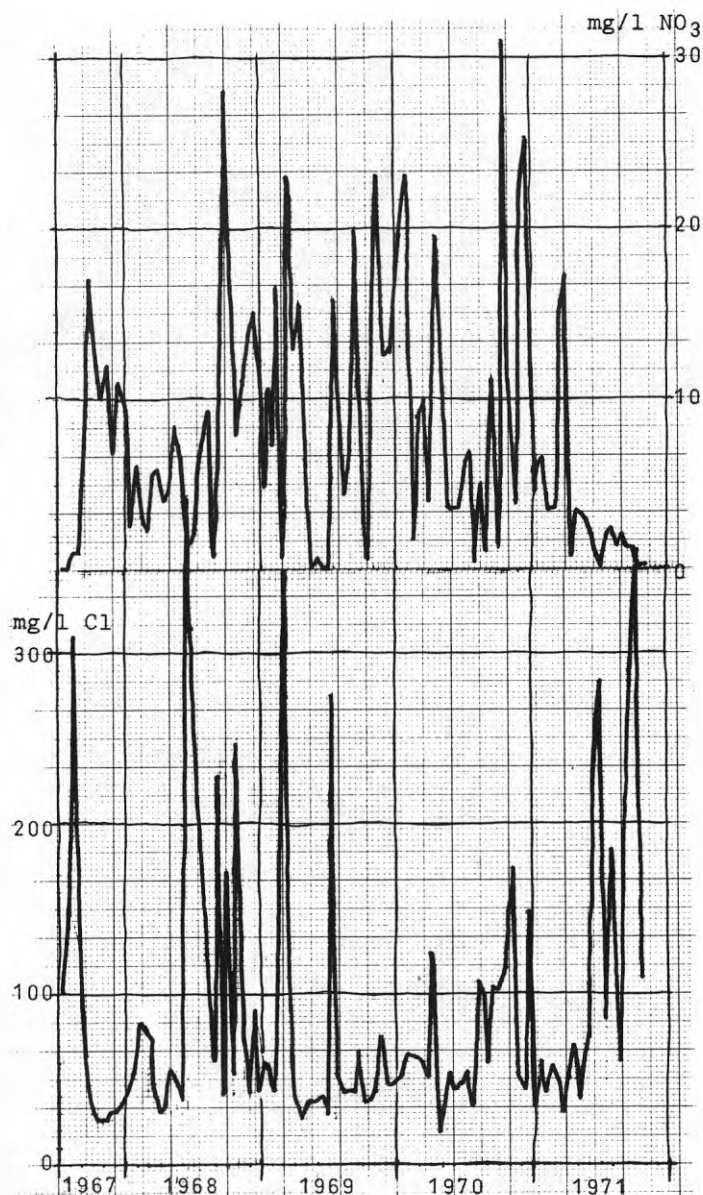


FIG 8:24 Variationer i klorid- och nitratkoncentrationen i Albydammen inom område ÖA

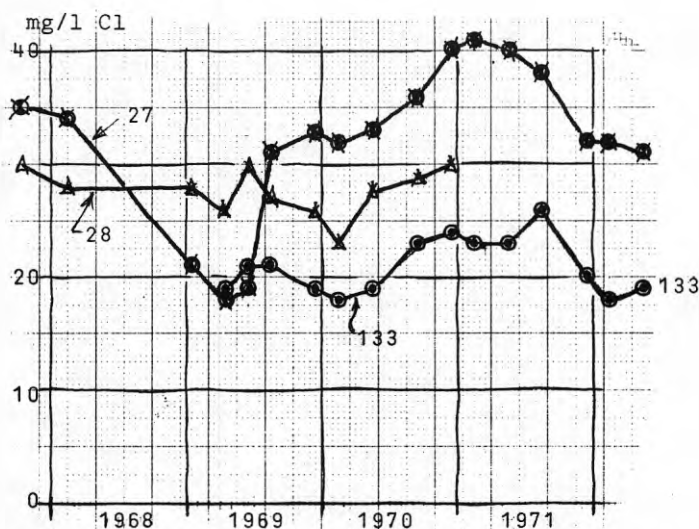


FIG 8:23 Variationer i kloridkoncentrationen i inom område VA. rör 27, 28 och 133

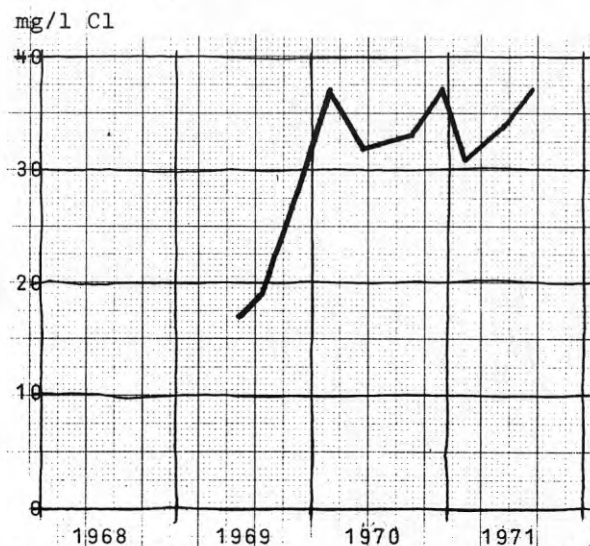


FIG 8:25 Variationer i kloridkoncentrationen i rör 117 inom område ÖF

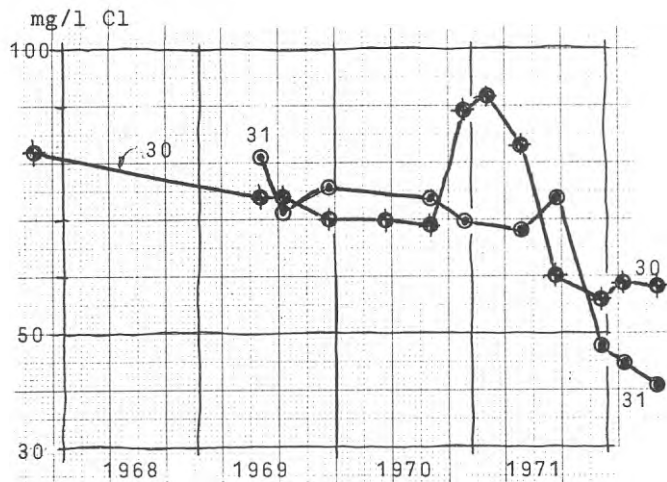


FIG 8:26 Variationer i kloridkoncentrationen i rör 30 och 31 inom område E4.

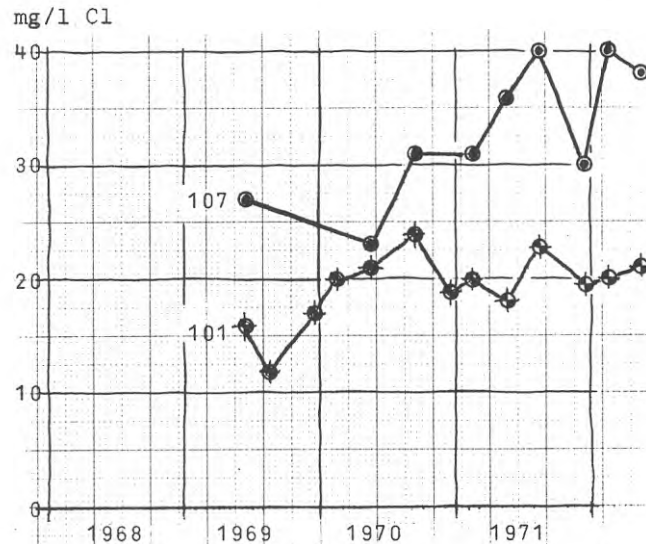


FIG 8:29 Variationer i kloridkoncentrationen i rör 101 och 107 inom område NG.

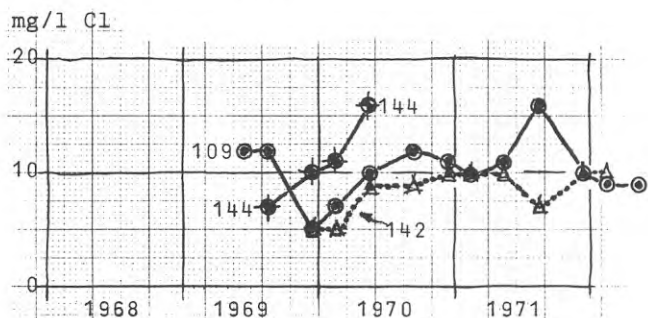


FIG 8:27 Variationer i kloridkoncentrationen i rör 109, 142 och 144 inom område NH.

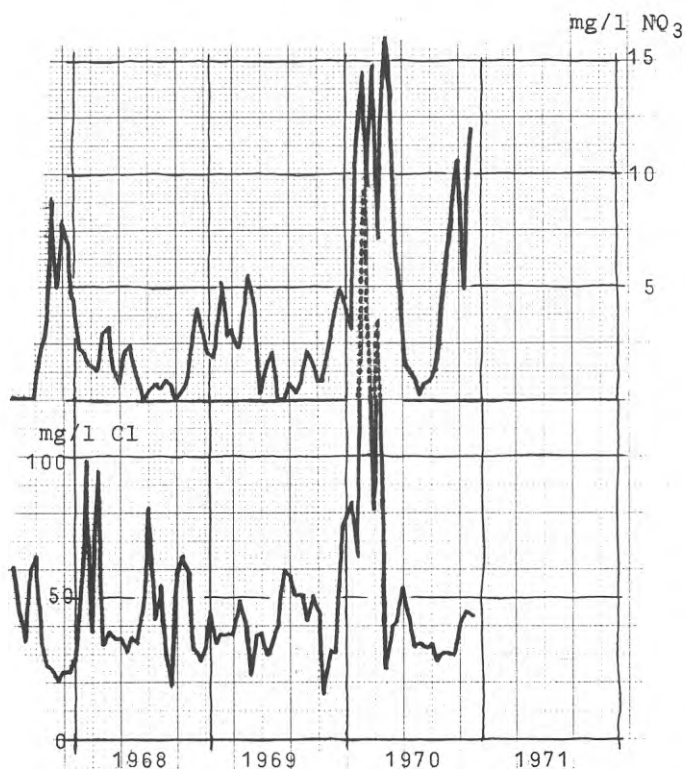


FIG 8:28 Variationer i klorid- och nitratkoncentrationen i Fittjadammen inom område ÖF.

Norra Gränsen (NG, FIG 8:20):

Värdena är påfallande lika de i norra och västra delarna av Fittjasänkans grundvatten. Tidsserierna av klorid och nitrat för två av rören, 101 och 107, återges i FIG 8:29. Rör 101 visar stabila förhållanden medan rör 107 har en klart positiv trend. Nitrathalten i 107 är varierande och ibland tämligen höga.

#### 8.6.4.2 Kalkmättnad

Kalkmättnaden varierar något inom Botkyrka även om den i stort sett ligger nära 100 %. Detta innebär att pH och bikarbonathalterna är förhållandevis höga, dvs vattnen är elektrolytrika. Området ÖA visar undermättnad vid ett par rör (2 och 21) och full kalkmättnad i rör 4. I området VA föreligger full kalkmättnad. I Fittjaområdet är det ett par rör i NH som visar klar undermättnad, de övriga är relativt väl mättade med kalk. Samma gäller NG.

#### 8.6.4.3 pH-värden

Av pH-värdena kan man i rätt stor utsträckning utläsa om kalkutlösning inträffar i själva grundvattenzonen eller om den inträffar ovanför, i den s k intermediära zonen. I första fallet leder kalkutlösning till mycket höga pH-värden - omkring och över 9 - med ganska låga kalciumhalter. I senare fallet får man ett måttligt pH - mellan 7 och 8 - medan kalciumhalten blir förhållandevis höga. Studerar man TAB 8:22 ser man lätt representanter för

de olika kalkutlösningssätten. I området ÖA finns ett flertal rör där kalkutlösning med all sannolikhet skett i grundvattenzonen, vilket styrker antagandet att infiltration skett i de kalkfattiga bergklackarna. I område VA tycks den huvudsakliga kalkutlösningen inträffa i den omättade zonen, dvs en hel del infiltration har ägt rum genom grövre, kalkförande sediment. Samma gäller också, med några undantag, de övriga områdena. Man kan här få en indirekt indikation på infiltrationsförhållandena. Det är givetvis möjligt att infiltration inträffar i bergspartierna, men att vatten tillförs sedimenten i den omättade zonen via det grövre utsvämmade sorterade och kalkrika materialet intill bergsryggarna.

#### 8.6.4.4 Sammanfattning av hydrokemin i Botkyrka

Inom Botkyrka-området torde bergspartierna spela en stor roll för grundvattenbildningen, liksom de grövre utsvämmade sedimenten intill dessa partier. I dalgångarna torde infiltration av grundvatten vara utesluten - i själva verket kan man förmoda att en del grundvatten strömmar ut i de lägre partierna och utgör ett verksamt bidrag till ytvatten. Detta ytvatten har mycket stark human påverkan, dels indirekt genom växtodlingen som ökar evapotranspirationen och koncentrerar salterna, dels direkt genom tillförsel av handelsgödsel, framför allt kväveföreningar, som leder till höga nitrathalter.

Efter bebyggelsen torde grundvattentillförseln till ytan avstanna helt genom det djupgående dräneringssystem, som olika tunnlar utgör. Detta förändrar givetvis också den kemiska sammansättningen av det vatten, som läcker in i tunnlar. Den ändrade grundvattenregimen och hoppressningen av finare jordskikt medför troligtvis ökade salthalter. Detta har visserligen inte konstaterats i brist på analysdata av tunnelvatten.

#### 8.6.5 Pumpning

I avsikt att varaktigt sänka grundvattenytans läge inom i första hand område 4 anlades under 1967 en filterbrunn med 600 mm diameter, benämnd P2 eller sedermera 1035. Provpumpningar hösten 1967 visade antydning till hydraulisk kon-

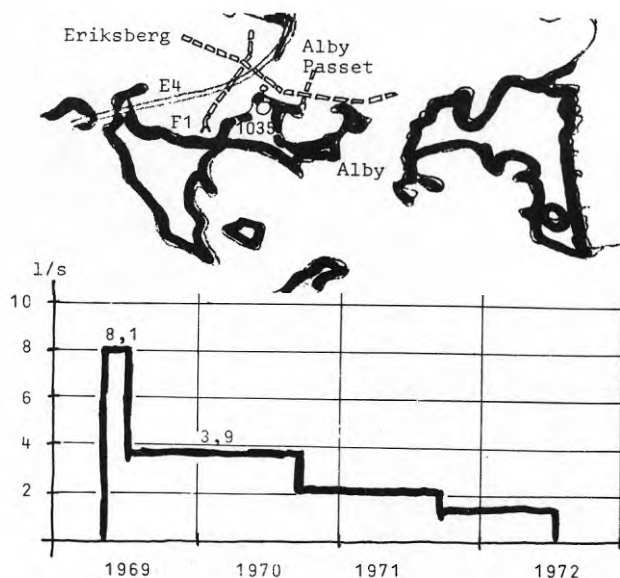


FIG 8:30 Pumpning i 1035

takt så långt som 500 m norrut, dvs norr om passet. I övrigt kunde påverkan spåras 200 à 300 m runt brunnen.

Pumpningarna startade omkring den 1 maj 1969 med ett genomsnittligt uttag av 8,1 l/sek, vilket pågick till i början av augusti 1969. Därefter sjönk eller sänktes uttaget till i genomsnitt 3,9 l/sek, vilket varade drygt ett år. Uttaget minskades ånyo på hösten 1970 och 1971 för att avbrytas under sommaren 1972.

#### 8.7 Bearbetningsresultat

Bearbetningarna är omfattande och det är inte praktiskt möjligt att uttömmande redovisa alla resultat. Exempelvis har för samtliga grundvattenrör räta trendlinjer beräknats över hela mätperioden, över alla tvåårsperioder, samt alla ettårsperioder. En del rör har dessutom beräknats med högre grads polynom. Den linjära analysen har i de flesta fall varit tillfyllest för att beskriva trender i grundvattennivån.

Redovisningen nedan har inskränkts till resultatens huvuddrag.

##### 8.7.1 Avrinning

Resultat från bl a Verkaområdet (ett av referensområdena i "grundvattenkorset") har gett vid handen att av den totala avrinningen är viss del framträngande grundvatten (storleksintervallet 30 till 50 mm/år). I varje orörd grundvat-

tenbassäng är det normala att grundvattenbildningen till övervägande del balanseras av en avrinning i form av framträngande grundvatten.

Förhållandena i Botkyrka enligt de undersökningar som gjorts är inte i väsentlig grad anorlunda än vad som konstaterats vara fallet i Verkaområdet. Innan exploateringen torde med stor sannolikhet den dominerande delen av avrinningen under sommaren utgöras av grundvattnen. Detta bestyrks till yttermera visso av de kemiska undersökningarna av ytvattnet.

Resultaten av avrinningsmätningarna har jämförts med motsvarande mätningar från Verkaområdet. Inom Verkaområdet har mätningar skett inom ett 20-tal delområden. Vid jämförelse mellan resultaten från Botkyrkaområdet och Verkaområdet framgår att avrinningssituationen under 1968 kan betraktas som normal för båda dalgångarna i Botkyrka. Mätningarna skedde här endast under en del av året, varför varaktighetskurvor blir föga upplysande. Under 1969 har avrinningen inom den norra dalgången Fittja påverkats i mindre utsträckning av den pågående urbaniseringen. Detta syns klarast vid de låga vattenföringarna som får större varaktighet.

Under 1970 har denna påverkan blivit större och lågvattenföringarna har blivit motsvarande grad större. Detta syns kanske bäst på jämförelsen mellan Verka och Fittja för åren 1969 och 70. År 1969 ligger Fittjas kurva på Verkas övre spridningsgräns. År 1970 ligger den markant över vid låga vattenföringar.

Beträffande Albydalgången har avrinningssituationen påverkats i relativt stor utsträckning i de pågående pumpningarna i rör 1035, vilket medfört att vattendraget aldrig helt torkat ut. Den stora skillnaden mellan Alby och Fittja beror alltså på pumpningen, men även på att Alby har legat något före Norsborgs-Fittjadalen vad beträffar exploateringen. Sammanlagt är avrinningen till följd av pumpningen i storleksordningen 0,5 - 1 mm, eller totalt för hela året 35 mm.

Vid jämförelsen mellan Botkyrkaområdet och vissa delområden i Verka med liknande geologiska förhållanden och markutnyttjanden har i övrigt kunnat konstateras följande:

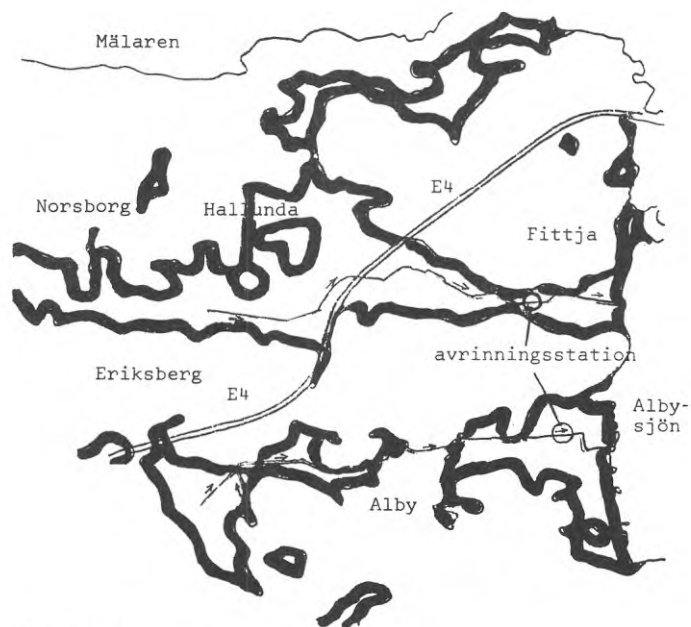


FIG 8:31  
Avrinningsstationernas läge i Botkyrka

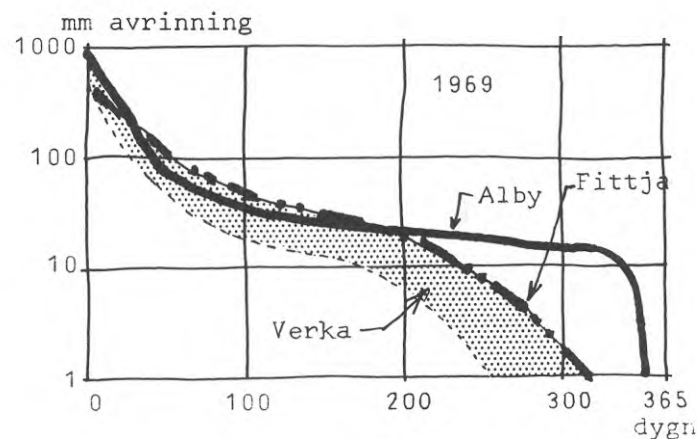


FIG 8:32 Avrinningens varaktighet 1969

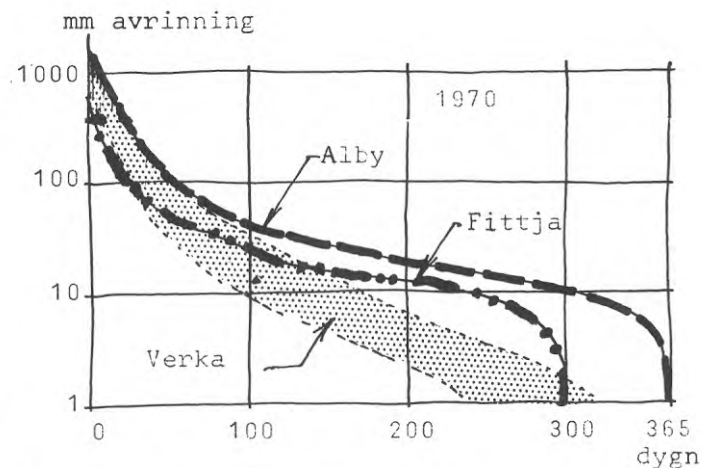


FIG 8:33 Avrinningens varaktighet 1970

- Den årstidsbundna variationen överensstämmer väl med referensområdena.
- Avvikelser från denna (tillfälliga avrinnings-  
toppar under vintern och sommaren) kan under  
försöksperiodens början hänföras till vägv-  
rinning från E4. Sådana flödestoppar har bli-  
vit vanligare ju längre undersökningsperioden  
och därmed urbaniseringen (exempelvis hårdgör-  
ning av ytor) fortskridit.

Ett av huvudsyftena med mätningarna av ytvatten-  
avrinning är att konstatera flödenas storlek un-  
derperioderna mellan vår- och höstflod. Det vat-  
ten som då finns i vattendragen är summan av  
markvatten och grundvatten, som efter upplag-  
ring i respektive magasin långsamt avrinner.

Samma sak gäller i viss mån för vinterhalvåret,  
även om förhållandena kanske i någon mån är mer  
komplicerade med tanke på att vissa snösmält-  
ningsperioder finns då, åtminstone i det mel-  
lansvenska klimatet.

## 8.7.2 Grundvatten

### 8.7.2.1 Allmänt om sänkningarna

I mitten av maj 1968 påbörjades mätningarna i  
den s k gamla rörserien i Botkyrka. Ett år se-  
nare var den s k nya rörserien färdig och togs  
i drift. Fram till mitten av 1970 är grundvat-  
tensänkningen liten eller obetydlig, men där-  
efter sker en snabb sänkning samtidigt som års-  
amplituden syns avta.

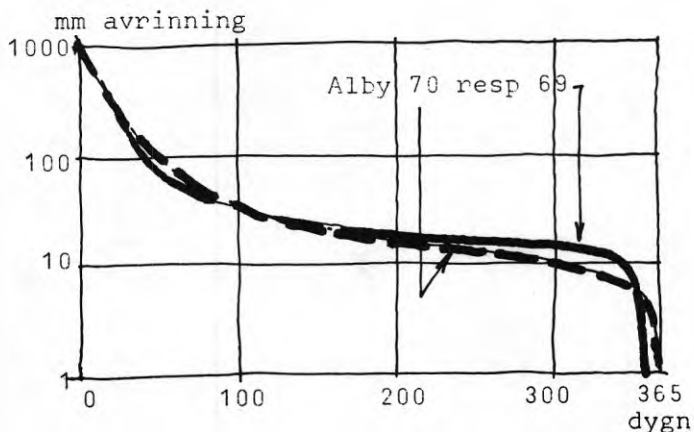


FIG 8:34 Jämförelse mellan Alby 69 och  
Alby 70

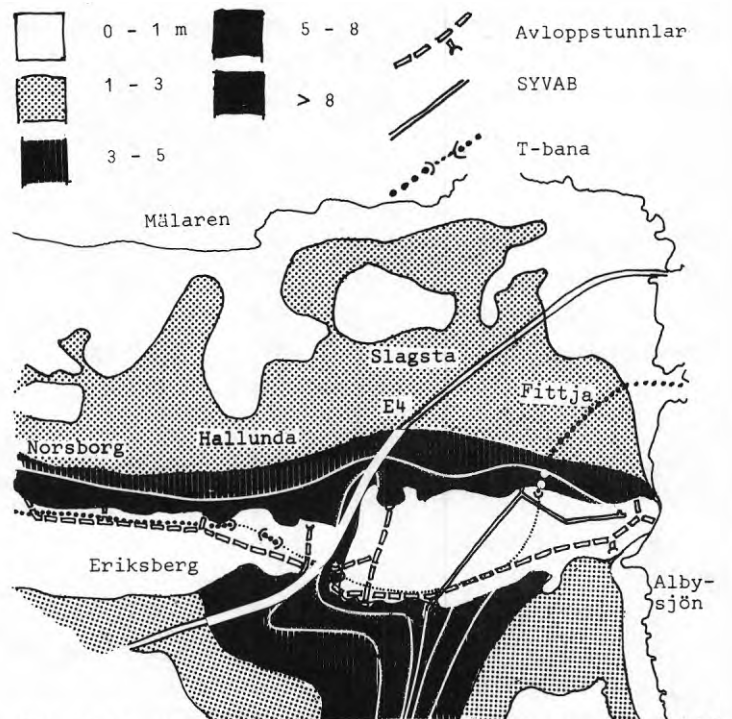


FIG 8:35 Grundvattensänkning enligt prognos 1968

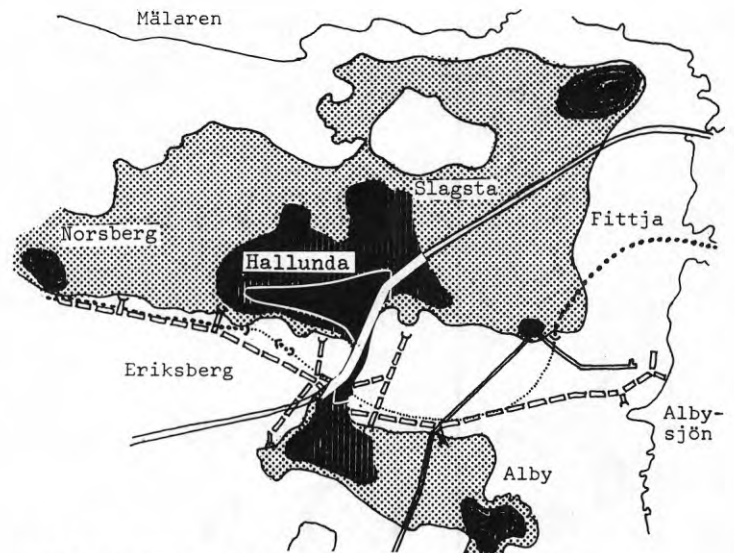


FIG 8:36 Grundvattensänkning dec 1970

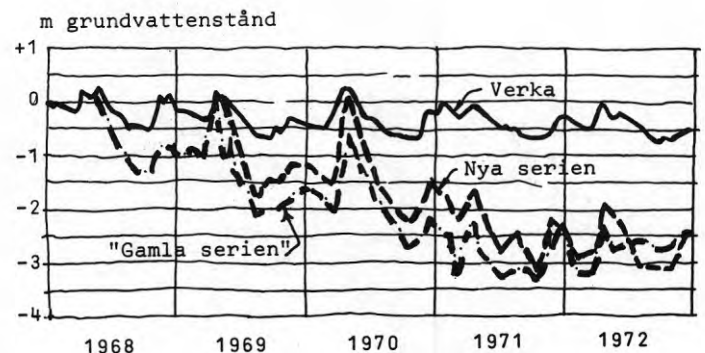


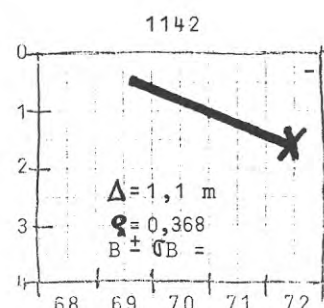
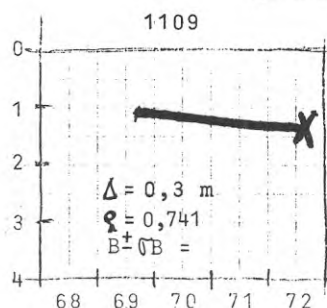
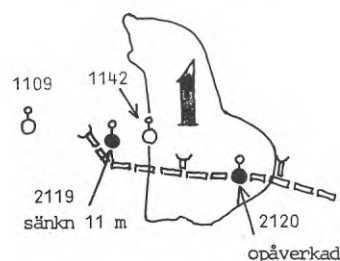
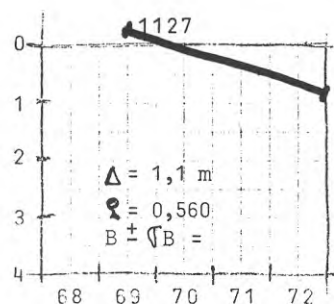
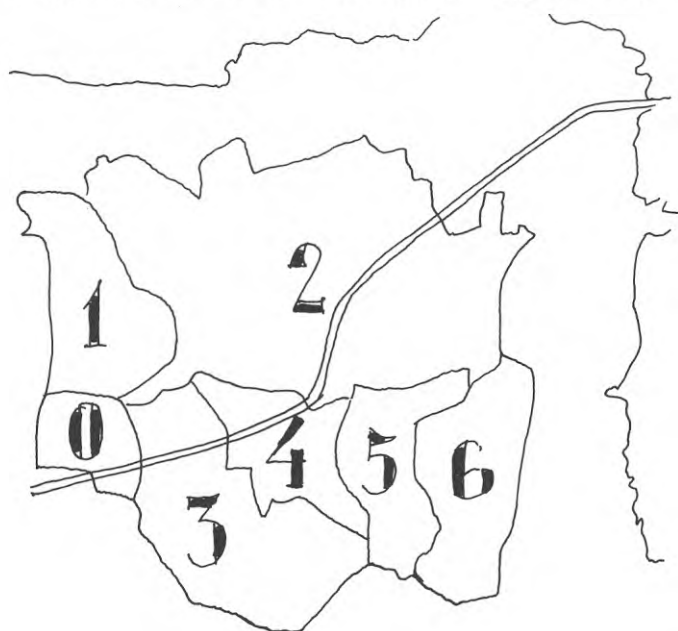
FIG 8:37

Medelindex för grundvattenstånds-  
rör i Botkyrka, jämförda med Verkas  
medelindex.

Enligt den prognos som utarbetades i samarbete mellan VIAK AB, Sven Tyrén AB samt STEGA år 1969 dominerades grundvattensänkningarna av tunnlar. Avsänkingsbilden i slutet av år 1972 bekräftar i stort sett detta. Vid praktiskt taget varje tunnelpåslag har det bildats en avsänkningsträtt och de största sänkningar har noterats i passet, där i själva verket sänkningarna är så stora att de där befintliga observationshålen i flera fall är torrlagda.

### 8.7.2.2 Analysresultat

De kurvor som visas i FIG 8:37 är medelvärden för ett större antal rör, och de avspeglar i stora drag vad som hänt i Botkyrka i relation till referensområden. En kraftig grundvattensänkning på storleksordningen 2 m har skett under åren 1969 och 1970, men enligt dessa medelvärdeskurvor syns därefter sänkningen ha avtagit eller upphört. Nu avser detta medelvärden ett stort antal rör, av vilka en hel del ligger i sådana områden där inverkan av byggandet är



liten eller obetydlig, vilket påverkar medelvärdena. Det är emellertid viktigt att hålla i minnet, när man betraktar kurvorna, att de utgör medelvärden av ett krympande antal rör. De utgående rören är genomgående de som varit mest påverkade av byggandet, vilket gör att medelvärdena för 1971 och 1972 är missvisande (underskattar grundvattensänkningen).

En genomgång av karakteristiska rör för vart och ett av avrinningsområdena ger följande resultat.

Avrinningsområdet 0, som fått sin beteckning på grund av att tveksamhet länge rådde om huruvida det borde medräknas i Albysänkans grundvattensystem eller inte, har ett karakteristiskt rör med nr 1127. Dess sänkning på 3 1/2 år är ca 1 m och tvåårslinjerna antyder en fortsatt och kanske tilltagande sänkning. Ettårslinjerna motsäger inte detta.

Område 1 uppvisar ingen nämnvärd grundvattensänkning utom vid tunnelpåslaget i områdets västra del, där en avsänkningsträtt utbildades.

Det kan diskuteras vilken grundvattensänkning områdena öster och norr om avrinningsområde 2 har fått. I den östra delen finns endast ett rör 1118. Dess absoluta utgångshöjd var +2 m och sänkningen är ca 0,5 m. Rörets spets når troligen ned i grusåsen. Det vore märkligt om de högre belägna terrängpartierna inte hade fått en större grundvattensänkning.

FIG 8:38 Sänkning inom område 0

FIG 8:39 Sänkning inom område 1



Hela nordöstra Slagsta och Fittjaområdena med sina låglänta moränkullar, vilka i och för sig inte är särskilt intressanta ur grundvattensynpunkt, har sannolikt fått en grundvattensänkning på mer än 1 m eller kommer nästan säkert att få det.

Det stora centrala avrinningsområdet nr 2 uppvisar självfallet ingen homogen bild. Det kan dock vara av intresse att analysera exempelvis vad som hänt mitt ute i lerområdet respektive i närheten av ett tunnelpåslag, men ändå i lerans djupa delar. Rör 1030 har enligt den linjära regressionsanalysen haft en avsänkning av 5 1/2 m mellan december 1968 och juli 1972, då röret bortschaktades. De rätta trendlinjerna får allt större lutning med tiden - både de som är två år långa och ettårslinjerna.

FIG 8:41 A

Analyserade grundvattenståndsrör i nederbördsområde 2; Norsborgs-Fittjasänkan.

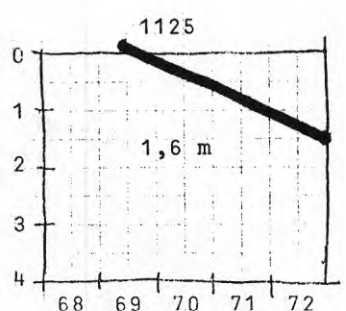
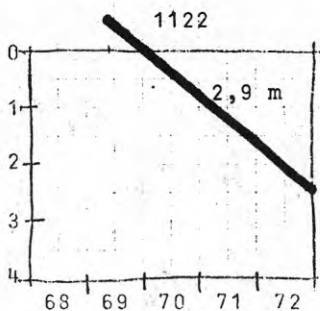
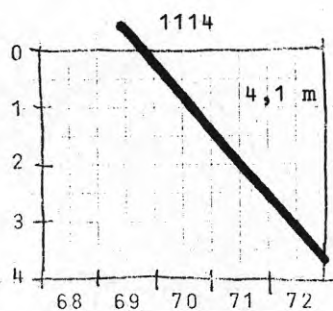
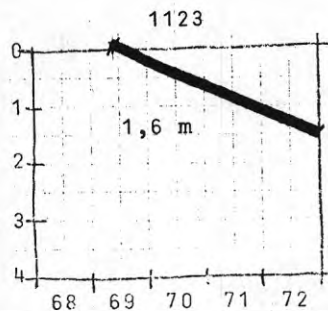
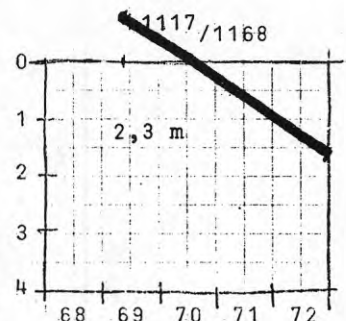
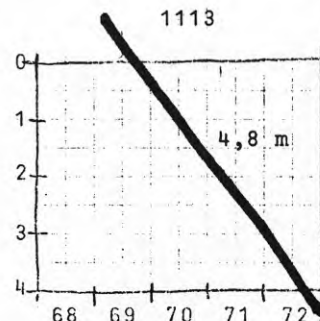
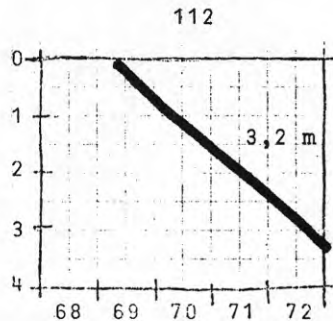
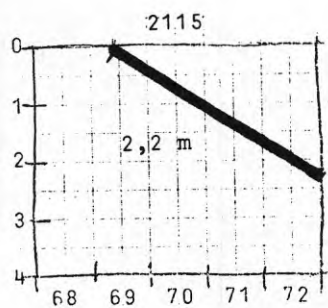
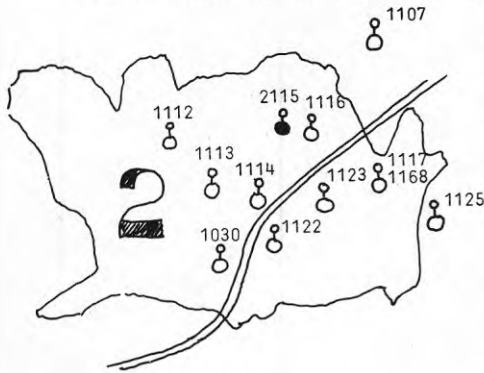


FIG 8:41 B Analyserade trender

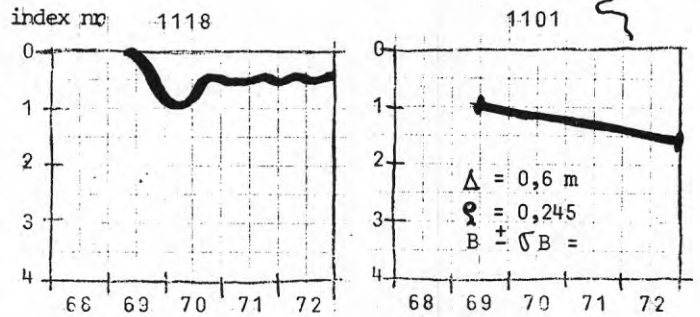
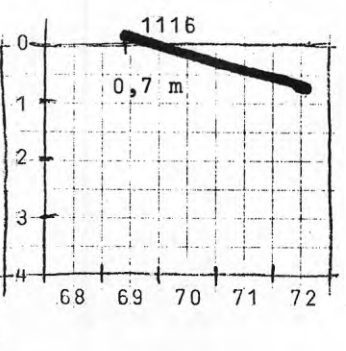
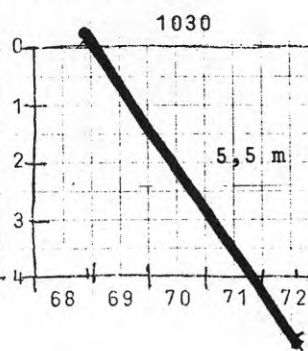
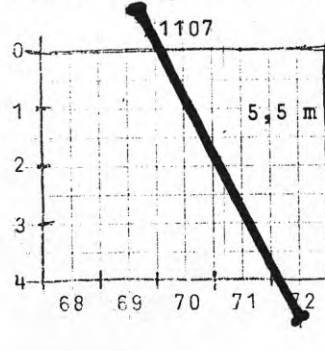


FIG 8:40

Sänkningar i nordöstra Slagsta och östra Fittja

Rör 1123 är i mitten av år 1973 fortfarande i funktion och har sedan starten omkring den 1 juni 1969 och till december 1972 haft en avsänkning av ca 1,2 m. Tvåårslinjerna visar ingen avtagande sänkningstakt och eftersom ettårslinjerna är starkt påverkade av årstidsvariationerna bör slutsatser inte dras beträffande trender förrän ettårslinjernas lutningar är mycket kraftiga.

I de övre delarna av området är sänkningen mer uttalad än i de nedre. Vattenbalansberäkningen i kap 11 avhandlar detta mer i detalj.

Område nr 3 har ett centralt beläget rör, 1133, och detta visar ingen klar sänkningstrend. Sannolikt beror detta på att nybildningen av grundvatten på de kringliggande och ännu obebyggda kullarna är god.

Område nr 4 har hela tiden varit starkt stört av den pumpning av grundvatten som skett i dess centrala del ända från våren 1969 och till slutet av år 1972. En stor inströmning av grundvatten i tunnelpåslaget F1 har föranlett speciella undersökningar som genomförts av examensarbetare vid Institutionen för Kulturteknik vid KTH, se avsnitt 8.7.5.

Rör 1003 har en grundvattensänkning under första året som uppgår till ungefär 1 m, varefter sänkningen under de tre påföljande åren rör sig om ytterligare 1 m.

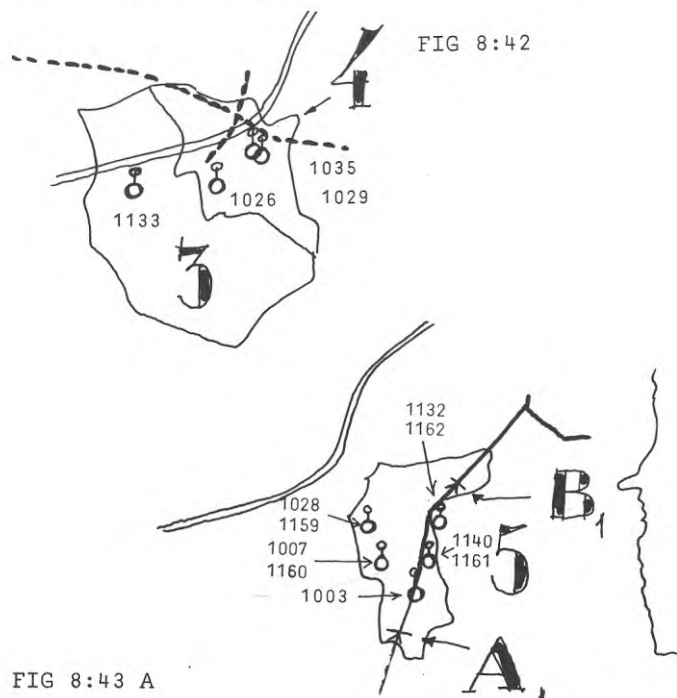


FIG 8:43 A

SYVAB:s avloppstunnel passerade detta rör i mitten av år 1971. Möjligen kan en svag ökning av tvåårslinjernas lutning i början av år 1971 antyda en reaktion. Ett klart utslag är det dock inte.

Område nr 6 uppvisar en klar grundvattensänkning i de högläntare delarna. Grundvattenytan i rör 1010 har under de fyra år det varit i drift sjunkit ca 5,5 m och någon säker trend som visar ett avtagande finns inte. I det betydligt lägre belägna röret 1019 har avsänkningen varit bara 1/2 m under mätperioden, men tvåårslinjernas lutning ökar signifikant mot slutet. Att en ökning av sänkningstakten pågår styrks av ettårslinjernas lutning, som mot slutet ökar kraftigt.

Ett typiskt exempel på tunnlar inverkan på grundvattenståndet utgör rören 2145 (ett berg-rör). Det började reagera redan då tunnelfronten var på avsevärt avstånd (över 500 m) från röret. Tvåårslinjernas lutning börjar öka markant redan vid årsskiftet 1970/71 och ett-årslinjerna före halvårsskiftet 1971, vilket antyder att röret påverkades före januari 1972. Detta syns inte på den ursprungliga registreringskurvan för vattenståndet, där den markerade sänkningen sker under maj, juni och juli 1972.

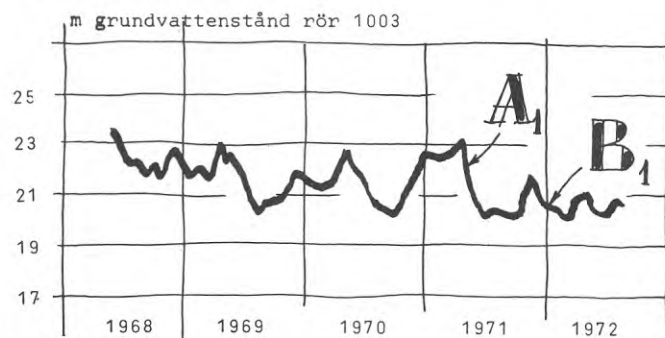


FIG 8:43 B

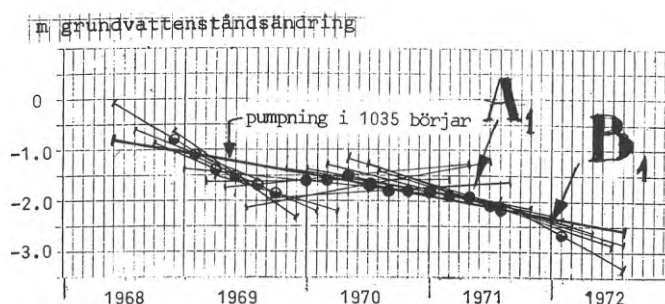


FIG 8:43 C

Regressionslinjer samt rullande medelvärden (ringar) för rör 1003.

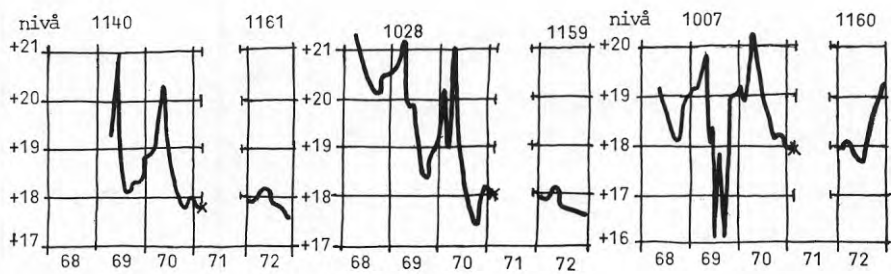


FIG 8:44

Grundvattenståndskurvor i fyra punkter inom avrinningsområde 5. Dessa rör har förstörts av byggnadsarbetena och nyanlagts av STEGA. Pålitliga trender kan därför inte beräknas.

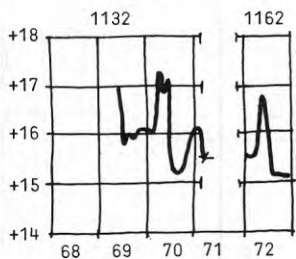


FIG 8:45 A,B,C

Läge, registreringar och regressionsanalys av grundvattenståndet i rör 2145.

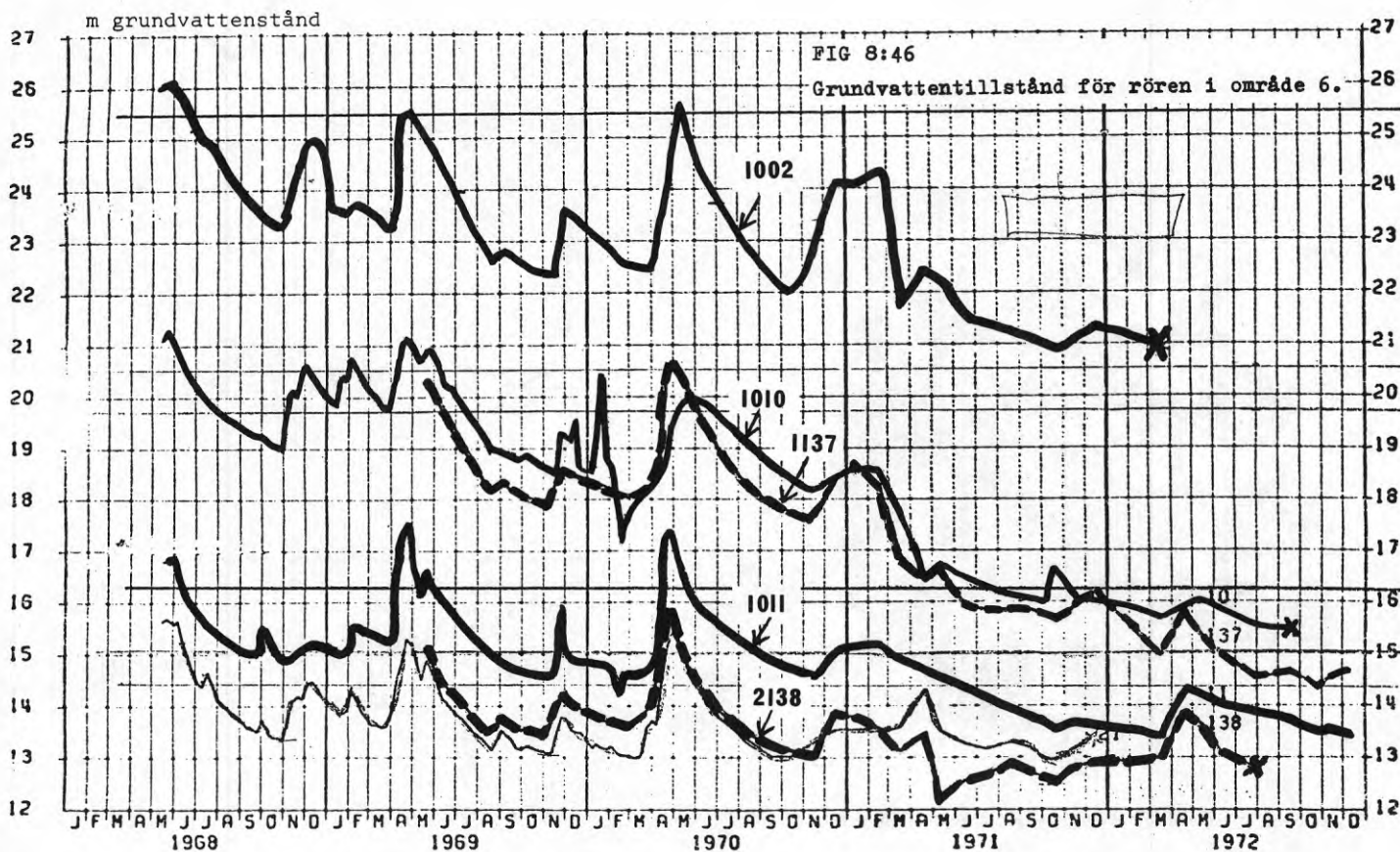
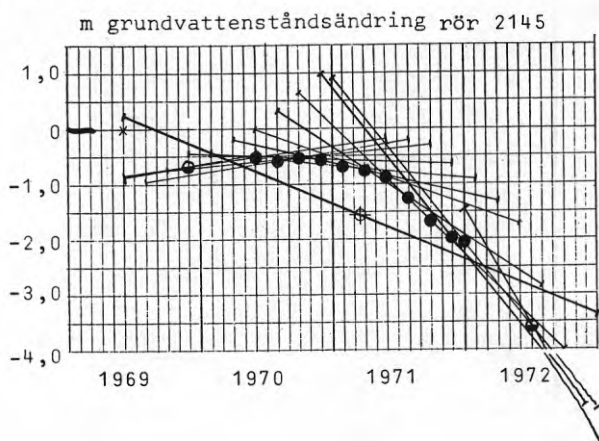
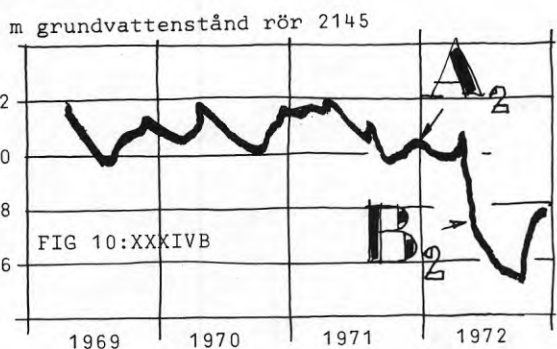
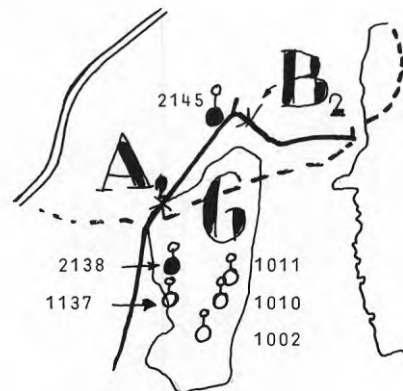


FIG 8:46

Grundvattentillstånd för rören i område 6.

### 8.7.3 Sättningar

Leran inom Botkyrka är i allmänhet något överkonsoliderad. Graden av överkonsolidering rör sig om 20-30 kN/m<sup>2</sup>, vilket medför att nämnvärda sättningar ännu inte uppstått på mer än få ställen.

Av de åtta transformatorbiosker som avvägts under en ettårsperiod visar endast en någon mark-sättning av betydelse. Kiosken ligger i avrinningsområde 6 i dalsänkan ner mot Albysjön och där har någon större grundvattensänkning inte skett. Sättningen beror troligen på bristande komprimering av fyllningen.

I avrinningsområde 2 är det också svårt att belysa marksättningar eftersom de peglar som började mätas i oktober 1969 förstördes av byggnadsverksamheten innan några sättningar kunde registreras. I områdets centrala del i korsningspunkten mellan E4 och Stockholms stads huvudvattenledning har utförts sanddränering i början av 50-talet. Därvid uttogs 15 cm sättning.

Grundvattensänkningen i avrinningsområde 2 har medfört att förkonsolideringstrycket överskreds under första halvåret 71. Verkan av den stora grundvattensänkningen som skedde kunde tyvärr inte följas eftersom markpegelarna var bortschaktade.



FIG 8:47

Placering av grundvattenrör och markpegel i anslutning till Albypasset.

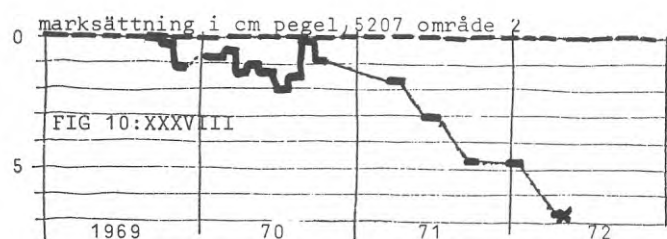


FIG 8:48

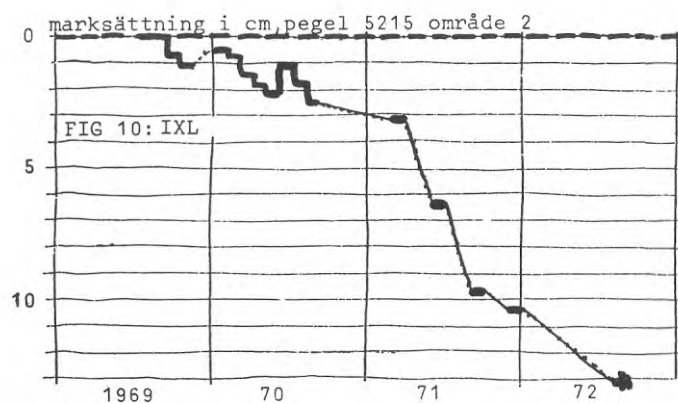


FIG 8:49

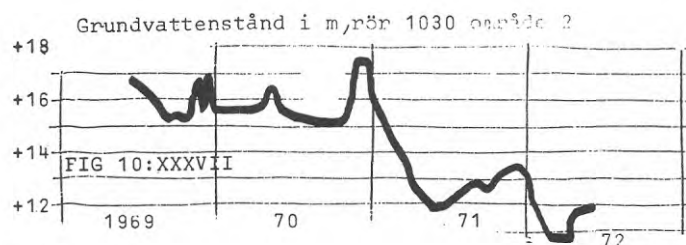


FIG 8:50

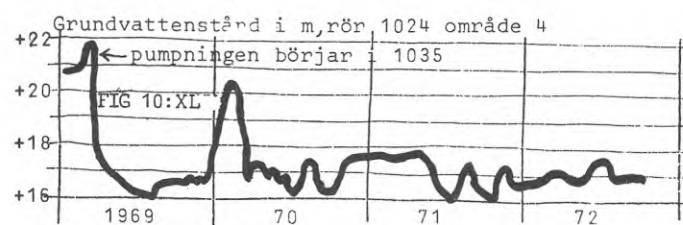


FIG 8:51

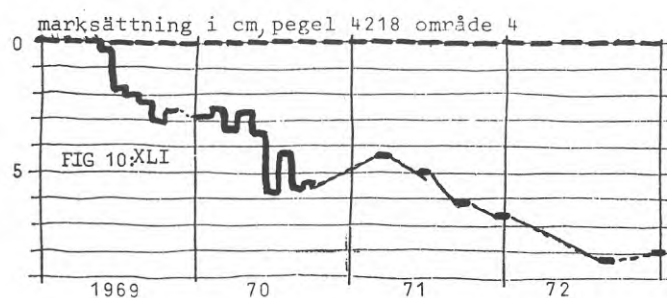


FIG 8:52

Peglar närmare Albyasset (nr 5215 och 5207) visar en marksättning som i stort sett följer grundvattensänkningen. Även dessa peglar schaktades bort i mitten av år 1972.

Avvägningar av själva huvudvattenledningen har emellertid gjorts av VIAK AB. De ger ett sättningsförlopp som i stort sett är följande:

1971 - 71	5 cm
1972 - 73	10 cm

Den totala sättningen skulle i så fall vara ca 30 cm vid korsningen E4-vattenledningen om den med hjälp av sanddränerna uttagna sättningen medräknas.

De peglar som är utplacerade inom område 4 visar ca 2 cm marksättning några månader efter pumpstarten i 1035. Dessa sättningar har ökat till mellan 4 och 8 cm till april 73 (pegel 4218). Detta beror sannolikt både på en belastningsökning i form av grundvattensänkning och på uppfyllnader på marken inom området.

Det befintliga markpegelnätet som överlevt byggnadsverksamheten - vari transformatorioskerna får anses utgöra stommen - bör kunna ge mätvär-

den av intresse under kommande år, då sättningar börjar utbildas mer allmänt. Då kan det också vara meningsfullt att söka korrelera beräkningar och mätningar.

#### 8.7.4 Specialundersökning: Grundvattenförhållandena i övre Albydalen

En stor mängd grundvatten i övre Albydalen avtappas vid tunnelpåslaget F1. Kärrbassängen 500 m åt sydväst dräneras åt NO av ett stråk med grövre jordlager, vilket har kontakt med kärrets bottenlager. Detta stråk korsar en krosszon i berggrunden. Krosszonen har förbindelse med schaktet till tunnelinslaget F1. Här sker grundvatteninläckning med tre till fyra liter per sekund. Inläckningen sker vid nivån 16,3 m.

Grundvattenståndsobservationerna visar att det nuvarande grundvattenflödet sker mot ett område vid rör 1026. I ett stråk i NO-SV utsträckning är gradienterna små, och likartade variationer i grundvattenståndsförändringarna pekar på god hydrologisk kontakt (rören 1009, 1026, 1024 och 1029).

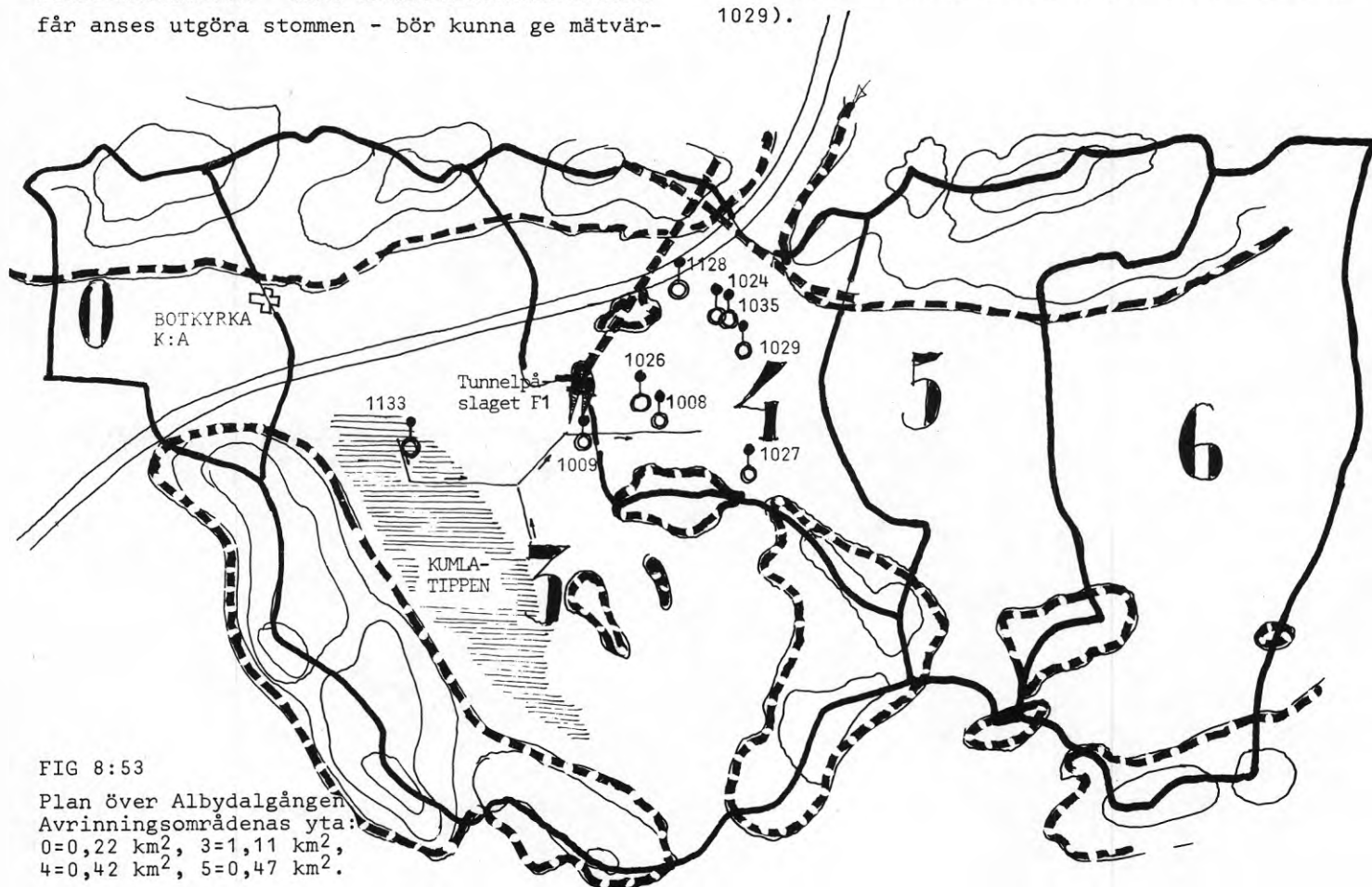


FIG 8:53

Plan över Albydalängan  
Avrinningsområdenas yta:  
0=0,22 km<sup>2</sup>, 3=1,11 km<sup>2</sup>,  
4=0,42 km<sup>2</sup>, 5=0,47 km<sup>2</sup>.

Från området vid rör 1026 rör sig vattnet vidare till tunnelinslaget F1. Detta torde ske via den krosszon, som kan iaktas vid schaktet till inslaget. Denna krosszon har tjockleken 1 meter, stupar vertikalt och ser ut att löpa rakt österut. I schaktet syns krosszonens utsträckning i väster upphöra i en annan störningszon (med amfibolitiserat metabasit) som stupar ca 45 grader åt OSO.

Den vid F1 inströmmande vattenmängden var under senare halvåret 1972 tre till fyra liter i sekunden. Det är sannolikt att den varit ungefär lika stor sedan avsevärd tid.

Bilden av grundvattenbalansen i detta område är inte så lättolkad. Där ingår perkolations, magasinförändring, pressvatten från kärret - Kumlatippen, avbördning samt pumpning i punkt 1035. Antas områdena 0, 3, 4 och 5 delta i den vattenbalans som även innefattar pumpning i 1035 och antas att nybildningen av grundvatten är ca 12 % av årsnederbörden (576 mm i medeltal) inses att en inte försumbar avbördning troligen förekommer. Om den går över "tröskeln" till område 5, via passet till tunnlnarna eller genom sprick-system i berget ner till Albysjön kan inte avgöras utan synnerligen ingående studier.

Just på grund av de många osäkra faktorerna i balansekvationen övergavs tanken på en modellberäkning av Albysänkan. Trots de specialstudier som bedrivits av teknologer vid KTH och som denna rapport baserar sig på kan resultatet betraktas som någorlunda säkert endast såtillvida att grundvattentillförsel från områden utanför här nämnda avrinningsområden inte rimligtvis förekommer.

Resultat av vattenanalyser talar för den beskrivna grundvattenströmningen. Det vid påslaget F1 inläckande vattnet visar stor överensstämmelse med det vatten som tidigare pumpats vid 1035. Den påvisade höga sulfathalten hör troligen samman med gyttjejordarna i kärret.

Analyser av ytvatten från ett dike i kärret visar däremot ingen påtaglig likhet med det vid F1 inläckande vattnet eller det som pumpats vid 1035. Läckvattnet har dock grundvattenkaraktär och kan tänkas ha samband med grundvattenutströmning från källor längs dalslutningarna.

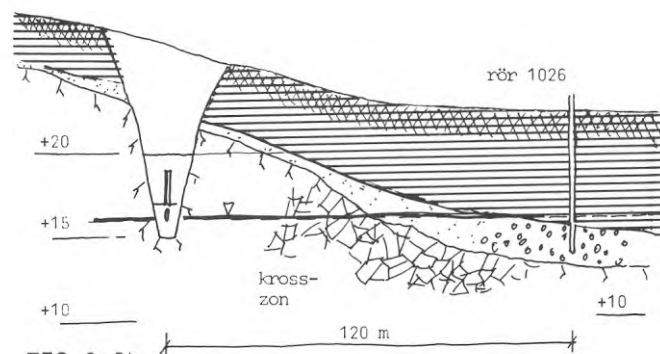


FIG 8:54

Tvärsektion av tunnelpåslaget F1. Höjdskalet 5 ggr större än längdskalet. Krosszonen ligger i snittets plan.

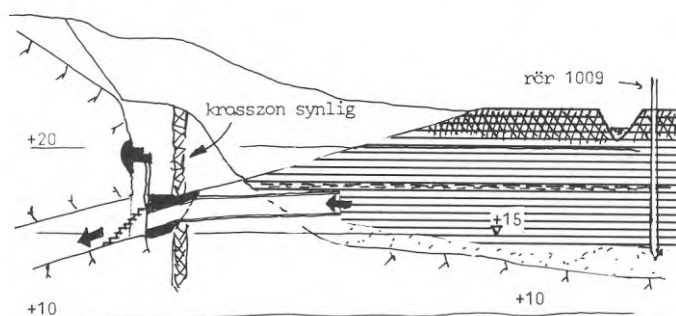


FIG 8:55

Längdsektion av tunnelpåslag F1. Höjdskalet 5 ggr större än längdskalet.

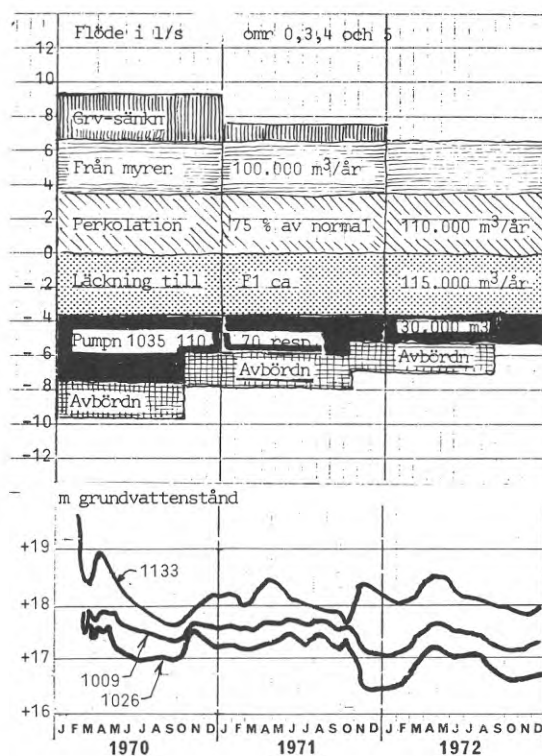


FIG 8:56

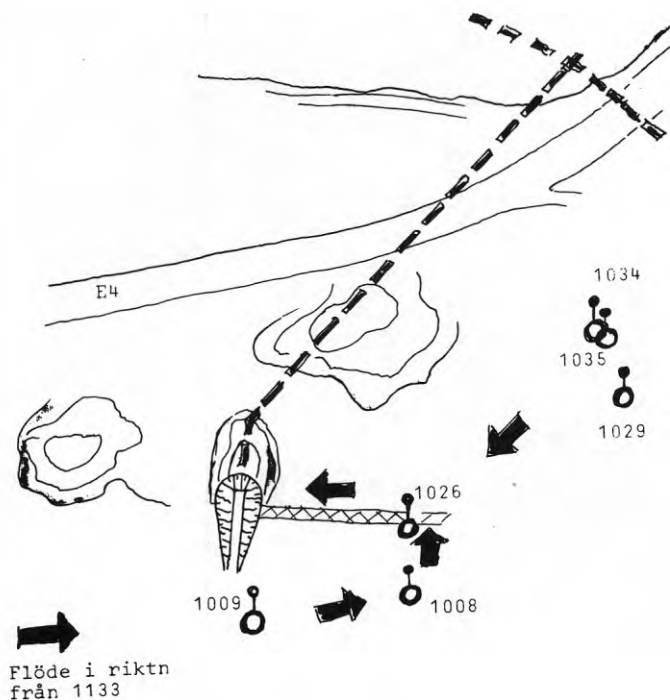


FIG 8:58

Detaljplan av området kring F1

Vattenprover från sjön Aspen visar inte någon likhet med vattnet vid F1 och 1035.

Där vattnet strömmar in vid F1 fälls järn ut. Järnhalten är dock låg. Total - FE 1972-12-10 var 0,017 mg/l vilket är ungefär detsamma som i pumpvattnet från 1035.

Vattenflödet i F1 var i början av hösten ca 3 l/s och ökade så småningom till ca 4 l/s. Detta vatten torde enligt vad som framförts huvudsakligen komma via krosszonen.

I slutet av 1973 var vattennivån i rör 1009 klart högre än i rör 1026 samtidigt som de har god hydrologisk förbindelse (se grundvattenkurvorna). Grundvattenströmning sker alltså från 1009 till 1026.

Flödet från 1009 till 1026 och vidare genom krosszonen till F1 anger ett k-värde av 0,065 m/s för krosszonens del. Detta värde motsvaras av exempelvis grovt grus.

### 8.8 Slutord

Det som kunnat konstateras beträffande grundvattensänkning och sättning inom Botkyrkaområdet är endast början av ett förlopp som kommer att fortgå under flera år. För att få ut ytterligare information om samspelet mellan grundvatten och byggande och göra det möjligt att verifiera uppställda prognoser (kap 11) är det angeläget att påbörjade observationer och bearbetningar kan fortlöpa ytterligare ett antal år. Mätningarna bör åtminstone fortsättas till dess att ett nytt jämviktsläge i grundvattennivån uppnåtts. Mätningar i begränsad omfattning pågår för närvarande.

## 9 ANGERED

## 9.1 Allmänt

Angered är en stadsdel i nordöstra Göteborg, belägen drygt 20 km från kusten (FIG 9:1). Själva undersökningsområdet ligger mellan Göta älv och Lärjeån ca 3 km nordväst om gamla kyrkan i Angered. Det omfattar endast omkring 30 % av f d Angeredes kommun, men benämns i denna rapport av praktiska skäl "Angeredsområdet" eller enbart "Angered". Angeredes kommun var fram till år 1967, då den inkorporerades i Göteborgs kommun, en utpräglad jordbruksbygd. Arkeologiska inventeringar visar att så varit fallet i flera tusen år.

Undersökningsområdet har av hydrologiska, geologiska och datatekniska skäl uppdelats i delområden, nämligen Lövgärdet (23), Angered centrum (24), Rösered (25), Rannebergen (26) samt Angeredes tunnlar, etapp II (28). Lövgärdet omfattar det norra området och avvattnas av Forsbäcken till Göta älv (FIG 9:2). Det södra området, Angered centrum, som bl a karakteriseras av en serie raviner, avvattnas via Lärjeån till Göta älv. Området Rannebergen i öster avvattnas även det till Lärjeån via två bäckar.

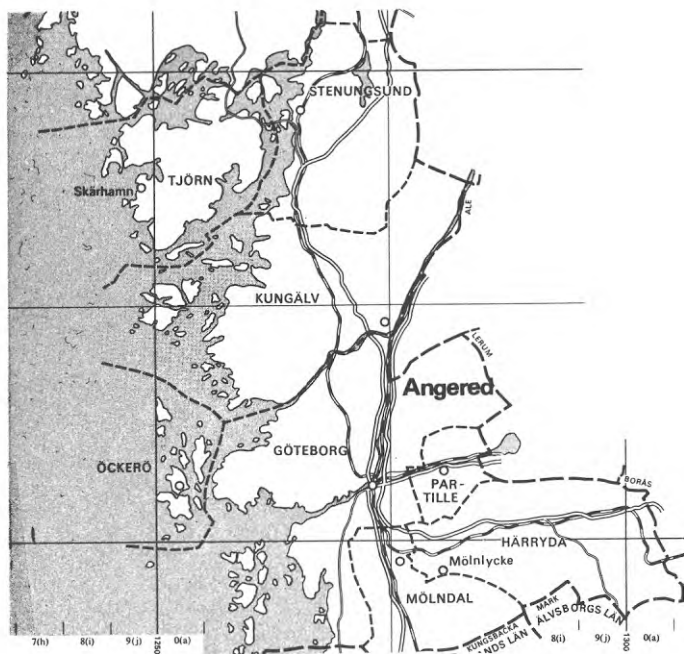


FIG 9:1

Översigtskarta över Göteborgsområdet



FIG 9:2

Översigtskarta över Angered

## 9.2 Topografi

Angeredes berggrund, som huvudsakligen består av grå gnejser, utgör de västligaste delarna av det småländska höglandet, som upphör vid den stora förkastningszonen i Göta älvdal. Landskapet är starkt sönderbrutet och genomsätts av ett nät av varandra skärande, mestadels smala och tämligen raka dalgångar, som nästan genomgående består av sediment eller vatten. Bergblocken mellan sänkorna är vanligen plåtåartade och har väl avrundade bergknallar och bergryggar i isrörelsens riktning. Blockens krön avviker måttligt i höjd från varandra. I Angered utgör Hammarkullen, Gårdsten, Råveberget och Rannebergen väl avgränsade bergblock, som når upp till omkring 120 m ö h och till omkring 60 m över omgivande sedimentslätt. Höjdskillnaden mellan bergkrön och dalbotten under sedimenten kan uppgå till drygt 100 meter.

## Lövgärdet (23)

Berggrundstopografiskt karakteriseras Lövgärdet av ett bäcken med höjdskillnaden ca 90 m mellan sänkans botten (ca 33 m ö h) och Råveberget (ca 120 m ö h) i norr. De omgivande bergpartierna har två låga svackor som utgör trösklar för grund- och ytvattnet i Lövgärdessänkan, en högre i söder, ca 70 m ö h, och en något lägre i nordväst, ca 62 m ö h.

Markytan inom Lövgärdet sänker sig svagt från omgivande berg mot de centrala delarna, men



uppvisar i övrigt inga speciella morfologiska drag. Den lägst belägna delen av sänkan ligger 64 m ö h. Sedimentmäktigheten inom Lövgårdet är i de centrala delarna som mest ca 47 m och tillgängliga data visar jorddjup större än 10 m under den stora mossen i området.

#### Angered centrum (24)

Berggrundstopografin domineras av ett stort nord-sydgående bäcken med en relativ höjdskillnad av ca 135 m och med lägsta nivå ca 15 m under havsytan. Den lägsta bergtröskeln, ca 10 m ö h, är utbildad i sänkans östra del mot Lärjeåns dalgång, medan tröskeln mot söder är ca 44 m ö h och lägsta berggrundsnivå mot väster och norr är 60 - 70 m ö h. Bäcknet upptas av upp till 74 m mäktiga lager av finsediment. En betydande del av området har ett jorddjup större än 20 m och bäckenets djupaste del finns i sydväst. Den svagt kuperade ytan är genomdragen av raviner, vilkas utbredning framgår av den marktekniska kartan i fig 9:7.

#### Rösered (25)

Område 25 domineras av en kraftigt sluttande dalgång med branta bergväggar och en israndbildning uppbyggd av sand och grus. Dalen mynnar i Göta älvs dalgång i väster, där den relativa nivåskillnaden mellan bergplatåer och bergbotten i älvdalen uppgår till ca 200 meter. Röseredsplatån i öster är uppbyggd till ca 100

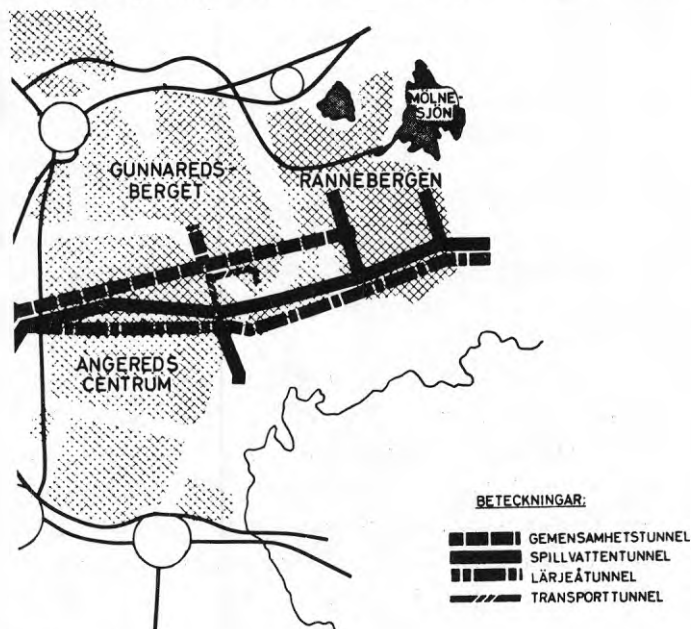


FIG 9:3  
Angered tunnlar etapp II

m ö h och dess västsida täcks av svallgrus och lera. Platån "innehåller" högt uppstickande oregelbundna bergryggar som kommit i dagen vid exploateringen av gruset.

#### Rannebergen (26)

Området Rannebergen är högt beläget och dess högsta punkt når 128 m ö h. Området karaktäriseras av en starkt bruten berggrundstopografi, där själva Rannebergen framstår som ett platåliknande område. Höjddifferensen mellan Lärjeådalens botten och norra delen av området uppgår till ca 135 m. Rannebergen begränsas åt öster och väster av sluttningar i markanta sprickdalar, vilka utgör dräneringsvägar för de högre belägna områdena i norr. Jordtäcknet finns i stort sett endast i tre avsnitt, huvudparten i Lärjeåns dalgång och tunnare, mindre områden i ovannämnda sprickdalar samt mossmark rund Idtjärn.

#### Angereds tunnlar, etapp II (28)

I område 24 och 26 har ett delområde av datatekniska skäl utskiljts över de tunnlar som sprängts i samband med exploateringen av Rannebergen och Angered centrum.

### 9.3 Geologi

#### 9.3.1 Berggrund

##### 9.3.1.1 Bergarter

Angered ligger inom det västsvenska gnejskomplexet (pregotium). De huvudsakliga bergarterna utgörs av gnejsgraniter, gnejser och pressade basiter med varierande sammansättning och utformning. Inslag av gångbergarter förekommer och dessa utgörs av olika slags basiska bergarter samt sparsamt uppträdande pegmatitiska och aplitiska gångar.

Berggrunden har omvandlats under olika skeden av den geologiska utvecklingen, varvid ursprungsbergarterna starkt förändrats främst i strukturellt avseende.

Gnejskomplexet stryker med ett medianvärde av omkring N 8° W och stupar medelbrant mot väster. De olika bergartsleden ligger taktegelformigt

ovanpå varandra med ytornas normal pekande snett upp i västlig riktning.

Huvudbergarterna är

biotit-hornbländegnejs med varianterna:

- grå, slirig, hornbländeförande gnejs
- bandad-ådrad, hornbländeförande gnejs
- skiffrig-stänglig biotitgnejs

Ögongnejs: i den centrala delen förekommer ett band av stänglig ögongnejs. Den består av en grå fin- till medelkornig grundmassa med stora porfyroblastar av kalifältspat

rödlätt, salisk gnejs av följande huvudtyper:

- jämnkornig, salisk gnejs
- granatförande, salisk gnejs
- salisk gnejs med svag ådring och sporadisk ögonbildning

amfibolit: den utgörs uppenbarligen av lins-skivformade rester av intrusioner som trängt in i den övriga bergmassan.

Gångbergarterna, dvs de som i en mycket sen fas har trängt in efter skiffrighetsplan och sprickor i huvudbergarten, utgörs huvudsakligen av

- diabaslik basit (norit)
- gångformig granit
- pegmatit.

#### 9.3.1.2 Tektonik

Uppmätningen av spricktekoniska data har främst koncentrerats till vägskärningar. Fältarbetet har kompletterats med arbete på storskaliga kartor. I stora drag finns ett mycket markant system sprickor med vertikal stupning och med strykning  $N 70^{\circ} W$  och ett annat med strykning  $N 10^{\circ} W$  med medelbrant västlig stupning. Även system med omkring  $N 45^{\circ} E$ ;  $60 - 90^{\circ} SW$  förekommer.

Utmed sprickplan och i rörelsezoner förekommer vanligen lermineraliseringar. Främst förekommer de i biotit-hornbländegnejsen och där kan lerlagren vara upp till 1 m tjocka. Lerorna består enligt röntgenanalyser av montmorillonit och vermikulit, men även illit, kaolinit, klorit etc kan identifieras. I de flesta fall kan inga större rörelser mellan sprickplan spåras till tiden efter det att lerutfyllnaden bildats.

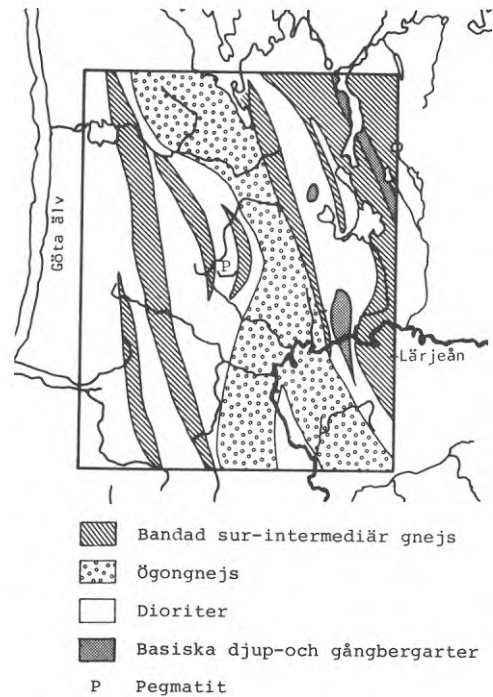


FIG 9:4  
Schematiserad berggrundskarta över Angeredsområdet.

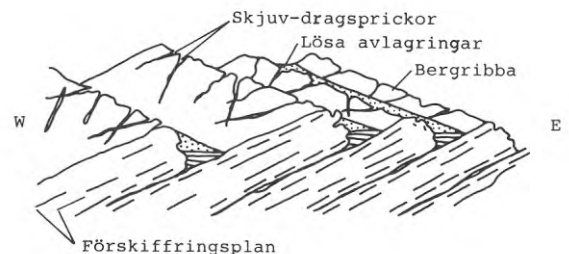


FIG 9:5  
Principskiss över berggrundens spricktekoniska utformning i Angeredsområdet.

Sprickor och rörelsezoner inom Angeredsområdet är vanligen starkt sammanpressade eller fyllda med lermineral. Särskilt är de lutande sprickorna och krosszonerna starkt sammanpressade. Detta gäller generellt. Därför är också grundvattenmängden i berget liten.

Ett markant undantag utgör den kraftiga zon som i öst-västlig riktning sträcker sig från Steken vid Göta älv i väster bort mot Rannebergen och Lärjeåns dalgång. Zonens mäktighet framgår bl a av de seismiska refraktionsmätningar som gjorts. Denna zon utgör ett tydligt låghastighetsparti ( $2.800 \text{ m/s}$ ) att jämföra med angränsande bergpartier ( $5.500 \text{ m/s}$ ). Zonen är starkt vattenförande.

### 9.3.2 Jordlager

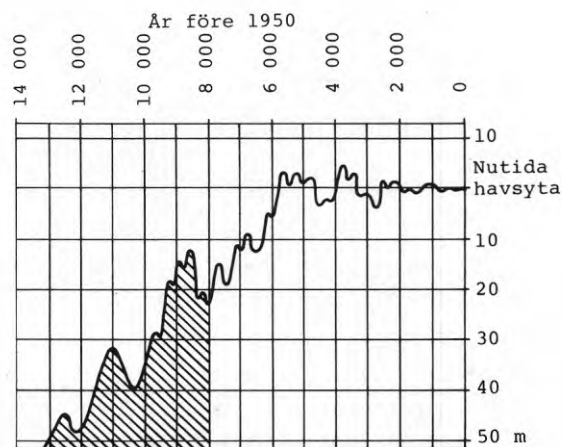
#### 9.3.2.1 Geologisk bakgrund

De lösa avlagringarna utgörs huvudsakligen av leror och morän. Då tolkningen av flera byggnadstekniska frågeställningar är nära förknippad med olika sediments avsättningsmiljö lämnas först en kort redogörelse för isavsmältningens förloppet över Angeredsområdet.

När den senaste inlandsisen bredde ut sig över västra Sverige hade den över Göteborgstrakten en rörelseriktning mot SV och t o m mot V och kom därigenom i Angeredsområdet att mer eller mindre tvära bergryggarna. När isen i slutskedet blev tunnare än den relativa höjdskillnaden i berggrundstopografin övergick den successivt till att helt följa dalgångarnas riktningar. Denna ändring av isrörelseriktningen kom att få betydelse för bl a moränens mäktighet och utbredningsförhållanden.

Landisen avsmälte inom Göteborgsområdet för drygt 12.000 år sedan. Endast få säkra dateringar föreligger från detta skede och även israndens sträckning och rörelser under denna tid är knapphändigt kända. Av genetiskt stor betydelse är emellertid att finsedimenten i Angered är avsatta i anslutning till och ö om Röseredsplatån. Röseredsplatån är en för trakten ovanligt mäktig israndbildning, som troligen utgör en del av ett israndstråk som kallas Göteborgsmoränen. Denna randbildning har utbildats under ett stagnationsskede i isavsmältningens förloppet. Under nämnda skede har isranden i stort legat nästan stilla under flera 10-tals, eventuellt 100-tals, år men på grund av klimatfluktuationer dragit sig österut under varmare klimatförhållanden och återigen ryckt fram till Rösered under ett påföljande kallare skede. Under en serie sådana isrörelser har Röseredsplatån byggts upp. Liknande bildningar av en oscillerande isrand förekommer t ex vid Angered kyrka, Bergum, Målöga och Gråbo. Möjligen kan lerorna i Angered under någon av dessa isoscillationer har varit täckta av ett istäcke, men några säkra bevis för detta har hittills inte framträtt.

Det är ett välkänt förhållande att den senaste landsisen över Västsverige efterlämnade endast obetydliga kvantiteter av morän. Så är också fallet i Angered. Hittills utförda karteringar



Havsyntans nivåförändringar under de senaste 13 000 åren (efter FAIRBRIDGE 1961).

FIG 9:6

Havsyntans nivåförändringar under de senaste 13.000 åren (efter Fairbridge 1961). Observera att i denna kurva är ej västkustens landhöjning medräknad.

och borrhningar visar ett mycket tunt moräntäcke eller avsaknad av sådant. Små förekomster påträffas i smala dalstråk, i sprickor och sänkor i berget eller som ett tunt och vanligen fläckvis utbrett skikt på flackare bergpartier. I enstaka fall förekommer moränavlagringar av några meters mäktighet vid foten av bergsluttningarna.

Isavsmältningens förloppet är som ovan nämnts inte känt i detalj och tolkningen av vissa lagerföljders genes kan därför till viss del bli något osäker. Vid tiden för isavsmältningen i dessa trakter begränsades emellertid iskanten västerut av Västerhavet (= Skagerrak) och så förblev det tills isranden dragit sig så långt öster- och norrut som till i höjd med södra Värmland. Detta innebar att Angeredsområdets finsediment avsattes i ett flera tiotal meter djupt, mer eller mindre salt vatten. I den fjärd som då täckte större delen av Angeredsområdet avsattes det från isälvarna medförda slammet under en tidrymd av drygt 4.000 år. Under denna tidrymd ägde givetvis betydande fluktuationer av vattendjupet rum, varför kornstorleken i skilda skikt och lager i sedimentlagerföljden kan variera högst avsevärt.

Under och efter isens avsmältning började den av landisen nedtryckta jordskorpan att återgå till ursprungsläget. Detta skedde till en bör-

jan relativt snabbt (ca 15 m/100 år) och därefter med avtagande hastighet och den nuvarande landhöjningshastigheten är ca 20 cm/100 år. Samspelet mellan landytans höjning och den varierande havsytan vid den tid då Angeredsområdet (nuvarande höjd över havet 30 - 120 m) reser sig ur havet är inte känt annat än i mycket stora drag. En hypotes om havsytsvariationerna från tidsperioden 13.000 - 8.000 BP (BP = före 1950) framgår av figur 9:6. Av figuren framgår havsytans absoluta variationer - landhöjningen får sedan överlagras för att få verklig strandförskjutning. Enligt denna figur har Angeredsområdet, i likhet med områden på motsvarande nivåer, utsatts för minst ett par transgressioner (stigande kurva) avbrutna av betydande regressioner (fallande kurva) under nämnda tid.

Under regressionen, som ägde rum från tiden för utbildningen av marina gränsen, skedde en betydande vågerosion av de lösa avlagringarnas ytlager, ty området låg ganska väl exponerat för vågor från väster. Det tunna jordtacket på bergslutningarna gav emellertid endast upphov till tunnare skikt av grovsediment vid foten av bergsidorna och de sk landhöjningssedimenten har därför en obetydlig utbredning inom området.

#### 9.3.2.2 Grundundersökningar i Angereds centrum

Grundundersökningarna i Angereds centrum har i flera olika etapper utförts dels av konsulterande företag, dels av stadens egna förvaltningar.

Undersökningarna har till större delen utgjorts av sonderingar. Vid större jordlagermäktighet än 15 à 20 meter har dessa i många fall måst avbrytas innan fast botten nåtts på grund av för stort neddrivningsmotstånd.

I övrigt har grundundersökningarna utgjorts av spad- och skruvborrningar, upptagning av ostörda jordprover med standardkolvborr och bestämning av skjuvhållfasthet in situ med vingborr.

Inom vissa partier i området har i samband med STEGA:s undersökningar enstaka kompletterande undersökningar utförts. Dessa har i huvudsak utgjorts av en kolvborrning samt skruv- eller kannborrningar.

De genomförda undersökningarna är relativt översiktliga, varför detaljerade uppgifter om jordlagren och jordmaterialens egenskaper inte kan ges.

Lagerföljden är i stora drag som regel överst någon decimeter matjord, därunder någon eller några meter fast, relativt moig torrskorpelera. I sankmarkspartierna i områdets nordöstra del vid Gunnaredsbergen utgörs ytlagret i stället av organiskt material.

Torrskorpeleran underlagras av efter Göteborgsförhållanden mycket fast lera, som lokalt har hög mohalt. I leran förekommer i vissa lager rikligt med tunna moskikt. Lerans mäktighet varierar i hög grad, men ökar i stora drag mot söder ner mot ravinområdena och Lärjeån. Under leran finns i regel ett relativt tunt friktionsmateriallager, som troligen utgörs av mo och/eller sand eller eventuellt morän. Inom vissa delar är bedömningen den att friktionsmaterial fattas och leran vilar direkt på berg.

Närmast högpardier, där jordlagrens mäktighet är ringa, överväger friktionsmaterialen. Ofta är dessa överlagrade av torrskorpelera där jordlagermäktigheten är större. I vissa partier finns också torrskorpelera, som vilar direkt på berg.

I sandmarkpartierna består marken huvudsakligen av 1 meter filtad dytorv på dyig mo och sand och under detta morän eller berg. Maximala djupet till fast botten bedöms vara endast ca 3 m.

#### Jordarternas egenskaper

Den moiga sand eller sandiga mo som underlagrar leran och som utgör de huvudsakliga lösa avlagringarna närmast höjdpardier har som regel låg vattengenomsläpplighet. Detta påverkar infiltrationen av nederbörd, varvid det kan tänkas att häftiga regnflöden eller avsmältning till stor del avrinner som ytvatten.

Torrskorpeleran vars tjocklek lokalt kan uppgå till ca 5 meter har mycket hög hållfasthet - upp till 10 à 15 Mp/m<sup>2</sup>. Dessa värden har uppmätts med vingborr - kolvborrvärden är som regel något lägre. Både tjocklek och hållfasthet hos torrskorpeleran avtar söderut mot ravinom-

rådena. Torrskorpeleran är både mjällig och moig med hög volymvikt (upp till 2 ton/m<sup>3</sup>).

Torrskorpeleran underlagras av en mycket fast, styv, moig, mjällig lera. Från geoteknisk synpunkt är lerans allmänna karaktär varierande. Dess skjuvhållfasthet är hög i de norra områdena och sjunker sedan ner mot de södra, djupare lerområdena ner mot Lärjeån och raviner-

na. Likaså ökar vattenhalten och finlekstalen söderut mot ravinområdena. Även för leran inom de mäktiga lagren under torrskorpan uppvisar hållfasthetsprov med vingborr högre värden än de som erhålls med andra metoder. Hållfastheten varierar svagt i höjdlid vid stor lermäktighet och karakteristiska värden ligger mellan 5 och 8 Mp/m<sup>2</sup>.

Vattenhalten varierar mellan 30 och 55 % och finlekstalen mellan 30 och 70 %. Lerans sensitivitet understiger som regel 25 men värden upp till 50 à 60 förekommer. Extrema värden över 60 förekommer i undantagsfall.

Kompressionsförsöken visar att leran är kraftigt överkonsoliderad. Med utgångspunkt från en grundvattenyta i markytan är förkonsolideringslasten upp till ca 10 Mp/m<sup>2</sup>. Överkonsolideringen liksom även skjuvhållfastheten avtar något med lerdjupet.

Detta innebär att några nämnvärda sättningar inte blir aktuella förrän överkonsolideringslasten överskridits. Denna motsvarar ca 10 m grundvattensänkning enbart eller en kombination av överlast och grundvattensänkning som är motsvarande stor.

I de södra områdena där lermäktigheten är stor är de undre lerlagren markant sämre än de övre, särskilt vid övergången till underliggande friktionsmaterial. Skjuvhållfastheten är betydligt lägre med värden på 3 à 4 Mp/m<sup>2</sup> som karakteristiska normalvärden. Volymvikten är i linje härmed också lägre samt vattenhalt och finlekstal högre. De låga värdena kan i viss mån ha orsakats av eventuella störningar vid provtagningen.

Av kompressionsproven att döma är även denna djupare belägna leras förkonsolideringsgrad relativt hög. Detta bedöms även framgå av resultaten från mätningar som utförts genom provpumpningar och samtidigt mätning av porvattentrycken och sättningarna under hösten 1972. De sistnämnda provningarna har utförts av Bo Alte AB på uppdrag av Göteborgshem, Göteborg.

Vid pumpningen sänktes vattentrycket i det underliggande sandlagret nästan omgående. I lerlagret skedde också en snabb grundvattensänkning, speciellt i dess undre del. I mitten och

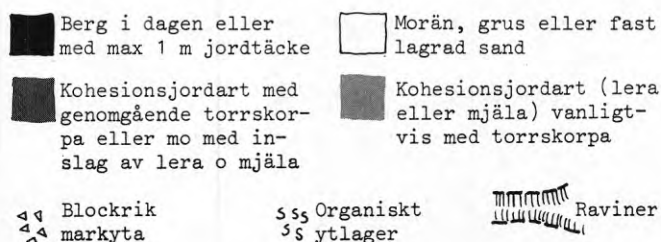
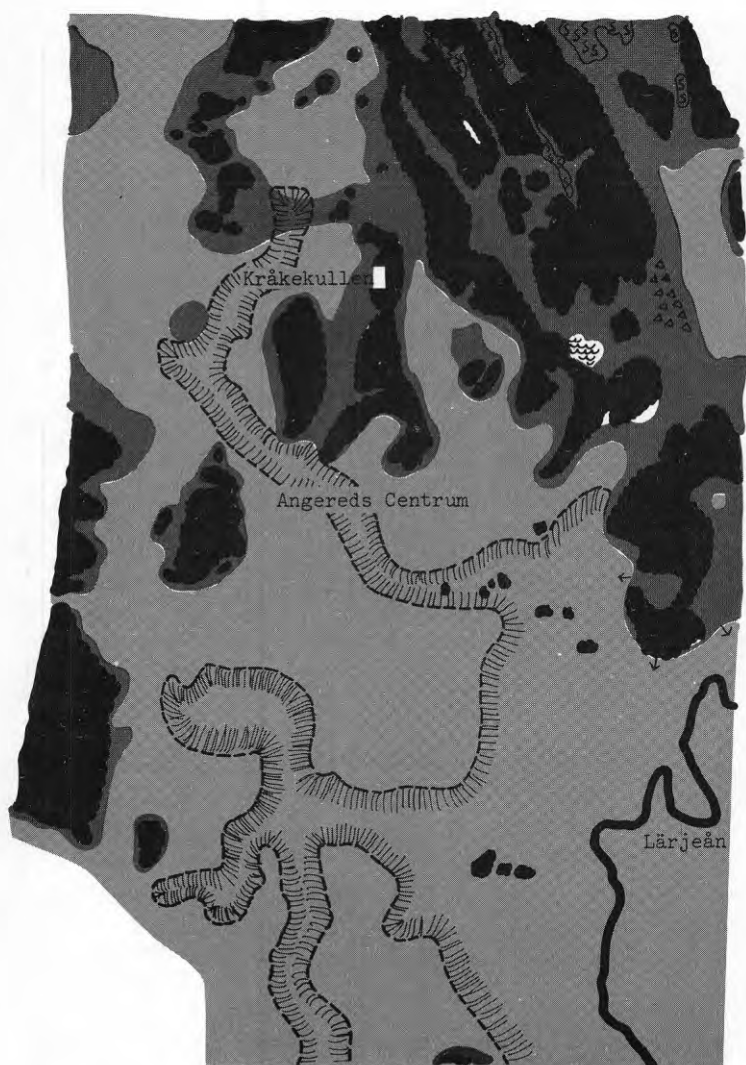


FIG 9:7

Markteknisk karta över Angeredes centrum.

övre delen av lerlagret blev förändringen långsammare. Slutsatsen av försöket är, att eftersom porvattentrycket sjönk så snabbt, ligger den påförda lasten (20 m grundvattensänkning) inom överkonsolideringslasten, dvs en överkonsolidering av minst 15 - 20 Mp/m<sup>2</sup> kan förutsättas.

Beträffande sättningar på grund av eventuell grundvattensänkning eller överlast gäller således i huvudsak det som nämnts ovan.

Med hänsyn till ovannämnda provningars relativt ringa omfattning bedöms det dock vara lämpligt att lerans sättningsegenskaper närmare utreds i samband med projektering av området.

I de södra områdena visar också lerproverna att skikt av sensitiv eller t o m högsensitiv lera förekommer. Även detta är värt speciell uppmärksamhet i samband med områdets projektering.

#### Geotekniska problem

De båda väsentliga geotekniska problemen vid exploatering av lerområden berör sättningar och stabilitet. Sättningarna är främst beroende av lerans egenskaper, överlastens storlek, grundvattensänkningarna samt det tekniska utförandet av anläggningar och byggnader.

För Angeredes del är frågetecknen stora och de hittillsvarande utredningarna har i princip endast klargjort en enda sak. Det är att grundvattensänkningarna kan bli mycket stora - ingen som helst garanti finns för att överkonsolideringstrycket inte överskrids även i de norra områdena.

Utredningarna visar dessutom att leran (sannolikt även på stora djup) är relativt starkt förkonsoliderad. En kompletterande undersökning som föregår byggandet bedöms dock vara lämplig för de södra områdena där lerans mäktighet är stor.

Innan frågan om sättningarnas tänkbara storlek i de södra områdena är noggrant och grundligt utredd kan bebyggelse där överhuvudtaget inte ske. För de norra delarna är problematiken enkla och bebyggelse kan där planeras om nödvän-

diga kompletterande undersökningar görs och om erforderlig varsamhet med hänsyn till tänkbara sättningar iakttas.

Inom ravinområdena förekommer även stabilitetsproblem. Vid de djupt eroderade ravinerna längs Lärjeån är ravinslänterna oftast instabila. Här måste stabiliseringsåtgärder utredas i god tid innan byggande planeras. Tänkbara lösningar är avsläntningar, utfyllnader, givetvis i kombination med lämpliga säkerhetsavstånd för byggnationen.

I vissa partier längs Lärjeån kan erosionsskydd behöva anbringas. En mer detaljerad utredning härom måste utföras i samband med den översiktliga projekteringen. Lerans skjuvhållfasthet är i regel så god att stora uppfyllnader i ravinerna och längs Lärjeån bör kunna accepteras.

#### 9.3.3 Geologisk områdesindelning

Med hänsyn till markförhållandena inom Angeredes centrum har den byggnadsgeologiska indelning som tillämpats i Botkyrka ej kunnat följas. Angeredskartan är snarare en geoteknisk karta eller en "markteknisk".

#### 9.3.4 Grundundersökningar i Lövgärdet

Grundundersökningarna i Lövgärdet har följt samma mönster som i Angered centrum. Den geologiska uppbyggnaden är snarlik den i centrumområdet med tillägg för den relativt stora mosse (upp till 7 m djup) som bildats i sänkans centrala del.

### 9.4 Hydrologi

#### 9.4.1 Allmänt

Göteborg och dess omgivningar tillhör det område som kallas "det maritima västkustområdet", och vilket sträcker sig från Falsterbo i söder till nordligaste Bohuslän, men blott några få mil in i landet. Detta lokalmaritima klimat kännetecknas av relativt milda vintrar och svala somrar. Högsta månadsmedeltemperaturen, ca 17°, har juli månad och lägsta infaller i januari-februari med omkring -1°. Årsmedeltemperaturen är omkring 7° i detta område.

#### 9.4.2 Nederbörd, ytvatten, avdunstning

Medelnederbörden i Göteborgstrakten varierar mellan 700 och 800 mm/år med ökad mängd från kusten och österut. Nederbördsmaximum inträffar normalt under augusti månad, vanligen följt av ett sekundärt maximum under oktober månad. Utpräglade minima förekommer i februari-mars.

Årsnederbörden utgörs till 15 à 20 % av snö. Snötäcket är vanligen mindre än 20 cm och varar i medeltal 70 dagar/år.

Avrinningen från Mjörns tillrinningsområde (Säveåns vattensystem) är i medeltal ca 13 l/s, km<sup>2</sup> enligt Melin (1954), vilket motsvarar ungefär 400 mm nederbörd. Sommartid är vattenföringen utpräglad låg men stiger med ökad nederbörd under hösten för att kulminera under december.

Årsmedelvärdet av den totala avdunstningen för det närbelägna Säveåns avrinningsområde är enligt Tamm (1959) ca 370 mm.

#### 9.4.3 Grundvatten

Undersökningsområdet omfattar fem avrinningsområden, varibland tre till större delen upptas av lerfyllda större sänkor. I det norra området,

Lövgärdet, utgör den centrala sänkan ett naturligt uppsamlingsmagasin, vilket dräneras till Göta älv i nordväst. Gränzonen mot område 24, Angered centrum, i söder är ganska flack och lerfylld, varför grundvattnets strömningsbild här är diffus.

Det stora vattendraget som ingår i det största området, 24, dräneras av två bäckar åt öster, har bergslutningar i väster, nordost och sydost som naturliga tillrinningsområden. Södra begränsningen är liksom den norra ett flackt lerparti med diffus strömningsbild. I sydväst avgränsar den sk Rösereidsplatån, med nord-sydlig bergkärna, mot område 25, Rösereid.

De två små avrinningsområden som urskilts inom område 26, Rannebergen, sluttar i stort sett mot Lärjeån i söder. I områdena utgör tre smärre sjöar och tjärnar lokala uppsamlingsmagasin. Det östligaste avrinningsområdet har tidigare varit betydligt större med flera sjöar, vilkas magasin har förbundits med Surtesjön.

Rösereidsområdet, nr 25, avvattnas i stort sett västerut till Göta älv. Området innehåller större delen av Rösereidsplatån, en randbildning uppbyggd av isälvsmaterial. Platån ligger högt i terrängen och har på grund härav och "innehållet" av mycket ojämn bergkärna inte utgjort något större grundvattenmagasin. Platån har sedan länge använts som grustäkt och är nu praktiskt taget uttömd på användbart grusmaterial.

#### 9.5 Exploatering

##### 9.5.1 Huvudlinjer

År 1968 upprättades en översiktsplan, Generalplan för Angered-Bergum, enligt vilken invånarantalet i hela området beräknades till 130.000-150.000 personer vid framtida full utbyggnad. Den i första hand utbyggda och planerade delen omfattar en del av Angered med en beräknad folkmängd år 1980 på 60.000 personer.

Undersökningsområdet omfattar de nu till stor del bebyggda bostadsområdena Hammarkullen, Gårdsten, Lövgärdet och Rannebergen. Inom centrala Angered planeras för närvarande ytterligare bostadsbebyggelse bl a Gunnaredsbergen samt centrumanläggning, Angereds Centrum (se plan, FIG 9:9).

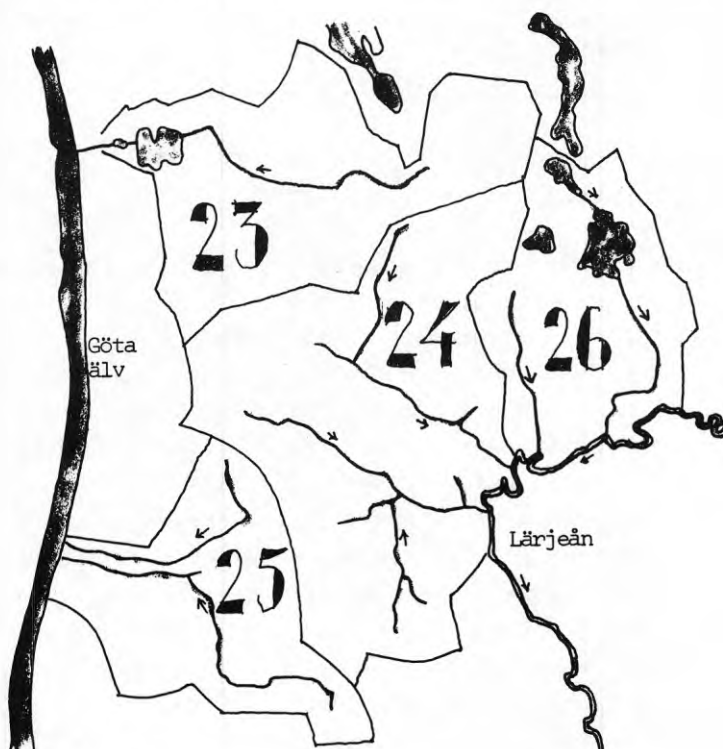


FIG 9:8

Avrinningsområden Angered

### 9.5.2 Tunnlrar i stället för ytliga ledningsnät

Vid projektering av ledningssträckningar visade det sig vara svårt att erhålla permanenta lägen för ledningar mellan olika bebyggelsecentra. Detta gäller speciellt vid trafikplatserna, där det ej gick att finna ekonomiskt försvarbara lösningar. Vidare försvårar de mindre gynnsamma grundförhållandena en ledningsdragnin på konventionellt sätt.

Av denna anledning undersöktes möjligheten att dra fram huvudledningar i bergtunnlar. Genom att förlägga flera ledningar i samma tunnel, s k gemensamhetstunnel och genom att bygga ut spillvatten- och dagvattentunnlar med självfäll befinns bergtunnelalternativet vara ekonomiskt lämpligt.

Spillvattentunneln utgör en del av Göteborgsregionens Ryaverksaktiebolags huvudtunnelsystem. Förutom Angered-Bergum avses detta betjäna ytterligare delar av Göteborgsregionen.

Dagvattentunneln, även kallad Lärjeåttunneln, är dels avsedd för avledning av Lärjeåns högvattenföring, dels för dagvatten från Rannebergen, Angereds centrala delar och södra Gårdsten.

Bergtunnlarna har hittills byggts ut i två etapper. I etapp I byggdes det tunnelsystem som betjänar bostadsområdena Hammarkullen, Gårdsten och Lövgärdet och i etapp II tunnlar genom Angereds Centrum för att i första hand ansluta Rannebergen (se plan, FIG 9:9).

Matning av de enskilda områdena till gemensamhetstunneln sker genom stigorter från tunnlar och delvis via permanenta tillfartstunnlar. De senare har under byggnadstiden använts som uttransporttunnlar för bergmassorna.

De geologisk-tektoniska undersökningarna har haft översiktlig karaktär då det i förhållande till stadsplanemässiga synpunkter, tekniska krav och rådande berggrundsförhållanden gällt att finna optimalt fördelaktiga tunnelsträckningar.

Detaljerade geologisk-tektoniska undersökningar har utförts i anslutning till mera definitivt förslag till sträckningar. I samband med de geo-

logiska undersökningarna gjordes seismiska mätningar och jord-bergborrningar.

Bergtunnlarna inom Angered har systematiskt karterats efterhand som utsprängningen avancerat. Karteringarna har utförts med avseende på bergarter, tektonik, förekomst av lermineraliserade sprickor och vattenläckage.

Tunnelkarteringarna visar att den framlagda prognosen över bergkvaliteten inom de olika bergtunnlarna med några undantag överensstämmer med de verkliga förhållandena.

Totalt förutsågs att: 7,1 % av den totala sträckningen av gemensamhetstunneln behövde särskild förstärkning. I verkligheten fick 10,5 % förstärkas. Motsvarande siffror för spillvattentunneln var 5,7 respektive 9,3 %.

Dagvattentunnelns läge ändrades i ett sent skede, varför någon jämförelse inte kunde göras.

Vid tunnelkarteringarna har på grundval av inläckningsgraden gjorts en uppdelning av grundvattenläckagen i tre klasser.

Klass	I	II	III
Benämning	Svagt dropp	Kraftigt dropp - rinnande	Rinnande - spolande
Motsvarande l/s	≤ 0,01	0,01 - 0,5	> 0,5

Läckningen i tunnelsystemet har totalt sett varit liten. Förinjektering har därför inte använts.

I samband med tunnlaras utsprängning har dessutom berget driftsförstärkts med betongsprutning inom avsnitt med försämrad sammanhållning. Efterinjektering av tak och väggar samt hela tvärsektionen har utförts efterhand som utsprängningen fortgått. Även efter sprängningarnas slutförande har injektering skett i relativt stor omfattning. De största grundvattenläckagen har förekommit i samband med tektoniska zoner, speciellt inom Angereds centrum och i Rannebergen. I övrigt har läckagen varit av typen vattenförande småsprickor. Vägledande för injekteringens omfattning och tekniska utförande har varit erfarenheter från liknande arbeten i centrala Göteborg (se kap 9). För närvarande (1973) bedöms läckningen vara helt obetydlig.



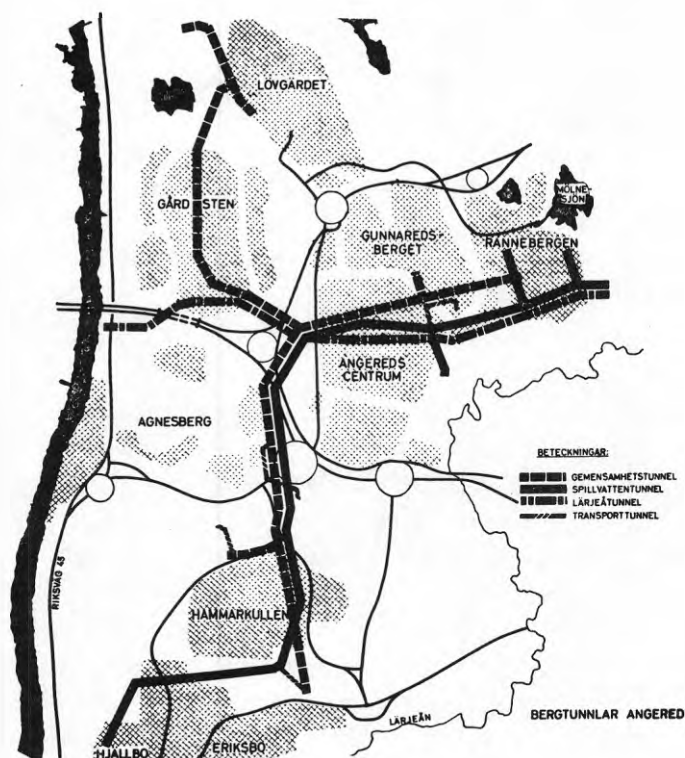


FIG 9:9

### 9.5.3 Några fall där grundvattenproblemen påverkat byggplaner och utförande

Tunnlar har kanske motiverats mer av direkt byggekonomiska överväganden i Angered än fallet var i Botkyrka. Exempelvis behövde spontning för ledningsgravar inte medräknas i Angered.

Diskussionerna om grundvattnets långsiktiga av-sänkning och de kraftiga reaktioner som bergrören i tunnlaras närhet uppvisade ledde till beslut om bevarande av infiltrationsmark i största möjliga utsträckning. Sålunda har en hel del slänter med friktionsmaterial i det centrala Angered lagts ut till parkområden.

TAB 9:10  
Omfattningen av tunnelarbetena i Angered

	Etapp I		Etapp II	
	sektion, m <sup>2</sup>	längd, km	sektion, m <sup>2</sup>	längd, km
Gemensamhetstunnel	15-38	6,5	12-18	1,9
Spillvattentunnel	6	4,7	6	2,3
Dagvattentunnel	20	1,8	20	2,4
Tid	aug 1967-aug 1970		aug 1970-juli 1972	

Den sammanlagda längden är ca 20 km vartill kommer transporttunnlar med varierande area och längd.

Stora lerdjup samt risk för stor grundvatten-sänkning bedömdes föreligga i södra delen av centrum. Området bebyggs därför i avsevärt mindre grad än vad som skisserats i generalplan.

## 9.6 Mätprogram

### 9.6.1 Avrinning

I Angered har avrinningen mätts i de fem bäckar som avvattnar huvuddelen av området. I april 1969 upprättades mätstationer med V-format överfall av Thomsontyp. Dessa har varit i drift till december 1972 med undantag av delar av vinterperioderna då is förhindrat korrekt mätning. De registrerade kurvorna har bearbetats med samma rutiner som Botkyrka-materialet.

### 9.6.2 Grundvatten

Grundvattenobservationer påbörjades i november 1967 av Göteborgs stads vatten- och avloppsverk med nivåmätning i ett femtiotal brunnar i jord och berg i västra delen av det senare aktuella undersökningsområdet. Hösten 1968 utfördes tre bergborrhål i område 28, Angeredstunnlar etapp II, och antalet brunnar utökades till ca 70.

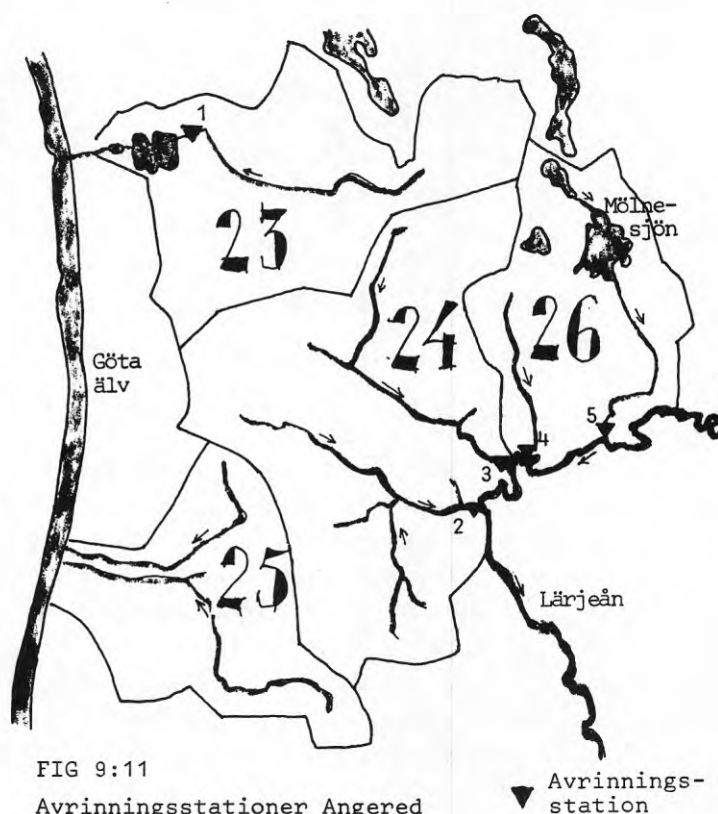


FIG 9:11  
Avrinningsstationer Angered

Mätningarna övertogs i december 1968 av STEGA. I centrumområdet drevs under januari 1969 ett tiotal rör för att så tidigt som möjligt få observationsdata.

Under våren och sommaren 1969 utfördes rördrivning och bergborrning i Lövgärdet - 15 rör i jord, en portryckmätare och 11 bergborrhål. Huvudparten av jordrören är placerade i skruvborrhål med tätande plaströr i markytan för att förhindra ytvatteninläckning. Bergborrhålen är 75 eller 100 m djupa och placerade så att de på några tiotal meters djup passerar genom en större krosszon.

I övriga delen av undersökningsområdet utfördes borrningar under hösten 1969. Femton rör i jord och lika många bergborrhål utfördes efter samma principer som i Lövgärdet. Grundvattennivåmätningar utfördes i brunnarna en gång per månad. I och med att rördrivningar påbörjats förtätades avläsningarna till en gång per vecka. Bergborrhålen har varit försedda med kontinuerligt skrivande peglar fram till januari 1971, då mätningssintensiteten av ekonomiska skäl fick minskas till en gång per månad. För område 28, Angeredstunnlar etapp II, gjordes ett undantag och där skedde avläsningar två gånger per månad. Under 1972 utglesades avläsningarna ytterligare till att omfatta tio gånger per år.

### 9.6.3 Sättningar

I område 24, Angeredts centrum, utplacerades i augusti 1971 15 markpeglar. Dessa har avvägts en gång per kvartal. Under två år (1971-1973) har maximal sättning, 13 mm, uppmätts över tunnelsträckningen söder om Kråkekullen.

### 9.6.4 Hydrokemi

Under hösten 1969 och våren 1970 togs sporadiskt vattenprov ur flertalet av då existerande brunnar och rör. Vid bergborrning har såvitt möjligt tagits vattenprov på varierande nivåer med hänsyn till krosszoner och vattentillgång. Sedan sommaren 1970 har vattenprover tagits i 25 utvalda brunnar, rör och bergborrhål samt i Surtesjön en gång per kvartal. Analyserna har utförts av Göteborgs stads vatten- och avloppsverk.

#### 9.6.4.1 Allmänt

Hydrokemin i området bör präglas dels av närheten till havet - luftborna salter - dels av i sediment och sprickor i berget inneslutna rester av havsvatten från den tid området legat under havets yta.

Beträffande luftburna salter är kloridhalten en bra indikator. Surtesjön håller ca 13 mg/l vilket, med hänsyn till det ringa tillrinningsområdet, torde motsvara nederbördens klorid höjd dels genom torrt utfall av saltpartiklar, dels genom avdunstning från sjön. Grundvatten som infiltrerat över skogbeväxta områden kan förväntas ha något högre kloridhalt framför allt på grund av den effektiva uppfångningen av saltpartiklar från havet som vegetationen förorsakar - en tillförsel som torde vara minst lika stor som den med nederbörden tillförda. Följaktligen bör man i detta fall vänta sig något högre kloridhalt än i Surtesjön, säg kring 20 mg/l.

Kloridkoncentrationer avsevärt högre än de ovan angivna tyder på avsevärda bidrag från inneslutet havsvatten. Dessutom tyder de på att sådant grundvatten varit praktiskt taget stagnant under en lång tidrymd. Omsättningen - grundvattenrörelsen - har varit obetydlig. I den mån man ser systematiska förändringar i tiden av dessa koncentrationsnivåer tyder detta på att grundvattnet satts i rörelse av förmodligen mänskliga ingrepp, exempelvis tunneldrivning, som åstadkommit dränering.

Redogörelsen i det följande har begränsats till sådana grundvattenrör där en längre observationsserie varit tillgänglig. I regel sträcker den sig från 1970 till slutet av 1972 med 3 à 4 prover per år.

De olika delområdena i Angeredsområdet diskuteras var för sig.

#### 9.6.4.2 Lövgärdet

Nio rör representerande längre serier har utvalts nämligen 304, 306, 307, 309, 402, 403, 407, 410 och 416. Ett frekvenshistogram över samtliga kloridhalter återfinns i fig 9:12

Klassindelningen är gjord med logaritmiska intervall då erfarenheten visat att kloridhalter i grundvatten inom homogena områden närmar sig en log-normalfördelning. Man ser tydligt två väl skilda fördelningar, den ena centrerad i klassen 13-15 mg/l, den andra i klassen 252-312 mg/l. Den senare representerar tämligen kraftig påverkan av fossilt havsvatten, medan den första är Surtesjövatten-typ. En viss utbredning mot högre koncentrationer förekommer, troligtvis beroende på svagt tillskott av fossilt havsvatten.

Utvecklingen i tiden av kloridhalter är av visst intresse i samband med de tunneldrivningar som pågått. FIG 9:13 och 9:14 visar kloridhaltens variation med tiden för de angivna rören. FIG 9:13 visar rören med "låg" kloridkoncentration och FIG 9:14 de med "hög" koncentration. På bägge diagrammen har rör 416 medtagits. Det representerar ett rör där en ny, salthaltig grundvattenmassa inkommit under 1972 förmodligen på grund av de rörelser som framkallats genom tunnelbyggena. Som synes går rören 307 och 407 i motsatt riktning; i dessa ändras grundvattnet mot "sötare" typ.

FIG 9:13 är intressant också i det avseendet att koncentrationerna i de "låga" rören sjunker mot ett medelvärde som ligger nära Surtesjöns värde. Det är troligt att grundvattenströmningen accelererats genom tunnelbyggena och att troligen Surtesjön försörjer denna del av grundvattenmagasinet. Det är möjligt att även rör 307

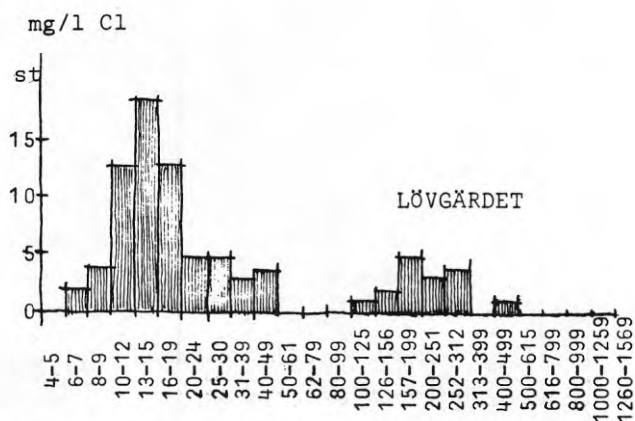


FIG 9:12  
Frekvenshistogram över kloridhalten i nio rör i Lövgärdet.

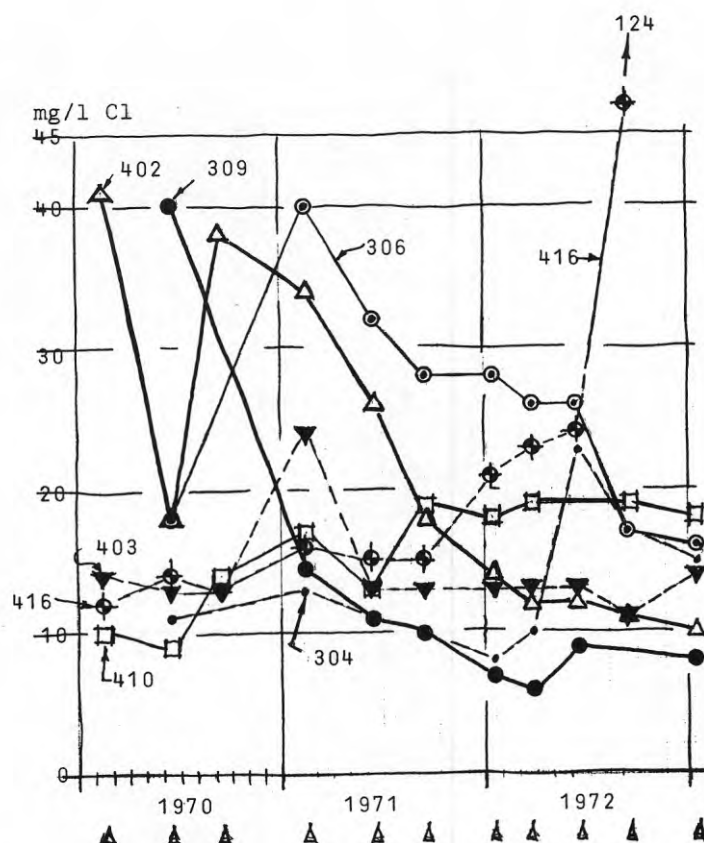


FIG 9:13  
Kloridhaltens tidsvariation i Lövgärdet.

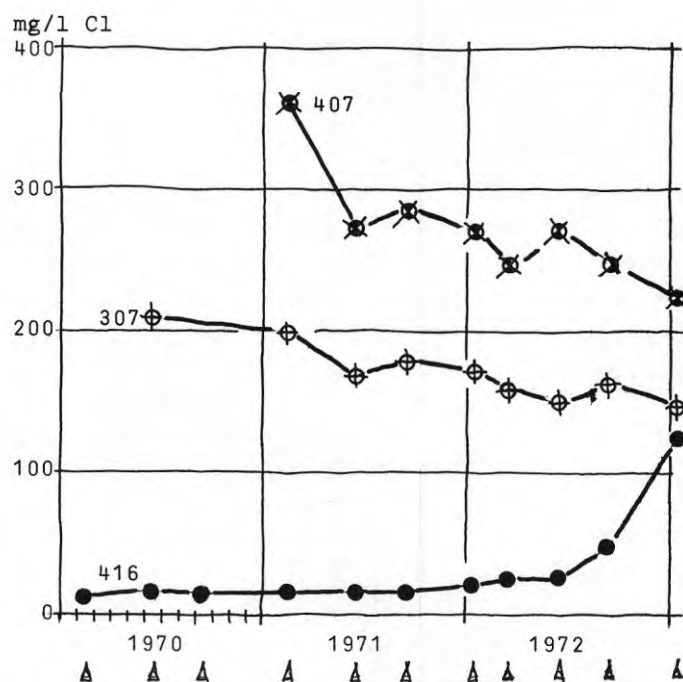


FIG 9:14  
Kloridhaltens tidsvariation i Lövgärdet - rör med höga halter

TAB 9:14

Medelvärden av kemiska egenskaper hos grundvatten inom Lövgärdet

Rör nr	mg/l							mekv/l Alkalitet	pH	$\mu$ S/cm EL-kond	mg/l Fe	Arm
	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>					
304	1,1	8.3	5	2.7	13.1	13.2	0.74	0.171	6.0	101	2.83	
306	2.9	26.9	11	4	25.7	7	<0.1	1.25	7.84	214	6.23	
309	3.5	21	13	5	13	6	<0.1	1.71	7.1	211	7.53	
402	4.0	30.4	19.7	5.1	21.3	13.4	0.1	1.82	8.78	258	2.23	Kalkmättnad
403	1.8	9.1	6.5	3.5	14.0	5.1	0.12	0.73	7.27	121	1.05	
410	2.4	9.8	5.8	4.5	15.6	7.7	<0.1	0.64	6.91	130	4.03	
416	3.3	37.4	60.7	15.1	29.5	18.1	<0.1	4.05	8.09	499	11.73	Kalkmättnad
307	6.3	156	16	4.8	171	58	<0.1	2.34	7.8	849	3.57	---
407	11.4	203	5	3	276	29	0.3	2.01	9.1	1007	3.64	---
Surtesjön	0.5	7	2	1	11	13	0.2	0	4.5	82	0.09	

och 407 blir utsötade så småningom; tyvärr är provtagningen efter 1972 avbruten.

Nitrathalterna har intresse såtillvida att de antyder mänsklig påverkan (från främst jordbruk och möjligen från skogsskötseln inom tillrinningsområdet). Över lag är nitrathalterna lägre än 0,1 mg/l, vilket gäller med ett undantag. I rör 304 stiger halterna från början av 1972 och når värdet 3,4 mg/l i januari 1973. Vi observerar i FIG 9:13 att i detta rör har kloridhalten stigit något mot slutet, vilket kan förklaras genom ökad infiltration av grundvatten i ängs- och skogsområden.

Kalkmättnadsgraden varierar kraftigt i de olika rören. Endast rören 307, 402, 407 och 416 visar att vattnet kommit i jämvikt med kalciumkarbonatet. I de övriga ligger jämvikten avlägsen. I rören med kalkmättnad har denna troligtvis inträffat till följd av reduktion av nitrat som höjer pH-värdet.

Medelvärden av de olika kemiska egenskaperna har summerats i TAB 9:14. Vi ser att samtliga rör har järnhaltigt grundvatten, vilket innebär reducerande betingelser inom grundvattensmagasinet.

pH-värdena varierar som synes kraftigt. Ett pH på 6,0 i denna del av Sverige med syratillförsel torde innebära ytterligare sänkning med tiden. Vi ser av tabellen att rör 304 inte skiljer sig värst mycket från Surtesjön.

#### 9.6.4.3 Angereds centrum

I FIG 9:15 ser vi frekvensfördelningen av kloridkoncentration inom området. För lägre koncentrationer finns två maxima, ett vid 13-15 mg/l och ett i intervallet 20-24 mg/l. Avsevärt högre koncentrationer, influerade av fossilt havsvatten, förekommer också över ett tämligen brett koncentrationsområde.

Tidsvariationen av kloridkoncentrationerna i de olika rören åskådliggörs av fig 9:16 o 9:17. De "låga" koncentrationerna bildar ett relativt väl samlat mönster utan egentliga trender.

Av intresse är de snabba fluktuationerna i vissa rör (111, 121, 448, 445) som tyder på avsevärda rörelser och rörelseriktningssändringar i grundvattenströmmen. Rören 127, 142 och 426 företer relativt små variationer som tyder på en relativt stationär strömning eller homogent vatten. För de "höga" koncentrationerna (FIG 9:16) kontrasterar de mycket små fluktuationerna i rör 320 mot de våldsamma fluktuationerna i rör 166. I det senare fallet måste grundvattenrörelse ha initierats i relativt stagnant grundvatten genom tunneldrivningarna.

Beträffande nitratkoncentrationer skiljer de sig avsevärt från de i Lövgärdesområdet. Endast ett par rör har tämligen låga koncentrationer, de övriga tämligen höga och starkt varierande. FIG 9:18,19 ger en bild av tidsvariationen i nit-

rathalten i de olika rören. Det föreligger som synes mycket stora olikheter mellan rören. Fyra, rören 320, 448, 426 och 429, har mycket låga halter. Rören 111, 121, 127 har relativt höga koncentrationer i början, men de sjunker tämligen stadigt mot låga värden. De övriga visar oerhörda variationer som i vissa drag är samtidigt.

De höga koncentrationerna måste givetvis bero på tillförsel från en mark som antingen är föremål för intensiv växtodling eller genom exempelvis kalhyggning får en kraftigt ökad nedbryt-

ning av organisk substans i marken. Det så tillförda nitraten följer med vid infiltrationen och ger upphov till de höga halterna. Vid starkt reducerande betingelser i grundvattenzonen kan en reduktion av nitraten äga rum förutsatt att organisk substans finns närvarande. I så fall bör alkaliniteten öka samtidigt. En studie av analysvärdena stöder emellertid inte detta. Troligtvis har nitrattillförseln skett på begränsade områden genom höga givor av kvävegödselmedel. När grundvattenrörelser framkallas genom tunneldrivning får man denna kolossala variation i nitrathalter allt eftersom de med

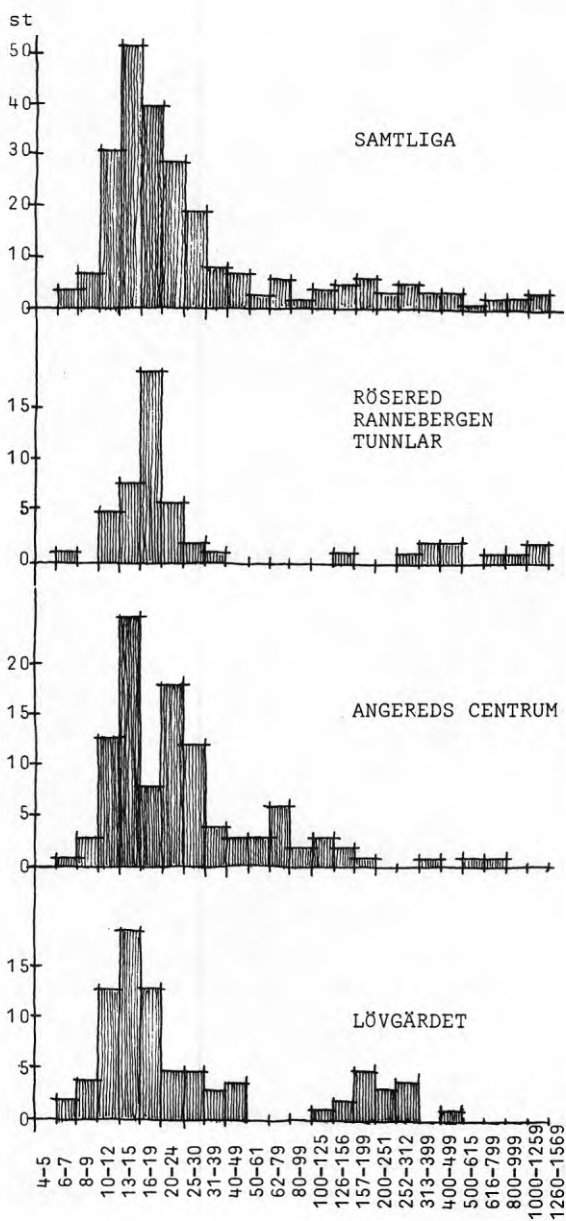


FIG 9:15

Frekvenshistogram över kloridhalten i grundvattnet.

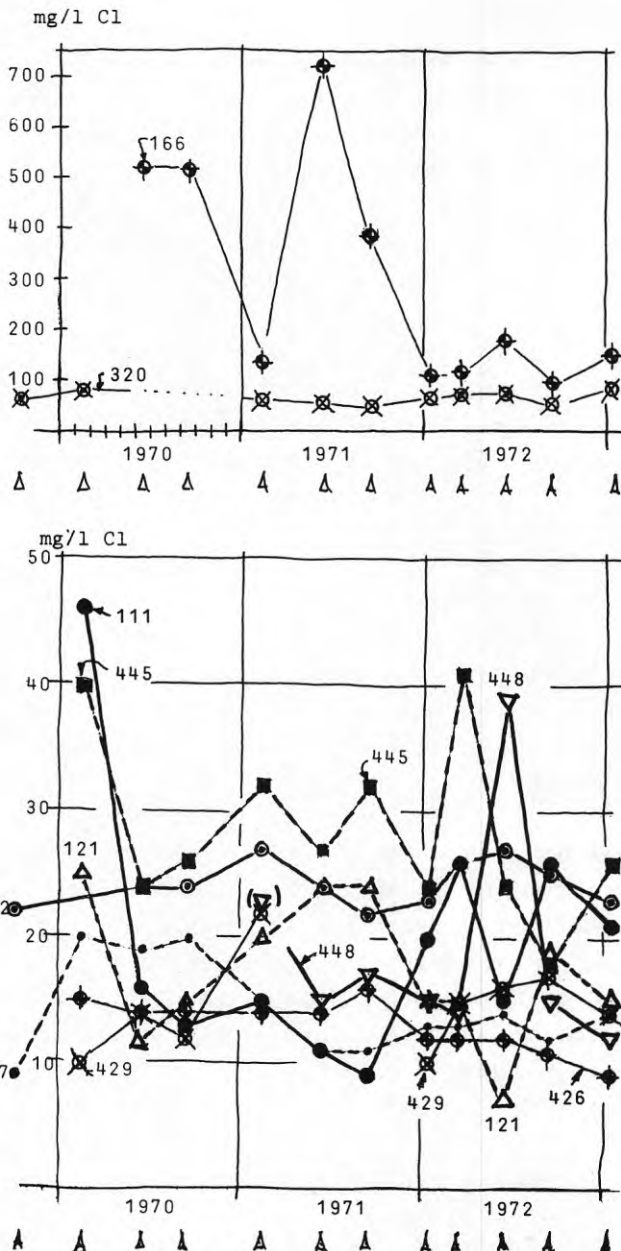


FIG 9:16, 9:17

Kloridhaltens tidsvariation i Angereds centrum

nitrat "märkta grundvattenpaket" strömmar förbi. Man märker också i proven av vatten från tunnelsystemet en stigande trend i nitrathalter.

En sammanställning av medelvärden på analysresultat för de olika rören återfinns i TAB 9:20. Vi ser genast anmärkningsvärt höga alkaliteter i vissa rör. Normalt borde dessa maximalt nå värden omkring 2 mekv/l när rotzonen är den huvudsakliga källan till den koldioxid som genom reaktioner med basiska ämnen övergår till bikarbonat. Man kan i dessa fall misstänka reduktion av nitrat och sulfat i närvaro av organisk substans. Detta kan vara fallet t ex i rör 114, där även sulfathalten är mycket låg. Rör 320 och 448 har också hög alkalinitet men kalciumkoncentrationen är anmärkningsvärt låg. Då kalkmättnad råder kan man misstänka att kalciumkarbonat utkristalliserats. Troligtvis har en hel del sulfat och nitrat reducerats även i detta vatten. Rör 426 som också visar kalkmättnad har däremot rimlig alkalinitet.

Av speciellt intresse är de låga pH-värdena i rör 127 och 142. Troligtvis är den sura nederbörden orsak till detta. Det är en smula betänkligt att dess effekt redan nått grundvattnet.

#### 9.6.4.4 Övriga rör

I Rösered finns tre rör, 146, 150 och 165, och i Rannebergenrör 437. Dessutom har prov av tunnelvatten (etapp II) tagits och getts nummerbe-teckningen 323. Slutligen redovisas Surtesjön i detta sammanhang.

Rör 165 har mycket hög kloridhalt och är typiskt dominerat av fossilt havsvatten. Även nitrathalterna i detta rör är rätt höga och varierar mellan ungefär 2 och 26 mg/l. De övriga rören (inkl tunneln) har låga kloridhalter medan nitrathalterna är relativt höga fränsett tunnelns vatten.

En sammanställning av medelvärdena återfinns i TAB 9:21. Dessa grundvattenprover skiljer sig i allmänhet ganska mycket från tidigare. Nitrathalterna är förhållandevis höga i Röseredsrören och alkaliteterna är måttliga.

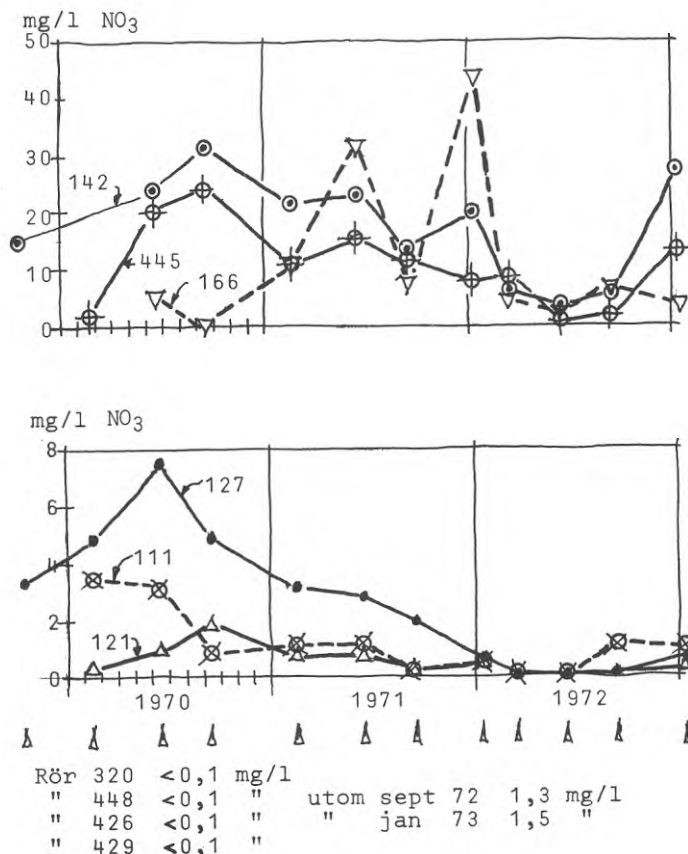


FIG 9:18, 9:19

Nitratkoncentrationens tidsvariation i Angereds centrum

#### 9.6.4.5 Sammanfattning, hydrokemi

Av analyserna att döma förekommer det en hel del fossilt havsvatten i grundvattenzonen, vilket varit mer eller mindre stagnant fram till nu. De kraftiga variationerna i olika konstituenterna tyder på att även dessa stagnanta "grundvattenpaket" satts i rörelse genom tunneldrivningen.

Tunnelproverna visar stor likhet med Surtesjöns vatten. Det är möjligt att en provpunkt är alltför litet. Man behöver givetvis en rad provtagningpunkter i ett tunnelsystem för att kvalitativt identifiera var olika grundvattenmassor läcker in i tunnelsystemet.

Tunnelvattnet är ovanligt saltfattigt. Det liknar i viss mån Surtesjöns vatten. Även pH-värdet är lågt. Tunnelvattnet verkar inte ha större frändskap med de övriga grundvattnen med undantag för vattnet i rör 127 och 142, fränsett nitrathalten. Det är möjligt att det tar avse-

TAB 9:20

Medelvärden av kemiska egenskaper hos grundvatten inom Angeredens centrum

Rör	mg/l							mekv/l Alka- litet	pH	µS/cm El- kond	mg/l Fe	Anm
	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>					
127	1.0	8.6	6.4	1.8	14.3	16.1	2.5	neg	5.24	104	0.03	
142	3.6	11.7	17.3	2.9	24.2	24.	17.1	0.03	5.55	188	0.02	
111	1.9	10.7	20.1	2.3	19.8	17.4	1.1	0.69	6.81	163	0.09	
121	2.1	9.4	15.1	3.1	17.4	16.9	0.5	0.46	6.35	145	0.02	
114	6.7	47.	89	20	45	1	<0.1	7.17	7.6	680	3.24	Kalk- mättnad
166	7.0	183	29.6	5.0	293	28.2	11.5	0.73	6.64	1000	0.50	
320	6.9	144	4	4	69	13	<0.1	4.80	9.3	672	3.84	Kalk- mättnad
448	7.4	239	6	7	18	7	0.4	10.17	8.2	930	0.77	--
445	3.3	12.6	10.4	7.8	28.5	17.9	10.7	0.71	7.26	214	0.32	
426	5.0	21.1	23.7	6.4	13	2	<0.1	2.31	8.98	239	1.51	Kalk- mättnad
429	5.0	29.1	24.5	15.9	14.4	50.4	<0.1	2.39	7.01	366	3.69	

TAB 9:21

Medelvärden av kemiska egenskaper i grundvatten från rör i Röseredsområdet, Rannebergen, tunneln och Surtesjön

Rör nr	mg/l							mekv/l Alka- litet	pH	µS/cm El- kond	mg/l Fe	Anm
	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>					
146	9.0	8.5	28.5	2.4	15.2	26.7	11.6	0.74	6.83	218	0.04	Röse- red
150	4.4	10.2	40.3	6.6	18.8	23.3	4.3	1.59	6.48	265	0.07	
165	11.8	284	69	19.8	586	37.8	14.8	0.76	6.39	1997	0.07	
437	10.0	17.5	10.8	9.4	18	11.2	<0.1	1.23	7.37	192	10.67	Ranne- bergen
323	1.1	9	8	2	18	11	0.4	0.18	6.1	110	2.22	Tunnel etappII
Surte- sjön	0.5	7	2	1	11	13	0.2	neg	4.5	82	0.09	

värd tid för det grundvatten som representeras i de flesta rören att nå fram till tunnarna som ligger tämligen djupt i berget.

#### 9.6.5 Specialundersökningar

På ett tidigt stadium av utredningarna kring byggandet i Angered uttrycktes farhågor om en eventuell underjordisk förbindelse mellan Surtesjön och den lerfyllda dalgången i de centrala delarna av Lövgärdet.

För den sakens skull anlades två nya bergborrhål nr 310 och 311, vilka tillsammans med de befintliga rören 304 och 308 fick ingå i ett mätsystem.

Tritiumanalys utfördes i de fyra rören.

Resultatet av analysen var att röret 308 nere i dalgången hade ett mycket gammalt vatten (2 TU).

Vattnet i rören 310 och 311 visade sig ha ungefär samma ålder och den varierade mellan 2 och 5 år (20 à 30 TU). Det mitt emellan belägna röret 304 hade däremot ett grundvatten av en helt annan karaktär. Vattnet var utomordentligt färskt med hög tritiumhalt. Sannolikt stod röret i direkt förbindelse med sprickzoner i berget strax ovanför. Detta förhållande, att ett gammalt vatten (i rör 310) ligger emellan Surtesjöns ytvatten och det utomordentligt färska vattnet (nära nog ett ytvatten som finns i rör 304) ansågs innebära att bergtröskeln, som ligger mellan Surtesjön och den rörgrupp som här redovisas, är tät och att således ingen hydraulisk kontakt finns mellan Surtesjön och den lerfyllda dalgången i Lövgärdet.

Eftersom det är 30 m nivåskillnad mellan Surtesjöns yta och dalens botten skulle ett vatten genom brott kunna få katastrofala följder.

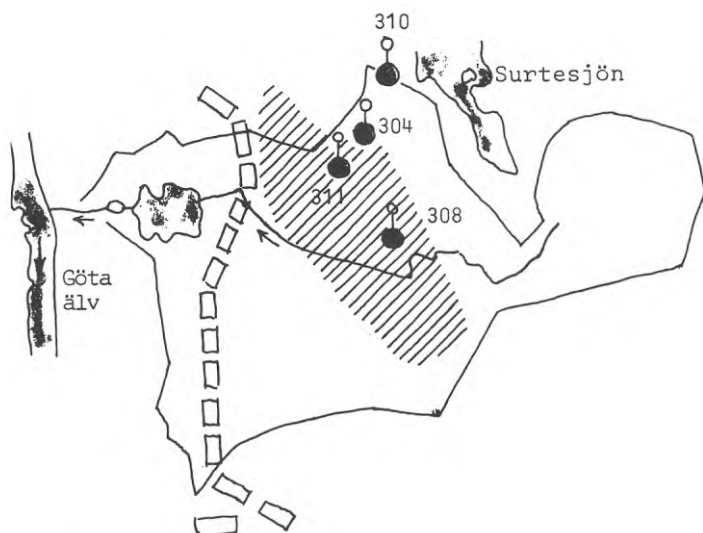


FIG 9:22

En foliekärnborrhning till 41.25 m djup har utförts i Lövgärdetsänkan. Lagerföljden där var överst 3.50 m torv, därunder lera eller siltig styv till mycket styv lera till 41.16 m djup. Underst moig morän, 0,09 m, därefter stopp mot berg eller block. Leran innehåller rikligt med tunna moskikt, 0,1 - 20 mm tjocka.

Leran har undersökts med avseende på kornstorlek och porvattnets innehåll av vissa metalljoner och kloridjoner. Preliminära resultat visar ett betydligt större joninnehåll i den nedre hälften av profilen än i den övre.

Lerproppen är för närvarande föremål för undersökning av foraminiferer vid Sveriges geologiska undersökning.

En kontinuerlig kolvborrhning till 31.3 m djup har utförts i centrumområdet 600 m sydsydväst om Kråkekullen. Lagerföljden utgjordes överst av lera av samma typ som i Lövgärdet till 31,0 m djup. Därunder 30 cm grovmo och sand, stopp mot berg eller block.

Leran har delvis undersökts med avseende på volykvikt, vattenhalt, skjuvhållfasthet (konprov), sensitivitet, organiskt material, kornstorleksfördelning samt metalljonhalt och kloridhalt i porvattnet.

De preliminära resultaten visar vissa oregelbundenheter som ännu ej klarlagts - möjligen kan de bero på de i figur 9:6 visade nivåfluktuationerna.

## 9.7 Bearbetningsresultat

### 9.7.1 Grundvatten

#### 9.7.1.1 Allmänt

Grundvattenståndsvariationerna i Angeredsområdet är betydligt annorlunda till sin karaktär än i Botkyrka och i Stockholmstrakten överhuvudtaget. Årstidsvariationer kan visserligen spåras och är stundom kraftiga, men nybildning av grundvatten sker i Göteborgsklimatet i långt högre grad fördelat över hela året än fallet är i Stockholm.

Årstidsvariationerna är med andra ord inte så uttalade. Å andra sidan syns magasinerna oftast vara små och vattenståndsvariationerna i proportion därtill stora.

Tidsserieanalyserna för Angereds del har inskränkt sig till linjär analys, vilket är tillfylllest. Det för Stockholms del tillämpade systemet med att enskilda mätvärdena först reducerades till ett tal  $n \times$  referensområdenas motsvarande index har inte tillämpats. På grund av oregelbundenheten i grundvattenståndsvariationerna är det osannolikt att någon utjämning med denna metod kan ernås.

#### 9.7.1.2 Lövgärdet

I det bergborrhål som finns närmast gemensamhetstunneln samt i ett jordrör strax intill följs grundvattentyterna väl åt med enstaka avvikelser. Jordrörets (402) observationsserie börjar i mars 1969 och bergborrhålets (306) i september 1969. Under denna tidsperiod avsänks 402 drygt 1 meter, varefter nivåkurvorna följs åt. Under perioden september 1969 till september 1970 ligger grundvattennivån i 402 ca 10 cm över 306 för att sedan sjunka ungefär lika mycket under. Tunneln passerar rören ca 20 m under markytan med ca 5 m bergtäckning och utsprängdes i sydvästlig riktning här under augusti månad 1969. Bergborrningen 306 passerar en sprickzon ca 21 m under markytan. Den vid rörsättningen utförda skruvborrhningen utvisar ej något friktionsmaterial i botten utan sandig, moig lera. En kortvarig provpumpning i röret 402 gav 1,9 l/minut under 60 minuter i mars 1969.



I nordöstra delen av Lövgärdet står 304 (berg) och 410 (jord) intill varandra. Under 1969 och 1970 var grundvattennivån i berg 1 - 1,5 m under trycknivån i jordröret, vilken tidvis var över markytan. Under sommaren 1970 påbörjades schaktningensarbeten i det nya bebyggelseområdet Lövgärdets södra del, dvs i nordvästra delen av sänkan, för att successivt utökas mot norr och nordväst. Vid ungefär samma tidpunkt fick vattenytan i 304 en tendens till sänkning och föll i november - december 1970 halvan meter. Bergborrhål 310, beläget 275 m åt nordnordost, visade vid provpumpning 1969 omedelbart samband med 304, men dess grundvattennivåkurva visar inte någon liknande sänkning. Rör 410 visar 10 månader senare en liknande snabb avsänkning. Då har schaktningar utförts blott ett hundratal meter från röret.

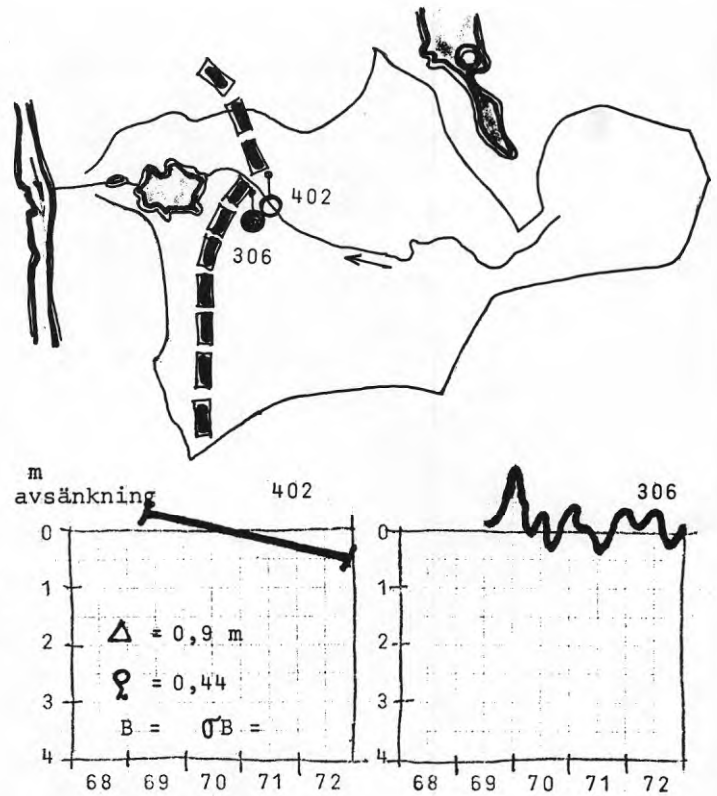


FIG 9:24

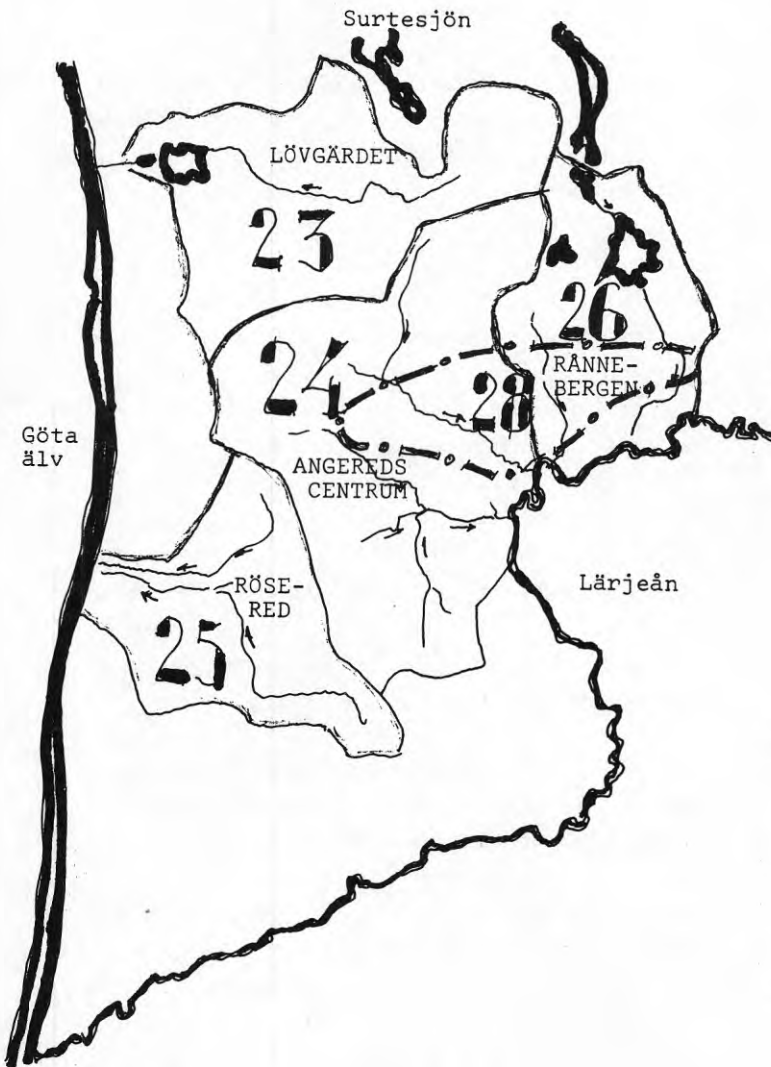


FIG 9:23

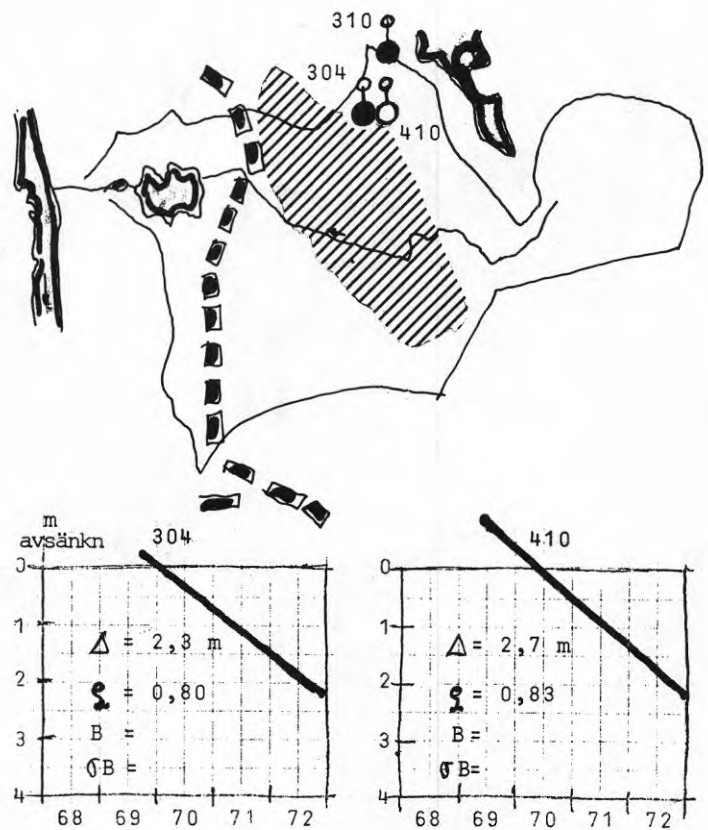


FIG 9:25

Backen i norra Lövgärde

Nere i sänkan, östra delen ( $X_1$ ), trängde grundvatten upp genom sonderingshål vid viktsondering och det artesiska vattnets trycknivå i intill varandra stående berg- och jordrör var en halv till en och en halv meter ovan markytan. De båda kurvorna följdes väl åt under den drygt treåriga observationsperioden. En viss höjning av trycknivån skedde under 1971 och 1972 i förhållande till 1970. Under 1971 påfördes fyllnadsmassor i området kring rören och markytan höjdes med ca 1,75 m, vilket sannolikt bidrog till nämnda höjning.

I sänkans västra del ( $X_2$ ) visade bergborrhål 307 och jordrör 407 ingen nämnvärd förändring av grundvattennivån. Här är överensstämmelsen mellan jord- och bergvatten dålig.

Bergborrhål 309 och jordrör 416 är placerade 50 m från varandra i sänkans södra del och ganska nära vattendelaren. Grundvattennivåerna i dessa rör följs väl åt, 416 drygt 1 m över 309, fram till våren 1971 då bergvattennivån sjunker sakta för att i slutet av 1972 ligga drygt 2 m under vattennivån i 416.

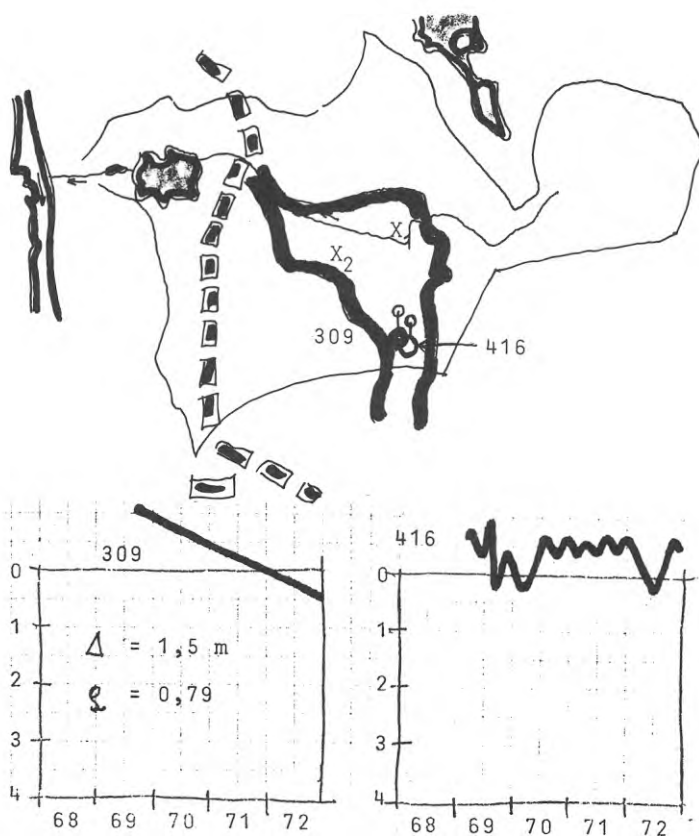


FIG 9:26  
Lördalen i Lövgärdet

### 9.7.1.3 Angereds centrum

Tunneletapp 1 påbörjades redan 1967 med påslag från Rösereids grusgrop mitt för det sedermera anlagda observationsröret 314.

Bredvid bergborrhålet 314 anlades ett observationsrör i jord med nr 442. Vattennivån i bergborrhålet var uppenbarligen påverkad redan från första början och vattenståndet har kontinuerligt sjunkit med någon utplaning fram under 1971 och 1972. En regressionsanalys anger sänkningen från slutet av 1969 till slutet av 1972 på 2,1 m.

Vattennivån i jordröret är inte på minsta sätt påverkad. Det är beläget något längre upp i en backe med isälvsgrus. Mycket tyder på att det ligger i en gryta med rätt så god tillgång på vatten och att grytan är tät men försedd med bräddavlopp. Detta ger en praktiskt taget helt konstant vattenyta året runt med en största variation av några få cm.

Tunneletapp 2 skedde med påslag vid Gunnareds gård och drivningen skedde västerut. Arbetena påbörjades under augusti månad 1970 och tunnelfronten passerade de centrala delarna av Angereds centrum, rör 301 och 312, ungefär i april 1971.

Avsänkningen i bergrören skedde mycket snabbt trots att endast små tunnelläckage kunde konstateras. Reaktionen kunde spåras snabbare österut än åt väster, vilket med all sannolikhet beror på att sprickplanen stupar åt väster, så att när tunnelfronten passerar en spricka reagerar ett rör på avsevärt avstånd bakom den mot väster framträngande tunnelfronten. Avståndet från tunnelfront till reagerande bergrör kan ha rört sig om 200 m. Ett antal kraftiga krosszoner inverkar också på avsänkningsbilden.

Sänkningarna har varit utomordentligt kraftiga, men det är omöjligt att korrelera avsänkningarna till något visst bestämt läckflöde.

Jordrörens reaktion längs tunnelsträckningen är ungefär samtidig med bergrörens. Rören 419 och 418 ligger alldeles intill bergrören 301 respektive 302. Som framgår av figurerna är reaktionen praktiskt taget samtidig. Jordrörens avsänkning är mera "normal". Det rör sig här om 3 à 4 m.

Läckningen till tunnlarna har varit liten och därmed kan också utan vidare påstås att de berörda vattenmagasinen varit små.

Rörens reaktion är i stort sett omvänt proportionell mot de vattenmagasin som berörs. Det får dock inte glömmas bort att det väsentliga är den trycksänkning som uppstår, vilken ju kan ha betydelse för lerans konsolidering. Med så ytterligt små magasin som normalt berörs när det gäller berghålen kan en påfyllning komma till stånd som ger en avsevärd tryckökning. Det är därför kanske mer motiverat att se på jordhålen avsnäckning såsom den betydelsefulla vad storleken beträffar och mer betrakta berg-rörens reaktion som en ren kvalitativ företeelse.

En översikt av sänkningen i berghålen ger vid handen att det sannolikt är en mycket smal zon kring tunnlarna där trycket sänkts med stora belopp. Några hundra meter från tunneln är trycksänkningen i berg måttlig till liten, åtminstone i förhållande till sänkningen närmast tunnlarna.

Vad beträffar jordrören är bilden ungefär densamma även om talvärdena är av en helt annan och mindre storleksordning. Ett jordrör visar

10 m sänkning och tre rör i omgivningen har torrlagts, vilket betyder att den verkliga sänkningen är okänd.

I gränsområden mellan Angereds centrum och Rannebergen i öster finns en bergknalle med 4 berghål av varierande djup (nr 303, 316, 317 och 322). Rör 317 är endast 25 m djupt och passerar ingen av de tidigare nämnda västligt stupande sprickzonerna. De övriga rören är 75 och ca 100 m djupa och passerar en eller flera sådana zoner.

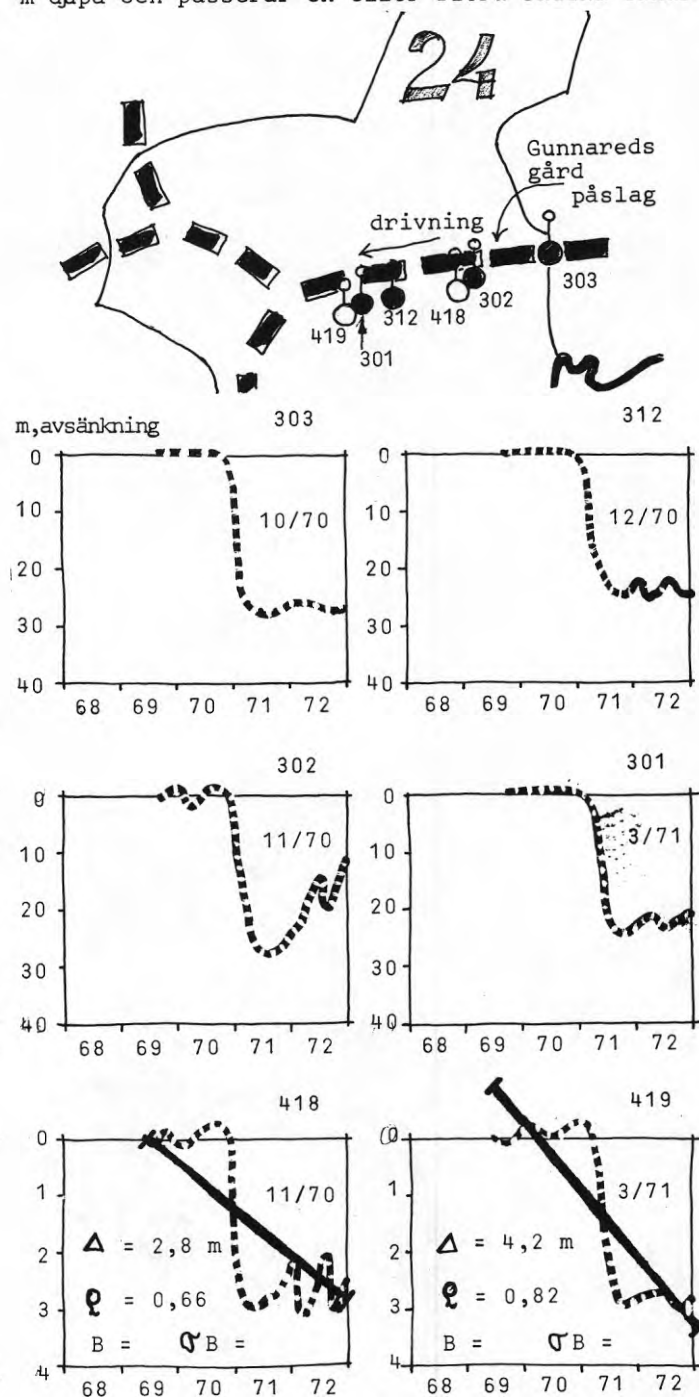


FIG 9:27

Jord- och bergrör vid Rösereds grusgröp

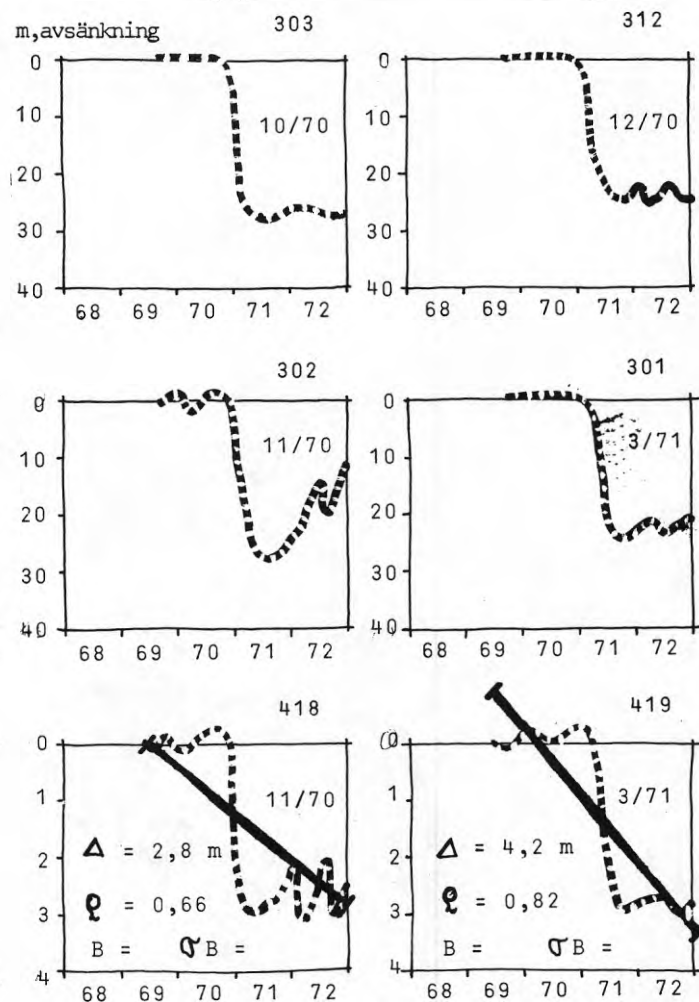


FIG 9:28

Rör i det centrala Angered

Rör 317 visar följdriktigt ingen avsänkning alls medan de övriga tre reagerat tämligen omedelbart då tunnelfronten passerade någon kross- eller sprickzon där som har kontakt med rören ifråga. Trots att den hydrauliska förbindelsen bevisligen går igenom dessa sprick- och krosszoner visar rören en tydlig gradient mot tunnelsträckningen.

#### 9.7.1.4 Rannebergen

Inom detta område finns 4 st bergrör och 4 st jordrör. Under föregående rubrik behandlades grundvattensänkning i bergknallen på gränsen mellan Rannebergsområdet och Angeredens centrum. Utöver detta finns bara ett bergrör i östligaste delen av Rannebergens avrinningsområde. Även detta rör är påverkat av tunneln - en snabb och plötslig avsänkning vid årsskiftet 1971/72 skedde i samband med att tunnelfronterna kom västerifrån och fram till denna del av området.

Jordrören har reagerat ytterst litet, det nordligaste ca 300 m norr om tunnelsträckningen dock påtagligt och plötsligt, nästan som ett bergrör.

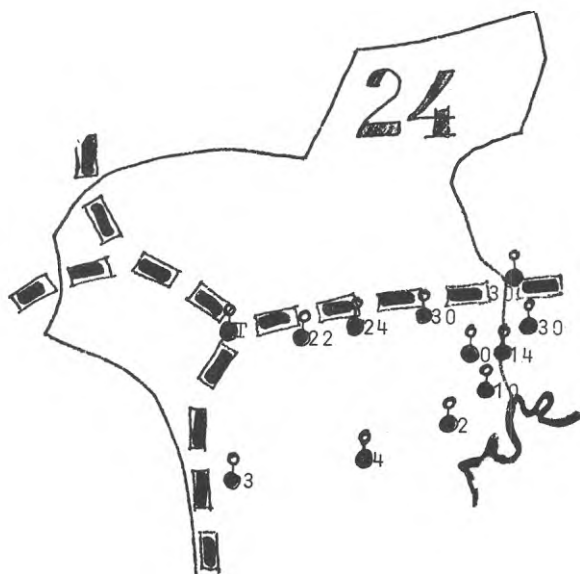


FIG 9:29

Avsänkning i berg (m). T betecknar torrt rör

#### 9.7.2 Specialundersökningar I

Vid schaktningsarbeten i Lövgärdet påträffades i västra delen av lerområdet ett fossilt ben av Grönlandsval. Markytan är på 54,5 m ö h och benet låg 4,5 m under markytan. Benet var en del av en underkäke och har åldersbestämts av Sveriges Geologiska Undersökning med C14-analys till  $12.165 \pm 140$  år.

#### 9.7.3 Specialundersökningar II

På ett tidigt stadium av utredningarna kring byggandet i Angered uttrycktes farhågor om en eventuell underjordisk förbindelse mellan Surtesjön och den lerfyllda dalgången i de centrala delarna av Lövgärdet.

För den sakens skull anlades två nya bergborrhål nr 310 och 311, vilka tillsammans med de befintliga rören 304 och 308 fick ingå i ett mätsystem.

Tritiumanalys utfördes i de fyra rören.

Resultatet av analysen var att röret 308 nere i dalgången hade ett mycket gammalt vatten (2 TU).

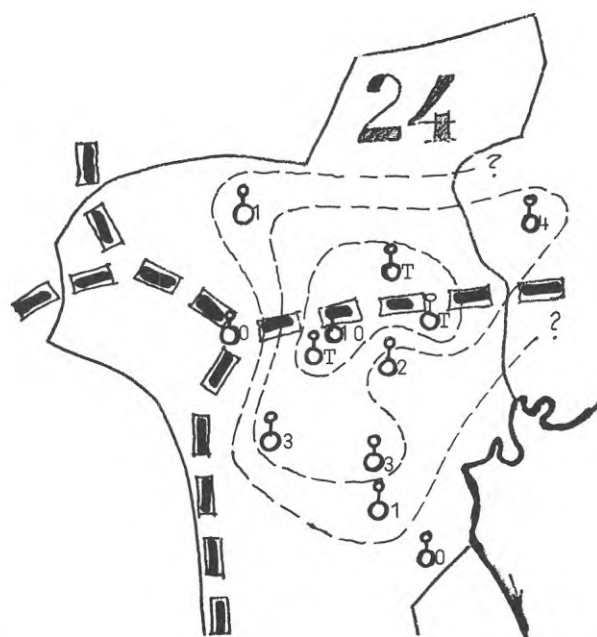


FIG 9:30

Avsänkning i jord (m). T betecknar torrt rör

Vattnet i rören 310 och 311 visade sig ha ungefär samma ålder och den varierade mellan 2 och 5 år (20 à 30 TU). Det mitt emellan belägna röret 304 hade däremot ett grundvatten av en helt annan karaktär. Vattnet var utomordentligt färskt med hög tritiumhalt. Sannolikt stod röret i direkt förbindelse med sprickzoner i berget strax ovanför. Detta förhållande, att ett gammalt vatten (i rör 310) ligger emellan Surtesjöns ytvatten och det utomordentligt färska vattnet (nära nog ett ytvatten som finns i rör 304) ansågs innebära att bergtröskeln, som ligger mellan Surtesjön och den rörgrupp som här redovisas, är tät och att således ingen hydraulisk kontakt finns mellan Surtesjön och den lerfyllda dalgången i Lövgärdet.

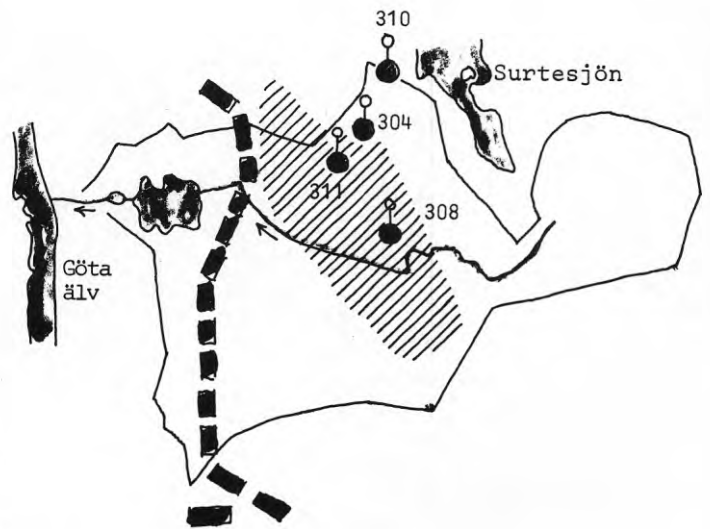


FIG 9:33

Eftersom det är 30 m nivåskillnad mellan Surtesjöns yta och dalens botten skulle ett vatten-genombrott kunna få katastrofala följder.

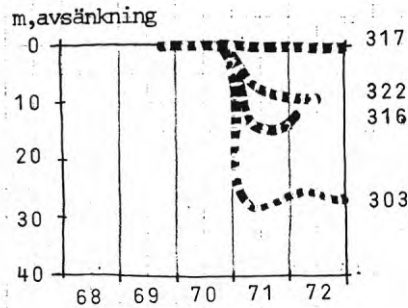
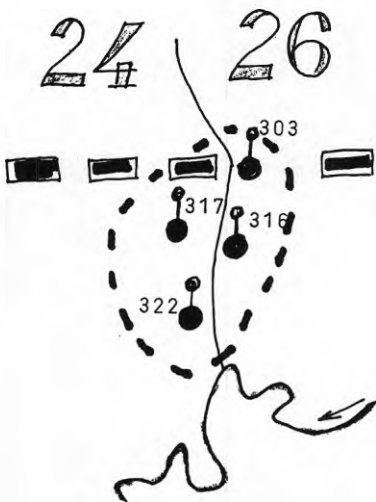


FIG 9:31  
Några berggrör i gränsområdet mellan Angereds centrum och Rannebergen

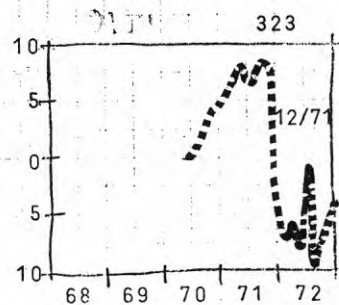
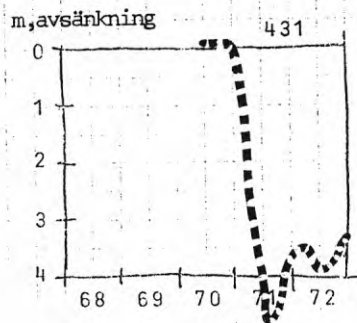
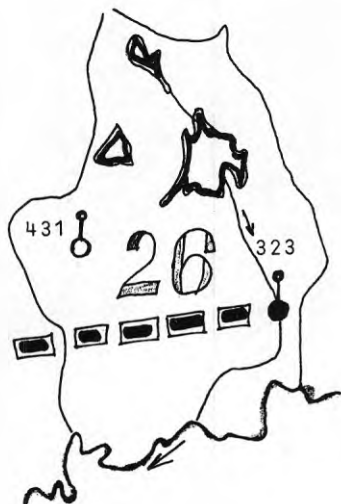


FIG 9:32  
Rör 431 och 323 i Rannebergen

## 10 TUNNLAR OCH SCHAKTER UNDER GRUNDVATTENYTAN

### 10.1 Allmänt

Storstädernas försörjningssystem förläggs i ökande utsträckning till tunnlar. Detta medför en ökad dränering av jord och berg, vilken kan sänka grundvattenytan med skadeverkningar som följd. Undantagsvis kan motsatt effekt uppkomma, när tunnlar är fyllda med vatten under övertryck, exempelvis tilloppstunnlar till kraftverk. Det har hänt att områden ovanför sådana tunnlar försumpats.

I STEGA:s arbete har ingått att följa tunnelarbeten i Stockholm och Göteborg. Det har skett i samband med de ordinarie konsultarbeten som handhåfts av Buster Sund och medarbetare.

I Botkyrka har byggts tunnlar för T-bana, ledningstunnel för spillvatten- och dagvattenavlopp samt en kortare teletunnel.

I Angered finns tunnelarbeten med i rätt hög grad sambyggda tunnlar för tele, fjärrvärme och vattenförsörjning. Tunnlar för lokaltågtrafik förekommer där endast i begränsad utsträckning.

### 10.2 Observationer av vatteninläckning och grundvattensänkning i samband med tunnelarbeten

Genom Bergkonsult - Sven Tyrén AB har STEGA insyn helt eller delvis i följande tunnelprojekt sedan STEGA:s start år 1966.

- Ledningstunnlar för tele och fjärrvärme i Stockholms stad
- Ledningstunnlar för tele och fjärrvärme i Göteborg
- Dagvattentunnlar i Västerås
- Tunnelbanor i Stockholm
- SYVAB:s avloppstunnel som sträcker sig från Södertälje och från Botkyrka till Himmerfjärden.

#### 10.2.1 Mätningar

I samtliga de uppräknade fallen av tunneldrivningar har mätningar av grundvattenståndet skett, i allmänhet med ett mätintervall av

en månad. Inläckande vattenmängd har i mån av möjlighet mätts och vanligtvis gjorts som första arbete på måndagmorgonen, då arbeten i tunneln som kräver tillförsel av vatten inte förekommit på två dagar.

En stor mängd mätdata existerar, varför tillfälliga fel automatiskt sorteras bort i enlighet med den erfarenhet som vunnits. Erfarenheterna från alla dessa mätningar har en avsevärd tyngd, trots att de i många fall inte utförts på en från vetenskaplig synpunkt invändningsfritt sätt.

#### 10.2.2 Undersökningsområden

##### 10.2.2.1 Statens försöksgård i Viad

Försöksgården Viad ligger ca 6 km SW om Grödinge kyrka och 10 km SSW om Södertälje. Detta område har valts för närmare studier på grund



FIG 10:1  
Plan av SYVAB:s tunnel norr om och under försöksgården i Viad

av att tunneln går under ett jordbruksområde med ringa bebyggelse. Vid studier av tunnlar i tätbebyggda områden kan andra faktorer än tunnlar påverka grundvattnet.

Området karakteriseras av en djup ost-västlig svacka som är fylld med lera. Det är fråga om två parallella djupa sprickdalar. Tillsammans med förkastningssprickan i sjön Uttran norr om försöksgården och sprickdalen vid Älvesta har dessa sänkor varit bestämmande för tunnelns höjdläge. Av erfarenhet vet man att djupa sprickdalar i berggrunden består av krossat berg som är rikligt vattenförande.

Inom själva försöksgårdens område utsattes år 1968 9 st grundvattenobservationsrör som kontinuerligt har mätts. Lika många rör utsattes vid samma tid längs andra delar av tunnelsträckningen. Rör 1501 finns strax söder om försöksgården och rör 1509 ca 1 mil norr därom (se kartan). Samtliga rör har ingått i STEGA:s observationssystem och data har bearbetats på samma sätt som för rören i Stockholms grundvattenkors och i Botkyrka.

Under 1971 och 1972 sprängdes SYVAB:s avloppstunnel under försöksgården ut. Tunneln går på nivån -37 m. Bergytan under gården, i krosszonen, ligger på -29 m och markytan på +17 m.

Vid tunnelfrontens passage under området reagerade vattenytan i observationsrören olika. En analys av grundvattendata har därför utförts.

Den enklaste analysen har utförts så att rör 1504, som starkt påverkades av tunnelpåslaget vid G (se karta), subtraherades med värdena från rör 1503, vilket inte visat någon tydlig avsänkning. Rören är "besläktade", vilket innebär att skillnaden i grundvattenyta dem emellan ligger inom 1/2 m om en kortare period 1969 undantas. Resultatet av analysen blir entydigt och klart att påverkan från februari 1972 har förekommit.

Vidare har rör 1501 och 1525 utvalts för linjär regressionsanalys.

För rör 1501 ökar tvåårslinjernas lutning allt mer då man kommer in i år 1972. Anpassningen är mycket god och den sista regressionslinjen som går mellan den 1 april 1970 och den 1 april 1972 har en korrelationskoefficient på 0,9 och lutningen på linjen är 0,9 m/år.

För observationsröret 1525 är bilden mer diffus. Visserligen ökar linjernas lutning precis på samma sätt som för 1501, men korrelationskoefficienten är betydligt lägre. Även här kan dock konstateras en signifikant avsänkningstakt av ca 0,9 m/år.

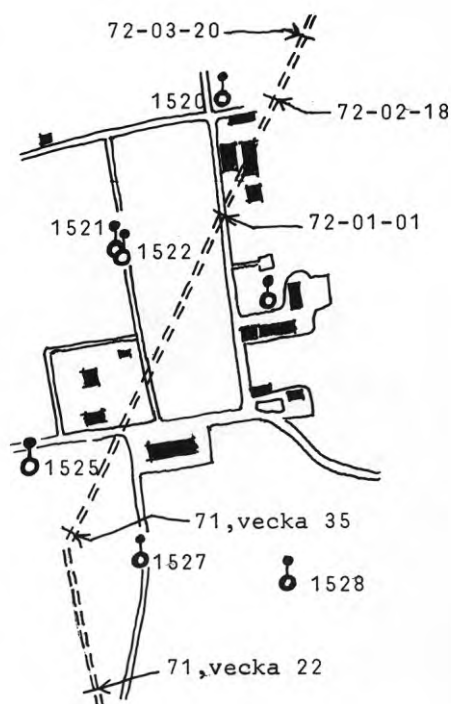


FIG 10:2  
Statens försöksgård i Viad

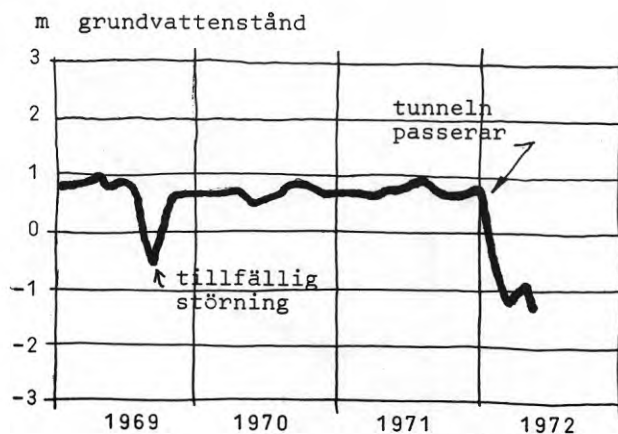


FIG 10:3  
Rör 1504 minus rör 1503.

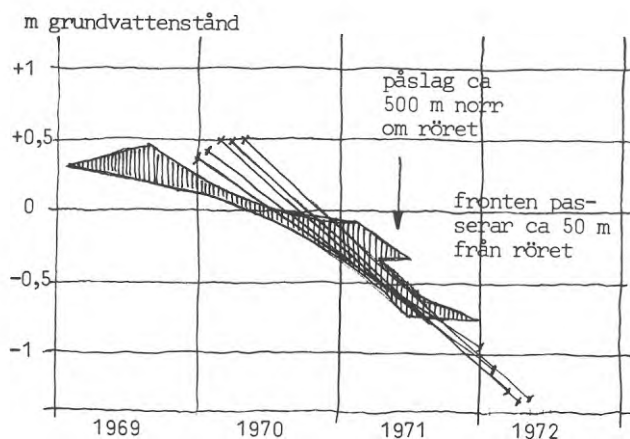


FIG 10:4  
Rör 1501. Lutning för tvåårs regressionslinjer

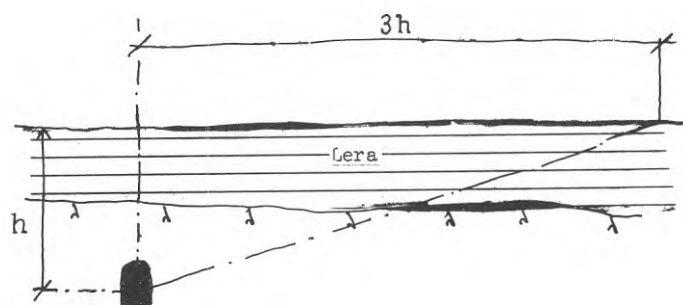


FIG 10:7  
Den antagna influenszonens bredd

Denna siffra är emellertid inget bra mått på den verkliga avsänkning. Ettårs-linjer ger större sänkningstrend än tvåårs-linjer i detta fall eftersom en plötslig avsänkning skett. Bevis för att sänkning skett ges lika uttalat med båda linjeskarorna. Sänkningens storlek är svår att direkt ange även med denna metod.

Mätningar av inläckningen till tunneln har pågått sedan drivningen.

I oktober 1972 när tättningsarbeten ännu pågick var inläckningen ca 0,85 l/s x km i det ca 1,4 km långa Viad-avsnittet.

I januari 1973 var inläckningen 1,8 l/s x km.

Att förinjektering skulle behövas vid drivning av tunneln genom krosszonen under Viad förutsågs i god tid och utfördes. Utöver detta har förinjektering inte kontinuerligt utförts. Efterinjektering med cement har utförts på avsnitt med vattenläckning för att ytterligare förbättra tätningen.

De analyser som utförts på grundvattendata visar på en klart nedåtriktad trend för grundvattenytan från årsskiftet 1971/72. Regressionsanalyserna visar bara vad som har hänt. De är i sig inget prognosunderlag. Det finns alltså ingen möjlighet att med hjälp av sådana analyser uttala sig om hur grundvattenståndet kan komma att förändras i framtiden.

#### 10.2.2.2 Ledningstunnel i Göteborg

Tunneln går genom stadens centrala delar. Berggrunden består av gnejser med varierande sammansättning och ålder. En bergartsgräns, som går i N-S-lig riktning är utbildad som en 50 m bred krosszon.

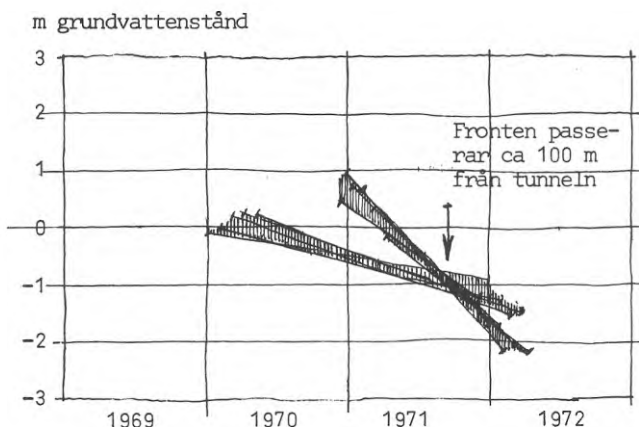


FIG 10:5  
Rör 1525. Lutning för tvåårs- och ettårslinjer

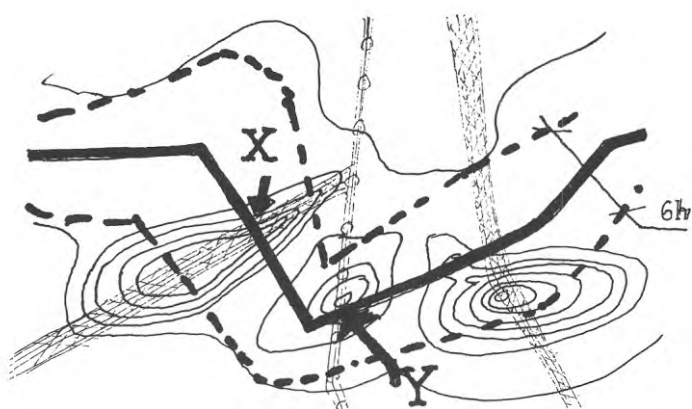


FIG 10:6  
Fingerad plan av ledningstunnel i Göteborg



Två andra stora krosszoner genomkorsar det område där tunneln går. Tunnelprofilen har anpassats efter detta. De lösa jordlagren domineras av mycket mäktiga leror varvade med moskikt. Dessa underlagras av morän med varierande mäktighet.

För att kunna observera grundvattenytans variationer kring tunneln utsattes ungefär ett år innan tunneldrivningen sattes igång, ett nät av grundvattenobservationsrör. Dessa rör sattes i de områden som var mest känsliga för grundvattensänkning. Observationer utfördes normalt en gång per månad. Under drivningens gång kompletterades observationsnätet med 70 st rör så att totalt 130 rör mättes. De från tunneln mest avlägsna rören befinner sig på ett avstånd av ca 200 m. Observationsrören avser mätning av såväl grundvattentrycket i friktionslagret under leran som porvattentrycket i leran.

Den bild som uppstod allt eftersom tunnelarbetet framskred var mycket oregelbunden. Avsänkningstrattar observerades ibland på avsevärt avstånd från tunnelfront och tunnelsträckning. Grundvattenobservationerna utsträcktes till en

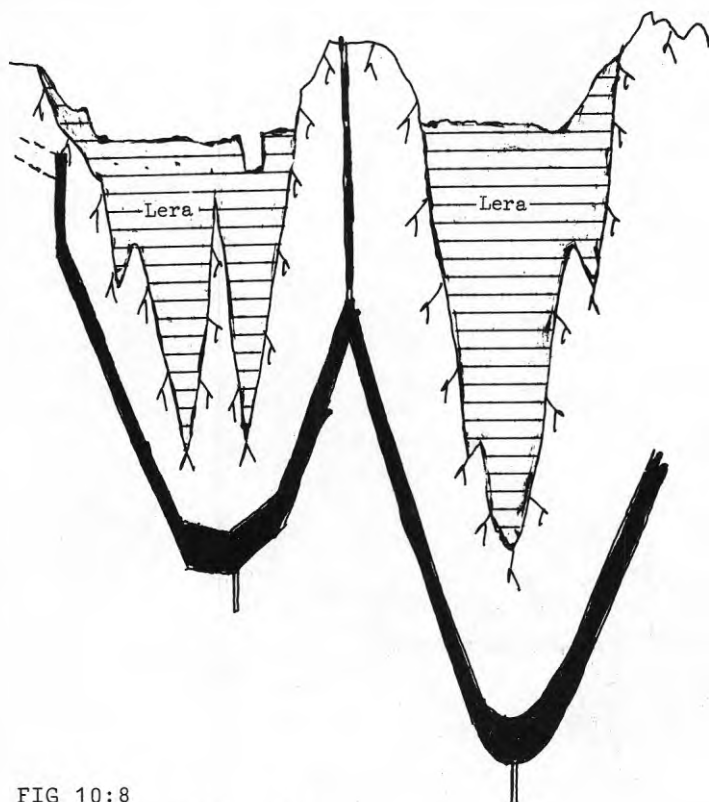


FIG 10:8  
Fingerad tunnelprofil

zon med bredden 4 à 6 x tunneldjupet (h). Det visade sig att denna bredd på tunnelns influensområde täckte större delen av de grundvattensänkningar som uppstod, även om det lokalt kunde konstateras att sänkningar uppkommit på avsevärt större avstånd från tunneln.

När tunnelfronten passerade i en punkt x skedde en plötslig avsänkning av grundvattnet 400 m därifrån vid punkt y, sänkningen uppgick till mer än 5 m. Detta berodde på att två krosszoner möttes och att det var god kommunikation mellan grundvattnet i punkt x och y.

Inläckningen i tunneln är idag efter utförd tätning av storleksordningen 0,8 l/sek och km tunnallengd. Störst svårighet har tätningen av vattenförande lerzoner medfört.

Flera lyckade infiltrationsförsök har utförts, som har lett till en permanent installation för konstgjord infiltration. Från markytan infiltreras kontinuerligt 2/3 l/s.

Bilden över orsakerna till sänkningen kring Citytunneln är inte helt klar. Det upptäcktes nämligen vid närmare påseende att grundvattenpumpning skedde i flera fastigheter i närheten av tunneln och dess "influenszon", varför tunnelns roll i sammanhanget är svår att avgränsa.

Vad det gäller tätningsarbetena kan konstateras att förinjektering reducerat grundvattenläckaget till ungefär hälften. Efterinjektering har emellertid krävts i de flesta fall för att önskad täthet skulle kunna uppnås.

#### 10.2.2.3 Grundvattenproblematiken i de centrala delarna av Kungsholmen i Stockholm

I ett område kring Rådhuset på Kungsholmen i Stockholm, där många byggnader är grundlagda på träpålar, har under 60-talet grundvattennivån sjunkit mycket kraftigt. De främsta orsakerna är den pågående byggverksamheten under grundvattennivån. Åtgärder för att återställa grundvattenbalansen har rönt vissa framgångar. Ännu är det dock osäkert om de helt kommer att lyckas. Om så inte blir fallet måste varje nytt ingrepp under grundvattennivån inom området

föranleda grundförstärkningar på befintlig bebyggelse beroende på den akuta risken för röt-skador på träpälarna.

De flesta bostadshusen i kvarteren kring Rådhuset är uppförda under åren 1880-1910. Där ler-mäktigheterna är större än 6-8 m har byggnader-na grundlagts på träpälarna. Pälarna är vanligen avskurna 3-4 m under nuvarande gatuplan.

Enligt arkivuppgifter ligger t ex pålavskärning-en på nivå +3,85 m under fastigheten Kungsholms-gatan 22 i hörnet av Scheelegatan. För fastighe-ten Pipersgatan 28 finns ett intyg på att på-larna är kapade vid +2,75 m.

Träpålning förekommer under Rådhusets nordöstra del med pålavskärning mellan +2 och +4 m. Råd-huset är uppfört under åren 1912-1915.

Inom området finns två tydligt urskiljbara grundvattenbassänger. Gnejsberggrunden innehåller en djup svacka i nordost-sydväst ungefär i Scheelegatans riktning. Denna svacka skärs av

en sprickzon nära nog i rät vinkel. Skärnings-punkten mellan dessa zoner markerar läget av det djupaste kända området med bergnivåer va-rierande mellan -12 och -14 m. Nuvarande mark-tyta kring Rådhuset ligger ungefär vid nivån +7 m.

Bergytan i svackan täcks av ett mindre än 1 m tjockt moränlager, vilket överlagras av ett 5-10 m mäktigt lerlager samt fyllningsmassor.

Norr om denna svacka finns en mindre skålformig fördjupning i berggrunden. Den är belägen unge-fär mellan Polishuset och Fleminggatan. Mark-tytan ligger här ca 3 m högre än vid Rådhuset, dvs på omkring +10 m, och bergskålens botten på omkring +3 m. Även här överlagras bergytan av ett tunt lager friktionsmaterial, lös lera, torrskorpelera och fyllning.

I samband med grundläggningsarbeten för fastig-heten Bergsgatan 13 avvägdes grundvattenytan i januari år 1900. Därvid låg denna på nivån +3,8 m, vilket således väl överensstämmer med andra kända uppgifter om pålavskärningar.



FIG 10:9

Vid två tillfällen på senare år, 1962-63 och 1968-69, har kraftig lokal grundvattensänkning skett. Orsakerna är främst tre byggnadsobjekt, teletunneln längs Kungsholmsgatan, tunnelbana nr 3 samt grundläggningsarbetena i kv Päronet.

I kv Päronet ligger hotell Amaranten, för vilket grundschaktning gjordes omkring år 1965. Detta objekt har föga betydelse för denna redogörelse och nämns bara i förbigående. Främst skall här avhandlas de båda förstnämnda företagen, som pågick samtidigt under perioden 1968/69. Den redan befintliga teletunneln har naturligtvis betydelse även under denna senare period.

I det högre belägna lerområdet mellan Polishuset och Fleminggatan låg grundvattenytan år 1962 på +8,3 m. I början av 1963 sjönk den i samband med drivningen av teletunneln till ca +6 m, men har därefter åter stigit till ca +7 m.

Både vid utsprängningen av teletunneln (nivå: -25m) under Kungsholmsgatan år 1962-63 och vid grundläggningsarbetena ett par år senare för Hotell Amaranten i samma kvarter har i den djupa svackan vid Rådhuset förekommit temporära grundvattensänkningar ner till nivå +2. Här återtog grundvattenytan sitt ursprungliga läge efter arbetenas slut.

Under år 1969 konstaterades ånyo en påtaglig förändring av grundvattenståndet i svackan kring Rådhuset. Sänkningarna beror troligen på utpumpningen av vatten dels vid tunnelbanebygget i områdets västra del, dels i samband med den då aktuella grundschakten i kv Päronet i hörnet av Kungsholmsgatan och Pipersgatan. I närheten har också sättningar i gatemarken observerats. Bergarbetena för tunnelbanan pågick år 1970 under nivån -15 m. I kv Päronet nådde schakten ner till nivån -1 m.

I bägge fallen skedde arbetet således under den kända grundvattennivån, ca +3,5 m. Schaktning under grundvattenytan i kv Päronet påbörjades i januari 1969. Uppgifter om utpumpad vattenmängd saknas.

Av FIG 10:10 framgår pumpnings- och grundvattennivåer under grundläggningsarbetet.

I grundvattenobservationsrör belägna på ca 20 m

horisontellt avstånd från bergtunnlar respektive schakt har konstaterats grundvattensänkningar av storleksordningen 3-5 m. Så långt som bortom Rådhuset, rör nr 5, dvs 70-80 m avstånd från schakt och tunnelfront, har uppmätts nära 2 m sänkning. Antalet mätpunkter är emellertid otillräckligt för bestämning av sänkingskonens utbredning. En komplicerande faktor är också att schaktning i kv Päronet och tunneldrivning pågick samtidigt.

Infiltration och nybildning av grundvatten sker i områdets västra och norra delar, där berghällar och friktionsjordar går i dagen eller där lermäktigheten är mindre än 2 m. Främst är det Kronobergsparken samt S:t Eriks sjukhusområde och områden i anslutning till Kungsklippan och Ulrika Eleonora kyrkogård i öster. I övriga delar av området är sådan infiltration obetydlig.

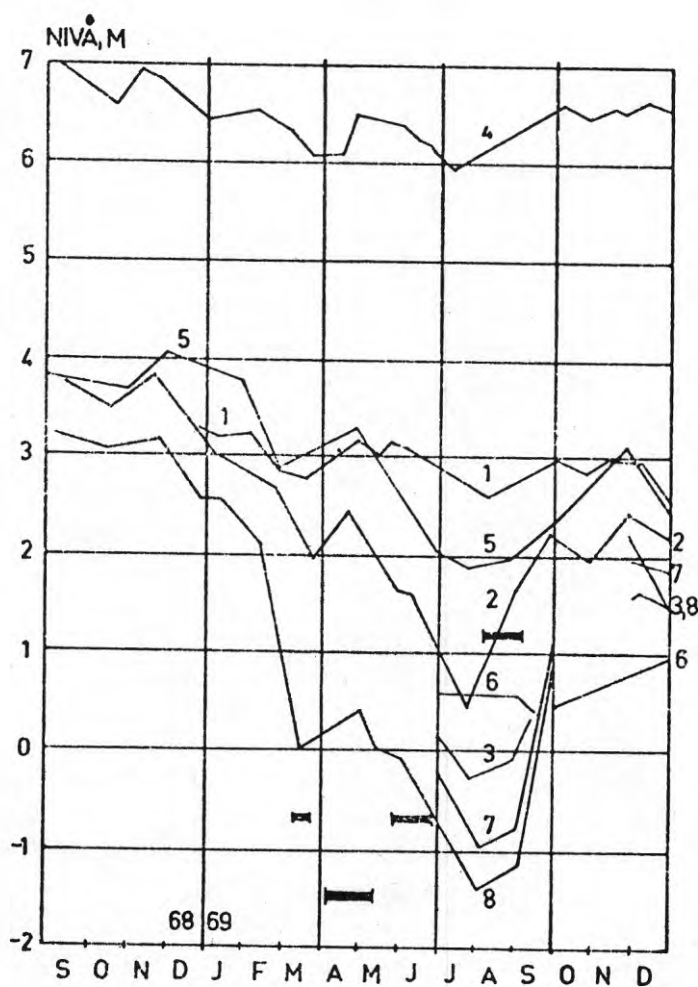


FIG 10:10

Pumpningar och pumpningsnivåer samt grundvattenstånd i rören 1 - 8 enligt plan i fig 10:9.

De senaste årens byggande efter 1970 i kv Kronoberg (nya polishuset), kv Brädstapeln samt inom S:t Eriks sjukhusområde har minskat infiltrationsytorna.

En beräkning av nybildningen av grundvatten som utfördes 1970 baserad på förhållandena inom nämnda byggnadsföretag gav siffran ca 14.000 m<sup>3</sup>/år eller ca 0,5 l/sek.

Läckningen till de tunnlar som passerar området uppgick år 1970 till ca 70 m<sup>3</sup>/dygn. Den pumpning som skedde från källare och grundschakter har inte kunnat bestämmas, men vattenmängderna är säkerligen inte försumbara i detta sammanhang.

Jämförs mängden av nybildat grundvatten med utpumpade vattenmängder från tunnlar inom området, blir risken för sänkning av grundvattenytan uppenbar. Detta även om någon pumpning från källare och schaktgropar inte skulle förekomma.

Ännu mer påtagligt framstår risken för en grundvattensänkning om man jämför det vattenmagasin som uppskattningsvis finns tillgängligt i det ca 1 m tjocka friktionslager som underlagrar leran. Grundvattenreservoaren innehåller totalt knappast mer än 25.000 m<sup>3</sup>. Därav beräknas ca 80 procent vara mer eller mindre fast bundet till friktionsjordarten. Resterande 20 % - 5.000 m<sup>3</sup> - är alltså den vattenmängd som kan dräneras bort och som i så fall skulle initiera en konsolidering av leran i bergskålarna. Ett underskott i balansen, mindre än 20 m<sup>3</sup>/dygn, skulle således teoretiskt kunna tömma magasinet på ett år.

Bland alla osäkra faktorer i sammanhanget må slutligen nämnas läckande avlopps- och vattenledningar. I vad mån sådana läckage bidrar till vattenbalansen inom området är ännu obekant. För närvarande pågår kemiska undersökningar av vattenprover från ledningstunneln under Kungsholmen för att spåra eventuell urban påverkan av det inläckande vattnet. Hittills framkomna data visar att sådant samband föreligger.

Sedan grundläggningsarbetena i kv Päronet avslutats och utpumpning av grundvatten upphört har grundvattenytan ånyo börjat stiga i likhet med vad som var fallet när arbetena för teletunneln och Amarantens grundschaktning avslutats år 1962

-63 respektive 1965. Vid årsskiftet 1969-70 är grundvattennivån ca 2 m högre än det lägsta värdet, vid månadsskiftet juli-augusti 1969.

I bergtunnlarna var vattenföringen i det mycket sprickiga, delvis leromvandade berget, i svackan under Rådhuset inte större än ca 0,12 l/min per m tunnel på en längd av ca 200 m (summan 35 m<sup>3</sup>/dygn). I samband med kontrollborrningar för att fastställa bl a bergets beskaffenhet igångsattes även tätningsarbeten i de utsprängda tunnlar. Vid injekteringsarbetenas slut hade också inläckningsmängden nedbringats till 0,03 à 0,04 l/min eller 25 à 30 % av begynnelsevärdet. Detta har självfallet bidragit till att grundvattenytan i observationshålen kring Rådhuset åter har stigit.

I avsikt att höja grundvattenytan i den södra grundvattenbassängen pågick hösten 1969 försök att infiltrera vatten i marken genom en infiltrationsbrunn belägen i Scheelegatan, sydost om Rådhuset. (Se avsnitt 12.3).

I samband med projekteringsarbeten för kv Kronoberg 1971 (FIG 10:11) bedömdes riskerna för skador på närbelägna träpålgrunder vara så stor att systematiska förinjekteringar av berget ansågs speciellt motiverade. Sprängbottens lägsta punkt ligger ca 6 m under den närliggande grundvattenbassängens nivå.

Det borrades totalt ca 400 bormeter i 56 hål och injektering med cementlösning vid ca 10 at övertryck företogs. Berget är relativt sprickrikt och består av en blandning av gnejs och finkornig Stockholmsgranit. Injekteringszonen gavs genomgående en minsta bredd av 3 meter och arbetet genomfördes snabbt och blev helt framgångsrikt. Inget läckage kunde konstateras efter det att injekteringsarbetena var avslutade. I gränslinjen mellan grundvattenbassängen och den djupa grundschakten till det nya polishuset anlades bl a fyra grundvattenrör som sedan kontinuerligt följts från maj 1968. Observationerna visar att grundvattentrycket har bibehållits efter injekteringen. Det är ett unikt resultat. Oss veterligen har det sällan förekommit att man genomfört en så stor sprängning under grundvattenytan utan att denna sjunkit.

Förinjekteringen vid kv Kronoberg ger emellertid klart belägg för att noggranna och systematiska

åtgärder för att bevara grundvattenytornas läge kan ge lyckade resultat.

Det bör vidare understrykas att även nybebyggelse i lerområdets randzoner har sin betydelse för grundvattenbalansen. Nya byggnadskomplex avskärmar eller utdränerar tillrinningsområden och förhindrar därmed nybildning av grundvatten.

Varje ingrepp inom detta känsliga område kan medföra stora sekundära kostnader för grundförstärkning av äldre byggnader och för reparation av sättningsdrabbade markytor. Ett minimikrav är att varje byggprojekt som medför ingrepp under grundvattenytan föregås av en noggrann grundvattenundersökning som omfattar inte bara den aktuella tomten utan ett betydligt större område.

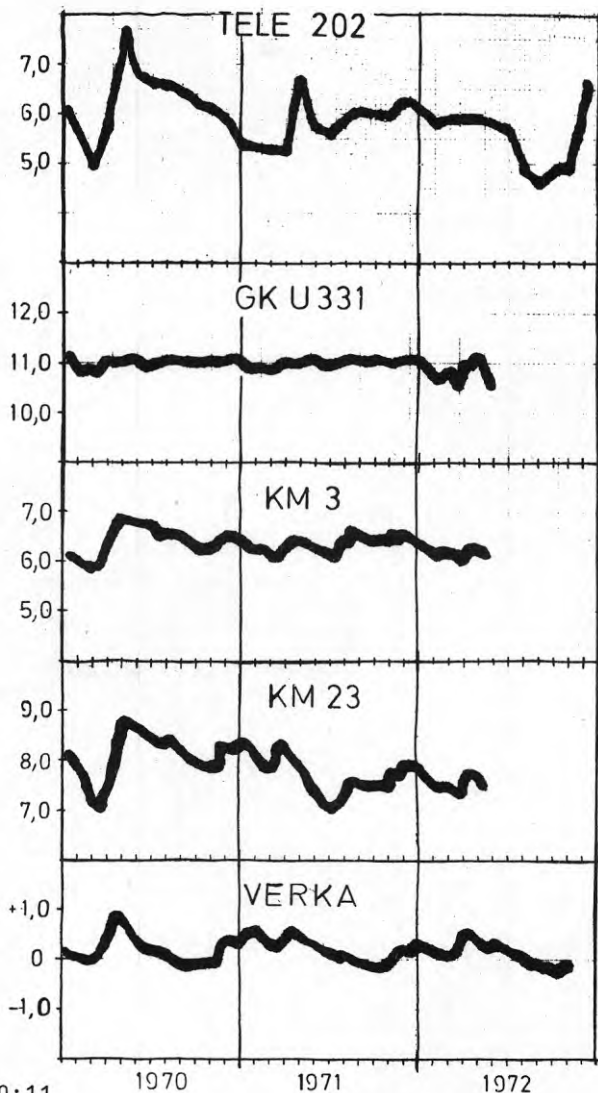


FIG 10:11

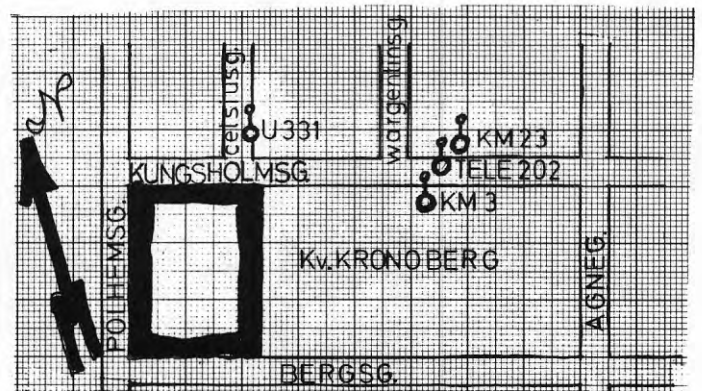
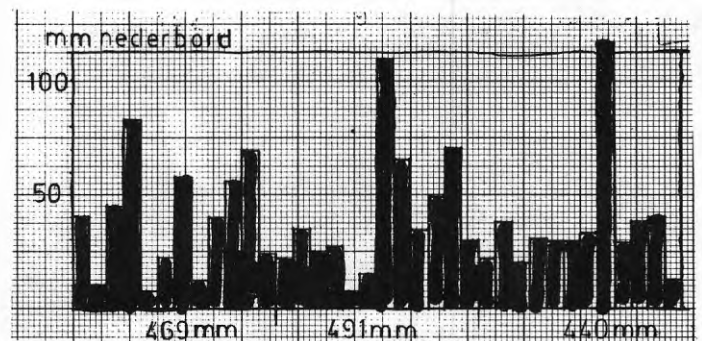
### 10.3 Försök med konstgjord infiltration

Konstgjord infiltration bygger på att man finner ett permeabelt lager, som kan mottaga vatten med avsevärt flöde och under kontrollerbart tryck.

Idag pågår försök att infiltrera vatten direkt i borrhål; det sprickiga berget nära bergytan. Dessa försök påbörjades i mars 1973 och positiva resultat har erhållits. Erfarenheten visar att övertrycket måste hållas lågt för att lyckade resultat skall kunna nås.

Försök med infiltration direkt från en tunnel har också utförts. Hål har borrats från tunneln genom berget och upp till de lösa jordlagren. Det inläckande vattnet har därefter pumpats direkt ut i jordlagren. I några av fallen har vattnet kunnat tryckas ut i jorden, men i andra fall har borrhålen hamnat i ogenomsläppligt material och infiltrationen misslyckats.

Vid vissa infiltrationsförsök har vattenflödet vänt och kommit tillbaka längs infiltrationsröret eller längs läckvägar upp emot den plats varifrån infiltrationen sker. Det har berott på att permeabiliteten i de lager som utnyttjats varit för låg och trycket ej kunnat hållas på tillräckligt låg nivå.



Tidsfaktorn är ofta förbisedd när man planerar att återställa en grundvattenyta som sänkts. Man skall inte vänta sig att en snabb återhämtning av grundvattenståndet skall ske, som det tagit naturen åtskilliga år att bygga upp.

En annan faktor som spelar stor roll vid konstgjord infiltration är att berggrunden har en topografi. En infiltration i ett område kan pågå lång tid innan ett närliggande område påverkas. Infiltrationsröret kan vara placerat i en grundvattenbassäng som måste fyllas upp och bräddas över en tröskel innan ett intilliggande område får något tillskott av grundvatten. Det kan röra sig om mycket långa tidsförlopp.

Vid en avtappning av grundvatten kommer luft att

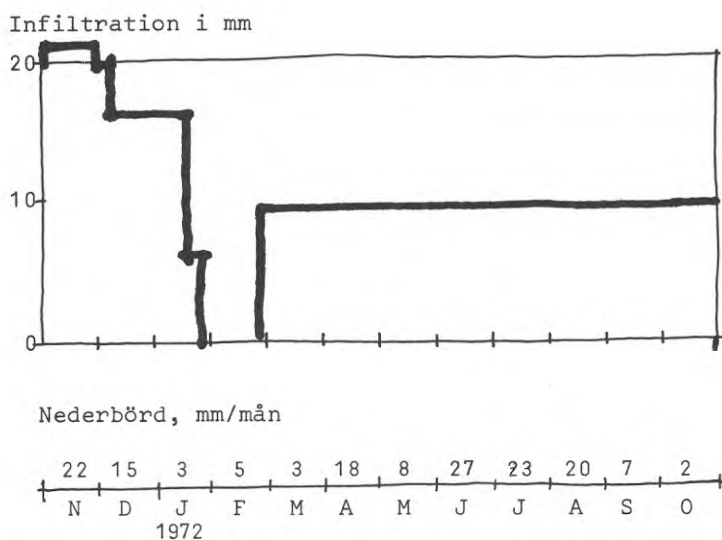
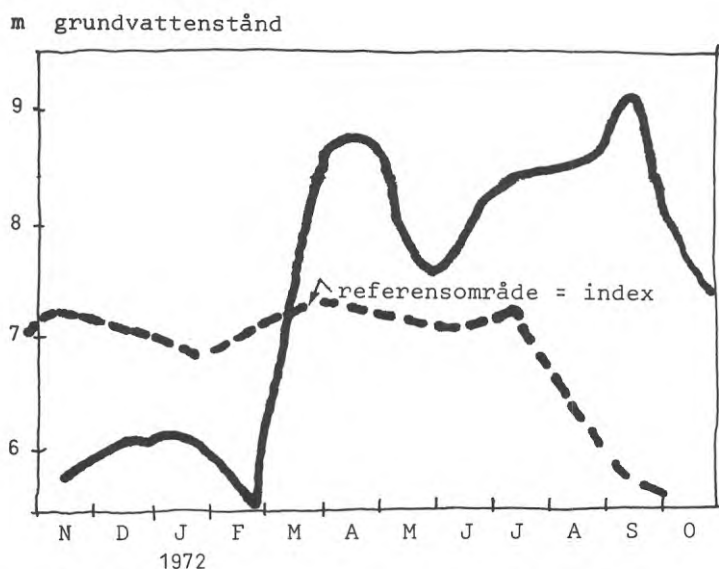


FIG 10:12  
Infiltrationsförsök i Göteborg

tränga in i porerna. Det innebär att man vid en infiltration måste tränga undan luften för att fylla porerna med vatten. Det har visat sig vara mycket svårt, då luftkuddar har bildats så att vatten inte har kunnat tränga in.

Exempelvis finns fall där läckvatten i en tunnel har pumpats upp till markytan och infiltrerats i jordlagren ovanför tunneln,

Till skillnad från de tidigare relaterade fallen utnyttjas då endast det tryck som vattenpelaren utövar.

Begynnelsevärdet för infiltrationsflödet var 0,5 l/s, vilket kunde bibehållas ca 4 månader. Därefter sjönk kapaciteten snabbt och efter sex månader var infiltrationsflödet nere i ungefär en tredjedel av begynnelsevärdet.

En del tekniska svårigheter uppkom i samband med infiltrationsanläggningen. Pumpning från tunneln skedde inte kontinuerligt utan intermitterant. Det innebar att infiltrationsröret då inte kunde svälja hela flödet. Överskottsvatten rann då av från ett bräddavlopp. En annan svårighet var att ett filter i tillloppsledningen till infiltrationsröret sattes igen.

Läckningen har således inte helt kunnat kompenseras av den konstgjorda infiltrationen. På en 400 m lång sträcka var inläckningen 0,7 l/s. Av detta kunde i genomsnitt knappt hälften,

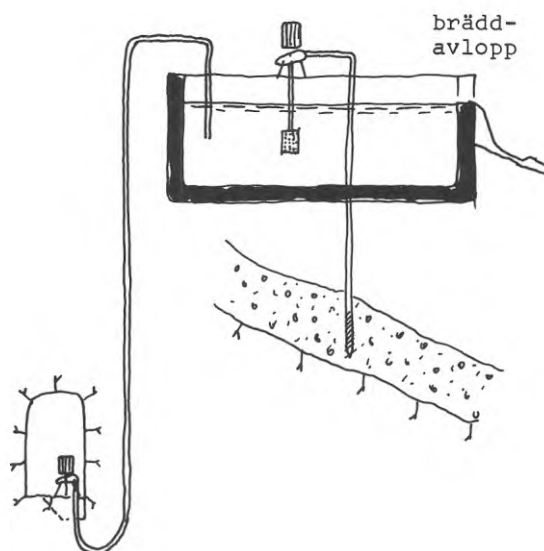


FIG 10:13  
Infiltrationsanläggning

0,3 l/s infiltreras. Vid vissa tidpunkter under gynnsamma förhållanden kunde upp till 0,5 l/s infiltreras.

För att förbättra resultatet kunde man tänka sig att använda flera infiltrationsrör, rensa filtret regelbundet och låta pumparna gå mera regelbundet.

Vid Rådhuset i Stockholm gjordes ett försök med konstgjord infiltration. Efter ett halvårs drift hade infiltrationsströmmen slammat igen och i början av år 1973 kunde endast ett par m<sup>3</sup> om dagen infiltreras.

#### 10.4 Tätning av tunnlar med hjälp av injektering

Med förinjektering menas injektering framför brytningsfronten eller schaktbotten, dvs injektering i orört berg.

Följande fördelar kan nämnas:

- . Risken för ett plötsligt, okontrollerbart vatteninbrott kan elimineras eller minskas.
- . Uppkomst av skador i berggrunden till följd av sprängning motverkas.
- . Förbrukning av injekteringsmaterial är normalt mindre än vid efterinjektering.
- . Inga besvär med inläckningen av injekteringsmassa från tunnelväggen.
- . Ett högre injekteringstryck kan användas, vilket ger bättre inträngning, större tätning. Metoden kräver därför mindre antal borrhål.

En påtaglig nackdel med förinjektering är dock den störning av skiftsrytmen som injekteringsarbeten åstadkommer.

För att förinjektering skall vara effektiv bör den ske systematiskt runt om hela tunneln eller framför sprängningszonen t ex vid djupa grundschakter.

Injekteringshålen, vars längd varierar - mellan 8 och 12 meter - borrar i en krans framför och åt sidan om tunnelstuffen (FIG 10:14). Avståndet mellan närliggande borrhålsdjupet bör inte överstiga 2-3 m och injekteringstrycket inte 15-20 atö.

Svårigheter att samordna borrning och injektering med själva sprängningen har medfört att förinjektering vid tunnelarbeten även försökts från markytan.

Samtliga borrhål, även de som faller inom tunnelsektionen, skall nedföras 3 m under tunnelbotten.

Metoden med långa borrhål utförda från markytan möjliggör som regel användandet av höga injekteringstryck, 20-25 atö, och därmed en god spridning av injekteringsmassan. En stor fördel är att detta förfaringsätt icke inverkar störande på tunneldrivningen. Stora jorddjup fördyrar och försvårar borrhålsarbetet, vilket i praktiken begränsar denna metod. Tätningen av ytberget vid utsprängningen av kv Kronoberg utgör ett exempel på metodens användbarhet. (Se avsnitt 12.2.2.3)

Med efterinjektering menas injektering bakom brytningsfronten. Injekteringen bör även i detta fall ske runt om hela sprängningssektionen för att ett gott resultat skall erhållas (jfr FIG 10:14). Vid injektering av tunnelbotten fastgjuts rör genom vilka injekteringsborrningarna sker. Rensning av berget sker i de punkter där rören fastgjuts. Detta för att undvika risken att påträffa kvarlämnat sprängämne (dolor). Genom detta förfarande behöver rensning av hela tunnelbotten inte ske.

I praktiken har det många gånger varit svårt att uppnå önskvärda injekteringstryck på grund av att injekteringsmaterialet ofta trängts ut i rummet genom närliggande sprickor. I en intehelt rensad sula är denna inträngning helt okontrollerbar. Ofta medför en fläckvis injektering att vattenläckaget endast förflyttas från en plats till en annan. I svårartade fall har det visat sig omöjligt att trots stort antal hål per ytenhet erhålla en godtagbar minskning av vatteninrinningen.

Injekteringen bör ske från två fronter belägna på var sin sida om läckageområdet, som successivt närmar sig varandra. Inga fasta regler kan ges beträffande borrhålsdjupet. Erfarenhetsmässigt bör detta dock inte understiga 5 m. Borrhålsavståndet är beroende av bergets beskaffen-

het, inläckningens karaktär och kvantitet.

Den vatteninrinning som kan tolereras är beroende av tunnelns användning och läge samt jordlagerföljden. I praktiken har grundvattenläckaget efter tätning varierat mellan 0,1 - 2 l/s, km tunnel.

Andra injekteringsmedel än cement förekommer. Särskilt gäller det vid fininjektering, dvs där injekteringen drivs så långt som det är praktiskt möjligt. Sådana injekteringsmedel är främst plaster och vattenglas. Goda resultat har också erhållits med vanlig lera och med bentonit.

När nöjaktigt resultat inte kan erhållas med injektering tillgrips inklädnad. Den kan emel-

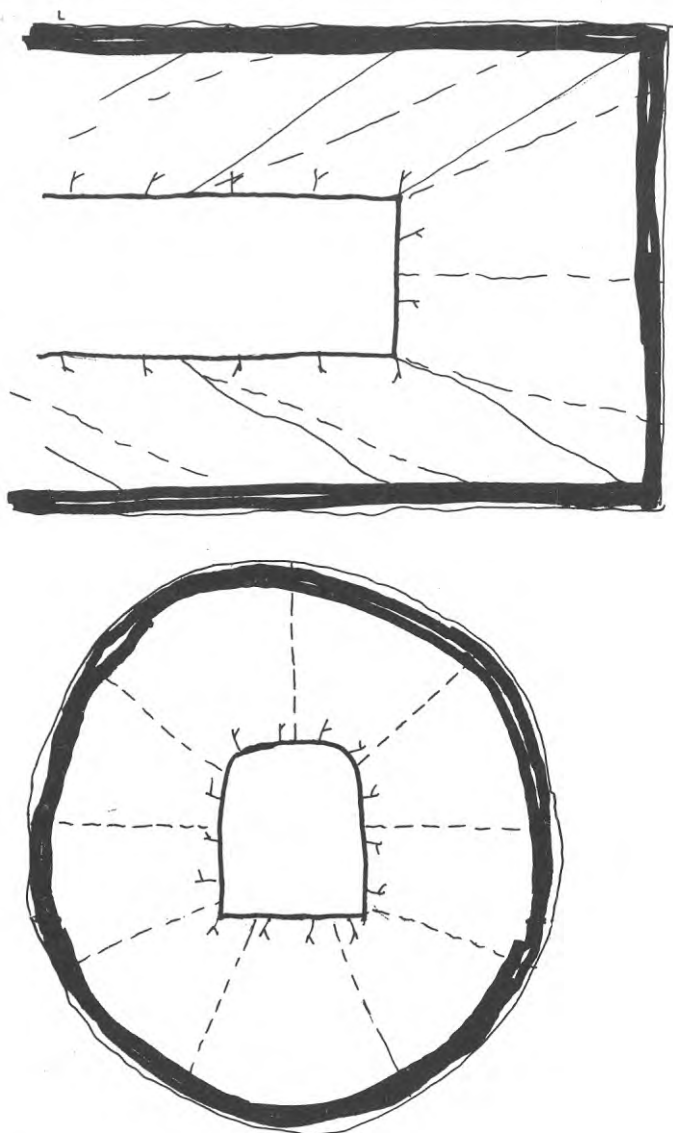


FIG 10:14

Exempel på injekteringsmönster vid förinjektering

lertid ske först ett avsevärt stycke bakom tunnelfronten. Innan inklädnad sker kan avsevärd inläckning ske och bestående grundvattensänkningar uppkomma.

#### 10.5 Skador och skadekostnader

Tunnelarbeten får bära skulden för en hel del av de grundvattensänkningar som sker i våra tätorter. Med grundvattensänkningar följer skador på träpålar, som får mögelröta och ruttnar ner, och marksättningar som kräver reparationer av olika slag. I viss mån är det som väl också framgått av vad som här skrivits berättigat att skylla tunnlar för grundvattensänkning. Men det bör hållas i minnet att inte bara inläckningen till tunnlar, utan även andra byggnadsföretag såsom nedsprängning av husgrunder och gator, och i stor utsträckning den minskande infiltrationen till grundvattenbassängerna, som är orsaken till de många fall av grundvattensänkning som finns i våra tätorter.

Inte på långt när alla de skador som skulle kunna tillskrivas tunnlar har ännu kommit till rättslig behandling. I många fall har inte ens krav på ersättning framställts. Därför måste man kanske se på problemet mera långsiktigt. Följande hypotes kan kanske vara intressant. Antag att en tunnel med sänkingszon av storleksordningen 300 m bredd och 1 km längd passerar känsliga områden med bebyggelse av olika slag. Antag vidare att man där får en grundvattensänkning på några meter, vilken ger stora marksättningar. Vilka kostnader kan det då i så fall röra sig om?

En bebyggelse av småhus med exploateringsstalet 0,2 motsvarar en normal småhusbebyggelse av något senare snitt. I så fall finns inom den antagna zonen 300 småhus. Erfarenheten har visat att skador på småhusgrunder och skador på ledningssystem till husen kan uppgå till 50.000 kr/hus. Skadebeloppet skulle alltså i detta tänkta fall kunna uppgå till 15 Mkr/km tunnelsträckning.

Antag att bebyggelsen består av centrumbebyggelse och att allvarliga grundskador uppstår i samma stråk. Ett belopp är här mycket svårare att fixera, men det behöver bara antas att ett av de större husen får så allvarliga skador att det måste rivas, så kommer belopp av storleksordningen 10 Mkr att bli aktuella.



## 10.6 Diskussion, slutsatser och praktiska rekommendationer

### 10.6.1 Framtida projektering

I synnerhet erfarenheterna från en ledningstunnel i Göteborg kan ge anvisning åt de som sysslar med tunnelprojektering.

I förundersökningen bör som ett första led ingå en noggrann markundersökning i en zon 3 x tunneldjupet på vardera sidan om tunnelns sträckning. Där undersökningen visar att det finns mäktiga lerområden och svaghetszoner i berg bör en noggrann inventering av husbeståndet utföras. Därmed skapas den grund som gör det möjligt att senare kunna bedöma de skadeståndsanspråk som kan komma att resas. Dessutom skapas underlag för ev byggnadstekniska åtgärder.

I vissa fall kan man eventuellt utföra grundförstärkningar i förväg, där grundvattensänkning anses vara oundviklig.

### 10.6.2 Injektering

Enligt de mätresultat som redovisas finns inte idag den teknik som erfordras för att helt eliminera inläckning i tunnlar.

En förinjektering nedbringar sannolikt den initiala inläckningen till tunneln till hälften av vad den eljest skulle ha varit. En efterinjektering kombinerad med inklädnad i speciellt besvärliga krosszoner kan idag ge inläckningsflöden på ca 1 l/s x km tunnellängd eller något därunder.

### 10.6.3 Konstgjord infiltration

För att begränsa eller eliminera skadeverkningarna av tunnelbygge under grundvattenytan kan alltså tätningsåtgärderna kompletteras, exempelvis med någon form av infiltration. Infiltrationen bör om möjligt påbörjas innan grundvattensänkningen sker. Det är betydligt lättare att bibehålla en grundvattenyta än att försöka återställa densamma.

Det finns idag inte tillräckligt många resultat av infiltrationsförsök för att värdet av metoden och svårigheterna att få den att fungera skall kunna entydigt värderas. Det förefaller dock troligt att det är en möjlig metod. Eftersom det kanske är en nödvändig metod med tanke

på de stora skadekostnader som riskeras, förefaller en ökad försöksverksamhet och ökad forskning vara väl motiverad.

### 10.6.4 Tätningskrav

Antag att en tunnel till 2 km av sin längd passerar ett avrinningsområde med 4 km<sup>2</sup> yta. Detta område består av hälften grövre jordar och hälften lermark med lerdjup över 2 m (ingen grundvattenbildning). Större delen av infiltrationsytorna är bebyggda och bidrar i begränsad utsträckning till nybildningen av grundvatten. Antag att hälften av den ursprungliga infiltrationen är kvar. "Hälften av infiltrationen" motsvarar en yta av 1 km<sup>2</sup>. Tunneln läcker efter tätning 1 l/s x km eller totalt 2 l/s. Det motsvarar 63.000 m<sup>3</sup>/år.

För att nybildning av grundvatten skall motsvara läckningen till tunneln fordras alltså att 63 mm av årsnederbörden tillförs grundvattnet inom det begränsade infiltrationsområdet på 1 km<sup>2</sup>. Med en årsnederbörd av 550 mm blir det en infiltrationskoefficient av 0,13, ett i och för sig rimligt värde.

Nu finns det exempel på tunnlar som efter tätning läcker 4-5 l/s x km. Om samma förutsättningar gäller som i ovanstående exempel behövs det infiltrationskoefficienter av storleksordningen 0,5 - 0,6. Dessa värden är orimligt höga och kraftiga grundvattensänkningar kommer att uppstå.

Med tanke på de stora skador med åtföljande stora kostnader som ett sjunkande grundvatten kan åstadkomma krävs att normer för inläckning till tunnlar fastställs av ansvarig myndighet.

Som tidigare nämnts kan man idag få en tunnel så tät att inläckningen blir ca 0,5 l/s x km. En så måttlig inläckning ger i allmänhet inte större grundvattensänkningar och bör kunna anses vara fullt acceptabel och ligga till grund för kraven på tunnlaras täthet.

Ett förslag är att stipulera gränsen 0,1 l/s 100 m, vilket genom valet av sträckan 100 m också utesluter större koncentrerade läckage. Strängare krav än så kan för övrigt inte uppfyllas med dagens teknik. Den genomsnittliga läckningen blir sannolikt inte större än om gränsen 0,5 l/s km hade valts.

## 11 STEGA:S DATORMODELL FÖR GRUNDVATTEN- BALANSBERÄKNINGAR

### 11.1 Målsättning

Det konstaterades bl a i KAP 8 att trendanalyser med regressionslinjer och regressionskurvor inte kan användas för att förutse grundvattenförändringar. Andra metoder måste användas för att ge en prognos.

Ett sätt är att i dator göra en modell av vattenbalansen i naturen. Det kan göras genom mer eller mindre noggranna avbildningar av de verkliga förhållandena.

Det finns ett antal modeller som är uppbyggda så att de direkt skall avbilda verkligheten. Stanfordmodellen<sup>x)</sup> är en sådan modell, vars parametrar bestäms med hjälp huvudsakligen av flödesmätningar. Den är inte anpassad till de föränderliga förhållanden som råder i ett område under exploatering.

Vattenbalansen kan också avbildas med relativt enkla räknemodeller. Målet med det arbete som här presenteras har varit att med ett enkelt system för bokföring av vattenkvantiteter göra en balanskalkyl, vars resultat så noga som möjligt överensstämmer med verkligheten.

En sådan modell borde kunna ge värdefulla upplysningar om den körs med varierande förutsättningar. Aktion och reaktion kan studeras. Om randvillkoren är väl bestämda bör modellen även kunna fungera som prognosinstrument.

### 11.2 Huvuddragen av tankarna bakom modellens uppbyggnad

#### 11.2.1 Allmänt

Det är en nästan orimlig uppgift att direkt kunna beskriva det komplicerade system som naturen utgör i en enkel modell. En uppgift som denna måste lösas stegvis - inledningsvis med mycket enkla antaganden.

x) Hydrological Modeling: An Approach to Digital Simulation Cawood, Thunvik, Nilsson, Stockholm 1971.

STEGA:s grundvattenmodell omfattar inte hela det naturliga hydrauliska systemet. Modellen är koncentrerad till det flöde av vatten som rinner från grundvattenbassäng till grundvattenbassäng. Andra hydrauliska system tas inte med i modellen annat än som "störningar" vid beräkning av grundvattenflödet i bassängsystemet. Vid beräkning av grundvattenbildning tas enbart den del av nederbörden med, som antas nå grundvattenbassängerna. Hur sambandet är mellan interception, ytavrinning, markvattenbildning, evapotranspiration, osv tar modellen för närvarande inte ställning till.

I modellen beräknas och bokförs de kvantiteter vatten som på en vald tidsenhet rör sig mellan modellsystemets olika delar. Dessa kvantiteter vatten orsakar nivåförändringar i bassängerna. Tryckskillnaden mellan bassängerna och det strömningsmotstånd som finns mellan dem bestämmer sedan flödet i nästa tidssteg. Som resultat av beräkningarna presenterar modellen grundvattennivån i de olika bassängerna med valda intervaller.

Tidsstegens längd vid beräkningarna har efter gjorda försök valts till 0,1 månad, dvs 3 dygn. Redovisning av resultat sker för vart 10:e tidssteg, dvs varje månad.

Genom att jämföra de beräknade nivåerna med observerade grundvattennivåer kan modellen trimmas in så att den efterliknar den naturliga årstidsvariationen.

När modellen i stort fungerar som jungfrulig mark kan förändringar i modellens ingångsdata göras, vilka motsvarar förändringarna vid en exploatering. På detta sätt kan en prognos erhållas av vilken grundvattensänkning som kan befaras.

#### 11.2.2 Grundvattenbassänger

I de första versionerna av modellen användes ett fåtal bassänger. Under arbetets gång har det visat sig att en uppdelning i fler bassänger och en uppdelning av bassängerna i ett antal magasin ger resultat som bättre överensstämmer med gjorda grundvattenobservationer.

I modellen behandlas grundvattenbassänger på följande sätt.

Den geografiska utbredningen samt en typsektion bestäms för varje bassäng. Mängden dränerbart vatten i friktionsmaterialet under leran beräknas därefter för olika nivåer på grundvattentytan. Mängd och nivå används sedan att beskriva bassängerna i datormodellen.

Vattenvolymererna i bassängerna beräknades från början som ett bestämt procenttal av den del av marken som ligger under vattenytan. Det kvarvarande vattnet ovanför tryckytan försummas i beräkningarna. Denna förenkling ger inte upphov till några nämnvärda fel, eftersom det som inträffar är differensen i vattenkvantitet vid olika tryckhöjder.

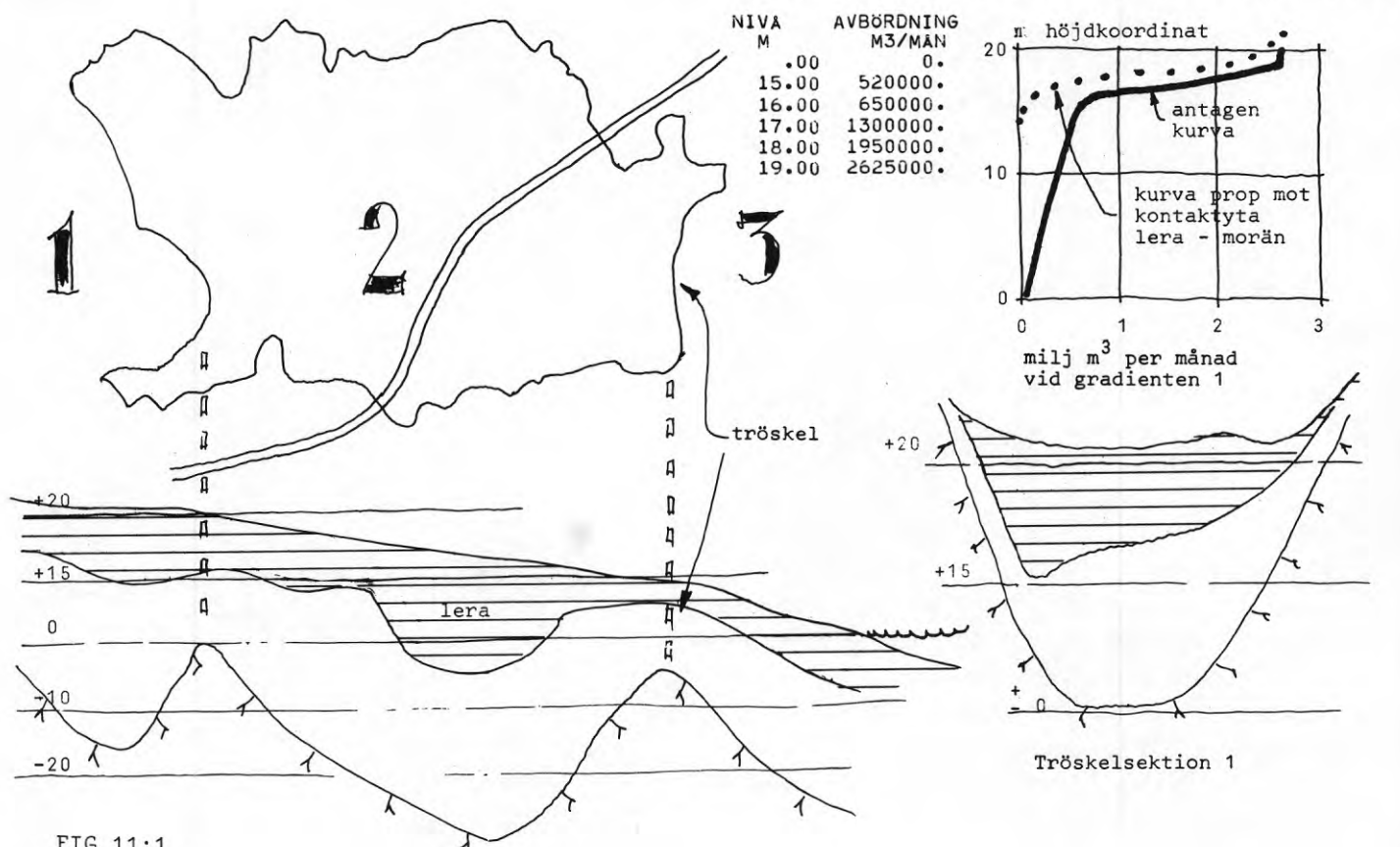
I den första versionen av STEGA:s modell användes ett felaktigt högt värde på effektiv porvolum. Detta gjorde att årstidsvariationerna i modellen inte överensstämde med dem i verkligheten. Sedan uppdelning i två magasin per bassäng hade skett, framträdde årstidsvariationerna. Dessa kalibreras sedan med hjälp av strömningsmotståndet från det ena magasinet till det andra.

Vid senare testkörningar visade det sig att modellen fungerade rätt väl även utan denna uppdelning om någotsånär korrekt avvattningsmängd användes. Det har dock visat sig att uppdelningen i magasin ändå är motiverad.

ca 10 volymprocent dräneras av relativt snabbt vid en grundvattensänkning. Ytterligare 4 % avgår om grundvattensänkningen blir bestående. Denna förebild har (i brist på andra undersökningsresultat) använts i det fortsatta modellarbetet. Grundvattenobservationer visar att det är en mycket god hydraulisk kontakt mellan infiltrationsområdena och de centrala grundvattenbassängerna under leran. Detta är ett av flera indicier som talar för att åtminstone en del av ytmoränen är relativt genomsläpplig.

Bassängerna i modellen har således i den senaste modellversionen utrustats med tre magasin.

- ett lättrörligt magasin vanligtvis av ytmorän, från vilket alla förbindelser till övriga "geografiska" magasin går,



- ett magasin som representerar moränens effektiva porvolym för "omedelbar avdränning". Detta magasin är förbundet med det förstnämnda med en "tröskel" som kan ges valfria egenskaper,
- ett tredje magasin kan kopplas antingen till det första eller till det andra magasinet. Detta representerar det på längre sikt avdränerbara vattnet - i detta fall ca 5 %. Förbindelsen med de övriga magasinerna kan exempelvis utformas så att tryckutjämning vid en bestående grundvattensänkning sker på ett à två år.

I den senaste modellversionen har också en uppdelning gjorts av de tidigare rätt stora bassängerna. Uppdelningen har gjorts i ett antal centrala bassänger och ett antal randbassänger.

Randbassängerna fungerar och beräknas som beskrivits ovan. De centrala bassängerna är helt fyllda med vatten. Flödet genom dem bestäms av en tryckhöjd som ligger ovanför bassängens "tak". Hur flöden och tryckhöjder bestäms i den slutna bassängkedjan beskrivs i avsnitt 11.2.5.

### 11.2.3 Grundvattentrösklar

Grundvattentrösklar är ofta förträngningar i bergbotten av dalgångens tvärsektion. Ytan av friktionsmaterialet i en sådan förträngd sektion utgör genomströmningsyta och till denna knyts en grovt uppskattad permeabilitet. Ytan gånger permeabiliteten ger tröskelns relativa avbördningskapacitet.

Genomströmningsytan mäts för olika nivå på grundvattenytan. Den relativa avbördningen vid olika nivåer ingår i modellen som en beskrivning av tröskeln.

Vid de första testkörningarna med modellen antogs att genomsläppligheten var likformig genom hela tröskelsektionen. Avbördningen över tröskeln berodde då enbart på genomströmningsytans storlek. I den mer utvecklade modellen har en nivåberoende funktion införts för att avbilda olikheten i genomsläpplighet i olika delar av sektionen. Se vidare avsnitt 11.3.1.

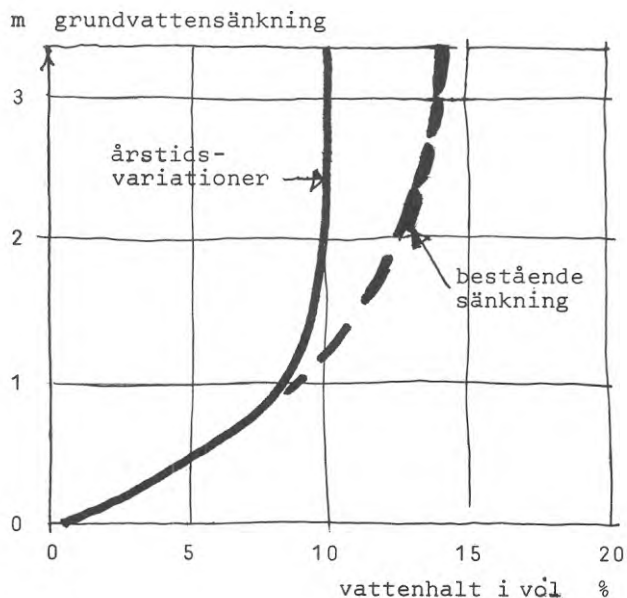


FIG 11:2  
Tät ytmoräns "effektiva porositet" enl SGU

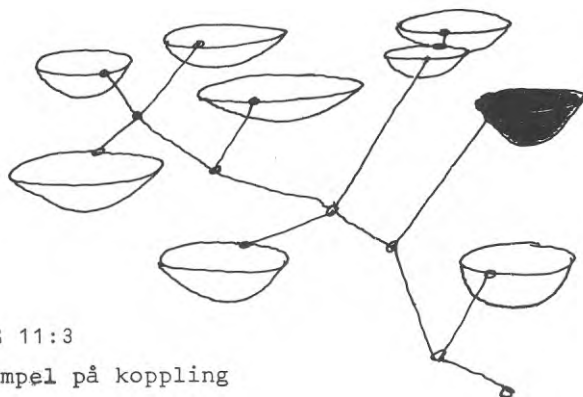


FIG 11:3  
Exempel på koppling

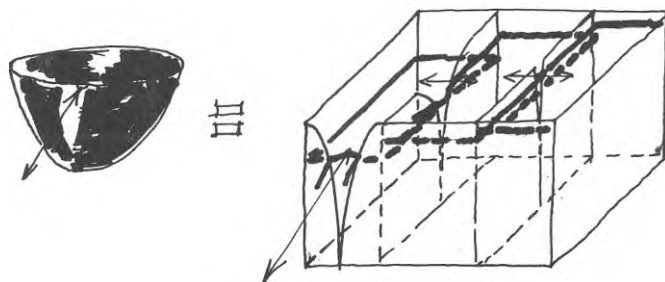


FIG 11:4  
Exempel på uppdelning av ett magasin i tre

11.2.4 Nybildning av grundvatten

Grundvatten bildas främst genom perkolation av nederbördsvatten och genom utpressning av vatten vid lerors konsolidering.

I grundvattenmodellen har antagits att perkolation enbart sker under månaderna april-maj samt november-december. Mängden vatten som tillförs varje bassäng beror på infiltrationsområdets storlek och områdets infiltrationskoefficient.

Infiltrationskoefficientens storlek varierar på jungfrulig mark mellan 8 % och 20 % beroende på terrängtyp.

I modellen antas att 60 % av perkolationen sker på våren och 40 % på hösten. I beräkningarna "används" därför 60 % av områdets infiltrationskoefficient på våren och 40 % på hösten.

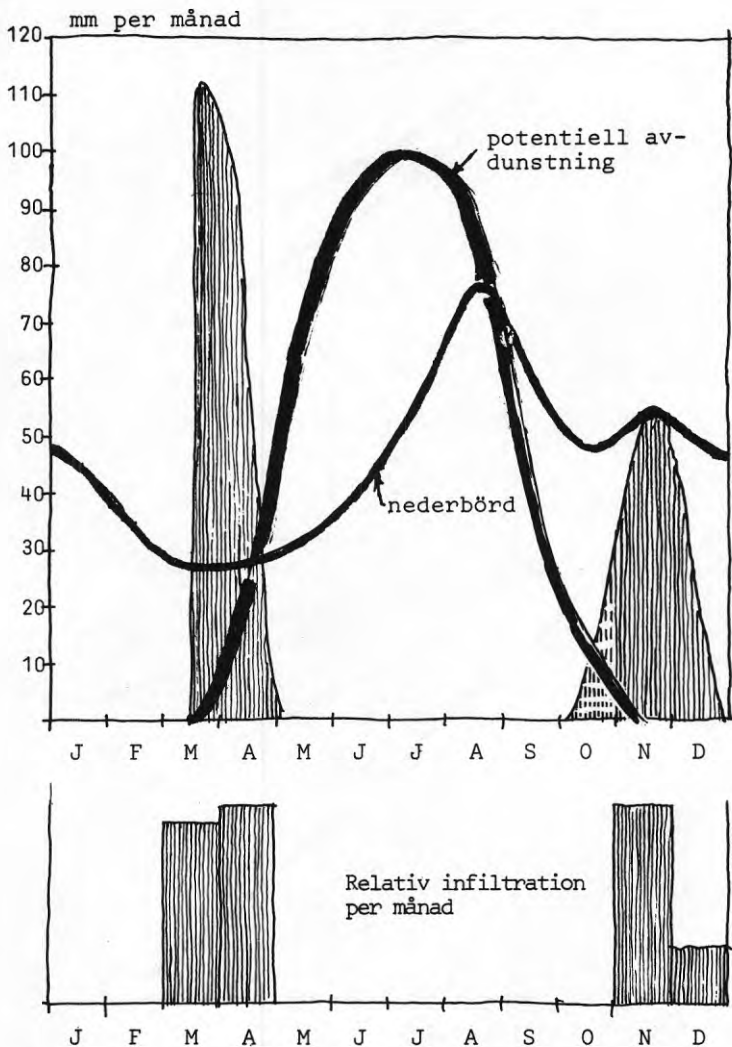


FIG 11:5

Berkolationen kan avbildas i dator med avsevärd detaljeringsgrad. Det innebär inga som helst principiella svårigheter att bygga in exakt samma inmatning i STEGA:s grundvattenmodell, men det är ännu oklart om noggrannheten i resultatet ökar i samma mån som komplexiteten i beräkningssystemet.

För de programversioner som hittills har provats har enklaste tänkbara inmatningsrutin tillämpats. Den enligt ovan beräknade mängden vatten som perkolerar under vår- respektive höstperiod fördelas jämnt på varje beräkningstillfälle under den tid då perkolationen antas ske.

Hur leror avvattnas vid konsolidering under tryck är ofullständigt behandlat i litteraturen. Något generellt samband mellan pålastning, konsolidering och pressvattenmängd kan därför inte redovisas.

En ytterligare komplikation är att "reaktionen" är irreversibel. Pressvatten avges vid pålastning men sugs inte upp igen vid avlastning.

NYBILDNING AV GRUNDVATTEN GENOM PERKOLATION

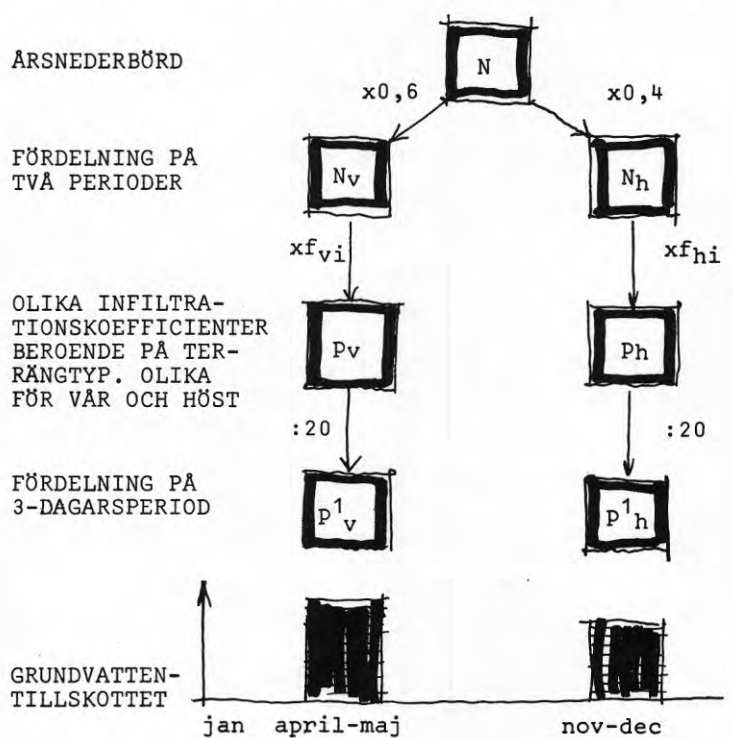


FIG 11:6

En enkel metod har därför valts för att beräkna de pressvattenmängder som skall införas i modellens grundvattensystem.

- Leran skiktindelas för beräkningen
- För varje lerdjup bestäms ur grundundersökningarna förkonsolideringstryck,  $\epsilon_2$  samt  $c_v$
- Överlasten bestäms
- En lastökning motsvarande en grundvattensänkning som upphör efter 20 alternativt 30 år antas gälla
- Pressvattentillskottet fördelas enligt motsvarande framräknade sättningsskurvor.
- Den i modellen beräknade grundvattensänkningen jämförs med den som noterats i verkligheten. När grundvattensänkningen stämmer med den i verkligheten uppmätta är alltså pressvattenflödet korrekt - så långt sig göra låter - och korrigeringen nöjaktig för den närmaste tiden.

Pressvattenberäkningarna bygger på antaganden, som är rätt osäkra. När modellen körts till en prognos som omfattar exempelvis ca 10 år måste en jämförelse göras med de antaganden som ligger till grund för pressvattenberäkningen. Stämmer inte antagandena med prognosen - vilket är troligt - måste pressvattenberäkningen göras om och modellen köras med nya pressvattenflöden till dess nöjaktig samstämmighet har uppnåtts.

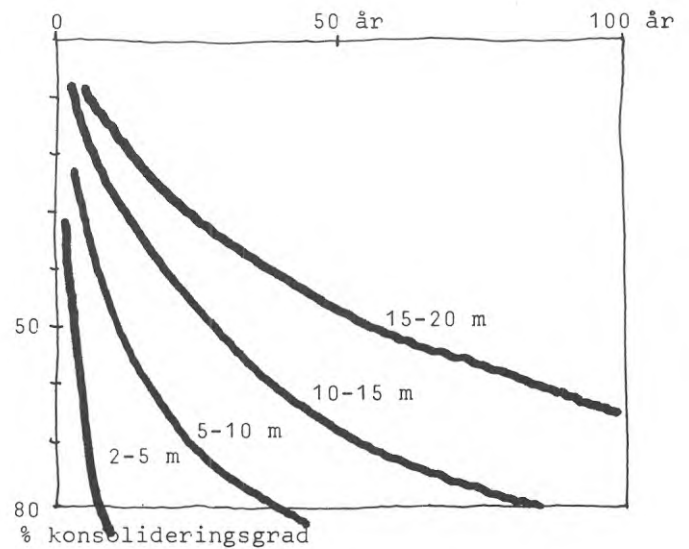
Lyckligtvis är pressvattenflödena i dessa sammanhang relativt små, varför kraven på samstämmighet inte behöver vara särskilt höga.

#### 11.2.5 Beräkningssystem för den centrala, slutna bassängkedjan

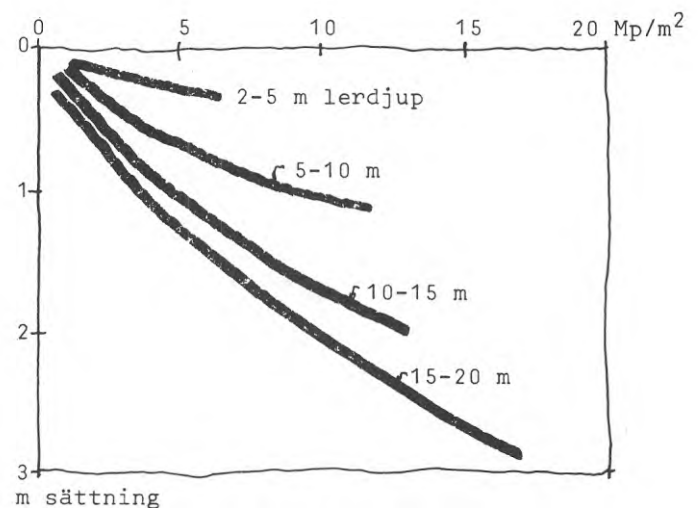
Uppdelningen av den ursprungliga modellens stora bassänger i mindre har medfört att en särskild beräkningsteknik måste användas för de centrala, slutna bassängerna.

Pressvattenberäkningen - och antagandena

- 1 Medelvärden på  $c_v$  och  $\epsilon_2$  ur grundundersökningarna
- 2 Grundvattenytans läge 1969 och 1972 enligt observationerna
- 3 Beräkning av överkonsolideringsgrad
- 4 Sättningarnas tidsförlopp beräknas



5 Last - sättningsdiagram beräknas



6 Avvattningskurvor beräknas

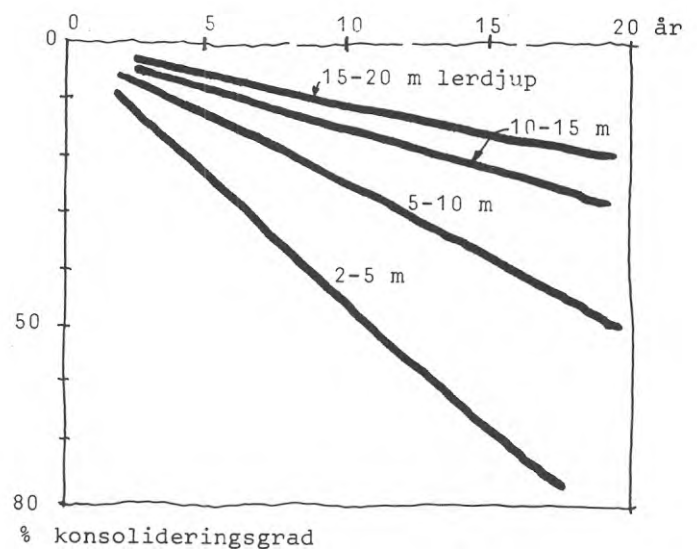
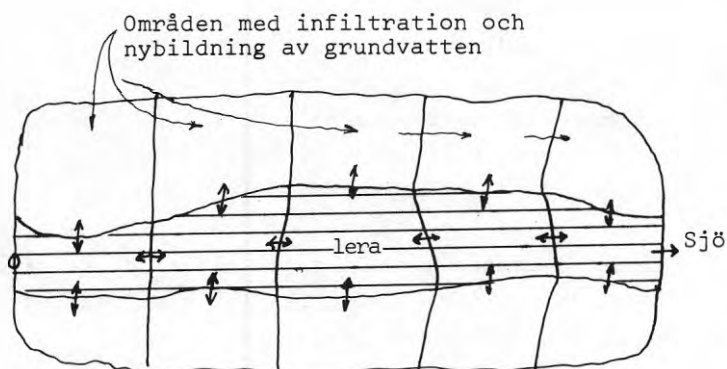
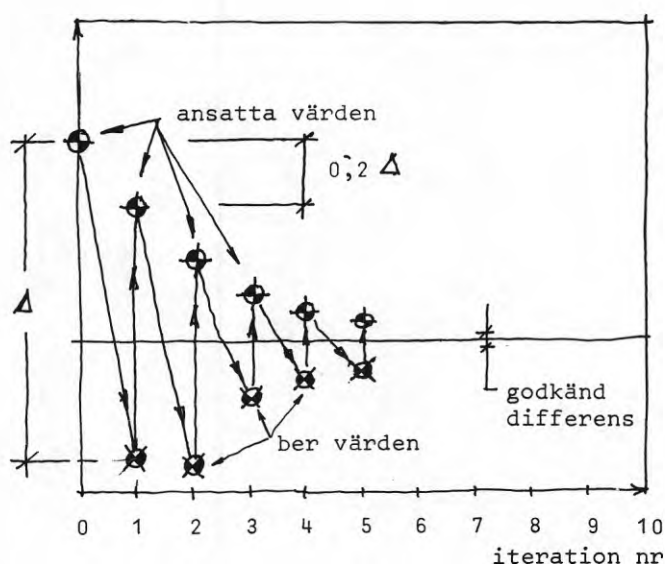


FIG 11:7



Exempel på modell

FIG 11:8



Itereringsberäkning av grundvattentryck i modellens "centrala kedja".

Princip: 0:ansats → 0:flöde → 1:nivåkedja →  
→ 1:proportionering → 1:ansats  
→ 1:flöde → 2:nivåkedja etc

FIG 11:9

Eftersom de centrala bassängerna är helt fyllda skulle en plötslig påfyllning av vatten i princip orsaka en oändlig tryckstegring. Flödet genom dessa magasin liksom trycknivåerna måste därför beräknas genom en serie iterationer. Det går till på följande sätt.

Trycknivån i de centrala bassängerna från tidigare tidssteg används för att beräkna samtliga flöden mellan randbassänger och centrala bassänger. Flödena summeras med sina tecken ner till "nollnivån" (= sjöns yta). Med ledning av

avbördningsfaktorerna för den nedersta grundvattentröskeln beräknas en mot detta summaflöde motsvarande tryckhöjd för den näst nedersta bassängen i den centrala kedjan. Därefter går man en trappa upp i den centrala bassängkedjan. Summan av flödet från uppströms liggande bassänger ger tryckhöjden i den närmast högre liggande bassängen osv.

De beräknade tryckhöjderna jämförs därefter med de ansatta. Nästa iteration startar med att de först ansatta nivåerna minskas med 20 % av skillnaden mellan ansatta och beräknade nivåer. Nya flöden beräknas därefter. Beräkningarna löper så tills skillnaden mellan ansatta och beräknade nivåer blir mindre än 1 cm. Därefter påbörjas beräkningarna för nästa tidssteg.

Att 20 % av skillnaden mellan ansatt och beräknat värde valts som ändring mellan iterationerna beror på att en större utjämning har en tendens till att ge resonanssvängningar i beräkningssystemet.

#### 11.2.6 Modellens matematiska bakgrund

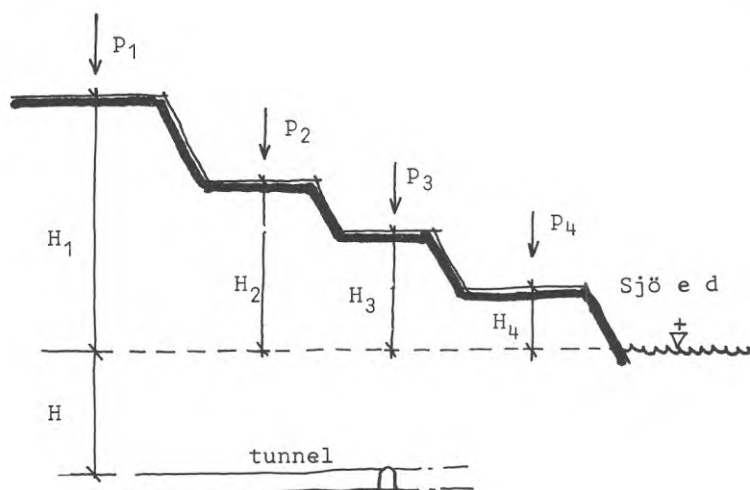
STEGA:s grundvattenmodell kan representeras av en jämviktsekvation. I denna ekvation tas även grundvattenflödet genom berg och flödet till tunnlar med.

För varje grundvattenbassäng kan en enkel vattenbalans ekvation uppställas. För att illustrera principen väljs här ett system med endast fyra bassänger (ekv (1 - 4)).

Det ekvationssystem som kan upprättas visas här intill. Det gäller för ett visst tidsintervall.

I ekvationerna används följande betydelse på koefficienterna:

- $\alpha_i$  effektiv porositet gånger fri magasinnya i respektive grundvattenbassäng
- $\beta_i$  genomsläppligheten hos berget gånger ytan av de genomsläppliga zonerna gånger strömningsmotståndet i berget mellan bassängen sjöytan
- $\gamma_i$  genomsläppligheten i berg gånger strömningsmotståndet mellan bassängen och påverkande tunnlar
- $k_i$  genomsläppligheten i grundvattentrösklarna gånger tröskelns genomströmningsyta dividerat med en karakteristisk "gradientlängd".



$p_i$  = perkolations = nybildningen av grundvatten  
 $H$  = tryckhöjder

FIG 11:10

$$\alpha_1 \Delta H_1 = p_1 - \beta_1 H_1 - \gamma_1 (H_1 + H) - k_1 (H_1 - H_2) \quad (1)$$

$$\alpha_2 \Delta H_2 = p_2 - \beta_2 H_2 - \gamma_2 (H_2 + H) + k_1 (H_1 - H_2) - k_2 (H_2 - H_3) \quad (2)$$

$$\alpha_3 \Delta H_3 = p_3 - \beta_3 H_3 - \gamma_3 (H_3 + H) + k_2 (H_2 - H_3) - k_3 (H_3 - H_4) \quad (3)$$

$$\alpha_4 \Delta H_4 = p_4 - \beta_4 H_4 - \gamma_4 (H_4 + H) + k_3 (H_3 - H_4) - k_4 H_4 \quad (4)$$

$$\sum_1^4 \alpha_i \Delta H_i = \sum_1^4 p_i - \sum_1^4 \beta_i H_i - \sum_1^4 \gamma_i (H_i + H) - k_4 H_4 \quad (5)$$

eller mer generellt - för varjs tidssteg  $\Delta t$   
 så länge  $\Delta t$  är litet

$$\sum_1^n \alpha_i \Delta H_i = \sum_1^n p_{it} - \sum_1^n \beta_i H_{it} - \sum_1^n \gamma_i (H_{it} + H) - k_n H_{nt} \quad (6)$$

index  $t$  anger att faktorn utgör ett karaktäristiskt medelvärde för perioden  $t$

Stort tidssteg  $t_0$  till  $t_k$  ger

$$\sum_1^n \alpha_i \Delta H_i = \sum_1^n \int_{t_0}^{t_k} p_i dt - \sum_1^n \beta_i \int_{t_0}^{t_k} H_{it} \frac{dt}{t_k - t_0} - \sum_1^n \gamma_i \int_{t_0}^{t_k} \frac{(H_{it} - H) dt}{t_k - t_0} - k_n \int_{t_0}^{t_k} \frac{f(H_{nt}) dt}{t_k - t_0}; \quad (7)$$

Dessutom används  $\Delta$  som symbol för förändringen i nivå under tidsintervallet.

De uppställda ekvationerna summeras. Den erhållna ekvationen (5) beskriver hela områdets vattenbalans.

För att ekvationen skall gälla måste det valda tidssteget  $\Delta t$  vara litet. Ekv (6) visar hur en generell jämviktsekvation skulle se ut.

Om tidsintervallet är stort måste integraler användas för att definiera ekvationens högra led (7).

### 11.3 Beräkningsexempel, Norsborg - Fittjadalgången i Norra Botkyrka

#### 11.3.1 Bakgrund

I arbetets inledningsskede koncentrerades ansträngningarna på Alby-dalgången. Här finns fler naturligt avgränsade bassänger än i Norsborg-Fittja-dalen, vilket bedömdes ge en mer allsidig bild av problematiken.

Det visade sig emellertid att vattenbalansen inte stämde till sin storleksordning med de observerade inflödena i ett av tunnelpåslagen. I avvaktan på att mätningarna av detta flöde skulle få tillräcklig tid för säkra slutsatser överflyttades arbetet till Norsborg-Fittjadalen.

Exploatören uttryckte ungefär vid samma tidpunkt önskemålet att en grundvattensänkningsprognos skulle ges för området närmast korsningen E4 - Stockholms stads huvudvattenledning från Norsborgsverket.

Arbetet intensifierades då avsevärt och ett utlåtande avgavs i juli 1972.

#### 11.3.2 Den första prognosen med den enklaste modellversionen

Norsborg-Fittjadalgången uppdelades i tre bassänger, en omfattande ungefär Hallundaområdet, en stor central bassäng omfattande hela det centrala avrinningsområdet och en tredje omfattande Albysjön jämte ett avrinningsområde som närmast gränsar till stranden.



Vattenbalansen beräknades för ett tiotal år med förutsättningen att alla infiltrationsytor var intakta och att ingen avdränning vid djupa ledningsnät eller tunnlar skedde. Sådana k-värden för trösklarna valdes att grundvatten-trycket bibehöll sin nivå genom åren.

För varje fas i bebyggelsen antogs sedan att nybildningen av grundvatten minskade. Detta beräknades enligt bestämda schabloner. Uppskattad inläckning till utsprängt tunnelsystem togs också med i beräkningarna.

Därefter gjordes en rad testkörningar med varierande k-värden för trösklarna. En kombination av k-värden kunde på så sätt bestämmas, som gav en grundvattensänkning, vilket överensstämde med den i fält observerade sänkningen.

Beräkningarna kördes därefter för en tidsperiod av 20 år från byggstarten med dessa k-värden. Den prognos som då erhöles var "i alla fall något bättre än de rena gissningar man annars varit hänvisad till".

Denna första prognos hade så många svagheter att den ansågs vara alltför osäker. Grundvattnets tryckyta i Norsborg-Fittjadalgången är relativt invecklad. Den observerade grundvattensänkningen var dessutom mycket större i de centrala delarna av dalgången än i randområdena. Pressvatten från lerans konsolidering var inte heller med i den första prognosen.

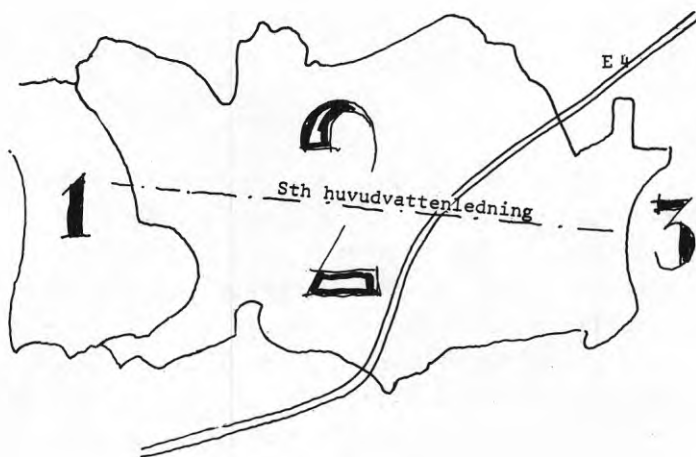


FIG 11:11

### 11.3.3 Beräkning med den utvecklade modellen

#### 11.3.3.1 Indelning i bassänger

Modellens ursprungliga tre grundvattenbassänger delades upp i 17 bassänger, fem centrala, slutna bassänger och tolv randbassänger. I beräkningarna behandlas den översta, centrala bassängen med sina två randbassänger som en enhet. Även de två nedersta randbassängerna har sammanförts till en enhet.

Uppdelningen i randbassänger och centrala bassänger har gjorts vid lerdjupsgränsen 5 m. Randbassängerna avdelas från varandra så att vattenutbytet mellan dem kan anses vara obetydligt. Gränserna följer alltså så mycket som möjligt grundvattendelare. Den centrala kedjan av bassänger består av de djupaste lerområdena. Avgränsningarna tvärs dalen är antingen naturliga "trösklar" i berggrunden eller också en fortsättning av randbassängernas gränslinjer.

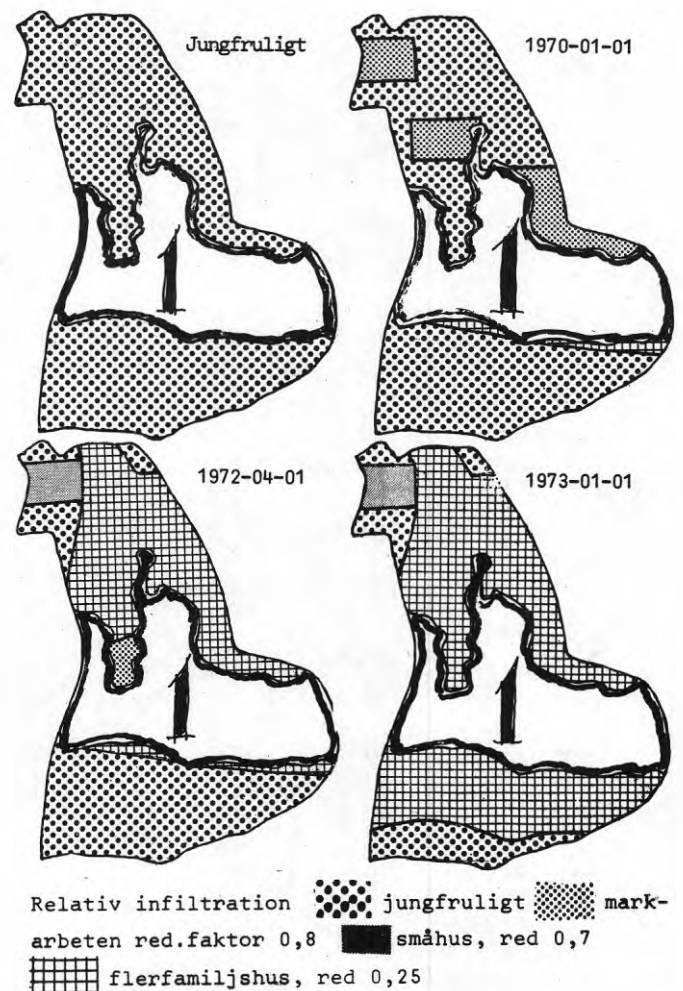


FIG 11:12

### 11.3.3.2 Indelning i magasin

I den första modellversionen förekom ingen uppdelning av bassängerna i magasin. Vid testkörningar visade det sig att årstidsvariationerna i modellen inte var proportionella mot kvoten mellan perkolation och magasinstorlek beräknad efter de uppmätta verkliga volymerna. Randbassängerna har därför delats upp i tre magasin enligt avsnitt 11.2.2.

### 11.3.3.3 Intrimning och testkörning

Först gjordes ett antal beräkningar för jungfrulig mark för att kontrollera att långtidsbalansen var stabil. Samtidigt kontrollerades att tröskelvärdena var så satta att det inte regelmässigt skedde en avbräddning över lerkanten vid varje påfyllning av grundvatten.

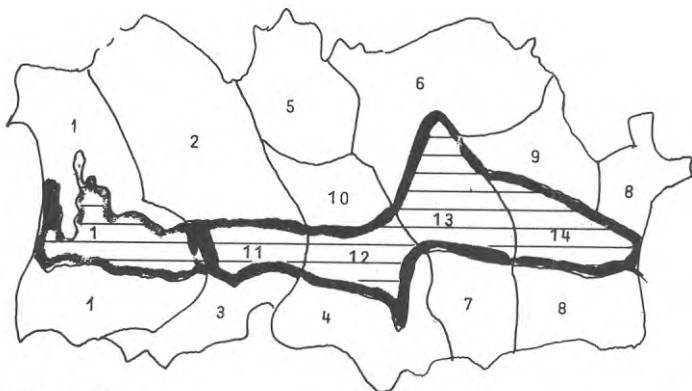
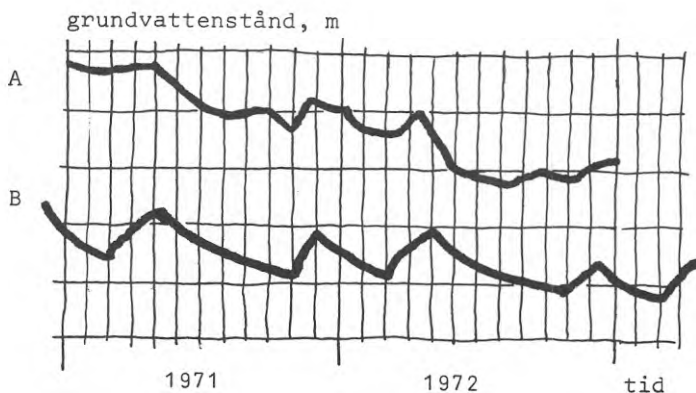


FIG 11:13  
Plan av modell



Exempel på intrimning av årstidsvariation

A = mätningar på fältet

B = datormodellen

FIG 11:14

Nästa steg i intrimningen var att få fram en årstidsvariation som överensstämmer med den observerade. Det gjordes genom att bestämma den relativa storleken på magasinerna i randbassängerna samt att ge restriktioner för på vilket sätt de avbördades.

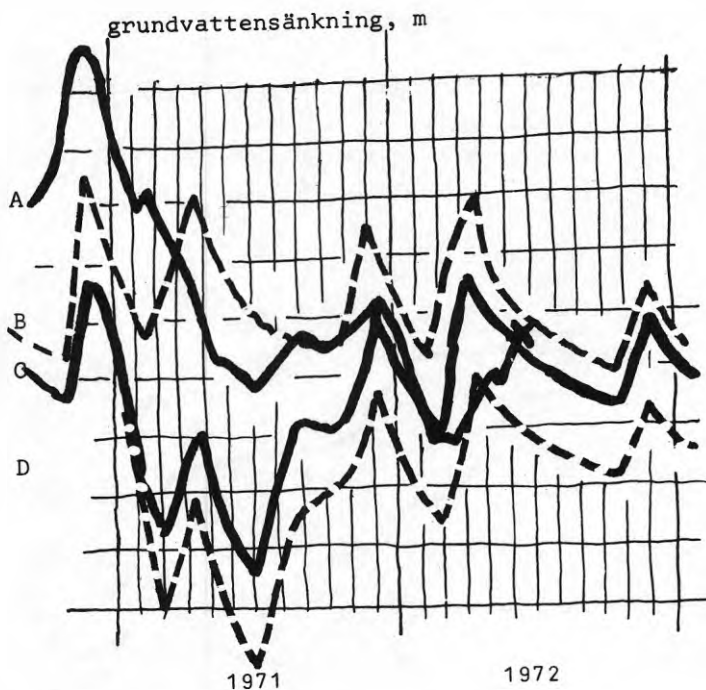
De 15 % som utgör den slutliga effektiva porvolymen i moränen i randbassängerna fördelades med 4 - 7 % på det lättrörliga magasinet, 3 - 6 % på det medeltröga och återstående 5 % på det tröga. Avbördningen av det lättrörliga magasinet sker omedelbart. Det medeltröga har någon månads fördröjning vid 1 m tryckdifferens. I det tröga sker avbördningen under 1 à 2 år vid tryckdifferensen 1 m.

Vid testkörningar med andra antaganden visade det sig också att årstidsvariationen kunde efterliknas med enbart två magasin per bassäng.

Därefter följde intrimning av hur man enklast skulle efterlikna ingreppen vid exploateringen av Norra Botkyrka. Den plötsliga grundvattensänkningen som inträffade under första halvåret 1971 strax norr om passet mellan Albyhöjden och Eriksberg kunde enklast simuleras med hjälp av en "bottenavtappning" i motsvarande grundvattensbassäng i datormodellen. Avtappningen motsvarar den observerade inläckningen vid tunnlar vid denna tidpunkt. Modellens avsänkingskurva kunde bringas att efterlikna den genom grundvattenobservationer framtagna kurvan, om en särskilt stor avtappning gjordes under första halvåret 1971 och om avtappningen därefter minskades till hälften. Inläckningen till tunnarna i passet var också störst i samband med utsprängningen. Den avtog därefter genom att tunnarna tätades. Ett flertal beräkningar gjordes för att bestämma lämplig storlek på bottenavtappningen.

Intrimning av modellens reaktion på minskad grundvattenbildning var besvärlig. Det visade sig t ex vid grundvattentröskel 1 mellan bassängerna 1 och 11. Vid "jungfrulig mark" hade trycklinjen över tröskeln ringa lutning. När sedan grundvattenbildningen minskades i och med bebyggelsen var det omöjligt att i modellen efterlikna den observerade grundvattensänkningen med tidigare använda tröskelvärden. Om däremot grundvattentröskeln utformades så att avbördningen var stor vid hög grundvattenyta och

minskade starkt, när grundvattnet sjönk gick det åter att få observerade och beräknade nivåer att stämma. Detta kan tolkas så att det finns en betydligt genomsläppligare zon i gränsen mellan lera och morän i vilken huvuddelen av avbördningen över tröskeln sker. Trimmingsberäkningarna ger emellertid inget stöd för att det är just de antaganden som gjorts som är de riktiga, bara att den kombination av dessa som valts ger en godtagbar avbildning av verkligheten. Tvärt om ser det ut som det skulle finnas ett brett band med möjliga värden. En för stor strypning av flödet över tröskeln kan ha kompenserats av en för stor bottenavtappning i den övre bassängen. Grundvattensänkningen i modellen kommer då att gå snabbare än i verkligheten. Vid intrimningen av modellen har också förts in en korrektion av den första modellversionens nederbördsdata. I den första modellen användes årsmedelvärdet för nederbörden som ingångsdata. Under arbetet med den senaste modellversionen



Exempel på intrimningsförsök med varierande läckning till tunnlar.

A = mätningar på fältet

B,C,D = läckning till tunnlar - 2Q under första halvåret 1971, ca Q i fortsättningen

FIG 11:15

konstaterades det att det under utbyggnadstiden av Norra Botkyrka varit betydande avvikelser från detta medelvärde. Avvikelsen har också varierat år från år. Nederbörds mängden vid Norsborgs vattenverk har avvikit från årsmedelvärdet med följande tal under utbyggnadsperioden.

År	Totalnederbörd %	mm	Modellens infiltration % vår	% höst
1968	- 2	- 11	- 24	0
1969	- 24	- 141	- 22	- 27
1970	- 31	- 181	- 28	- 3
1971	- 28	- 159	- 38	- 34
1972	- 20	- 118	- 10	- 39

Summa 610

Normalnederbörd Norsborg 1: 576 mm (1931-1960)

Det sista ledet i intrimningen av modellen var att beräkna mängden pressvatten som skulle tillföras bassängerna. Det gjordes på det sätt som beskrevs i avsnitt 11.2.4.

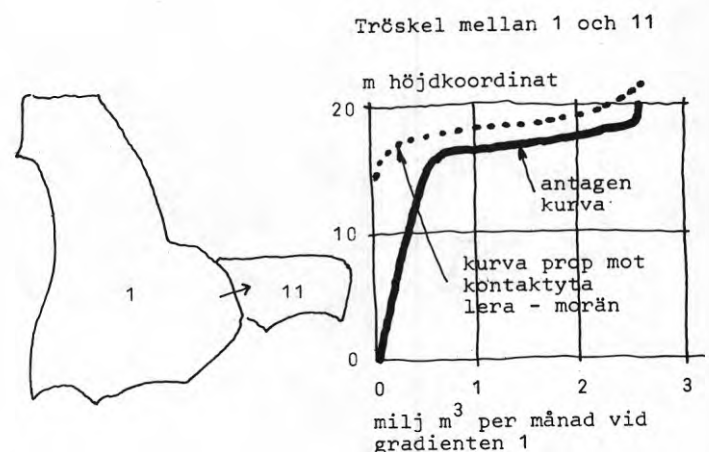
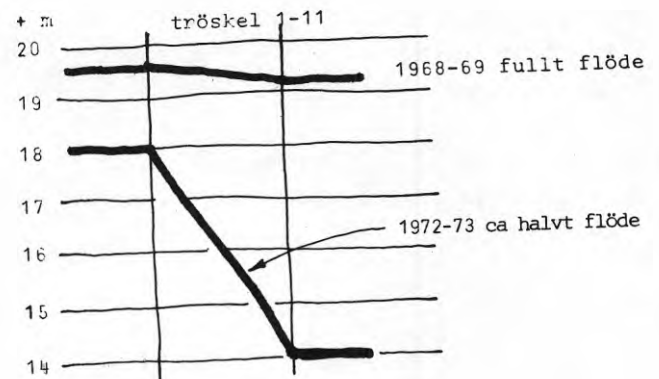


FIG 11:16

#### 11.3.3.4 Avstämning och resultat

Avstämningen av modellen gentemot verkligheten har tillgått så att den ursprungliga medelvat-  
tenytan enligt observationerna inlagts i model-  
len. Modellen har sedan körts för ett antal år  
med kravet att tryckytan längs hela dalgången  
skulle bibehållas stabil vid oförändrade yttre  
omständigheter. Därefter har störningar i form  
av minskande infiltration och läckageflöden  
till tunnelsystemet lagts in i den tidsföljd  
som skett i verkligheten. En sänkning av hela  
trycklinjen uppifrån Hallunda och ner till Al-  
bysjön har då uppstått i modellen.

Den observerade avsänkningen har räknats fram  
med statistiska metoder. De starkt årstidsva-  
rieringar grundvattenstånden har därigenom åter-  
förts till statistiskt säkerställda medelvärden.  
På samma sätt har årsmedelvärden beräknats för  
de tryckhöjder som modellen redovisar.

Mellan maj 1969 och december 1972 sjönk grund-  
vattnet i bassäng 13 med ca 4 m. Modellen visar  
att om ytterligare 5 år kommer sänkningen att  
vara någon meter större. Sänkingshastigheten  
avtar därefter.

Område 11 och 12 har större sänkningar än 13 -  
ca 5 - 4 m från 1969 till 1980. Denna större

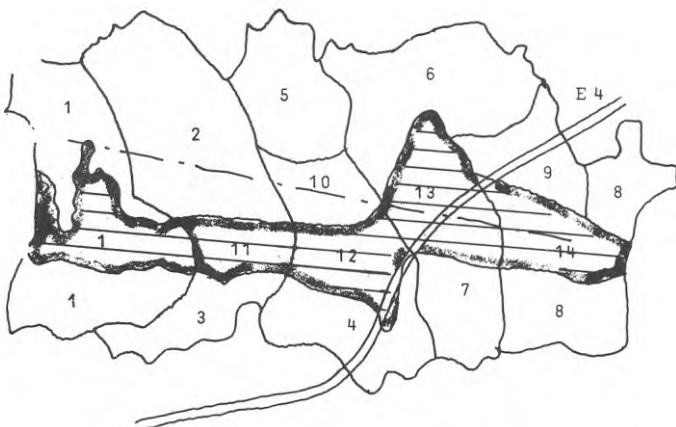


FIG 11:17

sänkning beror sannolikt på att tunnelsystemet  
verkar dränerande i området närmast passet och  
väster därom.

Avsänkningen första halvåret 1971 syns i Bot-  
kyrka ha haft avgörande betydelse för grund-  
vattentrycken i de centrala delarna av Nors-  
borg-Fittjadalgången.

Inläckningen till tunnlar före och efter denna  
period kan ha haft avgörande betydelse för grund-  
vattenbalansen. Svårigheten att med tillräcklig  
noggrannhet bestämma parametrar och trender har  
här främst på grund av att observationstiden va-  
rit kort, varit så stora att en betydande osäker-  
het ännu måste anses kvarstå.

#### 11.4 Försök att utföra kontrollberäkningar enligt jämviktsekvationen

I avsnitt 11.2.6 beskrevs modellens matematiska  
bakgrund. Jämviktsekvation används för att kon-  
trollera om de intrimnade värdena på modellpara-  
metrarna kan vara rimliga. Med observationer som  
mer direkt syftar till att skapa mätunderlag för  
parameterberäkningar torde beräkningarna kunna  
göras tillförlitliga. Längre observationsserier  
så att överbestämningarna blir fler ger också  
bättre kvalitet på resultaten.

plushöjd m

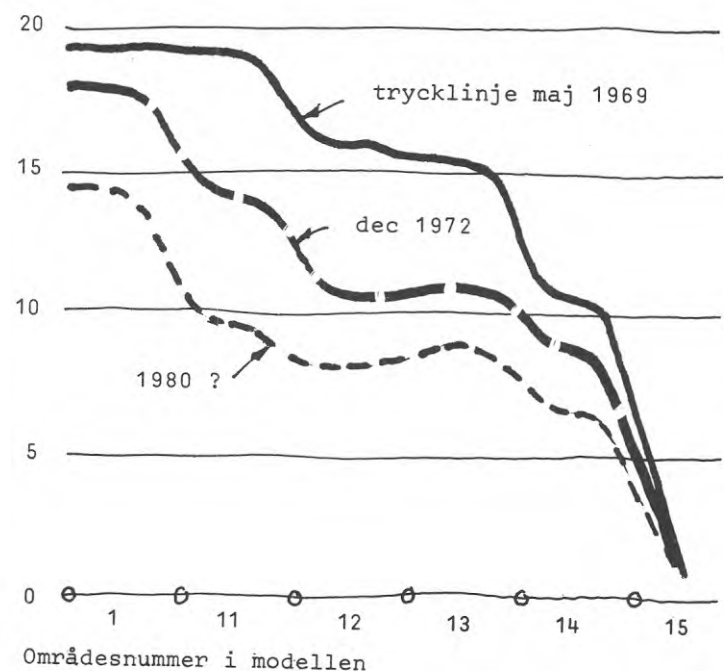


FIG 11:18

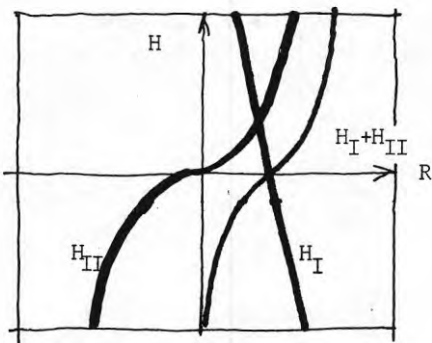
11.4.1 Beräkning av tröskelparametrar

Under sommaren och hösten är nybildningen av grundvatten försumbar och magasinförändringarna påtagliga. I ekvation (7) finns då bara fyra obekanta parametrar.

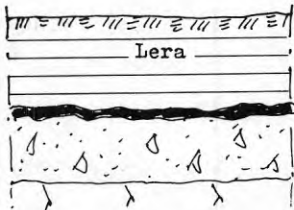
Det första praktiska steget

$$\sum_1^n \alpha_i \Delta H_i = -\beta_{imed} H_{tmed} - k_n f(H_{nt}); \quad (8)$$

$\beta_i H_{tmed}$  kan med god approximation betraktas som en konstant för varje tidssteg.

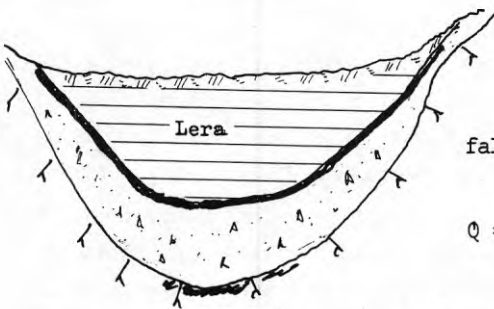


Sambanden mellan H och genomströmningsarean R



fall 1

$$Q = k_n \frac{H}{H_0} a;$$



fall 2

$$Q = k_n \frac{H}{H_0} \varphi(H);$$

$\varphi(H) = R$  kan skrivas  $H = \varphi(R)$  eller

$$H_I = \varphi_1(R) = A + BR; \quad \text{dvs } R_I = -A + \frac{1}{B} H_I$$

$$H_{II} = \varphi_2(R) = CR^3; \quad \text{dvs } R_{II} = \sqrt[3]{\frac{H_{II}}{C}}$$

I princip gäller alltså

$$Q = aH + bH^2 + cH^{4/3}; \quad (9)$$

FIG 11:19

Betraktas området som helhet ingår endast den sista avbördningsströskeln i ekvationen (ekvationssystemet). För att bestämma avbördningskurvan eller som den praktiskt utformad i modellen - den relativa avbördningskurvan - torde det räcka med en linjär term,  $a + bH$  samt en tredjegradsterm,  $cH^{1/3}$ .

Om detta appliceras på data från Botkyrka en sommar innan tunnelsystemet byggts ut får man följande mer preciserade förutsättningar.

- att magasinändringarna är kända,
- dräneringen genom bergsprickorna kan antas vara oberoende av höjdskillnaderna mellan de olika delmagasinen, vilket kan förenkla vissa delberäkningar,
- att den sista tröskeln i systemet tillräckligt noga beskrivs av de tre valda parametrarna.

Något fler värden än de fyra erforderliga kan erhållas varje sommar, vilket ger en sådan överbestämning att parametrarna kan bestämmas med multipel linjär regression, varvid den fördelen vinnas att de statistiska parametrarna ger besked om bestämningens noggrannhet.

Tröskelparametrarna kan också bestämmas successivt, exempelvis med början uppifrån. Läckningen genom berg erhålls då för varje delområde för sig.

Beräkning av parametrar för område 1

$$\alpha_1 \Delta H = -\beta_1 H_{1,t} - k_1 f(H_{1,t}); \quad (10)$$

Obekanta:  $\beta_1, a_1$ , (ev  $b_1$  och  $c_1$ )

$H_1$  och  $H_{11}$  är kända för varje t

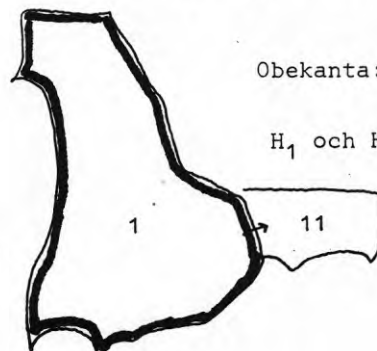


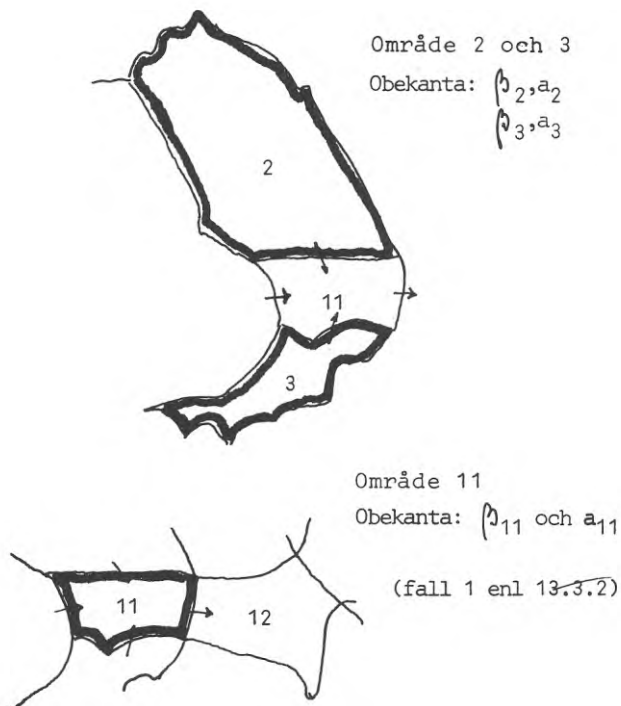
FIG 11:20

#### 11.4.2 Beräkning av perkolation

Genom att använda ekvation (6) med läckningen till tunnlar satt till 0 - dvs för en period innan tunnelutsprängningen kunnat påverka de hydrologiska förhållandena i Botkyrka - kan perkolationens storlek för varje delområde beräknas. Det borde vara möjligt att kontrollera beräkningarnas riktighet genom att köra en beräkning över hela området som helhet.

#### 11.4.3 Beräkning av läckning till tunnlar

Under en sommarperiod sedan tunnlar sprängts ut är samtliga parametrar utom  $i$  kända. Detta



$$\alpha_i \Delta H_i = p_i - \beta_i H_{it} + k_{i-1} (H_{i-1} - H_i) - k_i (H_i - H_{i+1});$$

$p_i$  enda obekanta faktor.

FIG 11:21

$$\sum_1^n \alpha_i \Delta H_i = \sum_1^n p_i - \sum_1^n \beta_i H_{it} - \sum_1^n \gamma_i (H_{it} + H) - k_n H_{nt} + \sum_1^n Q p_i; \quad (11)$$

gäller samtliga delområden. Den registrerade tryckändringen - magasinändringen - ger alltså direkt värden på  $\gamma_i$ . Om sommarperioden uppdelas i flera tidsperioder erhålls en överbestämning på  $\gamma_i$ , vilket på samma sätt som vid multipel regression ger spridningsmått på  $\gamma_i$ .

Ytterligare ett sätt att bestämma läckningen till tunnlar kan tänkas. Antag att  $H_n = H_n + H = H_{konst}$ . Slå samman  $\beta$  och  $\gamma$  till en parameter. Bestäm denna med multipel linjär regression.

En direkt jämförelse mellan läckningen genom berg före och efter tunnelutsprängningen erhålls då. Tröskelparametrarna bestäms samtidigt, vilket ger en kontroll av att tidigare beräkningar är riktiga.

#### 11.5 Utvecklingsmöjligheter för modellen

Beräkningstiderna för det system som representerar Norsborg-Fittjadalgangen i Botkyrka är rätt måttliga. Den totala maskintiden inklusive ut- och inmatning ligger under 5 minuter på Univac 1108.

De enkla räknereglerna för en enda linjär kedja av centrala magasin som används i den nuvarande versionen av modellen bör i en utvecklad modell ersättas av andra. I princip är problemet enkelt i och med att de vanliga strömningslagarna för serie- och parallellkopplade motstånd givetvis gäller, men praktiskt kan itereringsberäkningar av detta slag med många värden att stämma av vålla en hel del svårigheter med exempelvis långsam konvergens etc. Dessa problem kan på nuvarande stadium inte överblickas, men en stegvis utveckling av modellen mot allt högre grad av detaljrikedom vad beträffar den geografiska indelningen bör kunna ge utdelning.

För vetenskapligt bruk kan det vara motiverat att köra betydligt större system. Det ligger då nära till hands att göra en indelning av terrängavsnittet som skall beräknas efter grundvattenobservationsrörens "influensområden". Mycket detaljerade nivåkartor av grundvattenståndet kan då avbildas, vilket givetvis gör modellen mycket naturtrogen.

För närvarande tillåter programmet att en bas-säng har förbindelse med upp till 5 andra bas-sänger. Detta innebär att området kring varje observationsrör skulle bli triangelformat, eftersom ett eller två fiktiva delmagasin kan vara behövliga för varje reellt magasin för att kunna avbilda årstidsvariationerna samt den långsiktiga avvattningen av jordarna under leran på ett naturtrogen sätt.

Något som redan antytts är att rutinerna för nybildning av grundvatten rätt enkelt kan ges betydligt ökad naturtrogenhet. Ett flertal rutiner som tar hänsyn till aktuell regnintensitet, interception, aktuell temperatur och vindhastighet och därmed relativ avdunstningshastighet, markvattenmagasinets mättnadsgrad etc etc finns redan i existerande program. Vad mera är, en sådan ökning i programmet kommer inte att i nämnvärd grad öka beräkningstiderna. De tillkommande rutinerna kan betraktas som subrutiner och dessa subrutiner inverkar inte på den tidskrävande iterationen av tryckhöjderna i centralmagasinen.

Det syns alltså vara fullt möjligt att utveckla program som i önskad grad avbildar grundvattentryckets variationer och dess förändringar som följd av ingrepp i form av husbyggnad och anläggningsarbeten.

I princip finns inget som hindrar att STEGA:s modell byggs ut att omfatta även ytavrinning före och efter urbaniseringen. Om något står att vinna därmed kan inte överblickas för närvarande. Dagvattenproblematiken ligger också utanför STEGA:s forskningsområde.





UDK 624.13.003  
69.003.12  
711.14

SfB A

Nyckelord:

mark, planering, projektering, kostnadsindex, generalplan, bebyggelseplan  
markbyggnadskostnad, tomtkostnadsbidrag (kommunalt), kostnadsindex  
markkostnadsindex (Storstockholm), grundläggning (hus, ledningar), grovplanering, marksättning (trafikyta, skadeunderhåll)



*Hjälpmedel att optimera markbyggnadskostnader  
Schablonmetod för beräkning av tomtkostnadsbidrag*

*Projektering med hänsyn till mark och terräng ger billigare byggande. För detta är markkostnadsindex ett hjälpmedel. Det sammanfattar de egenskaper hos marken, som påverkar markbyggnadskostnaderna. Däri ingår kostnaderna för grundläggning av hus och ledningar och för grovplanering samt de kapitaliserade kostnaderna för reparation av sättningskador. Mi definieras som kvoten mellan markbyggnadskostnaden på den mark, som är under projektering, och markbyggnadskostnaden vid ideala markförhållanden. Erfarenheten visar, att kvoten är ungefär densamma för alla slag av bebyggelse. Mi kan anta värden mellan ett och tre och beräknas med den noggrannhet som planskedet kräver. Det redovisas på en enda karta, en för huvudmän och planförfattare lättfattlig presentation. I exempel på bostadsplanering i Storstockholm beskrivs hur Mi använts för att väga samman de beräknade markbyggnadskostnaderna med andra planfaktorer. Mi kan också användas för att på förhand fastställa det kommunala tomtkostnadsbidraget. Då får byggaren större anledning att pressa markbyggnadskostnaderna.*

Författare:

Bengt Johansson och Nils-Eric Lindskoug, konsulterande ingenjörer vid Sven Tyrén AB.

Skriften baseras bl a på erfarenheter av uppdrag från Svenska Bostäder AB och Stockholms stads fastighetskontor. Arbetet sker i samarbete med STEGA-gruppen (fil lic Buster Sund, civ ing Sven Tyrén, professor Erik Eriksson, professor Yngve Gustavsson och docent Lennart Arnborg).

Redaktör: Alf Nilsson

Bildbearbetning: Studio Sjuttio

Distribution:

Svensk Byggtjänst,  
Box 1403, 111 84 Stockholm  
Telefon 08/24 28 60

Pris: 4 kronor

Utgivare:

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm.

## Förord

Ofta förekommer tidningsrubriker om revolutionerande byggnadsmetoder som gör det möjligt att sänka kostnaderna med 10, 20 % och kanske mera. Sanningen är beklagligtvis, att vi med hjälp av hård rationalisering och nya metoder och material kan påverka byggnadskostnaden med en eller annan procent, om standarden hålls konstant. Ett sätt att sänka kostnaderna är visserligen att bygga i stora serier, men detta är redan i avsevärd grad in-tecknat.

I planeringskedet för byggnadsprojekt har det emellertid visat sig att en rad tekniska problem faller mellan två stolar. Hus och husgrupper placeras ofta utan tillbörlig hänsyn till markförhållandena. En förbättrad analys av markbyggnadskostnader och markunderhåll öppnar nya rationaliseringsmöjligheter.

De rationaliseringar av främst bostadsbyggnad, som skett under efterkrigstiden, uppgår kanske till 10 à 20 %. Nu syns åter vinster av nästan samma storleksordning ligga inom räckhåll.

*Sven Tyrén*

## Litteratur

Asplund, H & Cole, T, 1971, Slutrapport till anslag Bb 572 från Statens råd för byggnadsforskning. (Publicerad stencil)

Maver, T V, 1970, A theory of architectural design in which the role of the computer is identified. (Pergamon Press.) Building Science, vol. 4, Oxford.

STEGA, 1971, Grundvattenproblem i tätorter. Bakterieangrepp på träpålar. Artiklar ur tidskriften Byggmästaren 1970. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport R6:1971. Stockholm.

## 1 Inledning

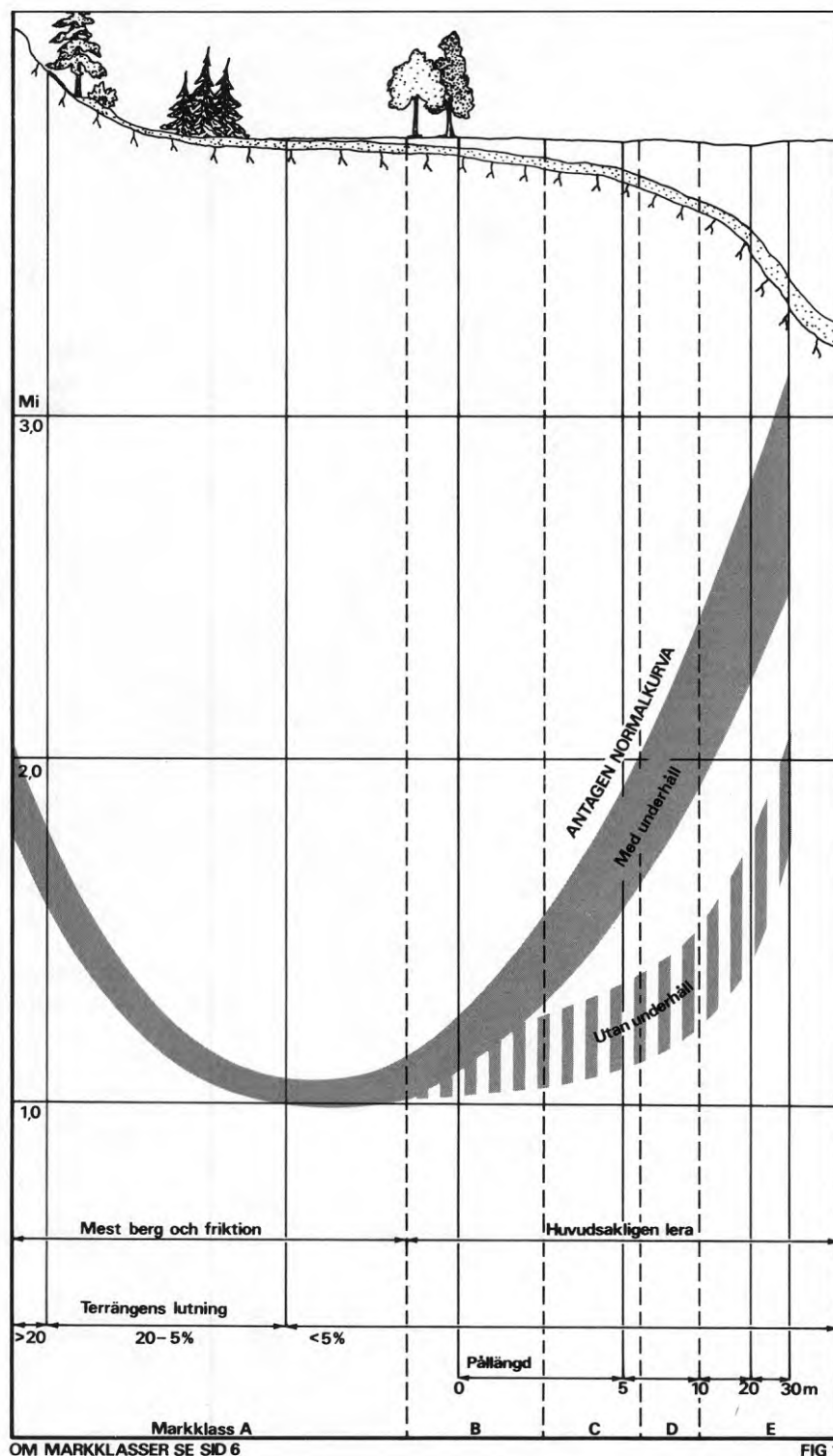
Förhållandet mark-hus och frågan om markens användning, behandling och underhåll ägnas inte tillräcklig uppmärksamhet i stadsplanering och byggande. Det är lätt att räkna upp kvalitativa brister. Gångvägar och lekplatser i nya bostadsområden är inte färdiga vid inflyttningen. Slitaget är större än vad gräsmattor och planteringar tål. Avrinningen från de stora hårdgjorda ytorna är otillfredsställande, särskilt under snösmältningen. Gångvägnäten läggs ut utan konsekvens, och framkomligheten minskas av steg och trappor, ibland också av stora marksättningar runt husen. Men inte heller sådana marktekniska förutsättningar, som har direkta ekonomiska konsekvenser, beaktas i tillbörlig grad. Två exempel från Storstockholm är följande.

Ett femvåningshus med 30 lägenheter grundlades på pålar till en kostnad av 157 000 kr. En flyttning av huset med 15 m hade medfört att huset kunnat grundläggas på plintar för 100 000 kr. — Ett annat femvåningshus med samma storlek placerades i en övergångszon. En tredjedel av grunden fick sprängas ner, en tredjedel placerades på plintar och en tredjedel fick pålas. Kostnaden härför blev 202 000 kr. Om huset i stället vridits och lagts längs nivålinjerna hade hela grundläggningen kunnat ske på plintar genom ett tunt moränlager till en kostnad av 103 000 kr.

Intresset för dessa frågor har ökat under senare år, och det finns ett rikt kunskapsmaterial att ösa ur. Det är emellertid ont om hjälpmedel, som gör markplanerings- och markbyggnadsproblemen gripbara och lätthanterliga för alla i planering och projektering inblandade parter.

Markkostnadsindex är ett sådant hjälpmedel. Det sammanfattar i ett värde alla egenskaper hos mark och terräng, som påverkar markbyggnadskostnaderna, och det kan beräknas redan på regionalplanestadiet. Det möjliggör överslagsmässiga beräkningar på alla planstadier för ett godtyckligt antal alternativ — i dator, om så erfordras — och underlättar därigenom sammanvägningen av de markbyggnadsekonomiska aspekterna med andra planfaktorer.

Idén om markkostnadsindex har växt fram under arbetet dels med planer på olika stadier för bostadsområden i Stockholmsregionen, dels med STEGA-gruppens byggnadstekniskt inriktade grundvattenforskning. De erfarenhetsmässiga kostnadsbedömningar, som metoden förutsätter, kan möjligen visa sig vara annorlunda för andra typer av anläggningar och andra regioner. Själva principen torde dock vara generellt användbar.



## 2 Mark och terräng

En vanlig svensk terrängtyp är kuperad berggrund, i dalsänkningarna täckt av tunna moränlager under mäktiga lerkörtlar. Sektionen (FIG. 1) visar ett normalfall. Bergterrängen är ofta brant, och lerslätterna är plana. Bebyggelse kräver avsevärda sprängningsarbeten i bergterrängen och pålning till fast botten i leran. I övergångszonen krävs inga onormala grundläggningsarbeten, och den låga marklutningen är fördelaktig.

Risken för marksättningar i det färdigbyggda området är obefintlig eller liten på höjdparterna (markklass A, B) men stor på lerslätterna (markklass C–E). När dalsidorna bebyggs skärs moränlagret av, och det vatten, som infiltreras på sluttningarna, hindras att nå dalgångarna. Det lilla grundvattenmagasinet i moränlagret under leran påverkas lätt av den minskande infiltrationen och av dränering genom tunnlar och ledningar under bebyggelsen. Resultatet blir, att leran konsolideras och sätter sig.

Dessa förhållanden är väl kända, och en erfaren geotekniker kan med ledning av kartor och geotekniska prov ge en överblick av de markbyggnadstekniska förutsättningarna.

## 3 Markkostnadsindex (Mi)

Med markbyggnadskostnader avses här:

- grundläggningskostnader för hus;
- grovplaneringskostnader för kvartersmark;
- grundläggningskostnader för ledningar inom kvartersmark; samt
- kapitaliserade underhållskostnader p g a sättningskador på trafikytor.

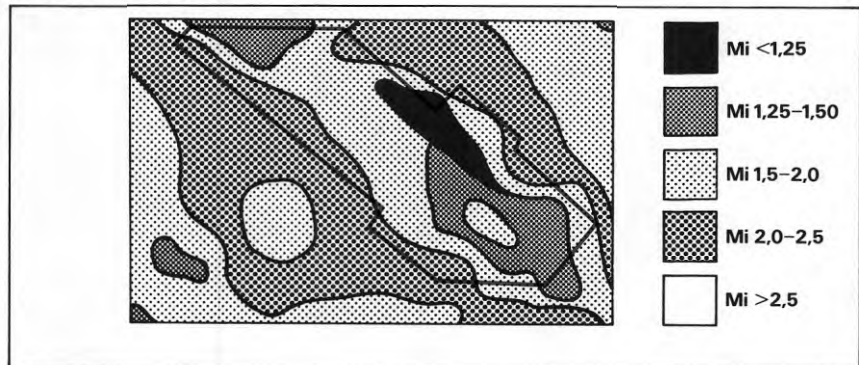
Markkostnadsindex för ett markområde är relationen mellan den beräknade markbyggnadskostnaden på området och markbyggnadskostnaden för samma anläggningar vid bästa tänkbara markförhållanden. Hur  $M_i$  beror av marktypen framgår av kurvan (FIG. 1).

$M_i$ -kurvan kan dock variera, främst p g a lerans kvalitet och sättningsbenägenhet. Är leran så fast, att sättningsarna blir små, blir kostnaderna mindre än vad normalkurvan visar.

## 4 $M_i$ -kartor

$M_i$  sammanfattar alltså i ett värde den betydelse som mark och terräng har för markbyggnadskostnaderna och kan följaktligen redovisas på en karta (FIG. 2). Den blå konturen antas ange ett bebyggelseområde, vars form bestämts på andra grunder. Området har placerats så, att genomsnittliga  $M_i$  för hela området blir så litet som möjligt.

$M_i$ -kartan är tillräckligt underlag för att jämföra markbyggnadskostnaderna för samma bebyggelsegrupp i olika lägen. Om genomsnittliga  $M_i$  blir 1,8 i läge A och 1,2 i läge B kan markbyggnadskostnaderna förväntas bli 50 % högre i läge A, vilket för bostäder svarar mot cirka 10 % av hela byggkostnaden. Sådana jämförelser bör givetvis göras så tidigt som möjligt i planeringsprocessen.



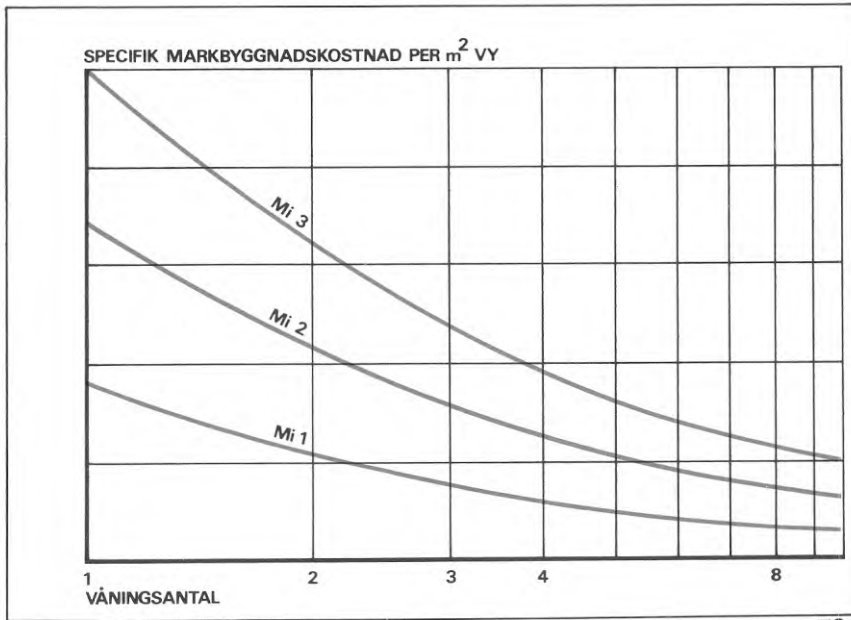


FIG 3

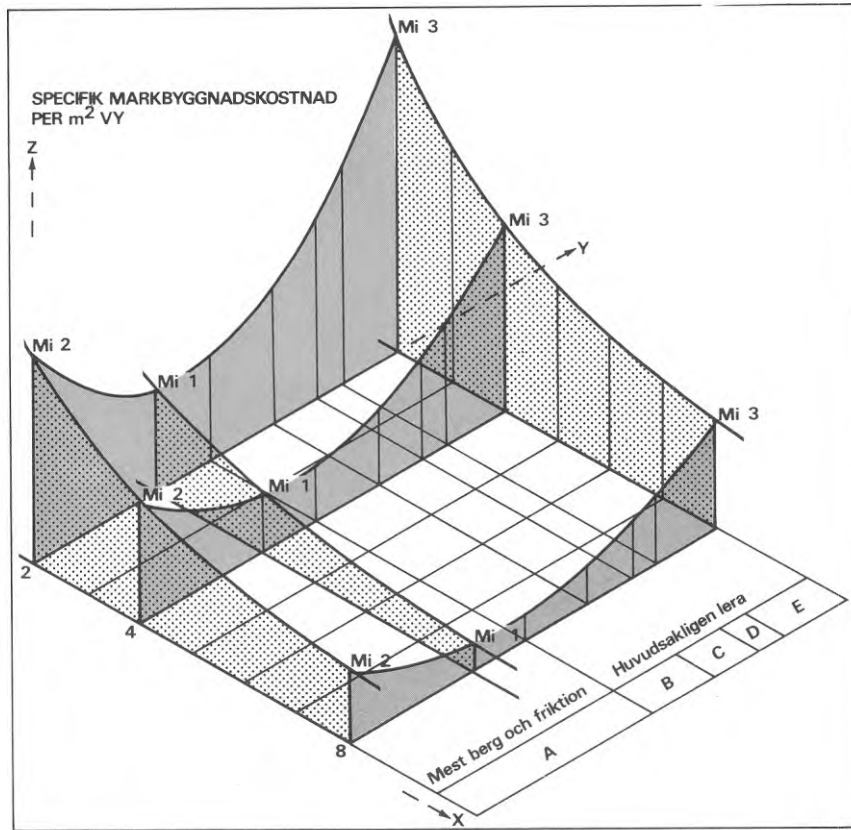


FIG 4

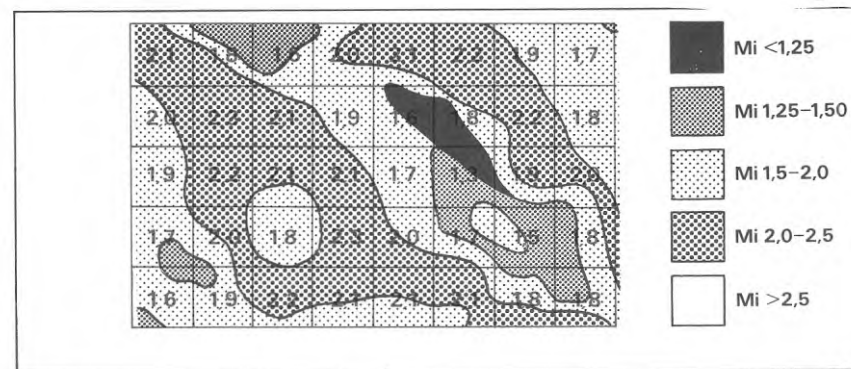


FIG 5

### 5 Specifik markbyggnadskostnad

Specifika markbyggnadskostnaden är markbyggnadskostnaden per m<sup>2</sup> våningsyta. Den beror av Mi och våningsantalet. Diagrammet (FIG. 3) visar specifika markbyggnadskostnadens variation med våningsantalet vid olika värden på Mi. Detta diagram och diagrammet i FIGUR 1 kan sammanslås till ett tredimensionellt diagram (FIG. 4) med våningsantalet som x-axel, mark- och terrängtypen som y-axel och specifika markbyggnadskostnaden som z-axel. För att underlätta läsningen markeras i diagrammet tre skivor, svarande mot 2, 4 och 8 våningar. Ur detta diagram kan man bli beräkna om den tunga eller den lätta bebyggelsen skall planeras på den bästa marken.

#### Beräkningsexempel

1. Ett planområde skall bebyggas med bostadshus i 2, 4 eller 8 våningar. Vad blir de relativa markkostnaderna per m<sup>2</sup> våningsyta?

*Lösning:* Av figur 3 framgår att förhållandet mellan markkostnaderna i de tre fallen är ungefär 2,7: 1,6: 1,0.

2. Två lika stora planområden med Mi = 1,5 respektive 2,5 skall bebyggas med bostadshus, på ena området tvåvåningshus och på andra åttavåningshus. Välj område för de fall att exploateringen i åttavåningsbebyggelsen är 1, 2, 3 respektive 4 gånger så stor som för tvåvåningsbebyggelsen.

*Lösning:* De relativa markbyggnadskostnaderna per m<sup>2</sup> våningsyta är enligt figur 4

- 1,5 vid 8 våningar och Mi 1,5
- 2,5 vid 8 våningar och Mi 2,5
- 4,0 vid 2 våningar och Mi 1,5
- 6,8 vid 2 våningar och Mi 2,5.

I alla exploateringsfallen finns två alternativ. Relativa markbyggnadskostnaden för båda husgrupperna blir:

$e_8$	8 vån., Mi = 1,5	8 vån., Mi = 2,5
$e_2$	2 vån., Mi = 2,5	2 vån., Mi = 1,5
1	1 x 1,5 + 6,8 = 8,3	1 x 2,5 + 4,0 = 6,5
2	2 x 1,5 + 6,8 = 9,8	2 x 2,5 + 4,0 = 9,0
3	3 x 1,5 + 6,8 = 11,3	3 x 2,5 + 4,0 = 11,5
4	4 x 1,5 + 6,8 = 12,8	4 x 2,5 + 4,0 = 14,0

$e_8$  = exploateringstal för åttavåningsbebyggelsen  
 $e_2$  = exploateringstal för tvåvåningsbebyggelsen

De förmånligaste fördelningarna är markerade med halvfel stil.

### 6 Optimering med dator

Skall stora optimeringsproblem studeras med matematiska metoder måste beräkningarna ske i dator. Mi-kartan måste då bearbetas enligt FIG. 5. Planområdet indelas i kvadratiske rutor och för varje ruta beräknas genomsnittliga Mi. Detta matas in i datorn tillsammans med x- och

Regionplan	Generalplan	Bebyggelseplan
Geologiska, topografiska och ekonomiska kartor, flygbilder		
Översiktlig inventering av grundundersökningar	Inventering av grundundersökningar	Inventering av grundundersökningar
Någon kompletterande undersökning	Kompletterande undersökningar	Kompletterande undersökningar
Erfarenhetsmässiga bedömningar	Byggnadsgeologiska kartor med grundvattenytor och lerkvalitet	Byggnadsgeologiska kartor med grundvattenytor och lerkvalitet
	Erfarenhetsmässiga bedömningar	Grundvattensänkingskartor
		Sättningskartor
		Grundläggningskartor
Översiktligt Mi	Mi	Mi för noggranna beräkningar

TAB. 1

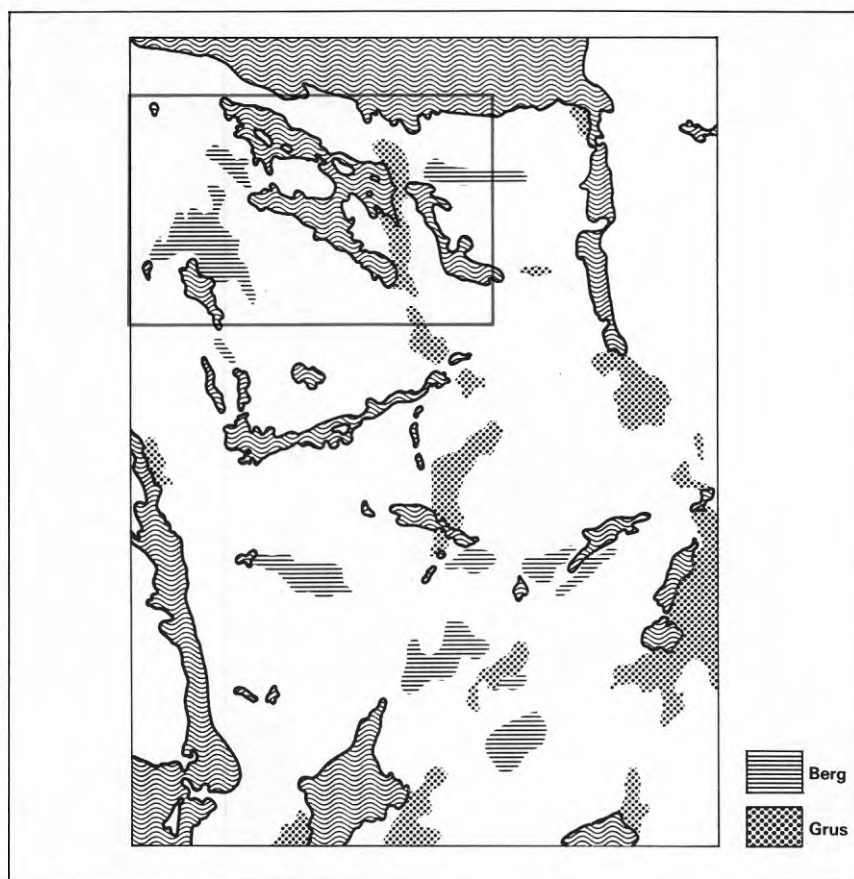


FIG 6A

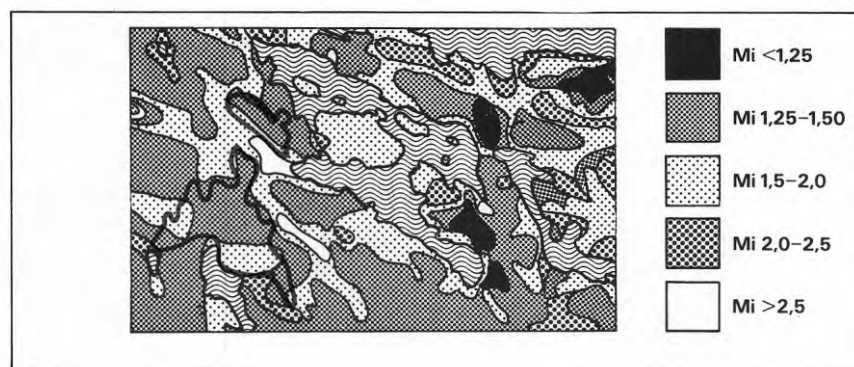


FIG 6B

y-koordinater, som anger rutornas lägen. Dessutom måste givetvis den avsedda bebyggelsen karakteriseras på ett för datorn läsbart sätt. Ett ytterligare villkor är, att beräkningsmängden begränsas, vilket kan ske med lämpligt utformade prioriteringsregler. Exempel på fungerande optimeringsprogram för planlösningsändamål har redovisats bl a av Asplund & Cole (1971) och Maver (1970).

## 7 Mi på olika planstadier

Vidstående schema (TAB. 1) visar arbetsgången vid framställningen av Mi-kartor. Benämningarna på plantyperna hänför sig till Stockholmsförhållanden. Generalplan avser i regel en eller flera nya förorter, t. ex. Botkyrkastaden eller Järvafältet. Bebyggelseplan är den plan, vari bebyggelsens typ och läge studeras i detalj; plantypen benämns ibland dispositionsplan.

Framställningen av Mi-kartorna sker i etapper motsvarande planstadierna med efter hand ökande noggrannhet.

*Mi för regionplan.* – Lerdjup, lerkvalitet, markens beskaffenhet i stort samt terrängens lutningsförhållanden är de förutsättningar som krävs för översiktliga Mi-kartor. Deras funktion är främst att orientera planförfattare och huvudmän om lämpliga utbyggnadsriktningar inom regionen. Själva markpriset är nästan alltid obetydligt jämfört med markbyggnadskostnaderna.

Exemplet (FIG. 6) avser att påminna om att det kan vara osäkert om befintliga grustillgångar inom regionen är tillräckliga. Det blir allt vanligare att använda sprängda och krossade bergmassor som ballastmaterial för betongtillverkning. Det är därför angeläget att på ett tidigt planstadium kartlägga tillgångarna på grus och berg. Bergkrossning som stordrift kan vara ekonomiskt lönsam i Storstockholm om berget är av lämplig kvalitet. De plansprängda ytorna är från markbyggnadssynpunkt utmärkt byggnadsmark. Givetvis måste bebyggelsen utformas med hänsyn till de speciella förutsättningar som då uppkommer.

I Mi-kartan (FIG. 6B) har möjligheten att spränga bort bergpartiet i sydvästra delen inte beaktats. Om så hade skett skulle området inom den blå linjen få ett Mi-värde nära 1 – under förutsättning givetvis att intäkterna av försäljningen täcker kostnaderna för sprängning och transport.

*Mi för generalplan.* – På generalplanestadiet bestäms bebyggelseområdenas läge och exploatering samt trafikledernas och servisledningarnas sträckningar. En väsentlig del av optimeringsarbetet sker alltså på detta stadium. Mi-kartorna måste korrigeras: större kartskala och kompletterande grundundersökningar möjliggör en större noggrannhet. I detta skede upprättas också de byggnadsgeologiska kartor, som beskrivs i nästa avsnitt. Tunnlrar, tippar och krossar kan lokalt påverka Mi, ibland med avsevärda belopp.

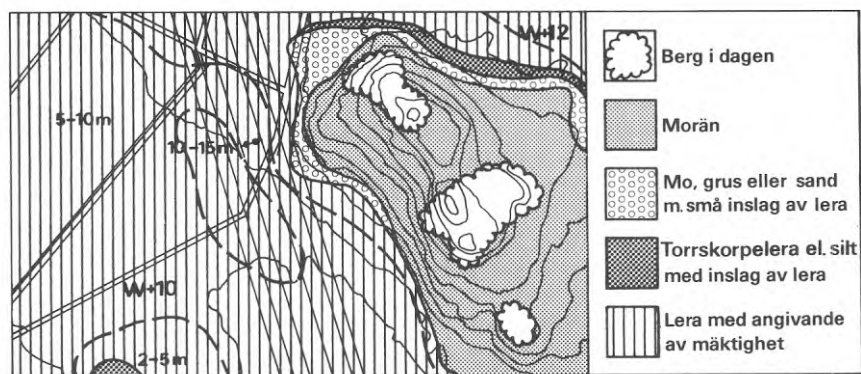


FIG 7A

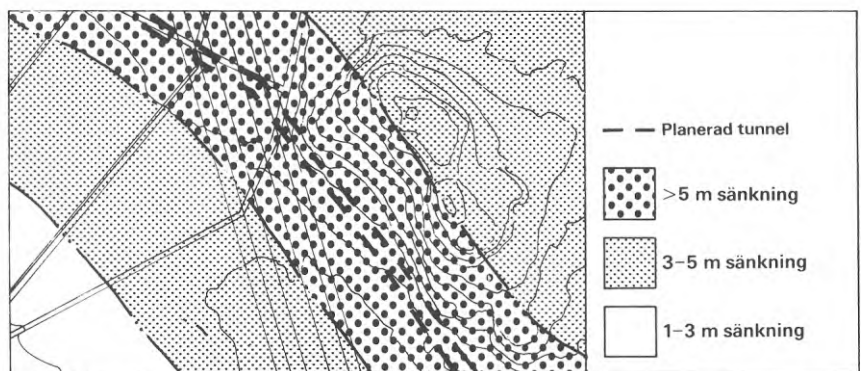


FIG 7B

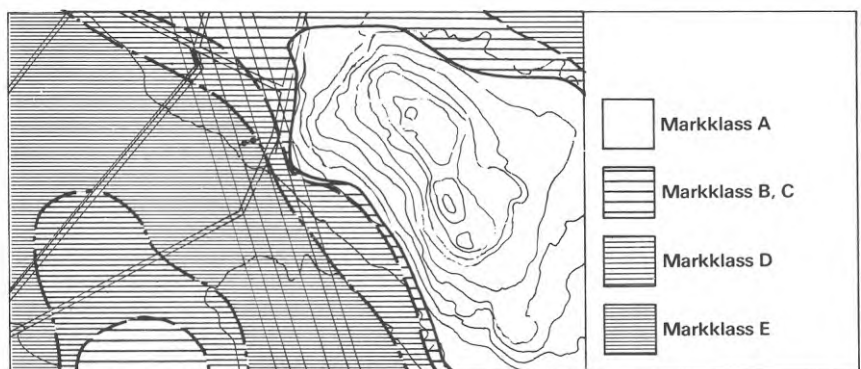


FIG 7C

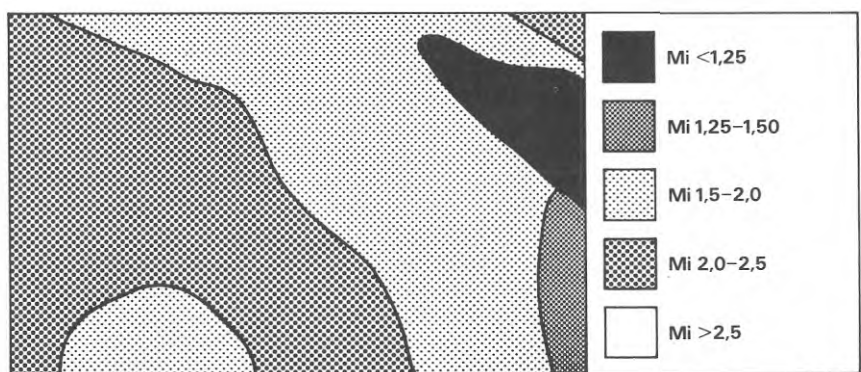


FIG 7D

## 8 Beräkning av $M_i$ för bebyggelseplan

De noggrannaste  $M_i$ -kartorna upprättas före och under arbetet med bebyggelseplanen. De baseras på en godkänd generalplan. Bebyggelsens läge, typ och exploateringsstal är alltså bestämda, varför beräkningarna i detta skede kan ta hänsyn till de små skillnaderna mellan  $M_i$  för olika hustyper. Arbetet sker i steg genom att kartor upprättas som redovisar:

byggnadsgeologi  
grundvattensänkning  
sättningar och grundläggningsmetoder  
markkostnader

Byggnadsgeologiska kartor (FIG. 7A) visar berggrundens topografi, beskaffenheten och mäktigheten av det lösa jordlagret samt förekommande grundvattennivåer. Olika typer av friktions- och kohesionsmaterial klassas främst med tanke på sådana byggtkniska egenskaper som bärighet, sättning, stabilitet och grävbarhet.

Grundvattensänkingskartor (FIG. 7B) anger den nivå till vilken grundvatten beräknas sjunka på grund av bebyggelsen. Detta är just ett av de problem som forskningsgruppen STEGA har som målsättning att belysa. Grundvattensänkningen kan delvis beräknas med hjälp av vetenskapen om nederbörd och avrinning av ytvatten. En annan faktor i ekvationen är det grundvatten som dräneras bort genom ledningar, pumpas bort eller läcker ner till korsande tunnlar och bergskärningar inom området.

Sättningskartor är en utbyggnad av grundvattensänkingskartorna. För beräkning av sättningar behövs utom grundvattensänkingskartor och geologiska kartor även uppgifter om uppfyllnader. (Ofta försöker man ta ut så stora sättningar som möjligt innan bygget påbörjas. Detta kan ske t ex med hjälp av sanddränering och överlast eller uttagning av grundvatten, t ex med pumpning eller utdikning.)

Förväntade sättningar och lämpliga grundläggningsmetoder redovisas ofta på en karta (FIG. 7C). På denna karta finns fem områdesklasser, relaterade dels till grundläggningsmetod, dels till framtida underhållskostnader p g a förväntade sättningar. Beteckningarna innebär: A: inga eller obetydliga sättningar, hus grundläggs normalt på plintar och sulor. B, C: sättningar  $<0,2$  m, hus grundläggs på pålar, på plintar och eventuellt sulor, sättningskänsliga ledningssystem pålas. D: sättningar  $0,2-0,5$  m, hus och större ledningssystem pålas. E: sättningar  $>0,5$  m, hus och större ledningssystem pålas.

På detta underlag upprättas  $M_i$ -kartan för bebyggelseplan (FIG. 7D). Den ritas vanligen i skala 1:4000. Resultatet ligger till grund för det slutliga optimeringsarbetet när hus och husgrupper placeras i plan och höjdläge.

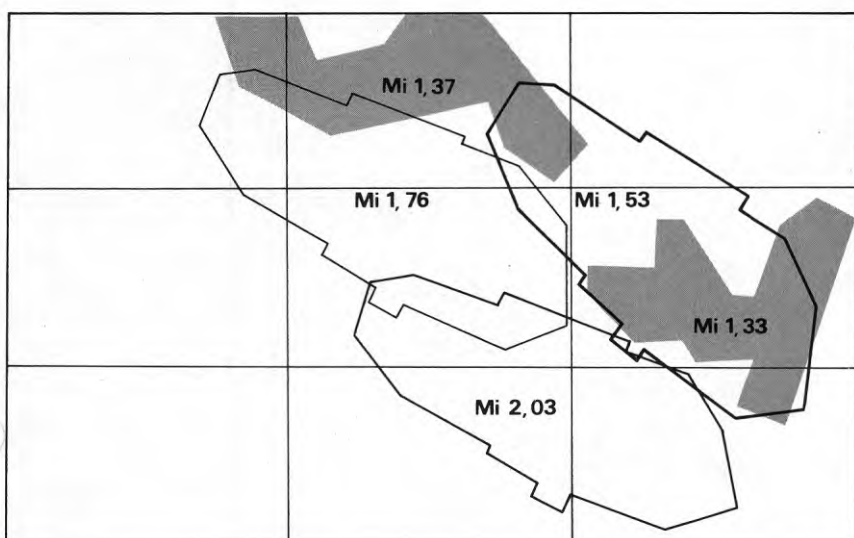


FIG 8

Mi	>2,5	2,5-2	2-1,5	1,5-1,25	<1,25	Summa
Yta (m <sup>2</sup> · 10 <sup>3</sup> )	61,9	616,1	1512,0	653,4	227,3	3070,7
%	2,0	20,1	49,2	21,3	7,4	100,0
Antal delar	3	9	1	20	12	45

TAB. 2

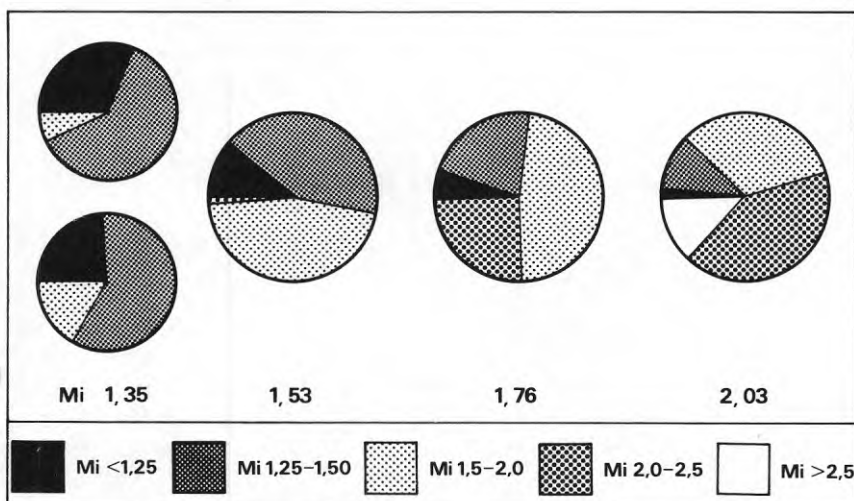


FIG 9

Mi	Markbyggnadskostnader				Kostnadsbesparing	
	Kvartersmark	Vägar	Ledningar	Summa	Mkr	%
<b>2-våningshus, e<sub>g</sub> = 0,4</b>						
2,03	38,6	3,0	7,1	48,7	0	0
1,76	33,5	2,2	6,2	41,9	6,8	4,2
1,53	29,3	2,3	5,4	37,0	11,7	7,3
1,35	25,7	2,0	4,7	32,4	16,3	10,2
<b>8-våningshus, e<sub>g</sub> = 0,8</b>						
2,03	22,8	3,0	7,1	32,9	0	0
1,76	19,7	2,2	6,2	28,1	4,8	1,9
1,53	17,3	2,3	5,4	25,6	7,3	2,9
1,35	15,1	2,0	4,7	21,8	11,1	4,4

TAB. 3

## 9 Tillämpning på generalplanestadiet

Följande tillrättalagda exempel visar ett sätt att begagna Mi-kartor i generalplanarbetet.

Uppgiften var att placera ett bostadsområde omfattande ca 40 ha inom de 360 ha som representeras av rutnätet (FIG. 8). Härav hade 53 ha i den västra delen tagits i anspråk för andra ändamål. Mi-kartor för generalplan fanns uppritade på nio blad; ett av dessa visas i FIG. 2. Bostadsområdets planform var preliminärt bestämd.

Markförhållandena kan, förutom med Mi-kartorna, också beskrivas med vidstående TAB. 2. Den visar hur den tillgängliga arealen fördelar sig på Mi-klasser. De från markbyggnadssynpunkt bästa områdena var små och splittrade.

Arbetsmetoden var, att variera läget för den preliminära planfiguren för att söka lägsta markbyggnadskostnad. Några prövade lägen visas i figuren. Den visar också den lösning som man slutligen kom fram till, en uppdelning av bebyggelsen i två områden. På planfigurena anges genomsnittliga Mi för respektive läge. Mi-talets variation i de olika fallen kan också redovisas så som i FIG. 9.

De ekonomiska konsekvenserna av de alternativa lägena visas i TAB. 3 för två olika bebyggelsefall. Tabellen visar markbyggnadskostnaderna dels för kvartersmark, dels för andra vägar och ledningar inom planfiguren.

Procenttalet i sista kolumnen anger andelen av de totala kostnaderna, som även omfattar huskostnad och finplaneringskostnad och som var ca 160 Mkr i tvåvåningsalternativet och ca 255 Mkr i åttavåningsalternativet.

För tvåvåningshusen är markbyggnadskostnaden i det dyraste fallet mer än 50 % högre än i det billigaste. De 16,3 Mkr, som utgör skillnaden, avser 1 700 lägenheter med ca 6 600 rumsenheter och svarar alltså mot ca 9 500 kr per lägenhet. För åttavåningshusen är dels markbyggnadskostnaden lägre, dels skall den slås ut på dubbelt så många lägenheter. Skillnaden mellan de båda extremfallen är dock drygt 3 000 kr per lägenhet.

## 10 Tomtkostnadsbidrag

Grundläggnings- och grovplaneringskostnader överstigande de för orten normala betalas i allmänhet helt eller delvis av kommunen. Avsikten härmed är att förhindra att bostäderna i hus som av stadsbyggnadsskäl placerats på dålig mark skall bli dyrare än bostäderna i andra, för övrigt jämförbara hus.

Bidraget täcker i regel alla kostnader utöver så kallad normalgrund och baseras på uppgifter från byggherren. Dessa prövas därefter av kommunen. I flera större bostadsföretag finns personal avdelad enbart för beräkning av tomtkostnadsbidrag, och kommunerna måste hålla motsvarande personal för kontroll. Systemet befördrar inte sparsamhet. Byggherren har ingen anledning att kontrollera, om en mindre förflytt-

Område	Markkostnad vid $M_i=1$ kr	$M_i$	Tomtkostnadsbidrag kr
1	A	2,25	$(2,25-1,25) A = A$
2	B	1,25	$(1,25-1,25) B = 0$
3	C	1,50	$(1,50-1,25) C = 0,25C$
4	D	1,75	$(1,75-1,25) D = 0,50D$
Summa, genomsnitt:	A+B+C+D	1,6	$A+0+0,25C+0,50D$ eller $(1,6-1,25)(A+B+C+D)$

TAB. 4

ning av huset skulle kunna förbilliga grundläggningen. Han kan inte godtaga totalt sett billigare lösningar, som flyttar kostnader från grund till överbyggnad (exempel: Större spannvidder – färre grundläggningspunkter) med mindre än att besparningen är så stor att den också kompenserar honom för minskningen av tomtkostnadsbidraget.

Mi-tekniken ger möjlighet att beräkna tomtkostnadsbidragets storlek i förväg, innan husens läge i plan och nivå slutgiltigt fastställts. De nödvändiga förutsättningarna är, att det finns Mi-kartor för bebyggelseplan, att exploateringsområdets gränser och bebyggelsens typ och mängd är fastställda samt att kommunen har fastställt vilket Mi-värde som skall anses svara mot "normalgrund". Markbyggnadskostnaderna beräknas på det sätt som tidigare redovisats. Tomtkostnadsbidraget är skillnaden mellan dessa kostnader och de, som skulle uppkommit om Mi inom exploateringsområdet vore normalgrundsvärdet. TAB. 4 är ett exempel på beräkning av tomtkostnadsbidrag för fyra områden i en kommun, där normalgrundsvärdet för Mi satts till 1,25.

## 11 Mi – ett kommunikationsmedel

Framställningen har medvetet begränsats till att visa vad Mi är, hur det beräknas och redovisas och kan därigenom ge intrycket att Mi främst är ett slagkraftigt medel för geotekniker att driva snävt tekniskt-ekonomiska synpunkter. Detta är inte syftet och torde inte heller bli effekten. Tvärtom gör Mi-tekniken de markbyggnadstekniska problemen mera lätthanterliga för alla i planeringsprocessen deltagande personer. De kan själva bedöma de markbyggnadsekonomiska konsekvenserna av de krav och synpunkter de anser sig sätta att bevaka; det behövs inte en geotekniker för att flytta omkring planfiguren i FIG. 9. Mi är ett bättre sätt för geotekniker och byggnadstekniker att kommunicera med övriga intressenter i planarbetet och underlättar därigenom hopvägningen av alla de krav som måste ställas på en god plan.

Det är, sammanfattningsvis, i tre olika plan-skeden, som denna hopvägning bör äga rum. Det första är inledningen till region- eller generalplanarbetet, när man väljer utbyggnadsriktning för en ort: valet kan betyda 10 % eller mer på den totala byggkostnaden. Det andra tillfället är det skede i generalplanarbetet då bebyggelse typerna fördelas inom planområdet: även om den föregående planeringen varit omsorgsfull kan vinsterna i detta skede vara flera procent. Det tredje är den slutgiltiga placeringen av de enskilda byggnaderna i plan och höjd: misstagen som nämns i inledningen hade kunnat undvikas.



## 13 GRUNDVATTENSÄNKNING OCH VEGETATION

## 13.1 Inledning

Att vegetation, som man avsett bevara, dör ut vid urbanisering skylls ofta på den av urbaniseringen orsakade grundvattensänkningen. Vegetationen utnyttjar dock i mycket ringa omfattning grundvatten. Landväxternas rötter kan (med några få undantag) inte leva i en del vattenmättad grundvattenzon. Rötterna fordrar, liksom övriga delar av växten, syre. Växterna utnyttjar därför huvudsakligen den omättade zonen av marken där det finns både vatten och luft (syre). Flertalet rötter finns i markens översta skikt (rotzonen). Djupare ner än 2 m når normalt endast enstaka rottrådar. Risken för vegetationen i samband med en exploatering måste alltså närmast vara beroende av minskningen av den vattenhållande kapaciteten i rotzonen vid en grundvattensänkning.

## 13.2 Minskning av växttillgängligt vatten i rotzonen vid grundvattensänkning

En grundvattensänkning minskar markens förmåga att hålla kvar bundet vatten. Minskningens storlek beror i huvudsak på tre faktorer:

1. Jordarten
2. Grundvattenytans läge under mark
3. Grundvattensänkningens storlek

Förändringen av den vattenhållande förmågan i ler-, sand- och torv(humus)jord visas schematiskt i FIGUR 13.1-3.

När grundvattenytan sänks från 0,5 till 1,0 meter minskar vattenhalten vid dräneringsjämvikt ( $w_{dr}$ ) på en bestämd nivå under markytan (t ex  $z = 0.25$ ) med ett visst värde. Ytterligare lika stor sänkning (dvs från 1,0 till 1,5 m) ger en mindre minskning av  $w_{dr}$  än i förra fallet. Om avsänkningen skulle fortsätta skulle minskningen till slut bli så gott som obefintlig. Vi får ett  $w_{dr}$  som är oberoende av grundvattenytans förändringar (fältkapacitet).

Mängden maximalt växttillgängligt vatten i rotzonen är skillnaden mellan vattenhalt vid dräneringsjämvikt ( $w_{dr}$ ) och vissningspunkt ( $w_v$ ).

I lera (torrskorpelera), FIGUR 13:1, ligger kurvorna för  $w_{dr}$  mycket samlade. Mängden lätt av-

m djup under markytan



FIG 13:1 Torrskorpelera. Vattenhalt vid dräneringsjämvikt för två olika grundvattennivåer.

m djup under markytan

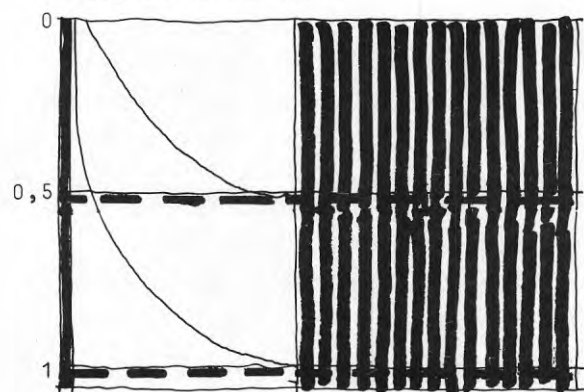


FIG 13:2 Sand. Vattenhalt vid dräneringsjämvikt för två olika grundvattennivåer.

m djup under markytan

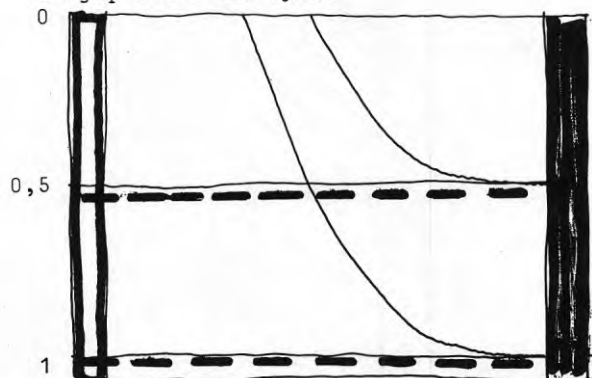


FIG 13:3 Torv. Vattenhalt vid dräneringsjämvikt för två olika grundvattennivåer.

dränerbart vatten är liten. Vattenhalten avtar mycket sakta om man avlägsnar sig från grundvattenytan. Fältkapaciteten är hög. Mängden växttillgängligt vatten är därför stor trots att vissningsgränsen ( $w_v$ ) ligger på omkring 20%. Även en mycket stor grundvattensänkning påverkar inte i någon större utsträckning växternas vattentillgång.

I sand, FIGUR 13.2 minskar  $w_{dr}$  mycket snabbt ovanför grundvattenytan. Redan på ett avstånd på 1 m från grundvattenytan har  $w_{dr}$  blivit i det närmaste konstant. Mängden växttillgängligt vatten är liten. Endast om grundvattenytan legat mycket nära markytan kan en avsänkning påverka mängden växttillgängligt vatten i rotzonen. Normalt ligger dock grundvattnet i områden med grova friktionsjordar så djupt att en ytterligare sänkning inte kan påverka mängden växttillgängligt vatten i rotzonen.

I torv (humus), FIGUR 13.3 minskar  $w_{dr}$  ganska kraftigt alldeles ovanför grundvattenytan. Mängden växttillgängligt vatten är stor beroende på att  $w_v$  är låg ( $\leq 7\%$ ) och att porvolymen är hög. Andelen fast substans är endast ungefär 5 volymsprocent. Humus kan hålla kvar stora mängder vatten. Ytjordens halt av humus är därför mycket viktig för vegetationens vattenhushållning.

### 13.3 Fri och artesiskt bunden grundvattenyta

Grundvatten kan förekomma på flera nivåer under markytan. Fritt vatten kan vid nedträngningen i marken hindras av ogenomsläppliga eller svårgeomsläppliga lager. Samtliga porer i jordmaterialet fylls med vatten. En grundvattenvåning bildas. Om nedträngningen enbart försenas talar man om en temporär grundvattenvåning (ibland även sjunkvattenvåning).

I bl a områden där lera överlagrar en grövre friktionsjordart finner man ofta att det finns en grundvattenyta uppe på den svårgeomsläppliga leran och en annan yta om man slår ner ett observationsrör till friktionsmaterialet. Grundvattnet i torrskorpan kallas för fritt och grundvattnet under leran artesiskt, FIGUR 13:4.

Urbanisering kan påverka både det fria och det artesiska grundvattnet. För geotekniker är of-

ta det fria grundvattnet av underordnad betydelse. Mätningar av grundvattenytan görs därför uteslutande på det artesiska grundvattnet. Det är förändringar i detta som ger konsolidering av leror och därmed sättningar. Även om en mycket stor sänkning sker av det artesiska grundvattnet kommer inte detta att i någon högre grad påverka bildandet av ett fritt grundvatten i torrskorpan. Den vattenmättade leran förblir även i fortsättningen i det närmaste ogenomtränglig för vatten. En avdränering av torrskorpan betyder därför oändligt mycket mer för vegetationen än en sänkning av den artesiska grundvattenytan (tryckytan).

### 13.4 Slutsatser

Vegetationen påverkas inte i så hög grad av en grundvattensänkning som man tidigare gjort gällande. Förändringarna av markvattenmagasinets storlek som uppkommer även vid en mycket stor grundvattensänkning ligger vanligen inom gränserna för vad vegetationen kan reglera sin vattenförbrukning.

#### 13.4.1 Områden med genomsläppliga jordar

I områden med friktionsjordarter eller med genomgående torrskorper ligger grundvattnet normalt så djupt att vattenhalten vid fri dränering är lika med fältkapaciteten. Dessa områden påverkas inte, eller i mycket liten utsträckning, av en grundvattensänkning.

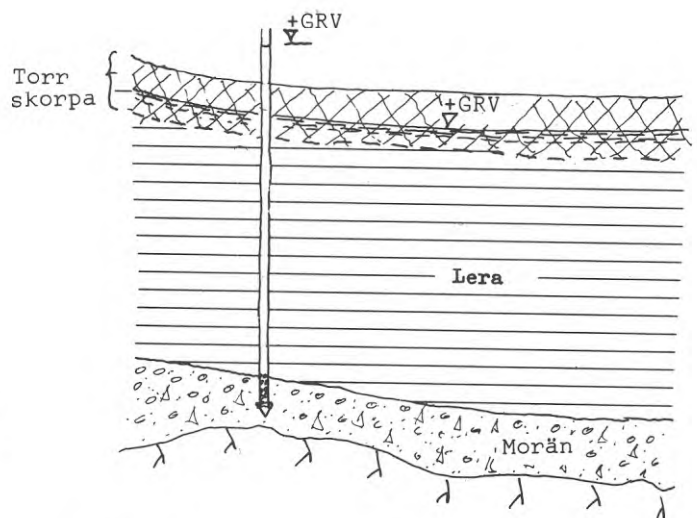


FIG 13:4

#### 13.4.2 Områden med torrskorpa på vattenmättad lera

I rubricerade områden uppkommer en grundvattenyta i torrskorpan och en i friktionsmaterielet under leran (artesisisk grundvattenyta). Urbaniseringens påverkan av det artesisiska grundvattnet saknar betydelse för vegetationen. Den upptorkning som efter hand kan ske i torrskorpans understa del går så långsamt att vegetationen kan hinna med att ställa om sitt vattenupptagande efter de nya förhållandena. Utdränning av torrskorpan i närheten av vegetation som avses bevaras kan däremot direkt få katastrofala följder för vegetationen.

#### 13.4.3 Utströmnings- och översilningsområden

Områden med ett grundvatten i eller nära rotzonen är i de flesta fall utströmningsområden för grundvatten som infiltrerat på högre liggande mark eller områden som kontinuerligt tillförs ytvatten i stora mängder. Urbanisering kan ändra på dessa primärfaktorer. Infiltrationsområden kan förändras och avrinningsvägar bli blockerade. Vattnet kan ledas bort genom ledningar. Den upptorkning av marken som då sker påverkar vegetationen.

Det kan ske ett utbyte av arter. Vegetationens betingelser kan i en del fall förbättras, i andra fall försämrats. Urbanisering kan också medföra att mängden vatten i dylika områden ökar. Detta medför vanligen olägenhet för vegetationen. En akut kvävningsrisk föreligger.

#### 13.4.4 Områden med högt grundvatten, myrmarker (ev med kärr och/eller mossar)

Urbanisering kan dränera av eller minska tillrinningen till mark med grundvatten i eller alldeles under markytan. Vegetation som är anpassad till ett högt grundvatten dör därmed ut och utbyts mot för den nya miljön livsdugligare arter.

#### 13.5 Åtgärder vid exploatering

Även om vegetationen inte påverkas i så hög grad av en grundvattensänkning kommer en urbanisering att påverka vegetationens vattenhushållning direkt genom minskad infiltration, hårdgörning av ytor, bortledning av vatten i regnvattensystem

osv. De faktorer som i sig ger en grundvattensänkning påverkar också direkt mängden växttillgängligt vatten i marken. Det är därför viktigt att problemet vegetation - mark - vatten tas upp redan i den översiktliga planeringen.

Riskområden för vegetationens vattenhushållning måste avgränsas. Under arbetet med planen måste sedan följderna av alla ingrepp i vegetationens vattenhushållning bedömas. Lokalisering av vägar, ledningar och bebyggelse kan komma att påverkas av dylika bedömningar i de fall man prioriterar den befintliga vegetationen.

Områden som måste betraktas som riskområden för vegetationens vattenhushållning är:

- A. Sluttningar med tunna lager jord nedanför vägar, bebyggelse o d som avskär vattentillförseln från högre liggande terräng.
- B. Områden med liten förmåga att magasinera vatten, t ex grus- och sandmarker
- C. Områden med extremt högt grundvatten, t ex myrar, kärr och mossar samt utströmningsområden för grundvatten och översilningsområden för ytvatten.

## 14 MIKROBIOLOGISK NEDBRYTNING AV GRUNDLÄGGNINGSVIRKE

### 14.1 Allmänt om bakgrunden till arbetet

I många äldre städer sker en genomgripande om-  
daning av de centralare delarna. Härvid aktua-  
liseras grundläggningsproblem för äldre, kul-  
turhistoriskt värdefulla byggnader.

Denna nya tanke att trä under grundvattenytan  
skulle kunna vara utsatt för rötskador har just  
uppkommit i samband med grundförstärkningsarbe-  
ten under några av våra kulturhistoriskt värde-  
fulla byggnader i Stockholms centrum. Vid Svens-  
ka Träforskningsinstitutets undersökning av pål-  
material från bl a Riksdagshuset och Operan kun-  
de konstateras att pålarnas hållfasthet var av-  
sevärt nedsatt och att den mikroskopiska angrepps-  
bilden inte var karakteristisk för svampangrepp.  
Djupgående svampangrepp ansågs dessutom osanno-  
lika, eftersom veterligen pålarna allt sedan  
byggnadens uppförande varit belägna under grund-  
vattenytan.

Ehuru helt säkra indikationer saknades fanns  
emellertid så pass många indicier på att an-  
greppen skulle kunna vara av bakteriell karak-  
tär att en närmare undersökning kunde anses  
vara motiverad.

Bland mikroorganismerna utgör de mikroskopiska  
svamparna och bakterierna viktiga grupper. De  
kan i korthet karakteriseras på följande sätt.  
Svamparna består av fina flercelliga trådar,  
hyfer, som bildar ett nätverk. Detta kallas  
mycel.

Svamparna lever antingen på och av levande or-  
ganismer, eller tar sin näring från döda växt-  
och djurdelar. Näringsupptagningen sker genom  
myceltrådarna. Svamparna fordrar syre för att  
kunna växa.

Begreppet bakterie kan inte definieras helt en-  
tydigt, eftersom gruppen är så oenhetlig. Grovt  
generaliserat kan sägas att bakterier är encel-  
liga organismer som saknar växtklorofyll. Bak-  
terier är ofta stav-, klot- eller spiralforma-  
de. Formrikedomen är liten.

Artbestämning av bakterier baseras härför som  
regel på olikheter i deras biokemiska egenska-

per. Bakterier kan vara rörliga eller orörliga.  
Många bakterieslag kräver syre för att kunna  
växa, de är aeroba. Åter andra är anaeroba, för  
dessa verkar syre som ett gift och de kan inte  
växa i dess närvaro.

Precis som varje annan organism har alltså även  
mikroorganismerna vissa fundamentala miljökrav.  
Hit räknas också krav på viss fuktighet, tempe-  
ratur och lämplig surhetsgrad samt tillgång till  
salter och eventuella tillväxtfaktorer såsom  
vitaminer etc.

De viktigaste skadegörarna på trä ovan jord är  
rötsvampar. Mögelrötsvampar trivs med hög fuk-  
tighet och fordrar ringa syre för sin tillväxt.

När fuktkvoten blir mycket hög, för t ex barr-  
trä gäller detta för fuktkvoter över 140 %, så  
är vedens cellhåligheter till största delen  
fyllda med vatten. I så fall blir brist på syre  
en hämmande faktor för rötsvampar. Man brukar  
allmänt anta att utvecklingen av mögelrötsvam-  
parna i en sådan miljö är begränsade till peri-  
fera veddelar.

Just dessa förhållanden torde ha bidragit till  
att möjligheten av mikrobiologiska angrepp un-  
der vattnet hittills knappast beaktats.

Angrepp av anaeroba eller mikroaerofila bakte-  
rier syns vara en nära till hands liggande för-  
klaring till de angrepp som konstaterats.

Framför allt är de anaeroba bakteriernas inver-  
kan på trä föga studerad. Trä är kemiskt kompli-  
cerat. Huvudkomponenterna i barrved utgörs av  
cellulosa, hemicellulosa och lignin. Samtliga  
dessa substanser är uppbyggda av mycket stora  
molekyler. Mikroorganismer som skall kunna  
tillgodogöra sig sådana substanser måste ha en-  
zymer som först kan bryta ned dem till enklare  
föreningar, som sedan kan upptas via organis-  
mens cellväggar.

Vedcellerna består till stor del av cellulosa.  
Alla organismer som aktivt medverkar i träets  
nedbrytning producerar cellulaser. Cellulaser  
är sålunda inte på något sätt unika enzymer och  
många mikroorganismer producerar dem. Därför  
koncentrerades arbetet på att isolera organis-  
mer som bryter ned cellulosa.

För bakterier och även för många andra mikroorganismer utgör ligninet i träet ett hinder vid nedbrytningen.

Vedanatomiskt skiljs på splintved (den yttre veden) och kärnved. Kärnveden innehåller mer skvedextraktivämnen än splinten och har även lägre permeabilitet. I kärnveden hos furu förekommer substanser som hämmar mikroorganismernas tillväxt. Detta avspeglas ofta tydligt i angreppsbilderna från utsatt virke.

I veden hos bl a furu och gran syns med blotta ögat sk årsringar som utgörs av en ljus del, vårveden, samt en mörkare, höstveden. Vårveden bildas vid början av en tillväxtperiod och består av stora tunnväggiga vedceller med stort cellhålrum. Höstveden däremot bildas vid tillväxtperiodens senare del och utgörs av något mindre, tjockväggiga vedceller med litet cellhålrum.

När det gäller angreppsmönster hos barrträ skiljer sig mögelrötan från andra röttsvampar. Dess myceltrådar växer till stor del i själva cellväggarna. Därvid bildas enzymer, som angriper vedcellens väggar och förorsakar typiska långsträckta rombiska urgröpningar med tillspetsade ändar.

Hos övriga röttsvampar växer svamptrådarna i cellhåligheterna och angreppen sker här från randen av cellhålrummet inne i cellväggen.

Som stöd för uppfattningen att den observerade nedbrytningen i pålar och rustbäddsvirke ofta är förorsakad av bakterier kan exempelvis anföras att rombiska urgröpningar, typiska för mögelröttsvampar ofta helt och hållet saknas. Vanlig röta kan i de relaterade fallen inte förekomma, eftersom pålarna ifråga ständigt stått under grundvattenytan. Inte heller kan svamptrådar observeras i eller vid de eroderade cellväggsdelarna.

#### 14.2 Uppläggningsundersökningen

Undersökningsarbeten har omfattat insamling av provmaterial samt laboratoriearbete.

Insamlingen av provmaterial har tillgått så att träprover tagits från skadad pålgrundläggning

eller från rustbäddar under grundvattenytan och snarast möjligt transporterats till laboratorier. Samtidigt som träproverna tagits har också en miljöanalys gjorts som omfattar vatten- och jordprov från den miljö som närmast omger grundläggningsvirket. Denna del av arbetet initierades sedan rapporter via olika informationskanaler nått STEGA att en misstänkt skada på grundläggning förelåg. Vid det tillfället fanns i allmänhet provgropar vid byggnaden. Nästa åtgärd var att STEGA gjorde undersökningar på platsen samt eventuellt slog grundvattenobservationsrör, om detta ansågs erforderligt för vattenprovernas del.

Detta första steg i undersökningarna kompletterades med kemiska undersökningar, vilka utfördes vid AB Hydroconsult. Dessa kemiska undersökningar innefattade analyser såväl av jord och vatten som av pålmaterial. Därefter kom ytterligare laboratorieundersökningar innefattande kemiska analyser av trä, hållfasthets- och densitetsundersökningar, mikroskopiska observationer och mikrobiologiska undersökningar. Gången är som följer.

- Miljöanalyser

Dessa innefattar som antytts kemiska analyser av vatten- och jordprover i grundläggningsvirkets omedelbara närhet. I miljöanalyserna ingår för övrigt också bestämning av coliforma bakterier m m i vattenproverna. De bakteriologiska vattenanalyserna användes som mått på graden av vattenförorening.

- Kemiska analyser av grundläggningsvirket innefattar analyser av pålmaterial med bestämning bl a av kväve, fosfor och järn. De kemiska undersökningarna kompletteras på Svenska Träforskningsinstitutet med bestämning av lignin och kolhydratsammansättning m m.

- Mikrobiologiska undersökningar innefattar klassificering av bakterier, svampar m m samt odlingar av olika slag och ympningar av bakteriekulturer som isolerats ur pålvirke på friskt trä. Denna del av undersökningen utfördes vid Lantbrukshögskolan, Ultuna.

- Mikroskopiska observationer innefattar både ljusmikroskopi och svepelektronmikroskopi. För denna del av undersökningen svarar Svenska Träforskningsinstitutet.

Hållfasthets-, fuktkvots- och densitetsbestämningar ingår i de rutinmässiga undersökningarna vid Svenska Träforskningsinstitutet.

#### 14.3 Redogörelse för provtagningar

##### 14.3.1 Tid och plats m m

Undersökningen har pågått mellan 1968 - 1972. Provtagningsplatserna är följande:

##### Stockholm

- S 1 = Sigtunagatan 4
- S 2 = Skeppsbron 46
- S 3 = Röda Bodarna  
Lilla Nygatan 8-12

##### Göteborg

- G 1 = Fastigheten Vasaplatsen 6
- G 2 = Fastigheten Plantagegatan-Nordhemsgatan
- G 3 = Västra delen av byggnadsområdet Östra Nordstaden
- G 4 = Östra delen av byggnadsområdet Östra Nordstaden  
Gamla Hisingebron

Sju av ovannämnda grundläggningar har här mer ingående kommenterats. Data beträffande träslag, ålder, grundvattenhöjd, marktyp etc för dessa sju grundläggningar har sammanfattats i TAB 14:1.

#### 14.4 Resultat

##### 14.4.1 Ljusbmikroskopiska undersökningar

Ljusbmikroskopering visar en mycket intensiv nedbrytning i de perifera delarna av nästan alla undersökta pålar och rustbäddar. Dessa zoner utgör splintveden eller delar därav. De är ofta missfärgade och varierar i tjocklek från 5-40 mm. Kärnveden tycks inte nämnvärt ha nedbrutits.

I materialet från grundläggning S 2 (se TAB 14:1) är nedbrytningen av splintvedens höstved nästan lika kraftig genom hela den missfärgade zonen, medan nedbrytningen av vårveden minskar mot kärnan. Angreppet slutar tämligen tvärt vid kärnvedens gräns.

I material från G 1 och G 2, där de nedbrutna zonerna är högst 10 mm, minskar nedbrytningen gradvis mot mitten av pålarna. I de inre delarna av splintveden finns ingen eller föga skada. Bäst bevarat är träet hos grundläggning G 4. Här kunde även i pålarnas perifera del inte med säkerhet någon nedbrytning fastställas.

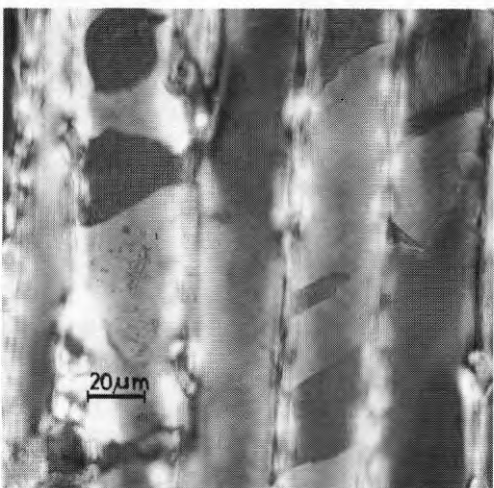
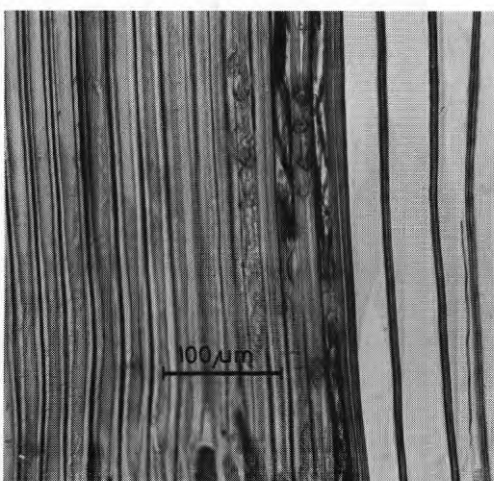
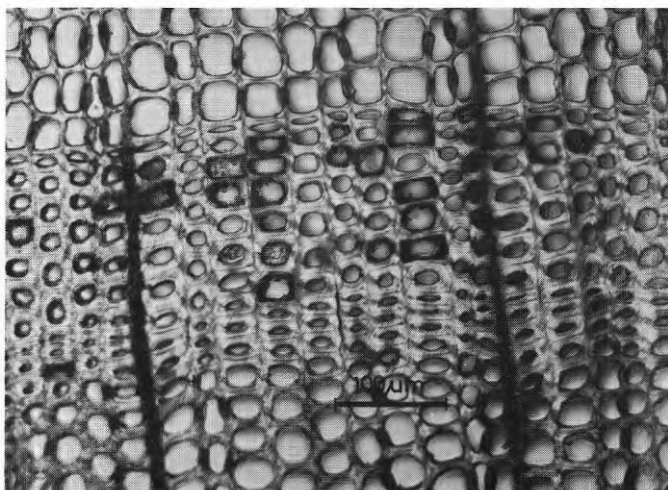
I träet från S 1 förekom nedbrytning till större djup än i proverna från G 1 och G 2.

TABELL 14:1 Några data beträffande material från olika grundläggningar etc

Kod	Plats	Höjdläge m <sup>1)</sup>	Typ av grundläggning	Träslag	Diameter m	Approx ålder år	Jordtyp
G 1	Göteborg (Vasaplatsen)	0.4	rustbädd	gran	0.14	70	lera
G 2	Göteborg (Nordhemsg - Plantageg)	0.6	pålar	furu	0.20	70	lera
G 3	Göteborg (Östra Hamng)	omkr 1.1	pålar	furu	0.28	omkr 40 el 50	lera
G 4	Göteborg (Nils Ericsonsg)	4-8	pålar	gran	omkr 0.2	70	lera
S 1	Stockholm (Sigtunag)	0.6	pålar	furu	omkr 0.2	70	lera o div fyllnads- massor
S 2	Stockholm (Skeppsbron)	0.6 <sup>2)</sup>	rustbädd	furu	0.12	300	div fylln- massor
S 3	Stockholm (Tegelbacken)	omkr 0.7	pålar	furu	omkr 0.2-0.3	70	div fylln- massor

1) Höjdläget anges som avståndet under grundvattennivån vid tiden för provtagningen.

2) 0.2 m under Saltsjöns lägsta uppmätta vattennivå.



FIGUR 14:2,3,4 Ljuskopier

2. Sigtunagatan 4 (S 1) Tydligt angrepp i de tjockväggiga höstvedscellerna.
3. Sigtunagatan 4 (S 1) Radialsnitt 1 cm från pålperiferin. Trågformiga urgröpningar i cellväggar.
4. Kungsholmsgatan, Stockholm. Tangentiellt längdsnitt ur en påles splintved. Typiska rombiska zoner utan dubbelbrytning.

I några fall har mögelröta påträffats. I vedmaterialet från S 2 fastställdes nedbrytning genom mögelröta och förekomsten av svamphyfer tvärs igenom splintveden. Svamphyfer har inte med säkerhet kunnat konstateras i materialet från G 1, G 2 och S 1. Svampar har dock isolerats från den jordbemängda ytan av pålarna.

Även i de fall då mögelröta konstaterats fanns det indikationer på att nedbrytningen inte helt betingats av mögelrötsvampar, dvs det kunde påvisas att kraftigt nedbrutet trä förekom där inga svamphyfer påträffades. Vid skadade ställen i vedstrukturen konstateras ofta anhopningar av bakterier. Nedbrytningsmönstret var ungefär detsamma som inledningsvis beskrivits och har med all sannolikhet bakteriell grund.

Sammanfattningsvis är nedbrytningsmönstret som följer, FIG 14:2-4.

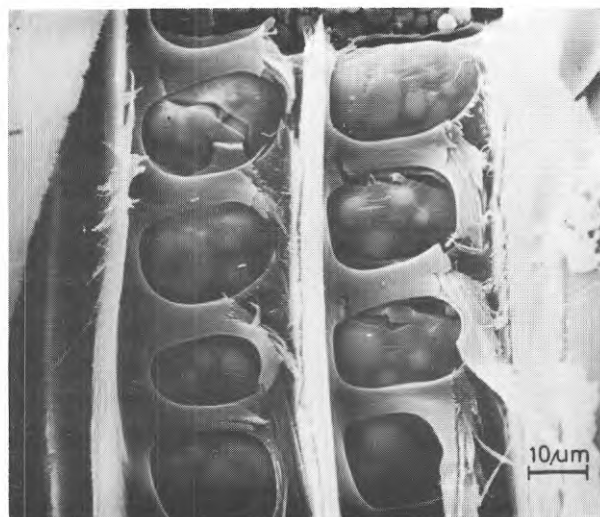
- Cellväggarna är mörkfärgade och har granulär konsistens.
- Nedbrytningen ser ofta ut att ha påbörjats från cellrummet och är mest påtaglig i höstveden.
- Nedbrytningsgraden varierar betydligt från en cell till en annan och de angripna cellerna visar en karakteristisk kavitetsstruktur i radiella och tangentiella längssnitt.
- Angreppen är ofta mycket påtagliga i och nära mägstrålar.

Ovannämnda typ av angrepp observerades även i en påle tillhörande Gamla Hisingsbron i Göteborg. Angreppet konstaterades här på alla nivåer, t o m ned till 8,5 m under botten av floden.

#### 14.4.2 Svepelektronmikroskopiska undersökningar

Många bakteriekulturer isolerade ur grundläggningmaterialet visade sig vara cellulosedegradande (se nedan). För att bestämma huruvida dessa kulturer - ofta blandkulturer - hade förmågan att nedbryta trä ympades de på friskt steriliserat furusplintträ. Vid dessa försök ersattes luften i odlingsröret med en blandning av 90 % kväve och 10 % koldioxid och därefter smältes röröppningen ihop. Efter ungefär ett år öppnades rören och furuträet undersöktes med hjälp av svepelektronmikroskopi. De svepelektronmikroskopiska bilderna visar tydligt att

membranerna i porsystemet hos vedcellerna (s k gårdade porer) och mörkstrålecellerna (s k fönsterporer) är svårt nedbrutna (FIG 14:6-9). Det har dock inte med säkerhet kunnat fastställas om även själva cellväggarna av vedcellerna har blivit något nedbrutna, trots att cellväggarna ser "korroderade" ut från lumen-sidan, då de betraktas med ljusmikroskop. För flera av kulturerna användes filterpapper som extra näring för bakterierna. I några fall observerades sedermera också en avsevärd nedbrytning av filterpappret, som tydligen, på grund av att det är ligninfritt, är lättare att nedbryta än träet.



FIGUR 14:6 Svepelektronmikroskopisk bild av mörkstråleceller i frisk furusplintved. Under membranerna syns stärkelsekorn.

TABELL 14:5 Sammansättning av substrat för odling och isolering av mikroorganismer ur trä från grundläggning.

#### SVAMP

Malt agar (för odling)		Malt extrakt agar (enbart för isolering)	
Malt extrakt	30 g	Malt extrakt	0,2 g
Agar	15 g	Agar	15 g
Destillerat vatten	1000 ml	Tappvatten	1000 ml

#### BAKTERIER OCH ACTINOMYCETER

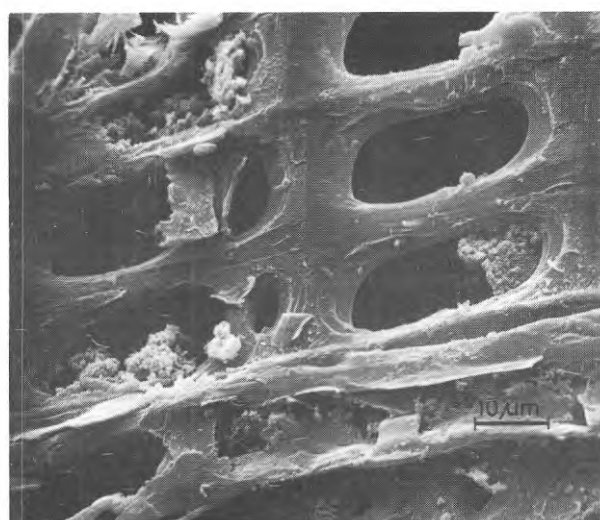
Medium enligt HARMSEN <sup>1)</sup> & VINCENTS NISSEN (1965)		Medium enligt STAPP <sup>2)</sup> & BÖRTELS (1934) (Modifierat)	
Cellulosa	6 g	Cellulosa	10 g
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,1 g	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,25 g
NH <sub>4</sub> Cl	0,1 g	NaNO <sub>3</sub>	0,5 g
Jästextrakt (Difco)	0,01 g	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0,1 g
Tappvatten	100 ml	CaCl <sub>2</sub>	0,01 g
pH	7.3	Tappvatten	1000 ml
		pH	7.5

#### Medium V enligt IMSCHENEZKI (1959)

Cellulosa	15 g	NaCl	0,1 g
NaNH <sub>4</sub> HPO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1,5 g	MnSO <sub>4</sub>	0,05 ml av
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,5 g	FeSO <sub>4</sub>	1 % lösning
K <sub>2</sub> HOP <sub>4</sub>	0,5 g	CaCO <sub>3</sub>	2,0 g
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0,4 g	Tappvatten	1000 ml
		pH	7.5

ANM: För isolering och renodling av bakterier och actinomyceter används fasta media gelatinerade genom tillsats av 1,2 % agar (Difco). Isolering av specifika cellulospjälkare med utspädningsteknik med filterpapperrem-som som enda kolkälla.

- 1) Holz als Roh-u Werkstoff, 23, (1965), 389-393
- 2) Zentralbl. Bakt. II Abt., 90, (1934), 28-66 (p.31)
- 3) "Mikrobiologie der Cellulose", Berlin: Akademie-Verlag 1959 (pp 466)(p.167)



FIGUR 14:7 Svepelektronmikroskopisk bild av nedbrutna mörkstråleceller i trä på vilket "pålbakterier" har ym-pats.

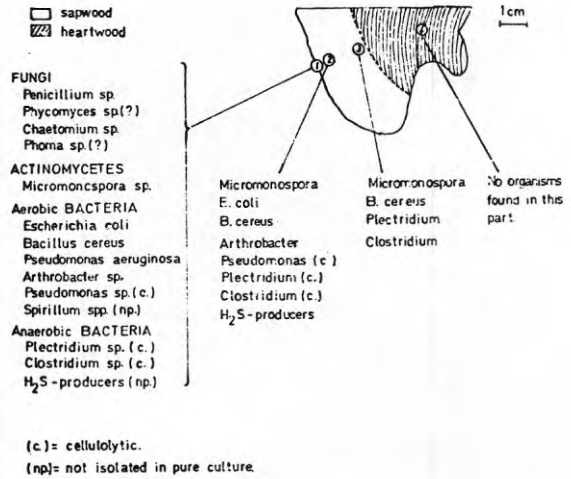
#### 14.4.3 Mikrobiologiska undersökningar

Det mikrobiologiska arbetet innefattade isolering av mikroorganismer och odling av dem. De isolerade mikroorganismerna artbestämdes så långt sig göra lät. Prov från skilda delar av de insamlade trästyckena togs aseptiskt och efter homogenisering överfördes de till substrat som ansågs vara lämpliga för odling av svamp, aeroba och anaeroba bakterier samt aktinomyceter. - En beskrivning av de vanligaste substraten ges i TAB 14:5.

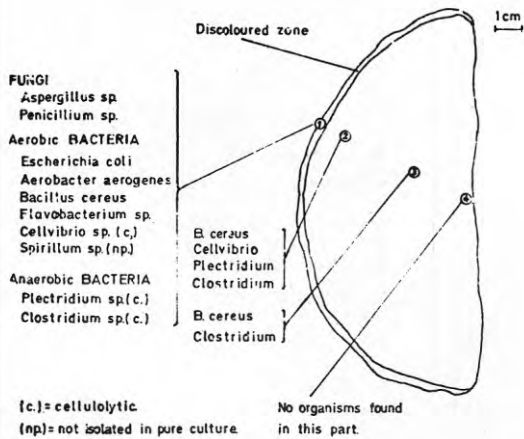
I FIG 14:10 visas de identifierade mikroorganismerna från S2 (Göransson, 1970)<sup>1)</sup>. FIG 14:11 - :12 visar på samma sätt de identifierade organismerna från G 1 och G 2. Tidigare omnämndes att några



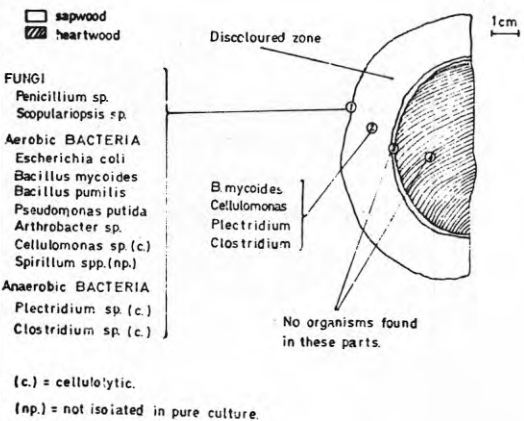
FIGUR 14:8 Svepelektronmikroskopisk bild av gårdad por i frisk furusplintved.



FIGUR 14:10 Fördelning av mikroorganismer i trä från grundläggningen Skeppsbron 46, Stockholm.



FIGUR 14:11 Fördelning av mikroorganismer i trä från grundläggningen Plan-tagegatan-Nordhemsgatan, Göteborg



FIGUR 14:12 Fördelning av mikroorganismer i trä från grundläggningen Vasa-platsen 6, Göteborg.

FIGUR 14:9 Svepelektronmikroskopisk bild av nedbruten gårdad por i trä på vilket "pål bakterier" har ympats.

tecken på angrepp knappast kunde upptäckas hos träet tillhörande grundläggning G 4. Just i detta trä förelåg en ytterst sparsam mikroflora. Förekomsten av bakterier kunde här endast fastställas i prov som låg vid pålytan och några mm inåt, medan djupare in i veden inga mikroorganismer kunde isoleras.

I FIG 14:10, :11 och :12 visas att mikroorganismer skiljer sig avsevärt från varandra i vad avser deras förmåga att penetrera trä. - Vissa organismer förekommer endast ytligt i proverna, medan andra har trängt ända in till kärnvedens gräns. - Mikrofloran är tydligen komplex och heterogen.

1) Byggmästaren 49, (1970) Nr 8, 33-34

Ett antal aeroba bakterier med ingen mätbar cellulosedbrytande aktivitet när de odlades ensamma i renkulturer, isolerades från de ursprungliga blandade kulturerna. Detta kan tyckas vara besynnerligt med tanke på den låga syrehalten som uppmättes i grundläggningens omedelbara närhet och att proverna med all sannolikhet varit permanent belägna under grundvattenytan. Tydligt kan även dessa aeroba bakterier överleva i dessa mycket låga syretryck och har anpassat sig till denna miljö.

Bland dessa bakterier, som nu beskrivits, är *Escherichia coli*, *Bacillus* spp. (*B. cereus*, *B. mycoides*, int. al.) *Pseudomonas* spp., *Arthrobacter* spp., *Flavobacterium* spp.

På samma sätt isolerades även aeroba bakterier med cellulosedbrytande förmåga. Bland dessa märks *Cellvibrio*, *Cytophaga*, *Cellulomonas* och *Pseudomonas* spp.

Svavelväteproducerande bakterier och *Spirillum*-arter återfanns ofta i kulturerna.

Anaeroba cellulosedbrytande bakterier tillhörande släktena *Plectridium* och *Clostridium* återfanns ofta i de inokulerade och odlade kulturerna från angripna träprover.

Vissa tendenser kan observeras vad beträffar de isolerade och identifierade bakterierna. Många av dem, ehuru icke cellulosedbrytande, kan tränga igenom träets vävnad till ett avsevärt djup. Således isolerades stammar av *B. cereus* från trävävnad nära gränsen mellan splint- och kärnved i flera av proverna från olika grundläggningsställen.

Ännu har inte mikroorganismer från kärnved kunnat isoleras. Inga avsevärda försök har heller gjorts för att isolera anaeroba bakterier i renkultur. Det är välkänt att detta är rätt svårt, beroende på att många av dessa bakterier tycks vara mycket beroende av andra bakterier, som de syns leva i ett symbiotiskt förhållande med.

Aktinomyceter var inte ovanliga i proverna och bland dem fanns *Micromonospora* spp. vara vanliga.

Olika svamparter isolerades från de jordinblandade ytskikten av träproverna från de olika ställena.

Även den mikrobiologiska undersökningen styrker i väsentlig grad hypotesen att cellulosedbrytande bakterier deltar i nedbrytning av trä under grundvattenytan.

#### 14.4.4 Kemisk analys

Data från de kemiska och/eller bakteriologiska analyserna på grundvatten och jord från de undersökta grundläggningarna är sammanställda i TAB 14:13 och 14:14.

De relativt höga koncentrationerna av kväve (Kjeldahl) och fosfor (totalfosfor) och det stora antalet coliforma bakterier i proverna indikerar att grundvattnet är förorenat och påverkat av närsalter i samtliga fall. De lägsta syrekoncentrationerna i grundvattnet uppmättes i proverna från S 2 (0,9 mg/l) och G 3 (< 1 mg/l). Det måste dock framhållas att syrehalterna kan ha varit ännu lägre innan på grundläggningen frilades för provtagning.

Kväve- och fosforhalten i träproverna var högst i pålarnas periferi och minskade gradvis in mot gränsen mellan splint- och kärnved. Detta var mest utpräglat i de hårdast angripna proverna. I TAB 14:15 och 14:16 visas att nedbrytningen följer kväve- och fosforhalten.

Kemiska data för grundläggningens virke tagna från S 2 och jämförbara data för frisk splintved från svensk furu (*Pinus silvestris* L.) visas i TAB 14:16 (Boutelje, 1970).<sup>1)</sup>

Prov från S 2 uppvisade en perifer missfärgad zon, som var omkring 4 cm bred och bestod av splintvedsrester. Det framgår från TAB 14:16 att andelen glukos (- utgör en av cellulosaens byggstenar) minskar till nästan hälften, medan ligninandelen stiger till det dubbla i den perifera missfärgade zonen. Även polymerisationsgraden (= antal glukosenheter per cellulosa-molekyl) minskas något genom nedbrytningen.

TABELL 14:13 Några miljöfaktorer och trädets nedbrytning hos sju olika grundläggningar  
(se även TAB 14:1)

Kod	G 4	G 1	G 3	G 2	S 1	S 3	S 2	
Grad av nedbrytning	(0)	+	+	++	++/+++	++++	+++++	
JORD	lera	lera	lera	lera	lera+div fylln- massor <sup>1)</sup>	div fylln- massor	div fylln- massor	Ej förorenad lera
mgN/g TS (Kjeldahl)	0.8	0.8	1	0.7	1.9	0.9	1.8	< 0.5-1
mgP/g TS (tot)	0.7	0.9	0.7	0.7	1.1	2.0	4.0 <sup>2)</sup>	< 0.5-1
mgS/g TS (tot)	4.3	0.7	(6.2) <sup>3)</sup>	0.5	0.7	2.2	2.8	
glödförlust, % TS	6.4	4.1	7.5	6.0	6.7	2.7	12	
GRUNDVATTEN								
mgN/l (Kjeldahl)	2.8	2.8	(44) <sup>3)</sup>	2.2	1.7	2.4	7.8	Ej förorenat grundvatten < 0.1-0.3
µgP/l (tot)	-	800	(4500) <sup>3)</sup>	90	69	250	1740	< 10-100

1) = fyllning av typ grus, sand, mo, bruksrester etc

2) jord och ruttet trä skrapat från pålar

3) onormalt höga värden på grund av läckage från avloppsrör

1) Byggmästaren 49, (1970) Nr 8, 25-28

TABELL 14:14 Kompletterande kemiska och bakteriologiska data för jord och grundvatten från sju grundläggningar (grundläggningarna placerade enligt ökande nedbrytningsgrad av splintveden)

Kod	G 4	G 1	G 3	G 2	S 1	S 3	S 2
JORD							
Fuktkvot, %	40	64	41.5	42	25	23	45
pH	-	7.6	-	8.2	-	6.2	-
Nitrit, µg NO <sub>2</sub> /g TS	7.7	0.2	1.0	0.2	0.1	0.2	-
Nitrat, µg NO <sub>3</sub> /g TS	77	27	142	7	1.5	16	-
Klorid, mg Cl/g TS	-	-	4.5	-	-	-	-
Järn tot, µg Fe/g TS	2.8	66	2.7	2.1	10	0.8	-
Järn, µg Fe (II)/g TS	1.5	60	2.6	1.1	<10	0.55	<1
Koppar, µg Cu/g TS	25	35	22	2.1	-	47	-
Zink, µg Zn/g TS	20	214	2	74	-	2	-
Bly, µg Pb/g TS	90	43	9	15	-	30	-
GRUNDVATTEN							
Ledningsförmåga $\kappa_{20} \cdot 10^6$	1800	860	27000	2550	1050	750	1100
pH	7.45	8.0	7.2	7.2	7.2	7.4	7.0
Bikarbonat, mg/l HCO <sub>3</sub>	-	250	-	600	-	244	602
Klorid, mg/l Cl	-	27	8980	396	58	116	83
Ammoniak, mg/l NH <sub>4</sub>	3.5	0.9	62	2.9	-	1.4	3.5
Nitrit, mg/l NO <sub>2</sub>	0.7	7.4	0.14	0.91	<0.01	0.15	<0.01
Nitrat, mg/l NO <sub>3</sub>	5.1	84	0.7	84	0.4	0.7	<0.1
Sulfat, mg/l SO <sub>4</sub>	-	31	40	93	17	27	18
Järn tot, mg/l Fe	-	0.40	1.12	0.24	0.05	0.16	-
Järn, mg/l Fe (II)	-	<0.05	0.07	<0.05	<0.05	0.12	0.12
Koppar, µg/l Cu	-	150	480	110	-	20	40
Zink, µg/l Zn	-	12800	400	50400	-	5	26
Bly, µg/l Pb	-	5	<50	10	-	<5	<5
Oxygen, mg/l	-	3.5	<1	(8.5)	6	1.6	0.9
Bakterier tot antal/ml, 22°C	50·10 <sup>3</sup>	300·10 <sup>3</sup>	3500	50·10 <sup>3</sup>	11·10 <sup>3</sup>	900	15·10 <sup>3</sup>
Coliformer tot antal/100 ml, 35°C	23	>24·10 <sup>3</sup>	>24·10 <sup>3</sup>	400	11·10 <sup>3</sup>	79	17
Termostabila coli- former/100 ml, 44°C	<2	8	70	0	1700	23	2

TABELL 14:15 Kväve- och fosforhalt, specifik tryckhållfasthet och täthet hos trä från sju olika grundläggningar ordnade enligt ökande nedbrytningsgrad av splintveden.

Kod	G 4	G 1	G 3	G 2	S 1	S 3	S 2	
Träslag	Gran	Gran	Furu	Furu	Furu	Furu	Furu	Frisk furu
Grad av nedbrytning	(0)	+	+	++	++/+++	++++	+++++	0
mgN/g TS (Kjeldahl)								
yttre splintved	1.2	1.3	2.2	3.4	2.1	4	7.0	< 1
inre splintved	0.8	0.7	0.7	0.6	1.3	1	4.2	< 1
kärnved	1.0	0.8	1.1	0.8	1.1	0.7	0.9	< 1
µg P/g TS (totalt)								
yttre splintved	51	35	33	285	320	650	865	omkr
inre splintved	22	10	6	10	160	85	465	60-120
kärnved	37	10	6	10	10	10	0.7	
$\sigma/r_{ou, kp}$ , cm/g (splint)	420	470	-	370	320	290	150	omkr
$\sigma/r_{ou}$ , "- (kärnved)	440		-	500	-	-	420	450-550
$r_{ou}$ , g/cm <sup>3</sup> , (splint, u > 30%)	0.38	0.37	-	0.39	0.43	0.32	0.26	0.30-0.55
$r_{ou}$ , g/cm <sup>3</sup> , (kärnv, u > 30%)	0.39		-	0.46			0.49	

$\sigma_{II}$  = tryckhållfasthet parallellt med fibrerna

$r_{ou}$  = densitet beräknad som torr vikt per volymenhet vid fuktkvoten

TABELL 14:16 Kemiska data för trä från grundläggning S 2 och jämförande data för frisk splintved

	Missfärgad zon, splintved			Ej missfärgad zon, kärnved	Frisk furu-splintved
	10-12 cm från pål-centrum	8-10 cm från pål-centrum	I splintvedsgräns (7-8 cm från pål-centrum)	I splintvedsgräns från pål-centrum (6-7 cm)	
Askinnehåll, %	4.6	1.7		0.5	0.2 - 0.4 <sup>1)</sup>
Kväve (Kjeldahl), mg N/g TS	7.0	4.2		0.9	ungef 1 <sup>1)</sup>
Total fosfor, µg P/g TS	865	465		0.7	70 - 140 <sup>1)</sup>
DP (medelvärde av polymerisation)	1020	1080	1220	1180	1230
Klasonlignin, %	54.3	51.2	47.0	28.2	27.0
Glukan, %	21.6	24.4	27.2	45.3	46.0
Relativ kolhydrat-sammansättning %					
arabinos	2.9	3.0	2.6	2.7	2.7
xylos	10.0	10.0	9.3	8.5	9.7
mannos	17.6	17.2	17.3	19.0	18.1
galaktos	13.4	12.9	12.8	4.2	3.2
glukos	56.1	56.9	58.0	65.6	66.3
Totalt	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

1) Från litteraturen

Som framgår av TAB 14:16 är det en distinkt skillnad i askhalt, kväve, fosfor mellan de missfärgade och de inte missfärgade träpartierna. Det är också stor skillnad mellan det missfärgade träet och friskt trä i dessa avseenden.

#### 14.4.5 Trätekniska data

Hållfasthetsanalyserna har i de flesta fall inskränkts till bestämningar av tryckhållfasthet (se TAB 14:15) men i några fall har även elasticitetsmodulbestämningar genomförts. De senare är dock mindre lämpliga för en bedömning av grundläggningens kvalitet eftersom elasticitetsmodulen påverkas betydligt mindre av röta än tryckhållfastheten. Normalt brukar tryckhållfasthet och torr-rådensitet hos friskt trä med fuktkvoter över 35 % ligga inom följande gränser:

Furu: torr-rådensitet 0,35-0,50 g/cm<sup>3</sup> (oftast mellan 0,40-0,44 g/cm<sup>3</sup>) och tryckhållfasthet 170-280 kp/cm<sup>2</sup> (oftast mellan 200-250 kp/cm<sup>2</sup>).

Gran: torr-rådensitet 0,32-0,50 g/cm<sup>3</sup> (oftast mellan 0,35-0,40 g/cm<sup>3</sup>) och tryckhållfasthet 150-260 kp/cm<sup>2</sup> (oftast mellan 180-230 kp/cm<sup>2</sup>).

I friskt virke förekommer relativt stora variationer. Hållfasthetsegenskaper varierar beroende på träets densitet. För att vid bedömningen av hållfasthetsnedsättningen genom nedbrytning i någon mån eliminera densitetens inflytande räknas ofta med kvoten mellan tryckhållfasthet och densitet. Kvoten kallas specifik tryckhållfasthet och brukar för furu och gran ligga mellan 450-550 (kpcm/g). I TAB 14:15 visas att denna kvot i splintveden av den värst angripna grundläggningen S 2 (Skeppsbron, Stockholm) är endast 150 kpcm/g medan kvoten är nära 450 kpcm/g för det väl bevarade materialet från G 4 (Nils Ericsonsgatan) och G 1 (Vasaplatsen) i Göteborg.

Splintvedens genomsnittliga tryckhållfasthet var i de två sämsta grundläggningarna 39 respektive 93 kp/cm<sup>2</sup> och i de två bästa 160 respektive 174 kp/cm<sup>2</sup>.

Splintvedens fuktkvotsvärden låg oftast mellan 100-200 %, dvs nära vattenmättnad, medan kärnvedens varierade mellan 50-100 %. Detta innebär att cellhålrummen i kärnveden var långt ifrån fyllda med vatten. Denna observation gäller även pålen under Hisingsbron och belyser hur svårt det är för vatten att penetrera de gasfyllda cellhålrummen i kärnveden.

#### 14.4.6 Diskussion

Många av bakterierna som inte i sig har nedbrytande förmåga på cellulosa och på trä spelar med all sannolikhet roll som medhjälpare till träförstörande mikroorganismer genom att förse dessa med vissa, för deras tillväxt betydelsefulla element. Det är också icke omöjligt att långtidsexponerade, försvagade träfibrer kan angripas av organismer som normalt - dvs under laboratorieförhållanden - inte är cellulosanedbrytande.

Avsaknaden av bakterier i kärnveden kan bero på träslaget som används i pålar i Sverige. Enligt nyare rön är membranerna i furusplintvedens porsystem ligninfria medan de i kärnveden är lignifierade. Detta är en förklaring varför vid de förut relaterade ympningsförsök med bakterier på frisk furusplintved och efterföljande svepelektronmikroskopisk undersökning endast hos pormembraner ett tydligt angrepp kunde fastställas. Det blir ävendes förståeligt att bakterier kan penetrera furusplintveden eftersom de kan bryta ner dess porsystem.

Det är ännu inte möjligt att få en pålitlig korrelation mellan miljöfaktorer och den aktuella mikrofloran som återfunnits i trävävnaden. Det måste understrykas att grundvattnet från alla de undersökta provtagningsplatserna är mer eller mindre förorenat och påverkat av närsalter. Prover från oligotroft vatten kan mycket väl visa sig innehålla en mikroflora som skiljer sig från den som vi här har beskrivit. Det är att förvänta att miljöfaktorerna, t ex kväve och fosfor i jord och vatten bör vara korrelerade med graden av mikrobiell nedbrytning. Värdena i TAB 14:13 ser ut att konfirmera denna hypotes vad jorden beträffar, men vad beträffar grundvattnet kan detta inte anses vara bestyrkt.

Det måste emellertid understrykas att det kan vara tvivelaktigt om det över huvud taget är möjligt att få representativa prover av grundvattnet. Det är i varje fall inte osannolikt att de data som karakteriserar marken och jorden kring pålarna i högre grad än vattnet är karakteristiska för den aktuella miljön.

Nedbrytning av trä under grundvattenytan kan tydligen ske på olika sätt. Främst har mögelröta och bakteriell nedbrytning kunnat observeras. En gradering av grundläggningarnas kvalitet med avseende på nedbrytning och djup av den nedbrutna zonen ger vid handen att pålarna från de värst angripna grundläggningarna S 1, S 2 och S 3 omgavs av poröst återfyllnads-material, dvs grus, stenar, humusbemängd jord, rester av bruk m m. Materialet kring de förhållandevis bäst bevarade grundläggningarna G 1, G 2, G 3 och G 4 bestod av lera.

Det påstås att vanlig röta har en tendens att utvecklas långsammare i träpålar som omges av lera, än i pålar som är omgivna av poröst material. Uppenbarligen har lera också en viss skyddseffekt på trä, även under grundvattenytan.

För trä som hela tiden är nedsänkt i vatten har undersökningarna inte kunnat bekräfta att gran skulle vara mindre beständigt än furu. De förefintliga data pekar snarare åt ett motsatt förhållande (se TAB 14:15). Emellertid kan påståendet att gran är mindre motståndskraftigt mot röta än furu vara riktigt i de fall då luft är närvarande och kan påskynda eller underlätta ett rötangrepp.

Det har kunnat konstateras att det föreligger en klar positiv korrelation mellan mängden av organiskt kväve och fosfor i träproverna och graden av nedbrytning. Tydligen sker en anrikning av fosfor och organiskt kväve vid träets nedbrytning. Detta gör det ännu mera sannolikt att de beskrivna nedbrytningsfenomenen i grundläggningar under grundvatten är orsakade av mikroorganismer - bakterier och mögelrötsvamp och inte av enbart kemisk nedbrytning.

#### 14.5 Provtagning av trä ur en myr i Sveg

För att söka klarlägga huruvida trä som lagrats över den högsta marina nivån och i en miljö fri från human förorening, påverkas av mikrobiologisk nedbrytning upptogs en stock ur en myr i Sveg. Trämaterialet har undersökts träteknologiskt och kemiskt. Mikroorganismer har isolerats ur veden och odlats. Nedbrytningsmönster i trästrukturen har studerats ur morfologisk synvinkel. Analyser på vattnet, myren och leran under myren föreligger. En radioaktiv datering av trä materialet har utförts.

Det upptagna materialet visades vara ca 6300 år.

Med hänsyn till materialets höga ålder får undersökningen mera ses som en fotnot till pålgrundläggningsundersökningen. Vid en jämförelse mellan miljöer kring pålgrundläggningar och den miljö som råder i myren skall följande skillnader framhävas: I myren lägre pH, hög järnhalt, nästan ingen omsättning av organiska kväve- och fosforföreningar till nitrater, nitriter, ammoniumkväve och fosfater.

Den nästan totala avsaknaden av oorganiska kväve- och fosforföreningar tillsammans med förekomsten av humussyror har förmodligen verksamt bidragit till myrens relativt skyddande effekt på trä materialet. Intressant i detta sammanhang är observationen att de cellulolytiska mikroorganismer som isolerades ur materialet hade en markerat låg tillväxthastighet jämfört med de cellulolytiska mikroorganismer isolerade ur pålgrundläggningsmaterial.

Nedbrytning av träet i den upptagna furustocken har dock trots myrens skyddande effekt skett, eftersom t o m i stockens inre del träets hållfasthet är lägre än normalt. Huruvida den upptagna stocken utgör den inre kärnvedsdelen av en ursprungligen mycket grövre stock eller tillhör en klen stam kunde tyvärr inte fastställas.

Mikroskopiskt har förekomsten av svamphyfer i materialet observerats. Vissa nedbrytningsmönster i trästrukturen tyder på nedbrytning genom svampar och aktinomyceter. En anrikning av kväve, särskilt i stockens perifera delar har skett. Cellulolytiska bakterier, aktinomyceter och svampar har isolerats ur veden. Alla dessa observationer och data visar att mikroorganis-

mer är inkopplade i träets nedbrytning. Huruvida dock först en rent kemisk nedbrytning har skett, vars nedbrytningsprodukter har tagits om hand av mikroorganismer eller om den mikrobiella nedbrytningen har skett oavhängigt från rent kemisk nedbrytning är svårt, om inte omöjligt, att avgöra. Att även en rent kemisk nedbrytning föreligger är inte osannolikt, eftersom frilagda ytor på stocken mycket snabbt mörknar i luften. Oxidation av nedbrytningsprodukter av ligninet kunde vara orsaken till denna snabba mörkfärgning.

Delundersökningarna (trätekniska, kemiska, mikrobiologiska etc) finns redovisade i separata bilagor.

#### 14.6 Sammanfattning

Många gamla värdefulla byggnader i Stockholm och andra svenska städer är grundlagda på träpålar. Det har tidigare allmänt ansetts att inga allvarliga skador behövde befaras om pålarna konstant befann sig under grundvattenytan. I ett flertal fall har emellertid avsevärda skador observerats, även i de fall då pålarna befunnit sig på betryggande djup under grundvattenytan eller i kompakt vattenmättad lera.

Det typiska nedbrytningsmönstret för mögelröta återfinns oftast endast i de perifera delarna, medan andra typer av nedbrytningsmönster uppträder in mot de mer centrala delarna av splintveden på pålarna. Svamphyfer är ofta sällsynta eller helt frånvarande i dessa inre delar.

Bakterier spelar förmodligen en viktig roll i den observerade nedbrytningen. Därför koncentrerades det mikrobiologiska arbetet i denna undersökning på att isolera och identifiera bakterier. Det är nämligen helt uppenbart att förekomsten av svamp är för begränsad för att förklara de observerade skadorna.

Mikrofloran i materialet varierade från fall till fall. Cellulosanedbrytande anaeroba *Plectridium*- och *Clostridium*-arter hittades ofta i de nedbrutna delarna av trävirket. Andra vanliga mikroorganismer som isolerats är bakterier från släktena *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Flavobacterium* och *Spirillum*. *Actinomyces*

ter från släktet *Micromonospora* förekom talrikt. I vissa fall isolerades *Cellvibrio*, cellulosa-nedbrytande *Cytophaga*-och *Cellulomonas*-stammar.

Av förefintliga data framgår möjligheten av en korrelation mellan förorening i pålarnas miljö - höga kväve- och fosfathalter i jorden - och de observerade skadorna i grundläggningsvirket.

Det visades med vanlig ljusmikroskopi och med scanning elektronmikroskopi att bakterier som isolerats från grundläggningsvirke har förmågan att förstöra vissa element i träets cellstruktur.

I grundläggningar som har varit konstant under grundvattenytan eller i kompakt vattenmättad lera visar sig gran snarast vara mera beständig än furu - i motsats till vad som tidigare allmänt antagits gälla.

## 15 STEGA-PROBLEMATIKEN I SITT STÖRRE SAMMANHANG

### 15.1 Allmänt

Det som varit möjligt att praktiskt genomföra i STEGA:s forskning är att med fältundersökningar och teoretiska betraktelser studera det hydrologiska förloppet (spec grundvatten) i orörd natur och i stadsbebyggelse - färdig och i varande. Dessutom har STEGA haft möjligheter att kartlägga och följa ett stort antal fall med grundläggningsskador.

Av detta har STEGA sedan söka skapa en helhetsbild av den byggnadsproblematik som är mer eller mindre hårt knuten till grundvattnet. En genomlysning av denna problematik är viktig både för den enskilde och för samhället och den har till stora delar hittills varit förbisedd.

### 15.2 Planer för ny- och ombyggnad, översyn av byggnadslagen

#### 15.2.1 Stadsplaner för djupbebyggelse

Djupa grundläggningar samt tunnlar m m verkar normalt avsänkande på grundvattenytan. Därför bör sådana anläggningar anges i och fastställas för varje stadsplan, så att det i tid går att ta hänsyn till dessa viktiga element i exploateringen.

#### 15.2.2 Byggnadslov för anläggningsarbeten

Anläggningsarbeten som handhas av städernas gatukontor kräver inget byggnadslov. Detta leder ibland till orimliga konsekvenser för bygandet. Ett flagrant exempel på vad som kan hända med nuvarande ordning och som kommit till STEGA:s kännedom är följande:

En vägbank i Bredäng kom att bli utförd av gatukontoret med träpålar. Ett planerat höghus alldeles intill hade en dräneringsnivå, som med säkerhet skulle betyda att grundvattenytan i området skulle sänkas. Därmed skulle också träpålarna under vägbanken ruttna, vilket i sin tur medförde uppenbar risk för skred. Lyckligtvis upptäcktes detta och huset fick omprojekteras samt en tryckbank anläggas som mothåll mellan huset och vägbanken. En källarvåning förlorades på detta sätt.

#### 15.2.3 Förnuftig planering av fältundersökningar. Databank för markundersökningar.

Åtminstone i och kring de större städerna har markundersökningar under årens lopp blivit utförda i stor mängd. Vid varje nytt projekt som skall igång görs rutinmässigt ett nytt rutnät av borrpunkter med markundersökningar av olika slag.

Beroende på vem som är exploatör och beroende på konkurrensförhållanden mellan de firmor som utför grundundersökningarna kan det ibland vara svårt att få fram uppgifter från äldre undersökningar. Detta kan leda till att två eller fler firmor gör samma undersökning på samma ställe.

Med hänsyn till den nuvarande svårigheten att sammanställa allt grundundersökningsmaterial

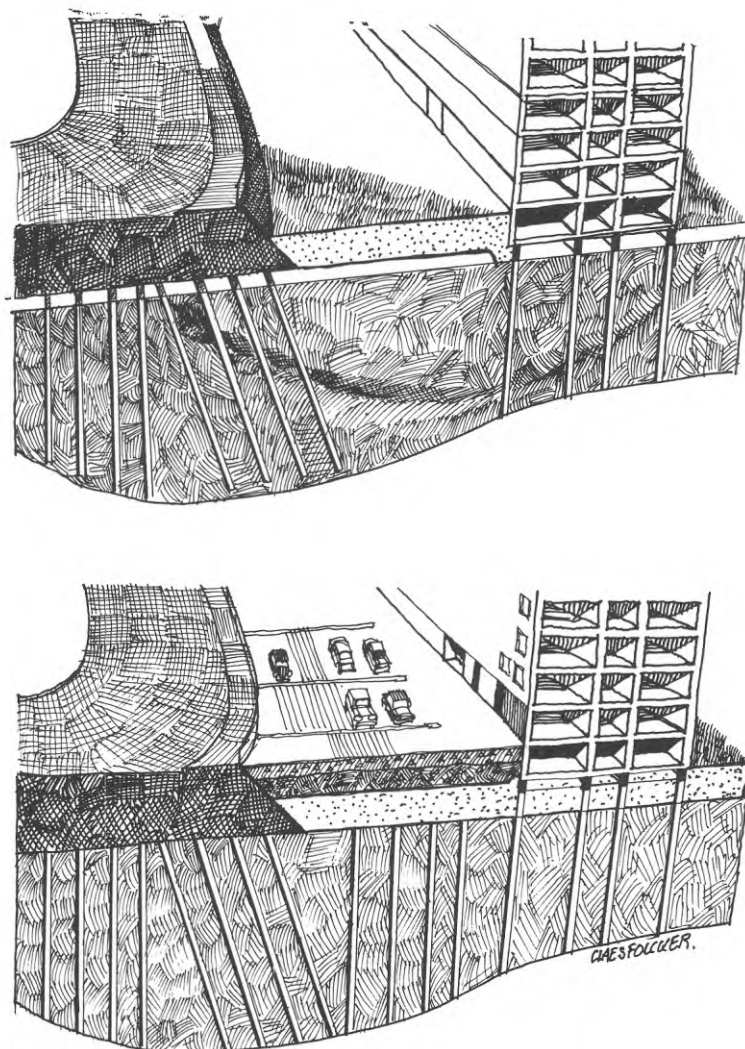


FIG 15:1 Vägbank i Bredäng.



vore det med säkerhet en vinst för alla parter om den ordningen infördes att allt grundundersökningsmaterial efter viss tid förklaras som offentlig handling och samlas på ett ställe i en databank. Detta ställe kan t ex vara byggnadsnämnd och/eller länsstyrelse.

#### 15.2.4 Utvidgning och systematisering av kartmaterialet för planering, Mi etc.

Det kartmaterial som fortfarande huvudsakligen används vid upprättandet av planer och vid projektering är nivåkartor. Med hänsyn till den stora betydelse som markförhållandena har, såväl praktiskt som ekonomiskt, innebär det en klar fördel om kartmaterialet utvidgas till att omfatta även markförhållanden. Byggnadsgeologiska kartor, som i sig huvudsakligen är en sammanställning i kartform av tillgängligt grundundersökningsmaterial är exempel på sådant kartunderlag.

Grundvattensänkningskartor, sättningskartor och kostnadskartor som visar den relativa grundläggnings- och markbyggnadskostnaden är ytterligare exempel på ett i de flesta fall önskvärt kartmaterial.

En förfinad form av dessa kostnadskartor är sk markkostnadsindexkartor (Mi-kartor) för vilka kortfattat redogjorts i kapitel 12.

#### 15.2.5 Bestämning av riskområden för grundläggningsskador

En form av kartor som skulle bespara kommunerna åtskilliga besvärligheter och rädda stora summor är kartor som beskriver riskområden för sättnings- och grundläggningsskador.

Med den kunskap STEGA insamlat finns klara belägg för att lerområden, som är högt belägna och som innehåller normalkonsoliderad sättningsbenägen lera, utgör sådana riskområden. Samma sak gäller om tunnlar av något slag passerar under eller i närheten av lerfyllda svackor i terrängen. Förhållandena förvärras om de ytliga lagren består av organiskt material.

Stockholms västra förorter har intensivstudera av STEGA (kap 7) och där har grundläggningsskador och/eller markskador orsakade av sättnings- och grundläggningsskador förekommit på de flesta ställen

som bedömts som riskområden.

Slutsatsen är att riskområdena i och kring en stad bör kartläggas på ett så tidigt stadium som möjligt. Vissa av dessa bör sannolikt - av ekonomiska och praktiska skäl - inte bebyggas utan användas som grönområden. Andra kan byggas, men kanske endast med speciell bebyggelse. Det finns exempel på sådan planerad bebyggelse, som ekonomiskt kan bära att större delen av den sättningsbenägna ytan byggs över med pålat betongdäck.

#### 15.3 Bevakning och bevarande av grundvattenytorna.

##### 15.3.1 Översyn av vattenlagen

Nybildningen av grundvattnet i stadsbebyggelse är med all sannolikhet inte särskilt stor. Visserligen bör siffran variera högst betydligt, men som en övre gräns kan nog sättas 50.000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> och år (50 mm). Enligt vattenlagen får grundvattenuttag i varje fastighet uppgå till 300 m<sup>3</sup>/dygn, vilket skulle kunna betyda ca 110.000 m<sup>3</sup>/år. Dessa siffror visar att denna paragraf i vattenlagen tillåter grundvattensänkning. Om ett nybyggt hus med flera källarvåningar förläggs bredvid ett gammalt träpålhus finns alltså stor risk för att en grundvattenpumpning - kanske orsakad av en läcka i det nya husets grund - skulle kunna torrlägga träpålarna i grannhuset och därmed utsätta dem för rötta utan att vattenlagens bestämmelser överträds.

Om det sedan finns grund för ett civilmål mellan fastighetsägarna är en annan sak. Bevisning i sådana fall är mycket besvärlig.

##### 15.3.2 Bevakningsnät och bevakningsrutiner

Grundvattenytans läge är väsentlig för bebyggelsen. En bevakning som är så beskaffad att händelseförlopp i stort följs under låg tid är av värde. Lämpligen kan ett mindre antal rör sättas i varje lerområde i en stad - och i planerade exploateringsområden samt kontinuerliga observationer göras där. Observationerna behöver inte ske mer än ca 1 gång/månad men kontinuiteten är viktig.

Det finns nu väl utarbetade rutiner för behand-

ling av ett sådant observationsmaterial. Efter stansning av basdata på hålkort kan bearbetning göras automatiskt i dator. Referensområden är nödvändiga i ett sådant bevakningsnät. Drift och underhåll av ett sådant bevakningsnät kostar i storleksordningen några 100.000 kronor per år för t ex Stockholm eller Göteborg. Detta är en billig försäkringspremie dels för kostnader i samband med ansvarsfrågor för grundvattensänkning, dels för misstag som kan undvikas genom den bättre överblicken över grundvattenförhållandena som därmed åstadkoms.

### 15.3.3 Inläckning i tunnlar - kontinuerlig bevakning

En av de besvärligaste faktorerna när det gäller grundvattenavsänkningar är inläckningen i tunnlar. Därför är det av stor vikt att denna inläckning bevakas. Under hela byggnadstiden av tunnlar är läckningsmätningar rutin. Frågan är om inte fortsatt bevakning skulle löna sig i de fall där det över huvud taget är möjligt med mätning.

### 15.3.4 Konstgjord infiltration

I områden där en långsam men kontinuerlig avsänkning av grundvattenytan sker kan det vara av intresse att söka kompensera denna sänkning genom konstgjord infiltration. Detta har försökts i ett antal fall, vilket också beskrivits i denna skrift, men omfattningen av försöksverksamheten är ännu mycket liten.

De naturliga infiltrationsvägarna är helt självfallet möjliga för människan att utnyttja. Exakt hur detta skall ske är inte klarlagt, men det förefaller vara en lika angelägen som väl avgränsad forskningsuppgift att söka klarlägga detta.

Att konstgjord infiltration i stor skala lyckats bevisas av vattenkvaliteten i våra städers grundvattenmagasin. Grundvattnet består till stor del inom avsevärda arealer huvudsakligen av avloppsvatten, vilket visar att läckande avloppsledningar effektivt infiltrerar och nybildar grundvatten. Här finns alltså ytterligare en teknisk väg att gå. Täta spillvattenledningar samt i kombination härmed perforerade infiltrationsledningar med renvatten.

### 15.4 Hur gammalt får ett hus bli?

Husbyggnader amorteras i allmänhet på mellan 50 och 70 år. Man kan inte begära att den mänskliga framsyntheten skall kunna överbrygga en större tidsklyfta än denna med den tekniska utvecklingstakt som förekommit under detta sekel.

Om miljö- och kulturvärden undantas kan helt enkelt konstateras att sekelskifteshus överlag sällan har något större värde.

Kan man begära, att för att bevara ett antal hus från sekelskiftet med träpålad grund, samhället exempelvis skulle få avstå från att utnyttja tunnlar för den kommunikation vi numera vant oss vid att betrakta såsom oundgänglig och självklar?

Skall all bebyggelse på "infiltrationsmark" förbjudas, eftersom sådan bebyggelse minskar grundvattenbildningen och sänker grundvattenytan?

Utan att ha några färdiga svar på dessa frågor anser STEGA att saken är värd en debatt med den utgångspunkten att lagen ger ett skydd åt byggnader under deras ekonomiska livslängd, som är av ett mer kvalificerat slag än det skydd som erbjuds därefter.

### 15.5 Slutord

STEGA:s sexåriga arbete fram till denna redovisning gör inte anspråk på att mer än översiktligt ha redovisat problemen och deras betydelse. Det har alltså till stor del varit en kartläggning, delvis kostsam och besvärlig på grund av omfattande och dyrbara fältarbeten.

Tiden sex år är liten i ett sammanhang som detta. De ingrepp som förorsakar grundvattensänkningar pågår fortfarande i Botkyrka och Angered. Grundvattensänkningar har pågått i stort sett mellan 1969 och redovisningsdatum 30 juni 1973 i Botkyrka och ungefär samma tid i Angered.

Överkonsolideringen av leran i Botkyrka har emellertid gjort att sättningar först på allra senaste tid börjat uppträda. I Angered är överkonsolideringen så stor att sättningar låter

vänta på sig mycket lång tid om de nu alls kommer att uppträda.

Även för bakterieangrepp på träpålar är tiden troligen lång och således kravet på i tiden utsträckta observationer motsvarande. Bevis för bakteriers betydelse har kunnat läggas fram. För att kartlägga tidsförloppet krävs att samma objekt som här studerats åter undersöks ett antal år framåt i tiden.

Låt oss formulera synen på vårt arbete som följer: STEGA har inneburit initiativet till en översyn av ett stort och brett problemkomplex. STEGA:s forskning är en början, där nu många tagit vid.



**R20:1974**

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag C 305 från Statens  
råd för byggnadsforskning till Sven Tyrén AB, Stockholm**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm**

**Grupp: konstruktion**

**Pris: 27 kronor + moms**