

**Rapport**

**R6:1971**

**Grundvattenproblem  
i tätorter  
Bakterieangrepp  
på träpålar**

**STEGA**

**Byggforskningen**

0+0/30

INSTITUT  
FÖR  
BYGGDOKUMENTATION

Accnr 71-694a

Klass 551.495(485)

551.491.4

Dep. 620.193.8

ser

# Grundvattenproblem i tätorter Bakterieangrepp på träpålar

Artiklar ur tidskriften **Byggmästaren 1970**

Rapporten består av artiklar som varit publicerade i nr 6 och 8 av tidskriften *Byggmästaren 1970*. Artiklarna behandlar dels grundvattennivåns sänkning i samband med stadsbebyggelse, dels nedbrytning av pålvirke under grundvattennivån.

De byggnadsoperationer som utförs i samband med exploatering av mark för stadsbyggnad, exempelvis permanentning av gator och dagvattenavledning, men framför allt underjordiska anläggningar, medför för det mesta en sänkning av grundvattennivån. Det sjunkande grundvattnet förorsakar i sin tur konsolidering av lerjorden och sättningar. Sådana skador skulle kunna undvikas om geologiska och geohydrologiska undersökningar ingick redan vid planeringen av nya bostads- och industriområden.

En enkät med syfte att kartlägga grundvattenproblemen i svenska tätorter utfördes 1967. Enkäten vände sig till 971 orter med mer än 500 invånare, och 793 av dessa orter — 81,7 procent — svarade. Svaren visade att grundvattenproblem av ett eller annat slag är relativt vanliga även i mindre samhällen och att föreskrifter syftande till att bibehålla grundvattennivån endast förekommer i ett förvånansvärt litet antal kommuner. I de kommuner som enkäten omfattade — de större städerna var inte med — skall ca 40 000 bostäder byggas på mark där grundvatten kan förorsaka skador. Detta innebär att stadsbebyggelse till ett värde av 4 à 5 miljarder kronor riskerar skadeverkningar för 40–500 miljoner kronor.

I Stockholms norra och västra förorter finns många exempel på mark-

och byggnadsskador föranledda av sättningar. Orsakerna till sättningarna är bl.a. sänkning av grundvattennivån samt konsolidering av leran i de vidsträckta lerområdena i dessa delar av Stockholmsregionen. Sådana skador kan undvikas genom geologiska och hydrogeologiska undersökningar redan vid inplaceringen av nya bostads- och industriområden i regionplanen. En sammankoppling av grundvattenfrågorna och byggnadstekniken har bevisligen gett goda resultat i form av lägre grundläggningskostnader och billigare markunderhåll. Det kan röra sig om 5–15 procent av byggnadskostnaderna.

Vid uppmätning av grundvattennivån inom bebyggda områden har det visat sig nödvändigt att ha referensområden där naturliga grundvattenförhållanden kan studeras. Det bör vara områden där ingen bebyggelse är planerad inom överskådlig framtid. För mätningar i Stockholm har fyra sådana områden valts ut vilka tillsammans bildar ett s.k. grundvattenkors. Liknande jämförande undersökningar är avsedda att utföras i Göteborg och Malmö.

En serie åtgärder har samverkat till en kraftig sänkning av grundvattennivån i trakten kring Mariatorget i Stockholm. Vid sidan av de gängse orsakerna i samband med bebyggelse, såsom permanentning av gator och gårdar samt avledning av dagvattnet är det de omfattande sprängningsarbetena som rubbat grundvattenbalansen.

Ett annat område i Stockholms centrala delar där grundvattenytan sjunkit avsevärt under 1960-talet är trakten kring Rådhuset. Många av bygg-

## Byggforskningen Sammanfattningar

**R6:1971**

Nyckelord:

*grundvatten*, hus (Stockholm, Huddinge), markanläggningar (Stockholm, Huddinge), byggnadsplanering, geoteknik, samhällsplanering, statistik (grundvatten 1967)

*bakterieangrepp*, hus (Stockholm, Göteborg), markanläggningar (Stockholm, Göteborg), materialprovning, träforskning.

Rapporten R6:1971 redovisar anslag C 305 från Statens råd för byggnadsforskning till forskargruppen STEGA.

UDK 551.495 (485)  
551.491.4  
620.193.8

Sammanfattning av:

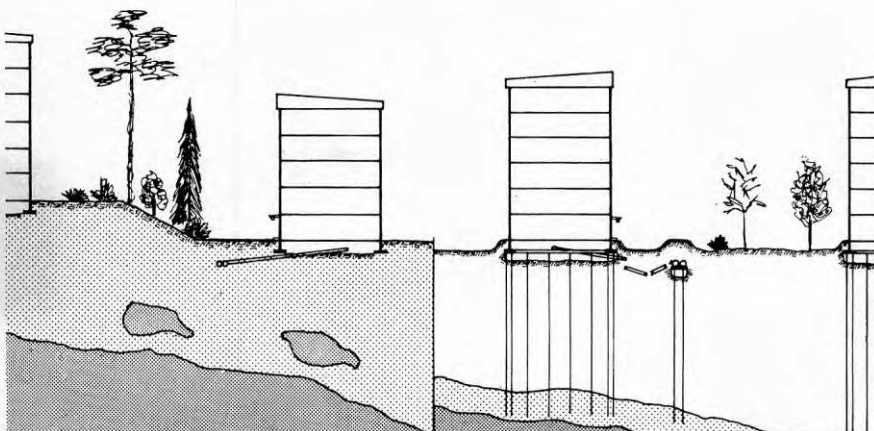
*Grundvattenproblem i tätorter. Bakterieangrepp på träpålar.* Artiklar ur tidskriften *Byggmästaren* nr 6 och 8, 1970. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R6:1971, 48 s., ill. 15 kr.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

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

Abonnemangsgrupp:  
(k) konstruktion



naderna där är grundlagda på träpålar. Främsta orsaken till grundvattensänkningen är de pågående byggnadsoperationerna under grundvattenytan. De försök som gjorts för att återställa balansen har åtminstone i viss mån lyckats.

Påverkan av grundvattennivån har spårats på ganska långt avstånd från en tunneldrivning. Bredden av den utsatta zonen kan motsvara ungefär dubbla djupet av tunneln. Genom att använda sig av analogin mellan vätskeflöde och elektrisk ström har man enkelt kunnat studera inläckningen till en tunnel. Prov med olika tätningmönster har visat att symmetrisk tätning runt om tunneln ger bästa resultatet.

De viktigaste kemiska processerna i vattnets kretslopp har också studerats. Bland annat har det påvisats att ne-

derbörden ingalunda endast består av destillerat vatten, som det tidigare ansetts. En rad för grundvattnets kemi viktiga ämnen ingår. En detaljerad undersökning av vattenkemin i Botkyrkaområdet har gjorts. Den visar förekomsten av två olika grundvattenregioner inom området, karakteriserade bl.a. av olika grad av kalkmättnad.

På initiativ av Byggeforskningsrådet har STEGA-gruppen tagit upp frågan om bakteriell nedbrytning av trävirke under grundvattenytan. Samarbete har därför etablerats med forskare från Svenska träforskningsinstitutet och Lantbrukshögskolan i Ultuna. Iakttagelser i samband med grundförstärkningsarbeten under vissa äldre byggnader i Stockholm, såsom Operan och Riksdagshuset, har nämligen aktualiserat tanken på att trä *under*

vattenytan skulle kunna vara utsatt för röta. Forskningsarbetet har bedrivits enligt trätekniska, mikrobiologiska och miljöanalytiska aspekter.

Ett unikt tillfälle att göra en bred vetenskaplig undersökning av nedbrytningsprocessen i grundläggningsvirke erbjöd sig när grunderna till en fastighet i Gamla stan i Stockholm frilades. Där gavs för första gången möjlighet att göra kemiska miljöanalyser av vatten och jord samtidigt med kemiska, mikroskopiska, mekaniska och mikrobiologiska undersökningar av virkesprov. Resultaten av undersökningarna visar att trä under vattnet kan brytas ned på många sätt. I detta fall var angreppen djupa och med hela splintveden förstörd. Till stor del är nedbrytningen orsakad av mögelröta, men veden hade antagligen också angripits av bakterier.

# Ground water problems in urban districts

## Bacterial decomposition of pile timber

### Articles published in "Byggmästaren" 1970

The report consists of certain articles which have been published in the journal "Byggmästaren", Nos. 6 and 8, 1970. The reprinted articles deal partly with the reduction of the ground water table caused by building development, partly with the decomposition of pile timber below the ground water level.

Building operations connected to urban development, such as metalling of streets and surface drainage but particularly sub-terranean operations, often carry with them a reduction of the ground water table. The sinking ground water level, in its turn, causes clay consolidation and settlement. Such damages could be avoided if geological and geo-hydrological surveys were made at the initial stage of the planning of all residential or industrial areas.

An inquiry aimed at charting the ground water problems in Swedish urban districts was carried out in 1967. 971 districts each with more than 500 inhabitants were asked. 793 — 81.7 % — answered. The inquiry shows that ground water problems of one kind or another are relatively common even in the smaller districts and that bye-laws aimed at maintaining the ground water table existed in a surprisingly small number of communities. In the places covered by the inquiry — the large urban areas were excepted — about 40,000 dwellings are to be built on ground where the ground water can cause damage. This means that urban development to a value of 4 to 5 billion crowns runs the risk of damage to a value of the order of 40–500 million crowns.

In the Northern and Western suburbs of Stockholm there are many examples of ground and building damage caused

by settlement. The causes to settling are, amongst others, sinking of the ground water table and clay consolidation in the widespread clay areas in these parts of Stockholm. Such damage can be avoided if geological and geo-hydrological surveys are made within the framework of the regional planning. The linking of ground water questions to the building technology has proved to give returns of 5–15 % of the building costs in the form of lower foundation costs and cheaper soil maintenance.

When measuring the ground water conditions within built-up areas it has shown necessary to have reference areas where natural ground water conditions exist and can be studied. The areas must be so located that no building operations are expected in the foreseeable future. For measurements in Stockholm four such areas have been selected forming a so-called ground water cross. Similar reference surveys are planned in Gothenburg and Malmö.

Mariatorget is a square in the central parts of Stockholm where a number of activities together have caused a grave reduction of the ground water table. Alongside the usual reducing activities connected to building development, such as metalling of streets and yards etc. there has been extensive rock excavation for tunnelling which has disturbed the ground water balance.

Surveys have also been made in other parts of the downtown, for instance in an area around the Court House where many buildings are founded on timber piles. The ground water table in this area has sunk considerably during the sixties. The main causes are the building developments under the table. The endeavours to reestablish the ground water

## National Swedish Building Research Summaries

### R6:1971

Key words:

*ground water*, buildings (Stockholm, Huddinge), earthworks (Stockholm, Huddinge), building planning, soil mechanics, urban planning, statistics (ground water 1967)

*bacterial decomposition*, buildings (Stockholm, Gothenburg), earthworks (Stockholm, Gothenburg), materials testings, wood research.

Report R6:1971 is an account of a grant C 305 from the National Swedish Council for Building Research to the research group STEGA.

UDC 551.495 (485)  
551.491.4  
620.193.8

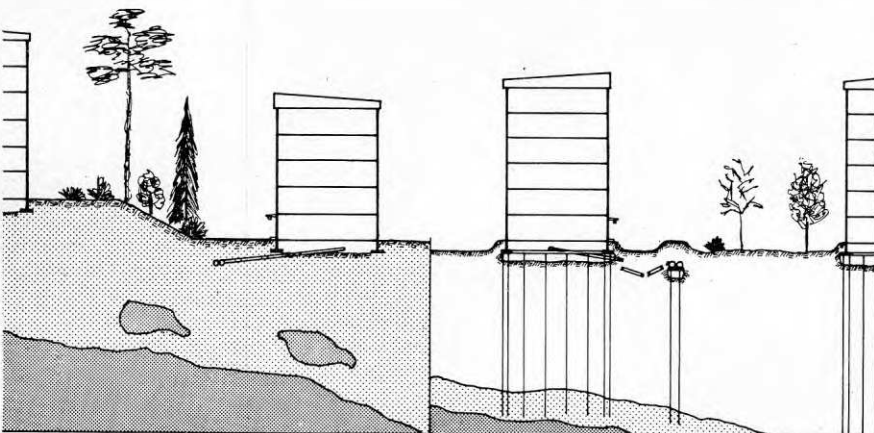
Summary of:

*Grundvattenproblem i tätorter. Bakterieangrepp på träpålar.* Artiklar ur tidskriften *Byggmästaren* nr 6 och 8, 1970 /Ground water problems in urban districts. Bacterial decomposition of pile timber. Articles reprinted from "Byggmästaren", Nos. 6 and 8, 1970/ (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm, Rapport R6:1971, 48 p., ill. 15 Sw. Kr.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, S-111 84 Stockholm  
Sweden



level which have been made have to a certain extent been successful.

Traces that ground water has been affected have been found at quite long distances from tunnelling operations. The width of the affected zone might be twice the depth of the tunnel. By using the analogy between fluid flow and electric current the leakage into a tunnel has been studied in all simplicity. Tests with different grouting patterns confirmed that wrap around grouting gives the best results.

The chemical properties of ground water have also been studied. Among other things it has been pointed out that rain is far from being distilled water alone as has earlier been assumed. A number of other substances that are important in the ground water chemistry are also present.

A detailed study of the hydrochemistry has been made in a suburb under construction in Greater Stockholm, called Botkyrka. This shows the existence of two different ground water regions in the area. These are characterised by different degrees of calcium saturation.

On the initiative of the National Building Research Council the research group STEGA has been engaged in work concerning the decomposition of pile timber below the ground water table. To this end collaboration has been established with scientists from the Swedish Forest Products Research Laboratory and the Royal Agricultural College at Ultuna. Observations made during foundation reinforcement work under a number of old buildings in Stockholm, for example the Opera house and the Parliament, have revived the thought that timber

below the ground water table could be exposed to rot. The research work has been carried out on timber-technological, microbiological and habitat-analytical lines.

A unique opportunity for making a wide scientific study of the decomposition processes in foundation timber arose when the foundations of a property in the Old Town were exposed. For the first time there were possibilities of making chemical habitat analyses of water and soil simultaneous with chemical, microscopical, mechanical and microbiological studies of timber samples. The results of the analyses show that wood can be decomposed below water in many ways. In this case the attacks were deep with all of the sapwood decomposed. A large part of the decomposition was fungoid rot but there were probably bacterial attacks as well.

## **Grundvattenproblem i tätorter**

Artiklar ur tidskriften Byggmästaren nr 6, 1970

## **Bakterieangrepp på pålvirke**

Artiklar ur tidskriften Byggmästaren nr 8, 1970

## **Ground water problems in urban districts**

Articles first published in "Byggmästaren" No. 6, 1970

## **Bacterial decomposition of pile timber**

Articles first published in "Byggmästaren" No. 8, 1970

**Särtryck**

**Statens institut för byggnadsforskning**





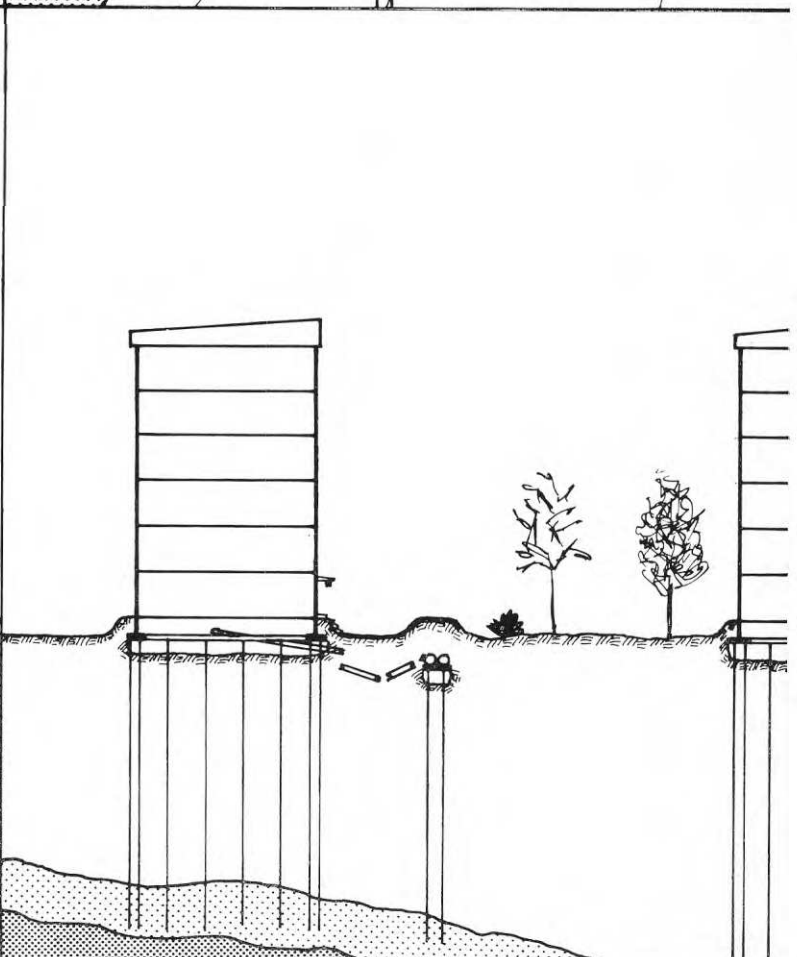
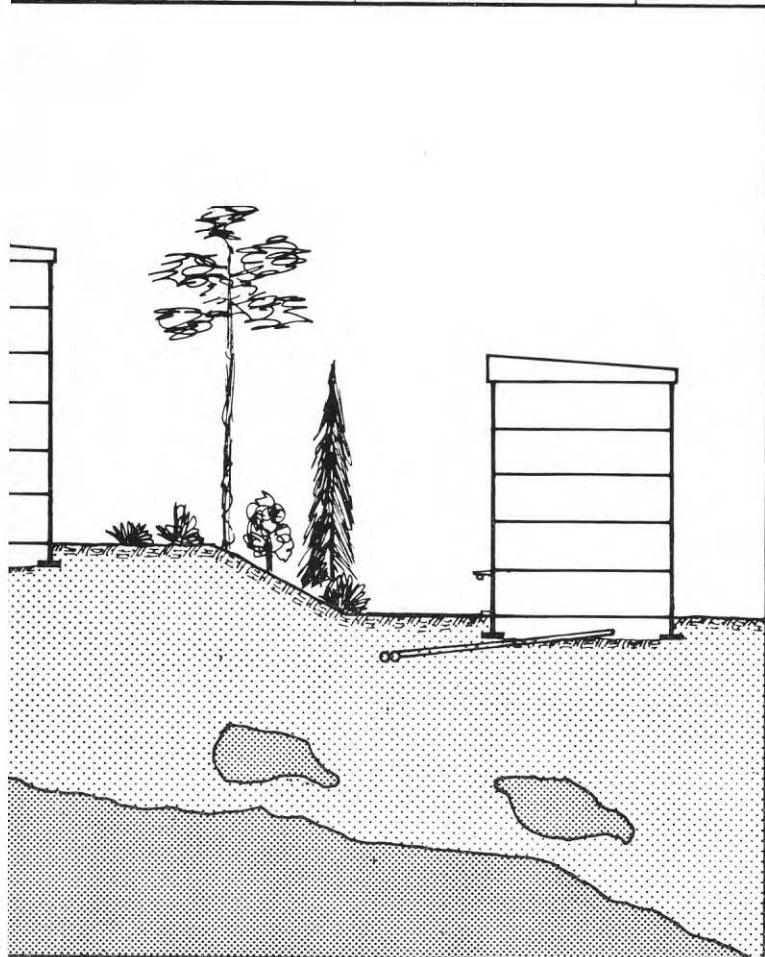
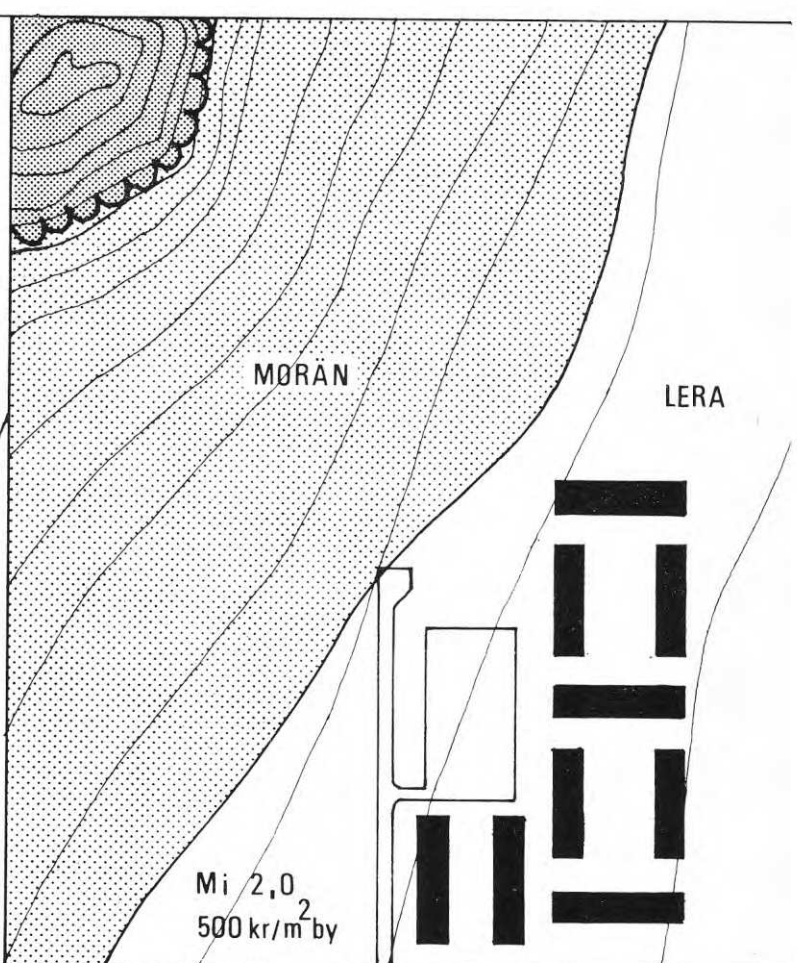
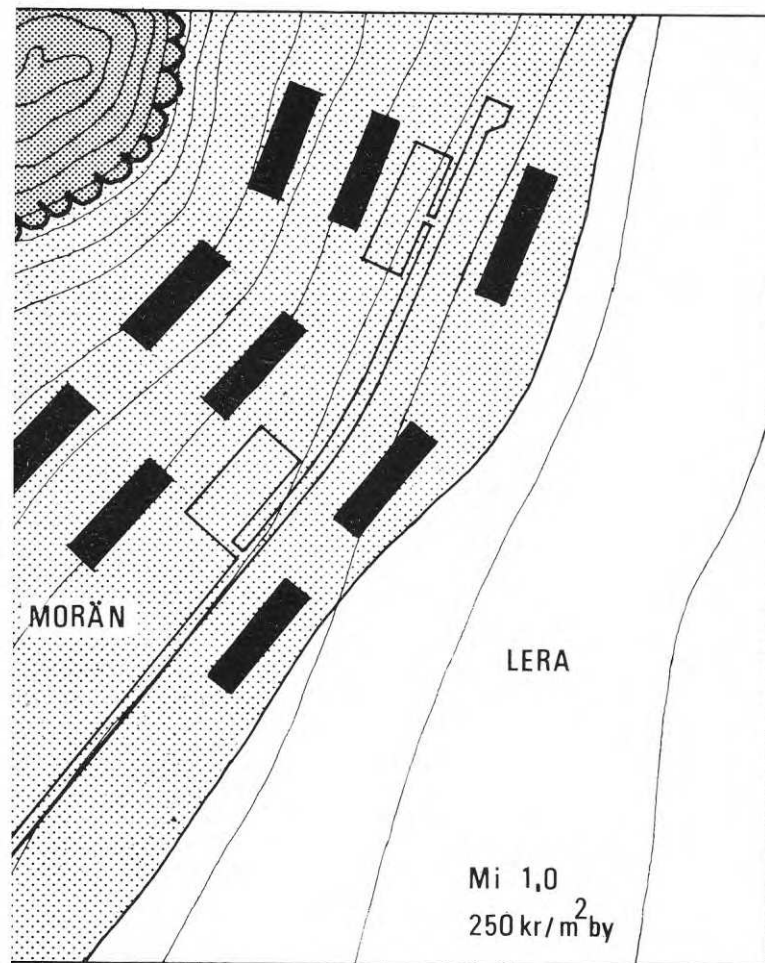
# Innehåll

INLEDNING .....	5
<b>Artiklar i Byggmästaren nr 6, 1970</b>	
GRUNDVATTENPROBLEM I TÄTORTER .....	7
av Sven Tyrén och Nils-Eric Lindskoug	
ENKÄT OM TÄTORTERNAS GRUNDVATTENPROBLEM .....	8
av Yngve Gustafsson och Lars-Yngve Nilsson	
MARKPROBLEM I STORSTOCKHOLMSOMRÅDET .....	11
av Bengt Johansson	
»GRUNDVATTENKORS» ÖVER STOCKHOLM .....	19
av Yngve Gustafsson och Lars-Yngve Nilsson	
GRUNDVATTENSÄNKNING VID MARIATORGET I STOCKHOLM ....	21
av Sven Tyrén och Buster Sund	
GRUNDVATTENSÄNKNING VID RÅDHUSET I STOCKHOLM .....	24
av Buster Sund	
GRUNDVATTENSÄNKNING VID TUNNELDRIVNING .....	27
av Yngve Gustafsson, Buster Sund och Arne Lindh	
<b>Artiklar i Byggmästaren nr 8, 1970</b>	
GRUNDVATTNETS KEMISKA EGENSKAPER .....	31
av Erik Eriksson	
BAKTERIELL NEDBRYTNING AV PÅLVIRKE .....	35
av Julius Boutelje och Bo Göransson	
NEDBRYTNING AV PÅLVIRKE I KVARTERET CADMUS, STOCKHOLM	39
av Julius Boutelje	
MIKROBIOLOGISKA UNDERSÖKNINGAR AV PÅLVIRKE FRÅN KVARTERET CADMUS .....	43
av Bo Göransson	



## Inledning

De artiklar som sammanförts i denna rapport har varit publicerade i nummer 6 och 8 av tidskriften Byggmästaren 1970. De redovisar en serie byggnadstekniskt inriktade grundvattenundersökningar som gjorts av forskargruppen STEGA. De från nummer 6 av Byggmästaren hämtade artiklarna behandlar undersökningar av grundvattennivåns sänkning dels i samband med exploatering av nya markområden för stadsbebyggelse, dels i äldre stadsdelar där underjordiska anläggningar är under uppförande. De därpå följande artiklarna som varit införda i nummer 8 av samma tidskrift redogör för resultaten av vissa forskningsarbeten som utförts avseende grundvattnets kemiska sammansättning samt nedbrytning av påvirke under grundvattenytan till följd av mögelröta, men också genom bakterieangrepp.



# Grundvattenproblem i tätorter

De ingrepp som görs i samband med exploateringen av ett markområde leder i de flesta fall till grundvattensänkningar. Normalt medför detta konsolidering av kohesionsjordar med avsevärda sättningar på kort tid. Det kan antas att avsevärda vinster kan göras om grundvattensänkningen kontrolleras och om det i stadsplanearbetet tas hänsyn till förväntade sättningar.

År 1966 tilldelade Statens råd för byggnadsforskning en forskargrupp med arbetsnamnet STEGA medel för »byggnadstekniskt inriktade grundvattenundersökningar inom stadsbebyggelse».

Gruppens första åtgärd var att undersöka nuläget i svenska tätorter. För denna undersökning redogörs i artikeln *Enkät om tätorters grundvattenproblem*.

STEGA bedriver undersökningar i nybyggnadsområdena Botkyrka i Stockholm samt Angered i Göteborg, där grundvattenståndsvariationerna följs och även en kemisk kartläggning sker. Som referens används ett så kallat grundvattenkors, vilket består av områden med orörd natur runt om städerna. Materialet därifrån bearbetas i dator och jämförs med observationerna i Botkyrka och Angered. Årstidsvariationer och andra störande variationer, som samtidigt sker i grundvattenkorsens områden, kan därmed elimineras.

I Botkyrka har man i förväg påbörjat en konstlad grundvattenavsänkning för en del av bebyggelsen. Avsikten är att snarast möjligt få slutliga sättningar.

Det har undersökts vad en optimal planering med hänsyn tagen till de byggnadsgeologiska förhållandena ger. Bättre schaktbarhet, mindre underhåll orsakat av sättningar och minskade grundläggningskostnader kan värderas till 5 à 15 procent av byggkostnaden beroende på typ av bebyggelse.

I ett flertal av Stockholms förortsområden har stora marksättningar förekommit. I några fall har dessa medfört ledningsbrott, i många fall har entréer och trottoarer med mera fått byggas om. I några fall befaras att sättningarna kan leda till höga pålkrafter på grund av negativ mantelfriktion samt ökande risker för glidytebrott. En katastrof skulle kunna inträffa om en glidyta skar en redan på grund av mantelfriktionen överbelastad påle.

I Stockholms innerstad sker betydande grundvattenavsänkningar. Särskilt har intresset koncentrerats kring områden där tunnelarbeten sker. Här har i några fall tråpålar kommit över grundvattenytan. Pålarna har då ruttnat och husen börjat sätta sig.

Två innerstadsområden studeras särskilt. Det ena är beläget kring Mariatorget på Söder och det andra kring Rådhuset på Kungsholmen. För båda dessa om-

råden håller grundvattenbalansberäkningar på att upprättas. Det finns väl grundade misstankar att grundvattenbalansen är negativ, det vill säga mer vatten försvinner genom dagvattenledningar eller pumpas bort från pumppropar och tunnlar än vad som tillförs genom nederbörd. Den sedan 100 år långsamt sjunkande grundvattennivån kommer kanske i samband med de pågående tunnelarbetena att ytterligare snabbt sänkas, vilket för de berörda områdena kan leda till kraftiga marksättningar i de mäktiga lerkörtlar som finns där. Omfattande grundförstärkningar blir då också aktuella.

STEGA:s arbete syftar till att successivt få ett fastare grepp om systematiken i skeendet och att dessutom finna teoretiska modeller för vissa delproblem.

På initiativ av byggforskningsrådet har STEGA också tagit upp frågan om bakteriell nedbrytning av träpålar under grundvattenytan. STEGA har för den skull knutit till sig forskare från Svenska träforskningsinstitutet och Lantbrukshögskolan i Ultuna. Hittills genomförda studier har visat att cellulospasjälkande bakterier finns i pålmaterial taget under grundvattenytan. Det har också kunnat visas att sådana pålar i vissa fall har starkt nedsatt hållfasthet. Frågan huruvida de cellulosanedbrytande bakterierna kan korreleras till dessa pålskador undersöks för närvarande.

Ett omfattande arbete läggs ned på att få fram renkulturer av de bakteriestammar som är aktuella och att reproducera de förhållanden som misstänks uppkomma i praktiken.

Pålprover från bland annat Riksdagshuset, Norrbro, vissa byggnader i Gamla stan samt från Gamla Älvsborgsbron i Göteborg har analyserats.

Rationellt byggande kräver rationell planering på lång sikt. Konturerna till en markteknisk planeringsprocess, genom vilken stora ekonomiska vinster synes ligga inom räckhåll, har börjat framträda. Genom att ingenjörsexpertis redan på regionplanestadiet får tillfälle att studera marktekniska problem innefattande geologiska, geotekniska, hydrologiska och geohydrologiska förutsättningar kan kostsamma misstag sannolikt undvikas. Synpunkter på detta arbete lämnas i artikeln *Markproblem i Storstockholmsområdet*.

STEGA:s arbete påbörjades alltså 1966 och förväntas pågå åtminstone till 1973. För närvarande byggs observationsanordningar upp, exempelvis grundvattenobservationshål, meteorologiska stationer, ytvattenavrinningsstationer med mera. Dessutom bedrivs litteraturstudier, enkäter bearbetas och en rad arbetsrutiner för såväl det administrativa som det löpande vetenskapliga arbetet utformas.

Grundläggningsförhållandena varierar betydligt. Markkostnadsindex (M<sub>1</sub>) beskriver kostnader för grundläggning, markarbeten och kapitaliserat underhåll föranlett bland annat av sättningar till följd av sjunkande grundvatten. Den sista posten är väsentlig men har hittills knappast beaktats.

UDK 551.495  
624.131.542



Professor Yngve Gustafsson,  
institutionen för kulturteknik,  
KTH, Stockholm



Tekn lic Lars-Yngve Nilsson,  
institutionen för kulturteknik,  
KTH, Stockholm

En enkät där syftet var att klarlägga de svenska tätorternas grundvattenproblem företogs av STEGA-gruppen 1967. Av de tillfrågade 971 tätorterna med över 500 invånare besvarade 793 – 81,7 procent – frågeformuläret. Enkäten visar att grundvattenproblem av något slag är relativt vanliga även i de mindre tätorterna samt att bestämmelser med syfte att bibehålla grundvattennivån finns i förvånansvärt få kommuner.

I avsikt att få en översiktlig bild av grundvattenproblemen inom svenska tätorter utsändes under våren 1967 ett frågeformulär till samtliga 971 tätorter med mer än 500 invånare.

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 med mera.
- Frågor angående förekomsten och intensiteten av grundvattenobservationer i samband med byggverksamhet.

● Frågor angående förekomsten och intensiteten av grundvattenobservationer i samband med kommunala grundvattentäkter.

Svar kom in från 793 (81,7 procent) av de 971 tätorterna. Vid bearbetningen behandlades svaren dels länsvis, dels indelade i sju kategorier. Svaren fördelade sig jämnt över landet och mellan de olika kategorierna, tabell 1.

## 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, bild 1. 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 *inga* problem, bild 2. 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.

*Lokalt* förekommer sättningar i gator eller husgrunder tiofaldt mer än »*allmänt*», det vill säga i ett relativt stort antal (22) tätorter. I 146 fall har sättningarna bedömts som *små*, bild 4. Förekomsten 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, bild 5.

*Lokalt* förekommer sättning i husgrunder eller gator till följd av tjälskjutning betydligt mer än *allmänt*. 53 tätorter har angivit *stora* sättningar och 432 har

Län	Ja		Nej		Ej besvarat 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
<b>Totalt</b>	<b>71</b>	<b>9,0</b>	<b>692</b>	<b>87,3</b>	<b>30</b>	<b>3,8</b>

Tabell 1  
Svarens fördelning på län och svarskategorier

Distribution of replies by counties and answers

**1 Förekommer allmänt grundvattenproblem på Edra bygplatser?**

Do ground water problems exist as a rule on your sites?

**2 Förekommer lokalt grundvattenproblem på Edra bygplatser?**

Do ground water problems occur on your sites locally?

**3 Förekommer allmänt sättningar i husgrunder eller gator till följd av grundvattensänkningar?**

Do settlements in building foundations or streets occur as a rule owing to sinking the ground water?

**4 Förekommer lokalt sättningar i husgrunder eller gator till följd av grundvattensänkningar?**

Do settlements in building foundations or streets occur locally owing to sinking the ground water?

**5 Förekommer allmänt sättningar i husgrunder eller gator till följd av tjälskjutning?**

Do settlements occur as a rule in building foundations or streets owing to frost movement?

**6 Förekommer lokalt sättningar i husgrunder eller gator till följd av tjälskjutning?**

Do settlements occur locally in building foundations or streets owing to frost movement?

**7 Planeras inom den närmaste femårsperioden bebyggelse inom områden där grundvattnet kan befaras medföra problem för byggenskapen?**

Is any building development planned in areas where the ground water can make problems for the works?

**8 Tas grundvatten ut genom kommunala vattentäkter inom någon del av det tätbebyggda området?**

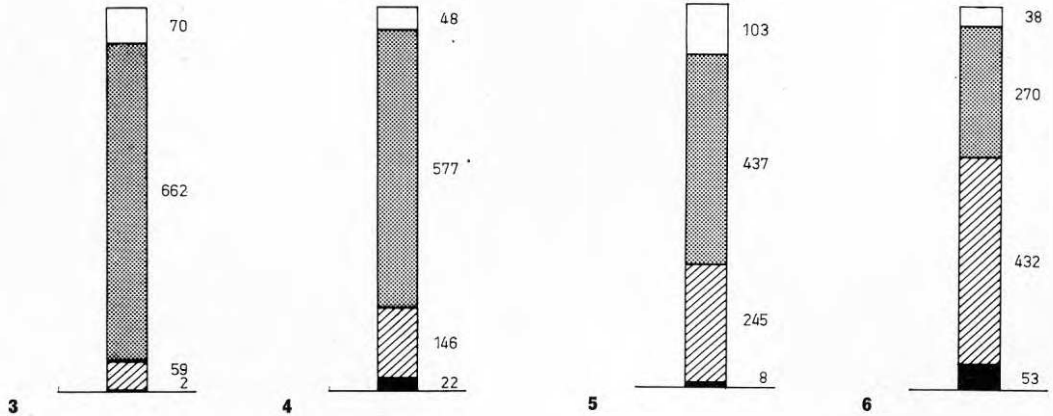
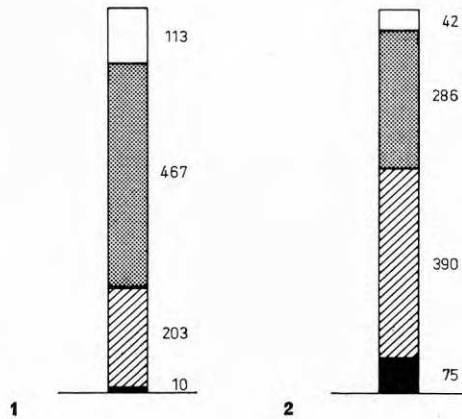
Is the ground water tapped for communal use in any part of the urban district?

**9 Har grundvattenobservationer förekommit i samband med byggverksamhet?**

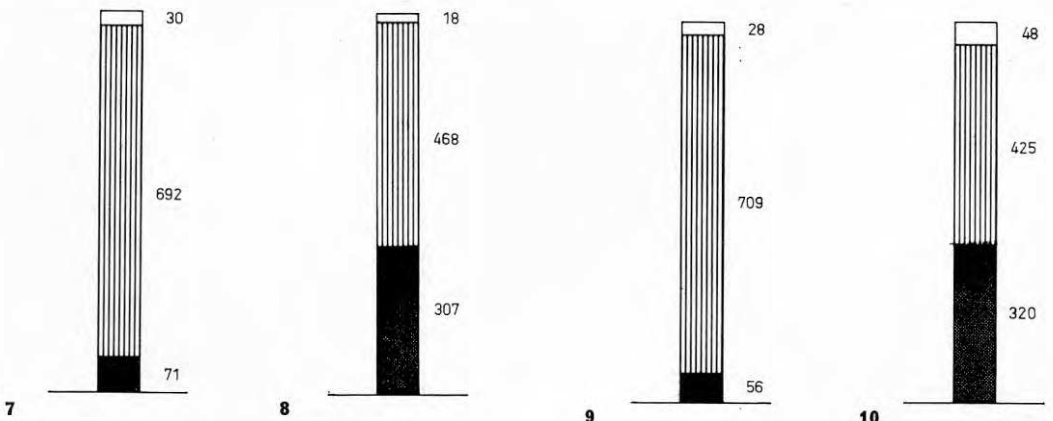
Have ground water observations been made in connection with building works?

**10 Har grundvattenobservationer förekommit i samband med kommunala vattentäkter?**

Have ground water observations been made in connection with communal waterworks operations?



stora big  
 små small  
 inga none  
 ej besvarat frågan no answer



ja yes  
 nej no  
 ej besvarat frågan no answer

angivit små sättningar, bild 6. Sättningsproblemen är jämnt fördelade mellan storleksklasserna, medan de olika länen uppvisar en större spridning.

I 71 tätorter (9 procent!) planeras inom den närmaste 5-årsperioden bebyggelse inom »områden där grundvattnet kan befaras medföra problem», bild 7. Av dessa 71 tätorter har 56 uppgett hur stor areal som skall bebyggas och 46 har även angett den beräknade folkmängden inom dessa områden. Totalt utgör arealen 125 km<sup>2</sup> och folkmängden 116 000. Av de 71 tätorterna med befarade grundvattenproblem planerar 62 procent speciella förundersökningar 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 cirka 45 procent av fallen belägna 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 (cirka 2 procent) konstaterats medföra skador på bebyggelse. Bebyggelsen har däremot i viss utsträckning 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, bild 9. 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 finns inom landet 48 punkter där upp-

mätning 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, bild 10. Av dessa har 56 procent specificerat sina observationer, vilket givit vid handen att det inom landet finns 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.

### 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 kommer att undersökas mer i detalj i samband med STEGA-gruppens fortsatta arbeten.

Trots att det i många fall förekommer stora grundvattenproblem i samband med byggverksamhet, har, enligt vad som framgår av enkätsvaren, observationer av grundvattenstånd förekommit endast i liten utsträckning, tabell 2. När 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, Hjulbro, Linköping, Jönköping, Göteborg, Lerum, Karlstad, Gävle, Östersund och Öjebyn.

Trots att de stora tätortsregionerna är undantagna, kommer cirka 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.

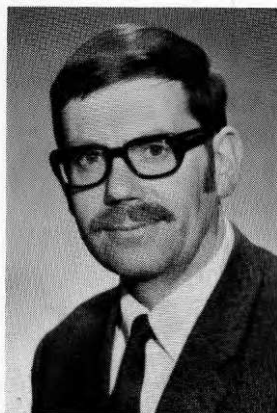
A Fråga:	Svar			Ej svar
	stora	små	inga	
Grundvattenproblem på byggplatser				
Allmänt	10	203	467	113
Lokalt	75	390	286	42
Sättningar i husgrunder och gator av grundvattensänkning:				
Allmänt	2	59	662	70
Lokalt	22	146	577	48
Sättningar i husgrunder och gator av tjäle:				
Allmänt	8	245	437	103
Lokalt	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 byggplatser	56	709	28
Grundvattenobservationer vid kommunala vattentäkter	320	425	48

Tabell 2 A–B  
Sammanställning av frågor och svar

Questions and answers



UDK 551.495 (485 Stockholm)  
624.131.3

Ingenjör SVR Bengt Johansson,  
Sven Tyrén AB Rådgivande in-  
genjörer, Stockholm

Grund- och markarbeten upptar en väsentlig del av byggkostnaden. Olämpligt placerade byggnadsobjekt, ledningsnät, tunnlar och massor har också erfarenhetsmässigt givit höga anläggnings- och underhållskostnader. Speciellt svårartade förhållanden har observerats i lerområden, där sjunkande grundvatten i kombination med uppfyllnader bevisligen medfört stora skador och förändringar av ursprunglig planering. Att dessa otillfredsställande förhållanden råder får till stor del tillskrivas bristande kunskap om markförhållandena i det stadium då anläggningarnas placering kan påverkas.

En av de väsentliga impulserna till forskningsgruppen STEGA:s arbete är markskador som observerats på flera håll. I Huddinge centrum har torget under cirka fem års tid sjunkit omkring 70 cm, vilket medfört reparationskostnader på någon miljon kronor. I Stockholms västra och norra förorter finns många exempel på skador som uppstått till följd av mark-

sänkning och konsoliderande lera inom de vidsträckta lerområden som finns i Ängby, Spånga, Näsbydal med flera ställen, bild 2.

STEGA:s målsättning är att klarlägga grundvattens inverkan, det vill säga utröna dels om man eventuellt kan kontrollera eller hindra en grundvattensänkning, dels hur skadeverkningarna av en sjunkande grundvattenyta skall minimeras, bild 4.

Dessa frågor har emellertid även en vidare ram. Naturligtvis måste ses till de totalekonomiskt optimala lösningarna. Här föreligger för närvarande främst den bristen att ingenjörens kunskaper kommer för sent in i bilden i planeringsarbetet. Hittills har som regel regionplaner och generalplaner varit fixerade när byggteknikern kommit med i arbetet. Detta har försvårat eller omöjliggjort ett rationellt grepp på frågor rörande markhantering, markteknisk bedömning samt kostnadsberäkning av olika grundläggningsalternativ med mera. Under senare år har man på en del håll försökt råda bot på dessa förhållanden. Bland annat har man inom Svenska väg- och vattenbyggares riksförbund med anslag från Statens råd för byggnadsforskning arbetat fram rekommendationer för hur utredningar bör göras beträffande grund-, vatten-, avlopps- och trafikförhållanden.

En forskningsgrupp vid institutionen för stadsbyggnad vid Chalmers Tekniska Högskola, SCAPE, har under ett flerårigt utredningsarbete sysslat med kostnads- och kvalitetsaspekterna på stadsbebyggelse. I detta arbete har en uppdelning och klassificering av ingående element genomförts, vilken ger god överblick över problematiken i samband med kostnadsanalyser. Exempelvis används begreppet »grannskapsenhet», vilket innebär ett bostadsområde av storleksordningen 1 000 lägenheter, vilket också innefattar de servicefunktioner som ingår i enheten. Detta och andra begrepp används i nu pågående arbeten som berör denna redogörelse.



1  
Ledningsskador i Huddinge  
centrum

Damage to pipes in Huddinge  
Center

**2**  
Nivåförändringar till följd av  
sättningar vid pålad kulvert

Level changes owing to settle-  
ments in a piled culvert

**Den marktekniska planeringsprocessen**

I det normala planeringsarbetet görs fyra kategorier av planer upp: regionplan, generalplan, områdesplan, stadsplan.

För att få en teknisk-ekonomisk styrning måste byggteknikern komma in redan på regionplanestadiet. Främst bör här en allmän geologisk och geohydrologisk bedömning göras. En översiktsmässig plan för masshantering bör om möjligt också göras upp i samband med regionplanearbetet.

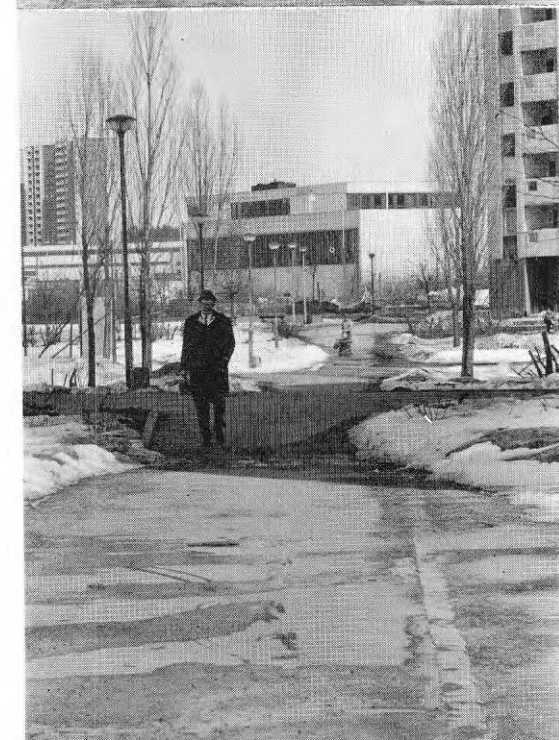
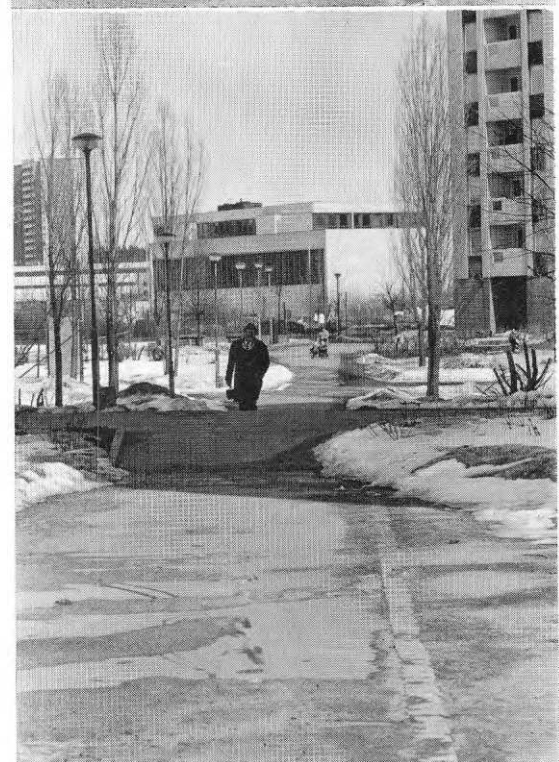
För de tre återstående planstegen bör stegvis skärpta marktekniska bedömningar göras. Här för företas olika slag av ekonomiska analyser. En viktig förutsättning för detta arbete är grundlig kunskap om de geohydrologiska förhållandena. Den önskvärda arbetsgången kan sammanfattas i ett enkelt schema, tabell 1.

Den kunskap som erfordras för att kunna göra ekonomiska optimeringar sammanfattas lämpligen i form av kartor. Vid planeringen av Botkyrkastaden, söder

**Tabell 1**  
Exempel på markteknisk plane-  
ringsprocess

Table 1  
Example of the soil-bound  
planning process

Regionplan	Generalplan	Områdesplan	Stadsplan
<b>Geologiska och geohydrologiska bedömningar</b>	<b>Marktekniska bedömningar samt analyser av mark- och grundläggningskostnader</b>		
Översiktlig markeko- nomi och markutnytt- jande	Jämförande kostnads- analyser för politiska ställningstaganden av bebyggelselokalisering	Vidare bearbetning och vägledning vid planar- betet med hänsyn till markekonomi	} Vidarebearbetning med ökad detaljeringsgrad
Grundläggningseko- nomi	Förslag på markarbeten vilka fordrar tidigare- läggning i förhållande till övrig markhantering	Lämplig lokalisering av husgrupper, vägar, ledningsnät med mera	
Kvalitetsgradering av materialtillgångar	Förslag till grundlägg- ningsmetoder samt underhållsklassifice- ring av markanlägg- ningar	Nivåplanering för att erhålla minimikostnad för massornas hante- ring  Byggnadstekniska problem, markförstärk- ning, sponter, utfyll- nader, grundläggning, tippor, med mera  Kostnadsberäkning för tomtkostnadsbidrag	
Översiktlig mark- och vegetationskartering			
Skiss till masskartering	Översiktlig mass- beräkning	Mass- och mängdbe- räkningar	Mass- och mängdbe- räkningar till underlag för markentreprenader
Ekonomisk markbyggnads- karta	Inventering av tidigare utförda markundersök- ningar  Kompletterande mark- undersökningar  Byggnadsgeologiska kartor  Vegetationskartor  Grundvattensänknings- kartor  Sättningskartor  Grundläggningskartor	} Vidarebearbetning med ökad detaljeringsgrad	} Vidarebearbetning med ökad detaljeringsgrad



om Stockholm, har sålunda följande fyra karttyper visat sig vara praktiska:

- byggnadsgeologiska kartor
- grundvattensänkningskartor
- sättningskartor
- grundläggningskartor.

De byggnadsgeologiska kartorna visar en byggtknisk klassning av de geologiska, geohydrologiska och geotekniska förhållandena. Annorlunda uttryckt visas i stort sett berggrundens topografi, beskaffenhet och mäktigheten av de lösa jordlagren samt förekommande vattennivåer. Olika typer av friktions- och koheisionsmaterial klassas främst med tanke på sådana byggtkniska egenskaper som bärighet, sättning, stabilitet och grävbarhet.

Grundvattensänkningskartor anger den nivå till vilken grundvattnet beräknas sjunka. Detta är just ett av de problem som forskningsgruppen STEGA har som målsättning att belysa. Grundvattensänkning- en kan delvis beräknas med hjälp av vetenskapen om nederbörd och avbördning av ytvatten från ett visst område, men andra viktiga faktorer i ekvationen är det grundvatten som genom ledningar dräneras bort, pumpas bort eller läcker ner till korsande tunnlar och bergskärningar genom området.

Sättningskartorna är egentligen enbart en utbyggnad av grundvattensänkningskartorna. Vet man vilket material marken består av och hur stor grundvattensänkning är, kan också marksättningen nöjaktigt bestämmas. Parentetiskt må nämnas att det ofta är en strävan att redan innan byggarbetena börjar försöka ta ut så stora sättningar som möjligt. Detta kan ske till exempel med hjälp av sanddränering med överlast eller uttagning av grundvatten medelst pumpning, utdikning eller dylikt.

Grundläggningskartorna, slutligen, är i viss mån ett slags slutsummering av de informationer som de övriga kartorna ger. Vad beträffar hus och vägar indelas området i klasser efter grundläggningsmöj-

ligheter. I denna klassning innefattas även grundläggningsförhållandena för ledningar. Kapitaliserade underhållskostnader för marktytor beror i hög grad på förväntad marksättning. På grundläggningskartorna finns fem områdesklasser av markunderhållskostnader inlagda. Bilderna 5 A–C visar några kartor av de nämnda kategorierna från Norra Järva, Stockholm.

### Optimering av anläggningskostnader

En praktisk kategoriuppdelning av anläggningskostnaderna är väsentlig för arbetets bedrivande. Med ledning av grundläggningskartorna och arkitekternas planer kan alternativa grundkonstruktioner för olika byggnader skisseras. Därmed kan också grundläggningskostnaden för själva husen bestämmas för olika alternativ, tabell 2.

Att göra en särskild beräkning för ledningars grundläggningskostnader är praktiskt, eftersom ledningsnätet kan varieras på många sätt, delvis oberoende av bebyggelseplaneringen.

Anläggningskostnaderna för kvartersmark skiljer sig från område till område, och det är värdefullt att här beräkna även kostnaderna för denna del separat. I denna punkt ingår grundläggnings- och grovplaneringskostnaderna, vilka ligger till grund för tomtkostnadsbidragen från kommunen (förutvarande »extra ordinära grundförstärkningsbidrag»).

Grundläggnings- och grovplaneringskostnaderna bör beräknas i förväg i samband med övriga ekonomiska optimeringar. Därvid beaktas att markförhållandena kan och bör styra utformningen av hus och grundläggningar. På så sätt är det möjligt att före projekteringsstart meddela varje byggföretag ett fixerat tomtkostnadsbidrag (som är beroende av aktuella markförhållanden). Vid projekteringen av husen har då byggföretagen ett helt annat intresse av att hitta kostnadsminimum för hus plus grund och markarbeten än om tomtkostnadsbidragen beräknas i efterhand, bild 7.

3 A–C  
Sättningar i Huddinge centrum  
före (A och B) och efter (C)  
reparation

Settlements in Huddinge Cen-  
ter before (A and B) and after  
(C) repairs

A



B



C



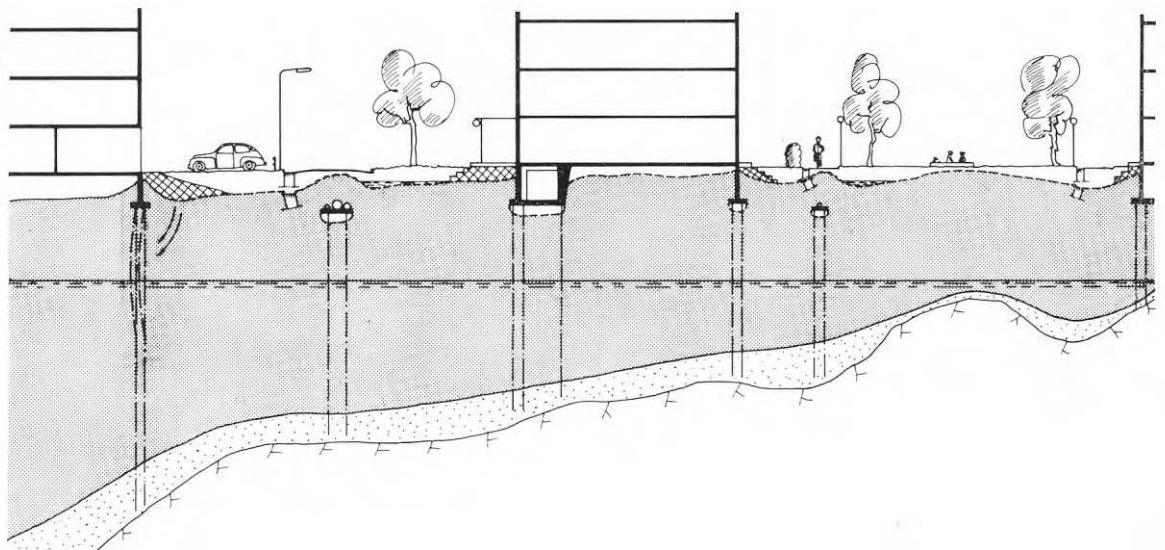
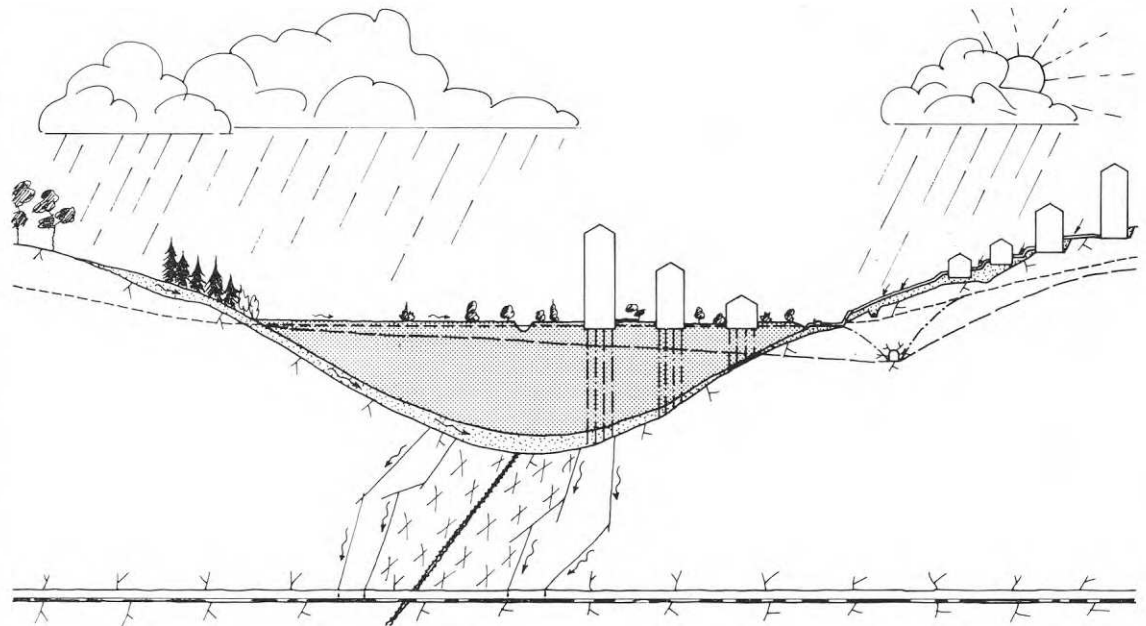
4 A-B

A. Principskisser visande hur vatten infiltreras huvudsakligen i höjdområden och bildar grundvatten. Ytvatten i den obebyggda dalsänkan leds ofta bort i diken. När höjdområdena bebyggs orsakar detta att det tidigare infiltrerade grundvattnet från höjdryggarna till stor del leds bort i dagvattenledningar. Avtappning av grundvattenmagasinet i dalsänkan sker dessutom t ex genom diverse dränering, tunnlar etc.

B. Ett resultat av grundvattensänkningen: sättningar på grund av konsoliderande lera kring grundförstärkta byggnader.

A. Diagrammatic sketches which show how water filters into the heights principally and forms the ground water. Surface water in the unbuilt-up valley is mostly drained away in ditches. When the heights are built on it means that the water, instead of filtering, is drained away in conduits. The ground water store in the valley is taken by miscellaneous drains, tunnels etc.

B. A result of sinking the ground water: settlement owing to consolidated clay around the buildings with re-inforced foundations



Tabell 2  
Exempel på grundläggningskostnader för hus till och med överkant bottenplatta (ej källare)  
by=byggnadsyta, vy=våningsyta

Table 2  
Example of foundation costs for buildings up to and including the upper surface of the oversite concrete (no basement)  
by=building area, vy=floor area

Grundläggningssätt	Höghus 8 våningar		Låghus 2 våningar		Friliggande småhus kr/m <sup>2</sup> by
	kr/m <sup>2</sup> by	kr/m <sup>2</sup> vy	kr/m <sup>2</sup> by	kr/m <sup>2</sup> vy	
Pålning 15 m	391	49	310	155	232
Pålning 5 m, svår	301	38	256	128	205
Pålning 5 m, lätt	269	34	237	119	195
Plintar 2 m på berg	188	24	182	91	203
Sulor	214	27	161	82	145
Sprängning (berg)	250	31	200	100	191
Hel bottenplatta på jord	—	—	130	65	130

5 A-C  
Exempel på marktekniska sammanställningskartor. Kartorna, som görs upp i skala 1:40 000, återges här i förminskning. Detaljkartor uppgörs normalt i skala 1:1 000.

An example of comprehensive soil charts.

A. Del av byggnadsgeologisk karta  
W+9,2 grundvattenytans plus-höjd

A. Part of a building-geological map  
W+9.2 ground water level

B. Del av grundvattensänkningsskarta

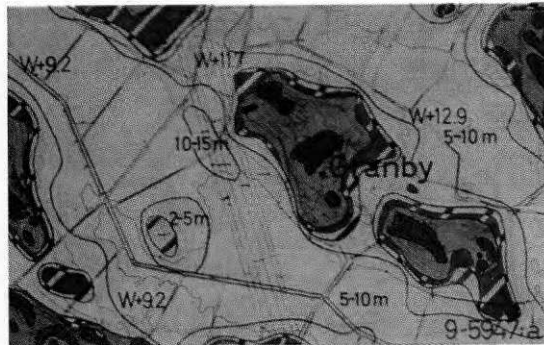
B. Part of the map showing the sinking of the ground water table

C. Del av sättnings- och grundläggningsskarta.  
I områden med stora sättningar bör förebyggande åtgärder vidtas för centrumtorg, gång- och trafikytor med mera.

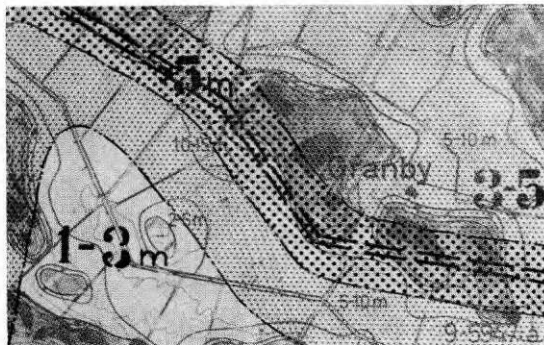
C. Part of settlement and foundation map  
In districts having large settlement preventive action should be taken for places, pedestrian and traffic areas etc.

6  
Exempel på utförd omdisponering av byggnadsplanering på grund av dåliga grundläggningsförhållanden i Albyområdet, Botkyrkastaden

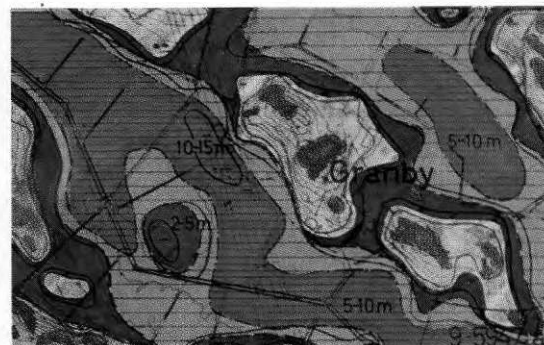
An example of a re-disposition of building planning due to bad foundation conditions in the Alby area, Botkyrkastaden.



A



B



C



- berg i dagen**  
visible rock
- morän i grus eller sand**  
moraine, gravel or sand
- mo, grus eller sand med små inslag av lera**  
shingle, gravel or sand with small clay content
- fin mo eller mjåla med inslag av lera**  
shingle or shale with clay content
- lera med angivande av mäktighet**  
clay with note on thickness
- > 5 m sänkning**  
> 5 m sinking
- 3-5 m sänkning**  
3-5 m sinking
- 1-3 m sänkning**  
1-3 m sinking
- planerad dag- och spillvattentunnel**  
planned drainage and sewage tunnel
- inga eller obetydliga sättningar, markklass A; hus grundläggs normalt på plintar och sulor**  
no or insignificant settlement, soil class A
- sättningar < 0,2 m, markklass B eller C; hus grundläggs på pålar, plintar och eventuellt sulor; sättningskänsliga ledningssystem pålas**  
settlement < 0.2 m, soil classes B and C
- sättningar 0,2-0,5 m, markklass D; hus och större ledningssystem pålas**  
settlement 0.2-0.5 m, soil class D
- sättningar > 0,5 m, markklass E; hus och större ledningssystem pålas**  
settlement > 0.5 m, soil class E
- sättningar < 0,2 m, markklass C**  
settlement < 0.2 m, soil class C
- sättningar 0,2-0,5 m, markklass D**  
settlement 0.2-0.5 m, soil class D
- sättningar > 0,5 m, markklass E**  
settlement > 0.5 m, soil class E
- nuvarande bebyggelseområde**  
present building area
- bebyggelseområde som genom omdisponering förflyttats till bättre mark. Området är numera grönområde med idrottsplats.**  
building areas which have been moved to better soils by re-disposition

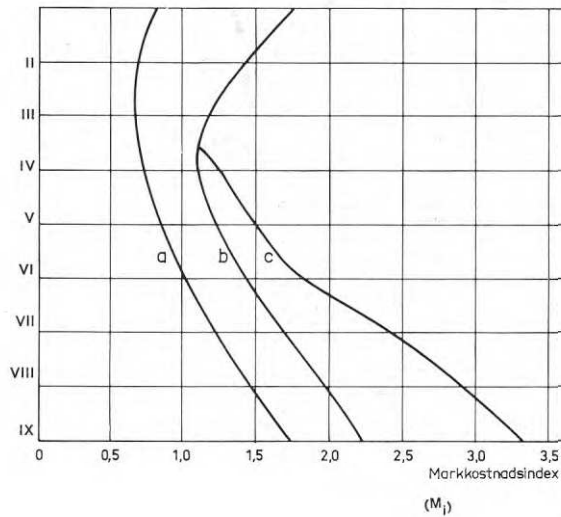
7  
Exempel på diagram för bedömning av tomtkostnadsbidrag i tidigt planstadium, vid husgrundläggning (a), grovplanering av kvartersmark (b) samt underhåll av trafikkytor (c).

Beteckningarna på vertikala axeln avser terrängförhållanden, markslag, underhållsklass (markklass) samt grundläggningstyp enligt följande:

- I. Svår, berg, klass A, sprängning
- II. Medelsvår, friktionsmaterial, klass A, sprängning, plintar
- III. Medelsvår; friktionsmaterial med inslag av lera; klass B; pålar, plintar
- IV. Lätt; lerjord med inslag av friktionsmaterial, klass B; pålar, plintar
- V. Lätt; lera; klass C, pålar 5 m
- VI. Lätt; lera; klass D; pålar 10 m
- VII. Lätt; lera; klass E; pelare 15 m
- VIII. Lätt; lera; klass E; pålar 20 m
- IX. Lätt; lera; klass E; pålar 25 m

$M_1$  1,0 = Kostnadsminimum som i praktiken aldrig helt nås

Example of a diagram for determining site cost contribution at early planning stages

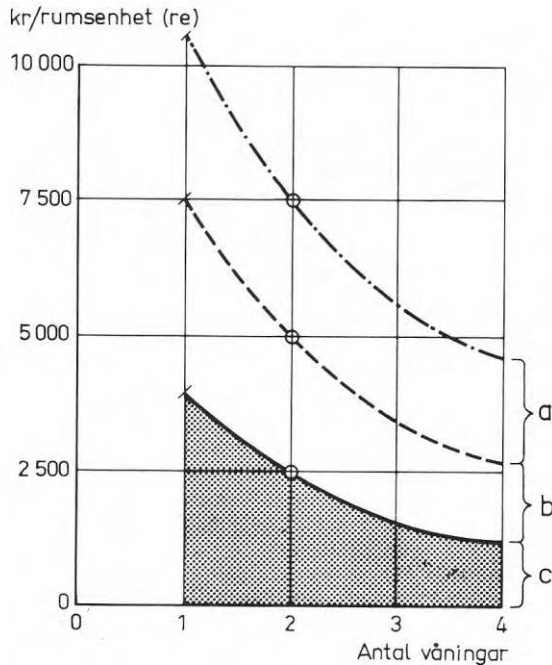


8  
Exempel på grundläggningskostnad och kapitaliserat markunderhåll för byggnader vid 15 m pålar och markklass E

- a. underhållskostnad på grund av sättningar
  - b. merkostnad för grundläggning
  - c. minimikostnad vid grundläggning på bra mark (klass A)
- 1 re = 25 m<sup>2</sup> vy

Example of foundation costs and capitalised soil maintenance for buildings with 15 m piles and soil class E.

- a. maintenance costs owing to settlement
- b. additional costs for foundations
- c. minimum costs for foundations on good soil (class A).



Tabell 3  
Erfarenhetsmässiga underhållskostnader för markytor skadade av sättningar (kr/m<sup>2</sup>)

Table 3  
Maintenance costs, based on experience, for soil surfaces which have been damaged by settlement

Typ av ytor	Kostnad per gång
Asfaltytor	15 à 25
Trottoarplattor och kantstenar	30 à 40
Högklassiga stenarbeten	max ca 80

Som en särskild post beräknas anläggningskostnader för grannskapsenhetens gemensamma element, såsom daghem, lekkytor, låg- och mellanstadieskolor med mera.

Slutligen görs beräkning av kostnader för bostadsgator inom grannskapsenheten.

Som »tätortselement» räknas bland annat kommunikationer, vatten och avlopp, värmeförsörjning, högstadieskolor och bibliotek.

När anläggningskostnadernas optimum för ett antal grannskapsenheter söks – vilket det blir fråga om på regionplanestadiet – måste även hänsyn tas till tätortselementens inplanering. Det kommer i så fall att innebära en lång rad av begränsningar för grannskapselementens planering, eftersom till exempel flygplatser, vägar, tunnelbanor med flera av tätortselementen är ytkrävande, kvalitetskrävande och i sin tur har en rad begränsningar. Detta måste beaktas för att helheten skall kunna bringas nära optimum.

### Underhållskostnader för markytor

För en totalekonomisk bedömning måste förutom anläggningskostnaderna också det framtida underhållet tas med i bilden. Detta har börjat tillämpas för de utredningar som här beskrivs. Det är inte författaren bekant om underhållsfrågor över huvud taget beaktats i samband med stadsplanering, men i varje fall har frågorna inte tidigare behandlats systematiskt och satts in i sitt större ekonomiska sammanhang.

Det rör sig om rätt avsevärda kostnader. Förutom underhållet av ytorna, exempelvis reparation av trottoarplattor och kantstenar, förekommer även reparationer av icke grundförstärkta ledningar, terrasseringsarbeten mellan grundförstärkta och icke grundförstärkta markytor med mera. De mer komplexa arbetena varierar så mycket från fall till fall att några generella kostnadssiffror inte kan ges. Ungefärliga erfarenhetssiffror för underhåll av markytor av mer okomplicerat slag ligger mellan 15 och 80 kr/m<sup>2</sup>, tabell 3.

Erfarenhet ligger också bakom de underhållsintervall som valts och som är beroende av vilken standard man kräver beträffande framkomlighet med hänsyn till uppkommande höjdvariationer, skador och pågående underhållsarbeten, tabell 4.

För att ytterligare belysa kostnadsrelationen mellan grundläggningskostnader för hus och ledningar å ena sidan samt kapitaliserade värdet av markunderhåll inom kvartersmark å den andra visas i bild 8 ett exempel för några bebyggelsealternativ med olika hushöjd.

### Exempel på utredningar

Marktekniska utredningar av här skisserat slag har väl ännu inte genomförts hela vägen från regionplan och fram till färdig stadsplan. Delar av sådana utredningar har emellertid genomförts vid Botkyrkastadens planering.

Det skulle föra för långt att mer i detalj redogöra för de marktekniska bedömningar som gett påtagliga resultat; det må räcka med ett exempel. I en av de första dispositionsplanerna för Albyområdet, bild 6, fanns en enfamiljshusbebyggelse inlagd på lerområdet strax söder om en öst-västlig bergås genom Albyområdets norra del. Med ledning av grundläggningsskizterna kunde detta småhusområde flyttas, varvid mark- och grundläggningsskostnaderna minskade högst väsentligt. Beräknad kostnadsvinst var cirka 25 000 kr/husenhet.

Botkyrkastaden är veterligen det första område där såväl mark- som grundvattenförhållandena följs från jungfrulig mark och fram till färdig stadsbyggnad. Observationerna samlas och följs hos forskningsgruppen STEGA, som tillsammans med exploatören följer upp nivåförändringar på såväl grundvatten som mark under hela utbyggnadsskedet. Arbetet får i viss mån ses som en nödvändig verifikation av orsakssammanhangen bakom de teorier som den marktekniska planeringen och de byggekonomiska optimeringarna i dag vilar på. Med tanke på de stora pengar det rör sig om är det instrument som skapas sannolikt av stort värde för framtiden.

För delar av Norra Järva har ett antal bebyggelsealternativ utarbetats på grundval av de byggnadsgeologiska undersökningar och utredningar som genomförts. Genom att undvika djupa lerområden,

branta övergångszoner mellan skilda jordmaterial samt genom att i viss mån anpassa källare och grundläggningsskonstruktioner till rådande markförhållanden har väsentligt olika kostnader erhållits för de skilda bebyggelsealternativen.

Räknat per rumsenhet (25 m<sup>2</sup> vy) varierar medelkostnaden inklusive nuvärde av kommande markunderhåll mellan 6 700 och 3 800 kr. Det bör observeras att kostnadsskillnaden, 2 900 kr, utgör 10 à 15 procent av den totala byggkostnaden. Att realisera kostnadsbesparingar inom själva husbyggnadstekniken av denna storleksordning torde vara omöjligt.

Den nya generalplanen för området, som tagit hänsyn till bland annat de marktekniska förutsättningarna, redovisar en medelkostnad av cirka 4 100 kr/rumsenhet. Detta är ett resultat av de utredningar som genomförts, och man har således i den nya generalplanen kommit ner till en väsentligt lägre total kostnad för området än i den föregående, tabell 5.

### Rationalisering av geotekniska undersökningar

En viktig aspekt, som det kanske ligger nära till hands att förbise, är den rationalisering av de geotekniska undersökningarna som kan nås med den skisserade arbetsgången. Hittills har det i huvudsak gått till så att varje exploatör (bostadsföretag, byggnadsföretag etc) upphandlat geotekniska undersökningar från konsultfirmor. Självfallet bör varje undersökning som en sådan konsult företar börja med en inventering. Av konkurrensskäl är det emellertid ofta omöjligt för konsulten att få del av andra firmors undersökningsresultat. Läggs geologiska, geotekniska undersökningar etc in redan på regionplanenivå blir i allmänhet huvudmannskapet sådant att en inventering underlättas. Härvid utnyttjas alltså rationellt det vetande som finns, och kompletteringen sker efter den stomme som eftersträvas för regionplanen och sedermera även för generalplan, områdesplan och stadsplan.

Vinsterna av systemet kommer även de enskilda byggarna eller exploatörerna till del därigenom att de kompletterande geotekniska undersökningar som erfordras för det enskilda byggobjektet kan grundas på det arbete som genomförts i samband med det större planarbetet.

Det är också väsentligt att det skapas en samlingspunkt för de informationer som tas fram, oavsett vem som bekostar dem. Det vore kanske lämpligt med en bestämmelse som ålade var och en som har tillgång till undersökningsmaterial av det berörda slaget att lämna detta till exempelvis byggnadsnämnden. Självfallet skulle även materialet i valda delar samlas centralt för varje län.



Tabell 4  
Definition av markklasser på grund av sättningar och det extra underhåll som krävs

Table 4  
Definition of soil classes due to settlements and the additional maintenance required

	Klass				
	A	B	C	D	E
Antal reparationer	0	1	2	4	8
Tidsintervall, år	—	3	5, 10	5:e	3:e

Tabell 5  
Anläggningskostnader samt nuvärde av underhåll för tre bebyggelsealternativ för ett område inom Norra Järva  
re=rumsenhet  
vy=våningsyta  
kr/re=kr/25 m<sup>2</sup> vy

Table 5  
Building costs and present value of maintenance for three building alternatives for a district in Norra Järva  
re=room unit  
vy=floor area

Markens fördelning i klasser A—E	Kostnad	
	kr/re	kr/m <sup>2</sup> vy
	3 800	152
	6 700	268
	5 100	204
	4 100	164

### Krav på grundvattnets kvalitet

Förutom rent byggtkniska och geotekniska aspekter bör grundvattnets rationella utnyttjning inom regionen tas med i de bedömningar som görs på alla nivåer ner till det enskilda bostadsprojektet. Då kommer också grundvattenkvaliteten med i bilden, vilket vidgar ramen väsentligt.

Det är exempelvis fullt tänkbart att en försurning av grundvattnet skulle kunna ge skador på betongpålar. Sura gyttjeleror anses redan motivera specialbetong i pålarna. Infiltration av exempelvis vatten från soppippar i våra grusåsar kan förstöra grundvattnet på stora avstånd från infiltrationspunkten. Vad dessa skador kan komma att leda till är ännu en öppen fråga liksom problemet med nedgrävda oljetankar.

Ytterligare en väsentlig fråga beträffande grundvatten är i vilken mån grundvattentäkter kan komma att bli behövliga inom regionen, exempelvis i händelse av krig eller för reservändamål.

Ännu är det också ett olöst problem vad som händer med skogspartier som ligger insprängda i stadsbebyggelse och där stora grundvattensänkningar tillåts. Markvegetationen i en orörd natur är ofta beroende av kapillärt vatten från grundvattenmagasinet. Huruvida under infiltration varande »sjunkvatten» räcker för att försörja träd och buskar förefaller ännu inte helt klarlagt.

### Risker vid marksättningar

De ekonomiska riskerna i samband med marksättningar sammanhänger med underhåll av markytor, byggnader och ledningar.

En sjunkande markyta kan dessutom innebära ändrade stabilitetsvillkor för mark och grundläggning, speciellt om markytans ursprungsläge ständigt återställs. En uppenbar risk föreligger vidare för olycksfall där sättningarna medfört stora ojämnheter på trafik- och gångytor. Ojämnheter ger dessutom försvårade driftförhållanden, speciellt vintertid.

### Hantering av schakt- och sprängmassor

Alla byggare söker självfallet ett optimum för masstransporterna inom sitt område. Massorna »balanseras» därför på så sätt att utgrävda och utsprängda massor placeras där underskott finns.

De massbalanseringar som görs i dag är emellertid bristfälliga såtillvida att de mycket sällan eller inte alls tar hänsyn till tidsfaktorn och kvaliteten på massan. Temporärt under byggstart transporteras

stora mängder användbara fyllnadsmassor, till och med sprängsten, till blandtippar. Samtidigt händer ofta att underskott i ett närbeläget område täcks med inköpta massor utifrån. Lämpliga lermassor borde i ökad omfattning användas till grovplanering och sprängsten bättre tillvaratas för krossning.

Det som nu är under arbete har målsättningen att åstadkomma en översiktlig planering och redovisning av masshanteringen för större områden. Meningen är att från ett så tidigt stadium som möjligt centralt skapa möjligheter att styra och leda hanteringen och att ständigt ha god överblick över situationen.

En planering av detta slag bör omfatta så stora enheter som möjligt, och översiktsplaner för masshantering bör, som redan nämnts, göras upp redan på regionplanestadiet.

I de markavtal som brukar upprättas mellan exploatören (ofta kommunen) och enskilda byggföretagare borde en klausul som avser masshanteringen införas. Där kunde exempelvis stipuleras villkor för köp och försäljning av massor. Därmed skulle kanske en rationell styrning kunna åstadkommas så att »kommunala skidbackar» inte mer behöver vara en förskönande omskrivning för monumenten över begångna misstag när det gäller masshantering.

### Slutord

Grundvattenfrågornas sammankopplande med byggtekniken ger bevisligen god utdelning i form av lägre grundläggningskostnader och mindre markunderhåll. Även för projekteringsprocessen finns vinst att göra genom samordning av de geologiska och geotekniska undersökningarna.

Bevarande av grundvattnet och skydd mot skadlig infiltration är ytterligare miljöfrågor med stor räckvidd, vilka med fördel behandlas inom regionplanens ram.

Det finns alltså en lång rad frågor som har starkt samband med varandra och som därför med fördel skulle kunna bearbetas i planarbetet, kanske inte bara i regionplanen och i generalplanen utan i vissa fall ända till den enskilda byggnaden. I varje fall måste man veta vad man gör och söka kartlägga konsekvenserna av sitt handlande även när det gäller grundvattnet.

Det är svårt att avgränsa byggtkniska aspekter på grundvattenfrågor från övriga marktekniska frågor. De vidare perspektiven härvidlag innehåller ekonomiskt synnerligen viktiga problem med masshantering, grovplaneringskostnader etc där nuvarande organisationsformer knappast kan ge optimala lösningar.



UDK 551.495 (485 Stockholm)  
624.131.3

Vid mätningar av grundvattenförhållanden i bebyggda områden har det visat sig nödvändigt att ha referensområden där naturliga grundvattenförhållanden råder och kan studeras. För mätningar i Stockholm har fyra sådana områden valts, vilka bildar ett så kallat grundvattenkors. De undersökningar som bedrivs inom detta grundvattenkors utgör ett startprogram. Observationsnäten kommer att utvidgas och nya områden att tillföras korset.

Som en viktig del i STEGA-gruppens undersökningar ingår studium av grundvattenståndet och dess tidsmässiga förändringar. Allt eftersom sådana mätningar utförts i olika bebyggelseområden i Stockholmstrakten och på andra håll i landet, har det allt tydligare framstått som nödvändigt att ha referensområden där naturliga grundvattenförhållanden kan studeras.

Det första systematiska studiet av dessa grundvattenståndsvariationer påbörjades i Stockholm i några jungfruliga områden runt staden. För att de undersökningar som bedrivs i Göteborg skall bli meningsfulla måste motsvarande referensundersökningar göras även där. Detta är också planlagt.

Det är inte osannolikt att det material som på detta sätt tas fram blir av stort värde för den långsiktiga bedömningen av grundvattnets förändring i

flera avseenden än som jämförelse med observationer inom nybyggnadsområden. I så fall kan ett grundvattenkors bli aktuellt även för Malmö.

## Referensområden kring Stockholm

Det naturliga grundvattenståndet har såväl korttidsmässiga som långtidsmässiga variationer. För att rätt kunna bedöma de förändringar som äger rum inom bebyggelseområden är det nödvändigt att känna dessa variationer.

Ett sådant referensmaterial finns sedan många år tillbaka tack vare de hydrologiska undersökningar som bedrivs inom Verkaåns avrinningsområde cirka 3 mil norr om Stockholm. Detta område utgör ett av Internationella Hydrologiska Dekadens (IHD) så kallade representativa områden och undersökningarna bedrivs av institutionen för kulturteknik vid Tekniska högskolan i Stockholm.

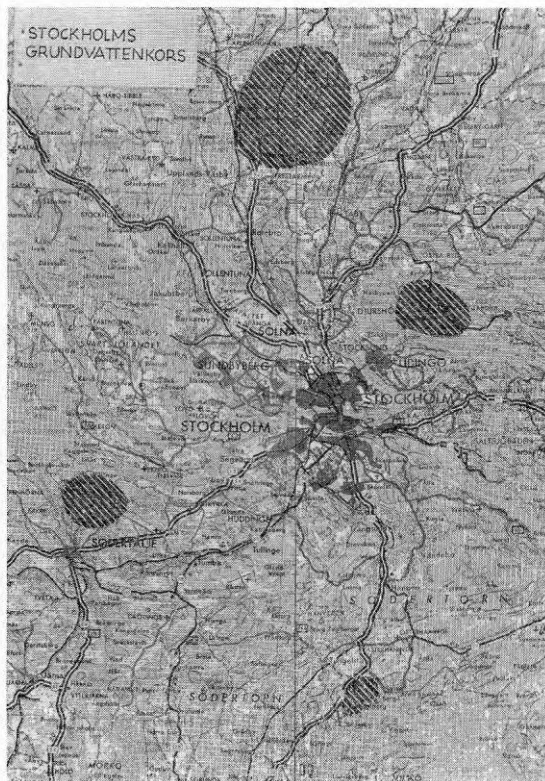
Mot bakgrunden av erfarenheter som vunnits inom Verka-området beträffande mätmetodik och datahantering har ytterligare tre områden kring Stockholm valts ut, vilka tillsammans med det tidigare nämnda bildar det så kallade grundvattenkorset. Med kors menas i detta sammanhang några områden, helst i fyra skilda väderstreck, kring ett bebyggelsecentrum. Områdena måste vara så belägna att exploatering inte behöver befaras inom överskådlig tid.

De områden som ingår i korset är *Verka*, cirka 3 mil norrut, *Bogesund*, cirka 1,5 mil åt nordost, *Bornsjö*, cirka 2,5 mil åt sydväst, samt *Berga*, cirka 2,5 mil söder om Stockholms centrum, bild 1.

I Verka har redan tidigare relativt omfattande och kontinuerliga grundvattenundersökningar gjorts i samband med de IHD-arbeten som bedrivs där. I de övriga områdena påbörjades grundvattenobservationer under sommaren och hösten 1968.

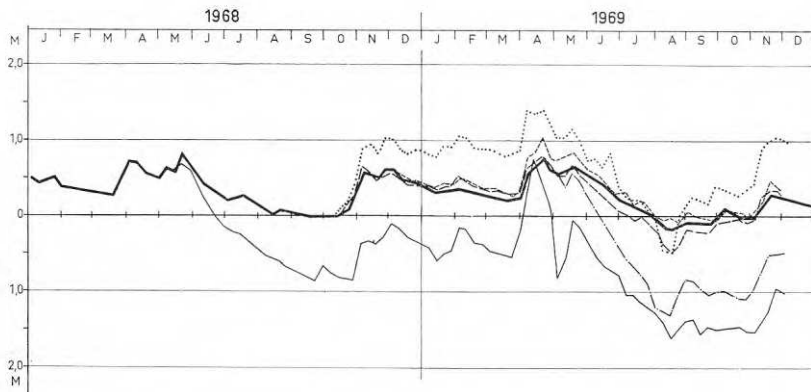
## Områdenas geohydrologi

Valet av områden och observationspunkter har anpassats till den dominerande geohydrologiska bilden i Stockholmstrakten. Vidare har budgeten i mångt och mycket bestämt vad som kunde utföras. Exempelvis är observationshål i berg många gånger dyrare än observationsrör i lösa avlagringar.



1  
Stockholms grundvattenkors

Stockholm's ground water cross



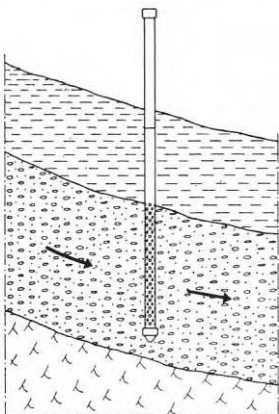
2 Förändringar i medelindex under 1969 för de olika områdena i grundvattenkorset. Som jämförelse anges medelindex för två rörserier inom Botkyrkaområdet.

Changes in the mean index during 1969 for the various districts in the ground water cross. For comparison the mean index for two series of pipes in Botkyrkaområdet are also given.

— Verka  
 - - - Bogesund  
 ..... Bornsjö  
 - · - · Berga  
 - - - - Botkyrka I  
 - - - - Botkyrka II

3 Rör för observation av grundvattenstånd. Instrumentet utgörs av ett 2" galvaniserat järnrör som är perforerat till en längd av 1 m med 6 mm hål i åtta rader — sammanlagt 330 hål. I botten sitter en massiv spets, i övre änden ett pågängat lock.

Pipe for observation of ground water level.



Detta har medfört att grundvattenståndsmätningarna i stor utsträckning görs i den grundvattenförande morän som underlagrar lerorna i dalgångarna. Endast i Verka-området sker för närvarande studium av bergets grundvattenförändringar. Därjämte sker en mera systematisk undersökning av förhållandena i rullstensmaterial inom samma område.

Samtliga områden utgörs av skogs- och åkerbruksområden, och observationspunkterna återfinns i nivåintervallet 0–40 m ö h.

### Observationsanordningar

Observationspunkterna utgörs av 2" galvaniserade järnrör, som — sedan jordlagerföljden bestämts genom sondering — drivits till önskat djup. Rörets nedre del, som placeras i ett grundvattenförande lager, är perforerad med 6 mm hål till en längd av 1 m och försedd med en massiv spets, bild 3.

Efter renspolning och provpumpning i flera omgångar provas rörens funktion på så sätt att en mindre vattenkvantitet hålls i. Tiden till dess att den ursprungliga vattennivån åter nås mäts därefter. Sådana prov utförs regelbundet, eftersom rör av detta slag kan slamma igen.

Inom Verka-området finns för närvarande ett 40-tal observationsrör och inom vardera av de övriga ett 20-tal. Rörens längd varierar mellan 5 och 30 m. Vattentillrinningen är normalt mellan något 100-tal och upp till 6 000 l/h vid 2–3 m avsänkning av vattentytan.

### Mätprogram, bearbetning

Mätningarna påbörjades i Verka under 1965/66 och i de övriga områdena hösten 1968. De omfattar mätning av vattentytans nivå i samtliga rör en gång per vecka. Vissa av observationsrören inom Verka-området har tidvis varit försedda med kontinuerligt registrerande instrument.

Utvärdering av mätdata sker i dator och följer en metodik som utarbetats för Verka-området. Vid en veckobearbetning beräknas grundvattentytans höjd över havet i varje observationspunkt och för varje

punkt beräknas ett »grundvattenindex». Vidare beräknas ett medelindex med spridningsmått för samtliga grundvattentytor inom respektive område. Med index menas här grundvattenståndet i m över en viss begynnelsenivå.

Denna begynnelsenivå hänför sig till Verka-området, där samtliga grundvattentytor gavs index 0 den 31 oktober 1966, då grundvattennivån hade en minimipunkt. Efter denna tidpunkt jämförs aktuella grundvattenstånd med nollnivån, och skillnaden utgör det aktuella grundvattenindex, som anges i m.

För nästa område som »togs i drift» i grundvattenkorset antogs den relativa förändringen vara densamma som i Verka. Om medelindex i Verka då var +0,50 (m), sattes samtliga rör i det nya området till +0,50.

Exakt på samma sätt görs med undersökningsobjekt som till exempel Botkyrkaområdet. Vid starten sätts samtliga observationsrörs »index» lika med Verka-områdets medelindex. När avvikelser från index uppträder systematiskt och stabilt är det en säker indikation på att något håller på att hända.

För grundvattenkorset beräknas för varje avläsningsomgång (vecka) medelindex och som ett mått på spridningen anges dels absoluta maximum och minimum, dels standardavvikelsen ( $\sigma$ ). Ytterligare ett spridningsmått är de gränser mellan vilka 80 procent av materialet ligger sedan extremvärdena eliminerats.

Indexberäkningar utförs även för materialet klassindelad med hänsyn till geologiska förhållanden.

Årsbearbetning av observationsmaterialet innebär en beräkning av observationsmaximum och -minimum för grundvattenstånd och index med angivande av tidpunkter då dessa inträffade. Materialet klassindelas med hänsyn till årsamplitud i grundvattenstånd och vidare plottas kurvor över tidsmässiga förändringar för vattenstånd och index för hela materialet och för detta efter klassindelning. I bild 2 visas förändringar i medelindex under 1969 för de olika områdena i grundvattenkorset och som jämförelse finns medelindex för två rörserier inom Botkyrkaområdet.

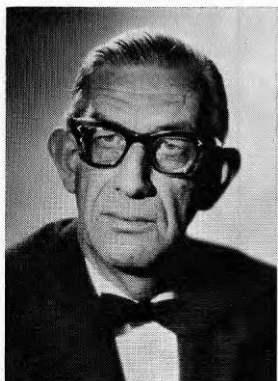
### Vidare perspektiv

De mätningar som nu påbörjats inom grundvattenkorset får anses utgöra ett startprogram. Efter hand kommer observationsnätet inom de berörda områdena att utvidgas (till exempel berghål) och andra områden att tillföras korset. Vidare ingår i planerna att utvidga programmet till att omfatta även andra komponenter i vattnets kretslopp (avrinning, nederbörd med mera), vilka bedöms ha betydelse vid utvärdering av mätresultat.

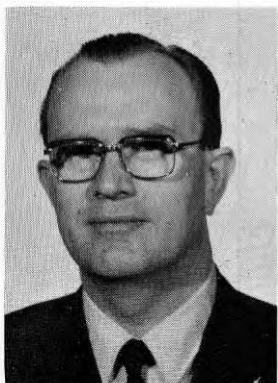
De resultat som efter hand kommer fram skall hållas tillgängliga för intresserade, eftersom de bedöms kunna ha värde såväl för olika forskningsprojekt som för praktiska och juridiska spörsmål.

# Grundvattensänkning vid Mariatorget i Stockholm

UDK 551.495 (485 Stockholm)



Civilingenjör SVR Sven Tyrén, Sven Tyrén AB Rådgivande ingenjörer, Stockholm



Fil lic Buster Sund, Sven Tyrén AB Rådgivande ingenjörer, Stockholm

I ett område kring Mariatorget i Stockholm har under årens lopp en serie åtgärder samverkat till en kraftig sänkning av grundvattennivån. Vid sidan av gängse orsaker i samband med bebyggelse, såsom permanentning av gator och gårdar samt åtgärder för att avleda dagvatten, är det omfattande sprängningar vid bland annat tunnelarbeten som rubbat grundvattenbalansen.

När ett område bebyggs rubbas obönhörligen grundvattenbalansen. Takytor, permanentbelagda gårdstytter samt asfalterade gator hindrar ytvattnet från att infiltreras i marken. Vattnet leds i stället bort i dagvattenledningar.

Grundvattenmagasin påverkas även på annat sätt. Bergryggar, som oftast är de naturliga avgränsningarna för grundvattensjöar, genombryts av skärningar för gator, djupa grundläggningar för hus och av tunnlar. I modern stadsbebyggelse förekommer ofta ett flertal tunnlar på relativt stort djup. Eftersom det är i det närmaste ogörligt att få tunnlar helt täta, måste de bidra till en fortgående avtappning av grundvattenmagasinet.

Ett exempel på vad som har hänt och vad som händer är området kring Mariatorget på Söder i Stockholm.

## Topografi, geologi

Mot norr begränsas området av Södra bergen med delvis berg i dagen (Mariatorget med flera). I söder begränsas området också av en höjdrygg med delvis kala berghällar. Den sträcker sig från Ringvägen mitt emot Zinkensdamms idrottsplats i sydostlig riktning mot Högbergsgatan och följer sedan denna fram till Södergatan, bild 1. Den sydliga höjdryggen genomskärs av en markerad sprickzon, som mellan Svedenborgsgatan och Björngårdsgatan gett en ungefär 100 m bred svacka i bergryggen. Samma sprickzon kan följas mot nordväst fram till hörnet av Brännkyrkagatan och Torkel Knutssonsgatan och återfinns i Skinnarviksberget väster om samma gata. Mellan Mariatorget och Södergatan, strax söder om Maria Magdalena kyrka, finns ett djupt dalstråk i berggrunden från Mariatorgets sydöstra hörn fram till Södergatan. Bergytan inom denna svacka är ungefär i nivå med Saltsjön. Sprickig berggrund observerades även vid T-banestationen Zinkensdamm. Det är troligen en fortsättning av svackan i berggrunden under idrottsplatsen väster om Ringvägen.

Dalsänkan längs Hornsgatan med centrum ungefär vid Mariatorget är närmast Slussen fylld av isälvsavlagringar. Längre mot väster dominerar sandiga och leriga sediment, vilka överlagras av lera och bildar en tämligen plan markyta vid nivån ungefär +20 m.

## Bebyggelsens historia

De äldsta kartorna över området härrör sig från tiden omkring år 1600. Maria kyrka fanns redan då, och bebyggelsen sträckte sig öster ut ungefär så långt som till nuvarande Mariatorget. Söder och väster därom bör naturen ha varit tämligen orörd. Även öster ut, öster om nuvarande Götgatan, torde ingen bebyggelse ha funnits, bild 2.

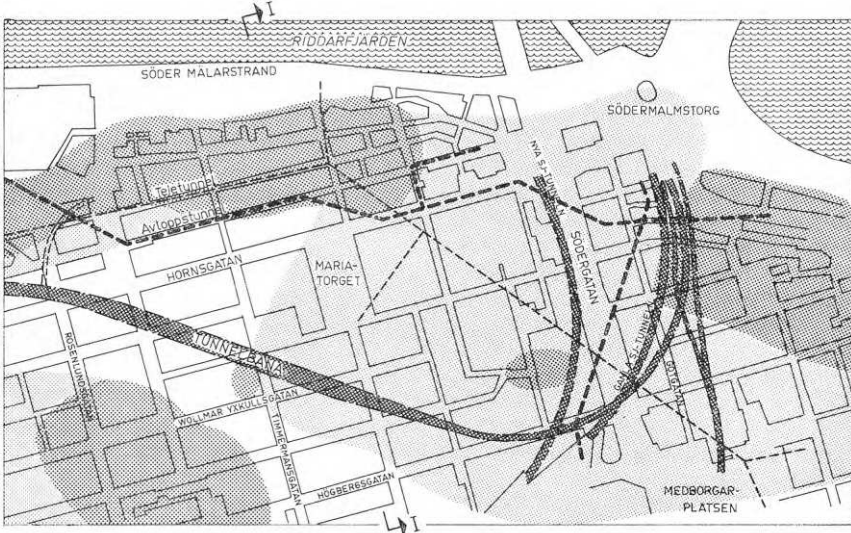
I början av 1700-talet hade bebyggelsen spritt sig så att Götgatan var utbyggd ända till Skanstull och Hornsgatan till Hornstull. Huruvida de hade så mycket karaktär av gator är väl tveksamt. Snarast bör de väl ha sett ut som något enklare slags bygdeväg. Bebyggelsen kring Mariatorget hade emellertid vuxit så att det fanns hus på norra sidan av Högbergsgatan från Rosenlundsgatan till Götgatan. Även Mariatorget var i rätt stor utsträckning bebyggt.

I mitten på 1700-talet började bebyggelsen omsluta även sjön Fatburen strax söder om Högbergsgatan. Likaså fanns bebyggda kvarter längs praktiskt taget hela Götgatan och Hornsgatan ända bort mot Danvikstull.

Under första hälften av 1700-talet kan man på gamla kartor se att Fatburens utlopp gick genom en bäck vid Zinkensdamm ner till Årstaviken. I början av 1800-talet fanns Fatburssjön kvar, men runt omkring den fanns bebyggelse av olika slag. I mitten av 1800-talet var sjön igenfylld och i dess mitt låg nuvarande Södra station, Stockholms första järnvägsstation, bild 3.

Inledningen till människans större ingrepp i detta område kan anses vara markerad av Södra stations uppförande. Därefter kommer i snabb följd:

1859: nedläggning av gasledning



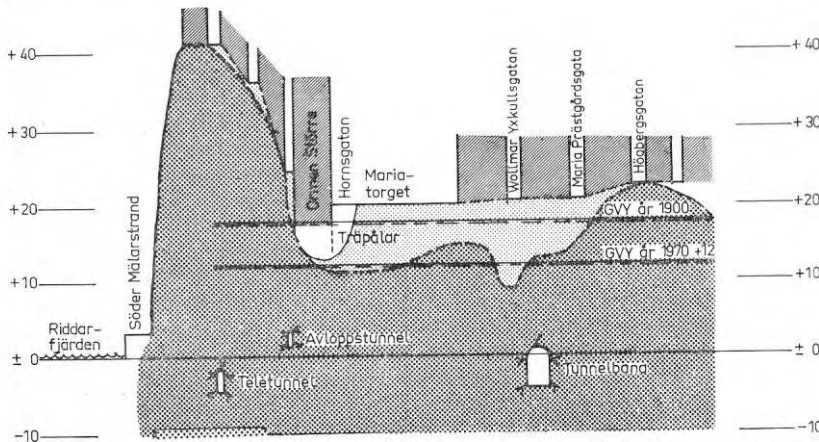
1 Plan av området kring Mariatorget.

Plan of the area around Mariatorget



2 Tvärsnitt genom grundvattenbassängen vid Mariatorget. Längdskaala 1:10 000.

Cross section through the ground water basin at Mariatorget



1861: vattenledningar med brandposter

1864: en kloakledning från Mariatorget ner till Zinkensdamm

1865: sprängningar för gamla järnvägstunneln, vilka påverkade vattentillgången i närliggande brunnar

omkring 1900: sprängningar för Torkel Knutssongatan ner mot Söder Målarstrand.

Trots dessa större ingrepp innebar 1800-talets senare hälft inte någon avgörande förändring av grundvattenförhållandena i området. Gårdarna var i allmänhet inte permanentade – i den mån de var hårdgjorda utgjordes ytbeläggningen av kullersten. Det samma gällde flertalet gator.

Kring sekelskiftet uppfördes ett stort antal hus inom området, vilket därmed fick sin nuvarande karaktär.

De från grundvattenssynpunkt viktigaste åtgärderna var permanentbeläggning av gårdar och gator samt anläggning av dagvattenledningar. Detta markerar åtgärder där man med vett och vilja bortför det mesta av ytvattnet från området.

Av lika stor betydelse för grundvattennivån är de sprängningar som förekommit i området i samband med diverse anläggningsobjekt.

1938–40: Södergatan

1931–33: gamla tunnelbanan från Slussen till Skanstull. (Denna ligger emellertid i utkanten av området och kanske inte påverkar grundvattenbalansen just här.)

1948–51: nya SJ-tunneln från Södra station till Centralbron

1953–55: avloppstunnel med en stor del av sin sträckning längs Brännkyrkagatan

1963–66: teletunnel strax norr därom med fortsättning under Maria kyrka och ner mot Medborgarplatsen

1962–65: nuvarande tunnelbanan med sträckning längs Brännkyrkagatan och därefter diagonalt ner mot Södra stations norra ände och därefter i en sväng upp mot Slussen.

Under hela 1900-talet har nya byggnader uppförts vilkas grundläggning har iägro nivå än omgivande ursprungliga grundvattenyta. Dessa byggnader har ofta dränering runt om och dessutom pumpgrop under källargolvet.

### Grundvattenförhållanden

Det finns rätt säkra indikationer på att grundvattennivån norr om Mariatorget i början av 1900-talet legat över nivån +17,0.

Kvarteret Ormen Större, som byggdes ungefär vid sekelskiftet, är nämligen grundlagt på träpålar, vilka är avskurna vid nivån +17,0, bild 2. År 1968 var grundvattennivån i detta kvarter +14,0, och på grund därav måste skyndsamt åtgärder vidtas för att ersätta de ruttnande träpålarna och förstärka grunden.



# Grundvattensänkning vid Rådhuset i Stockholm

UDK 551.495 (485 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 krönts med viss framgång. 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 förstärkningsåtgärder på grund av den akuta risken för rötskador på träpålarna.

De flesta bostadshusen i kvarteren kring Rådhuset är uppförda under åren 1880–1910. Där lermäktigheterna är större än 6–8 m har byggnaderna grundlagts på träpålar. Pålarna är vanligen avskurna 3–4 m under nuvarande gatuplan.

Enligt arkivuppgifter ligger till exempel pålavskärningen på nivå +3,85 m under fastigheten Kungsholmsgatan 22 i hörnet av Scheelegatan. För fastigheten Pipersgatan 28 finns ett intyg på att pålarna är kapade vid +2,75 m.

Träpålning förekommer under Rådhusets nordöstra del med pålavskärning mellan +2 och +4 m. Rådhuset är uppfört under åren 1912–1915.

I samband med grundläggningsarbeten för fastigheten 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.

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, bild 1. I kv Päronet ligger även 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 tunneln har naturligtvis betydelse även under denna senare period.

## Områdets geologi

Gnejsberggrunden inom området innehåller en djup svacka i nordost-sydväst ungefär i Scheelegatans riktning. Denna svacka skärs av en annan sprickzon nära nog vinkelrät mot den förstnämnda. Skärningspunkten mellan dessa zoner markerar läget av det

djupaste kända området med bergnivåer varierande mellan –12 och –14 m. Nuvarande markyta kring Rådhuset ligger ungefär vid nivån +7.

Bergytan i den bildade svackan täcks av ett mindre än en meter tjockt moränlager, vilket överlagras av ett 5–10 m mäktigt lerlager samt fyllningsmassor.

Norr om depressionen i fråga finns ytterligare en mindre skålförmig fördjupning i berggrunden, belägen ungefär mellan Polishuset och Fleminggatan. Markytan ligger här cirka 3 m högre än vid Rådhuset, det vill säga omkring +10 m, och bergskålens botten omkring +3 m. Även här överlagras bergytan av ett tunt lager friktionsmaterial, därefter lös lera, torrskorpelera och fyllning.

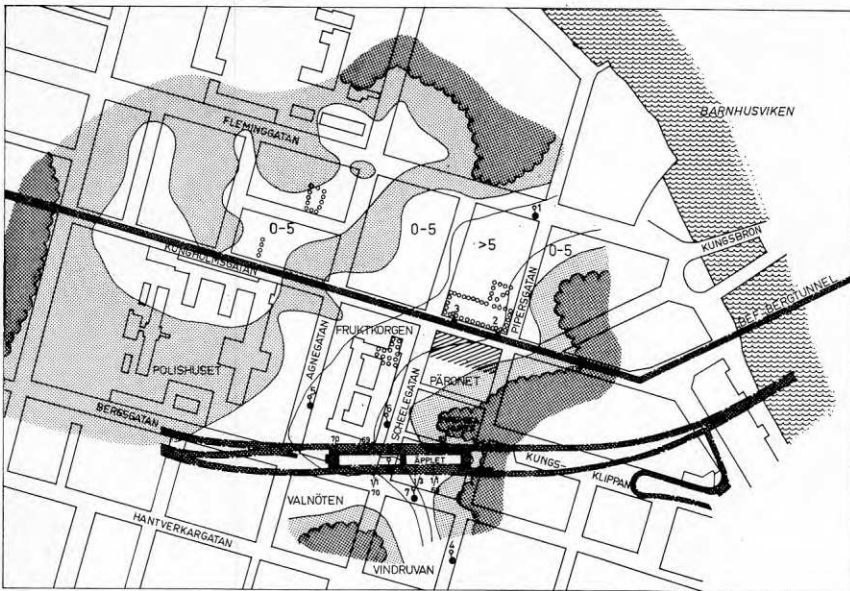
## Förändringar i grundvattennivån

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 cirka +6 m, men har därefter åter stigit till cirka +7 m.

Både vid utsprängningen av teletunneln (nivå: –25 m) under Kungsholmsgatan år 1962–63 och vid grundläggningsarbeten 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.

Trots att grundvattennivåns förändringar i de två lerskålarna är av samma storleksordning, kan åtminstone med nuvarande tryckförhållanden ingen direkt förbindelse spåras mellan de båda grundvattensjöarna.

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 nu aktuella grund-



1  
Plan av Kungsholmen kring Rådhuset. Grundvattenobservationshål med nr 1-8 redovisar vattenståndsvärden under senare delen av 1968 och hela 1969.

Plan of Kungsholmen around the courts. Bore holes for observing ground water nrs. 1-8 show variations in water table during the late parts of 1968 and the whole of 1969

- 0-5 lera, siffror anger mäktighet i m  
clay, figures denote thickness in m
- bra mark, friktionsjord  
good soil, granular soils
- berg i dagen  
outcrop
- träpålar  
timber piles
- nybyggnad i kv Pärone  
new building in kv. Pärone
- tunnel  
tunnel
- observationsrör  
observation tube

schakten i kv Pärone i hörnet av Kungsholmsgatan och Pipersgatan. I närheten har också sättningar i gatumarken observerats. Bergarbetena för tunnelbanan pågår (februari 1970) under nivån -15 m. I kv Pärone når schakten ner till nivån -1 m.

I bägge fallen sker arbetet således under den kända grundvattennivån, cirka +3,5 m. Schaktning under grundvattenytan i kv Pärone påbörjades i januari 1969. Uppgifter om utpumpade vattenmängd saknas. Av bild 2 framgår pumpnings- och grundvattennivåer under grundlägningsarbetet.

I grundvattenobservationsrör belägna på cirka 20 m horisontellt avstånd från bergtunnlar respektive schakt har konstaterats grundvattensänkningar av storleksordningen 3-5 m. Så långt som bortom Rådhuset, rör nr 5, bild 1, det vill säga 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 Pärone och tunneldrivning pågick samtidigt.

### Nybildning av grundvatten

Nybildning av grundvatten kan huvudsakligen ske inom infiltrationsområdena. Dessa finns i områdena västra och norra delar, det vill säga där berghällar och friktionsjordarter går i dagen eller där lermäktigheterna är mindre än 1,5 å 2 m. Områdena omfattar i huvudsak Kronobergsparken, före detta barnsjukhuset vid Polhemsgatan och S:t Eriks sjukhusområde vid Fleminggatan, det vill säga där bebyggelsen är gles. Någon infiltration kan dessutom förekomma i parkområdet nordöst om Polshuset samt i anslutning till Kungsklippan och Ulrika Eleonoras kyr-

kogård i öster. I övrig kvartersmark beräknas ingen eller obetydlig infiltration kunna ske.

Storleken av infiltrationsområdet är enligt dessa överväganden cirka en tredjedel av nederbördsområdet, som uppskattas till 40 ha. Om infiltrationskoefficienten antas vara 0,2 (häll-, morän- och lerområden), motsvarar 550 mm nederbörd en årlig nybildning inom hela området av cirka 14 000 m<sup>3</sup> grundvatten eller cirka 40 m<sup>3</sup>/dygn. Troligen är dessa siffror något för höga.

Läckningen till de tunnlar som passerar området eller som är under utbyggnad uppgår efter genomförda tätningsarbeten till cirka 70 m<sup>3</sup>/dygn. Utpumpade vattenmängder från källare och grundschakter har inte varit åtkomliga, men är säkert inte försumbara i sammanhanget.

Jämförs mängden av nybildat grundvatten med utpumpade vattenmängder från tunnlar inom området, blir risken för sänkning av grundvattenytan uppenbar. Detta således 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 cirka 1 m tjocka friktionslager som underlagrar leran. Grundvattenreservoaren innehåller totalt knappast mer än 25 000 m<sup>3</sup>. Därav beräknas cirka 80 procent vara mer eller mindre fast bundet till friktionsjordarten. Resterade 20 procent - 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.

### Återställande av grundvattennivån

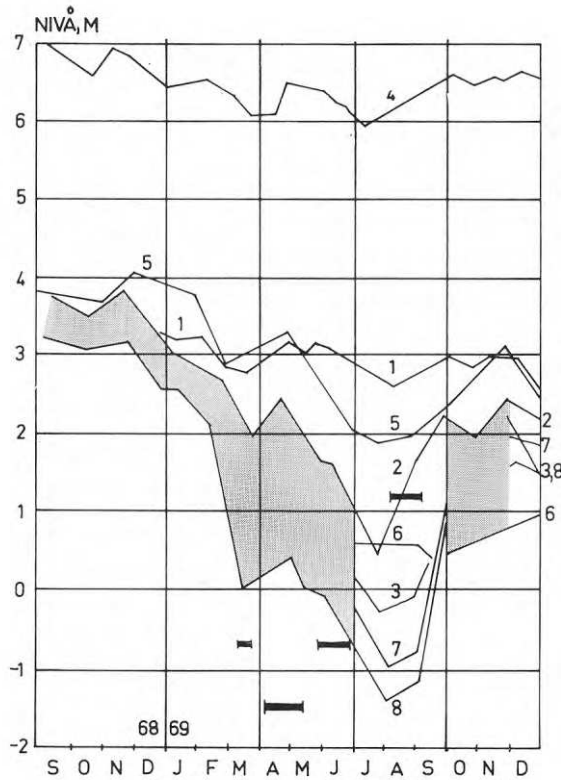
Sedan grundlägningsarbetena i kv Pärone avslutats och utpumpning av grundvatten upphört har grundvattenytan ånyo börjat stiga i likhet med vad som var fallet när arbetena för teletunneln och Amaranstens grundschaktning avslutats år 1962-63 respektive 1965. Vid årsskiftet 1969-70 är grundvattennivån cirka 2 m högre än det lägsta värdet, vid månads-skiftet juli-augusti 1969.

Vad bergtunnlarna beträffar visade sig vattenföringen i det mycket sprickiga delvis leromvandlade berget i svackan under Rådhuset inte vara större än cirka 0,12 l/min per m tunnel på en längd av

**2**  
Variationer i grundvattenståndet kring Rådhuset samt pumpningstider och pumpningsnivåer i kv Pärönet. Kurvlinjerna 3, 6, 7 och 8 löper inom de skrafferade områdena.

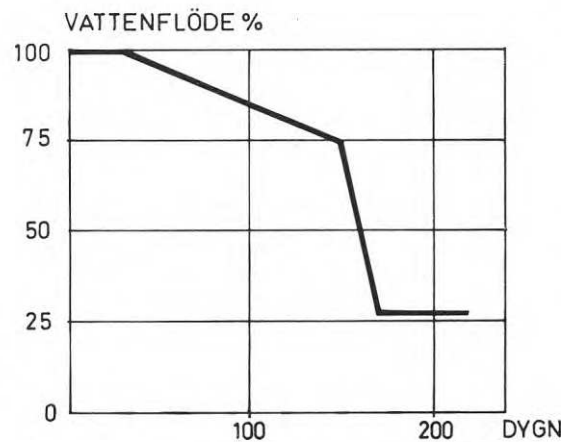
Variations in the ground water level around the courts and the pumping times and pumping levels in kv. Pärönet. The curves 3, 6, 7 and 8 are within the shaded area

— anger pumpningsnivå  
— pumping level



**3**  
Tättningsarbetens inverkan på läckningsflödet till en tunnel. Resultat från mätningar.

The effects of proofing on the leakage flow to a tunnel. The results of measurements.



cirka 200 m (summa 35 m<sup>3</sup>/dygn). I samband med kontrollborringar för att fastställa bland annat bergets beskaffenhet igångsattes även tättningsarbeten i de utsprängda tunnlar. Vid injekteringsarbetenas slut hade också inläckningsmängden nedbringats till 0,03 à 0,04 l/min eller 25 à 30 procent av begynnelsevärdet, bild 3 (maj 70 ännu lägre). Detta har självfallet bidragit till att grundvattenytan i observationshålen kring tunnlar åter stigit.

I avsikt att höja grundvattenytan i dalgången pågår för närvarande försök att infiltrera vatten i marken genom en infiltrationsbrunn belägen i Scheele-gatan, sydost om Rådhuset. Resultat av detta försök förväntas först fram emot hösten 1970.

### Sammanfattning

Grundvattenbalansen i de lerfyllda svackorna på Kungsholmen påverkas märkbart redan av förhållandevis små grundvattenuttag. Sådant sker temporärt vid grundläggning av nybyggen och mer kontinuerligt från bergtunnlar.

Även om grundvattenståndet höjts sedan arbetena för husgrunden i kv Pärönet avslutats, kvarstår dock frågan om den ursprungliga grundvattennivån helt kommer att återställas. Om så inte sker inom överskådlig tid, är läget allvarligt. I princip innebär detta resonemang att varje i grundvattnet nedförd husgrund och/eller ny bergtunnel kommer att medföra ytterligare grundvattennivåsänkningar. Den risk för röt-skador på träpålar inom området som redan är stor blir då akut, och förstärkningsarbeten blir oundgängliga.

Det bör understrykas att även nybebyggelse i lerområdets randzoner har sin betydelse för grundvattenbalansen. Det är nämligen så att nya byggnadskomplex avskärmar eller utdränerar tillrinningsområdena och därmed förhindrar nybildning av grundvatten.

En slutsats är att varje ingrepp inom detta känsliga område kan medföra stora sekundära kostnader i första hand för grundförstärkning för äldre byggnader, men även 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 tomtens utan ett betydligt större område.





Civilingenjör Arne Lindh, Sven Tyrén AB Rådgivande ingenjörer, Stockholm

Vid tunneldrivning i berg uppstår risk för att grundvattennivån sänks till följd av vatteninläckning. Bland annat för att förebygga detta tätas berget intill tunneln vanligen genom injektering. Hur injekteringsmönstret påverkar inflödet av vatten har studerats. Därvid har man fått belägg för att symmetrisk tätning runt om tunneln ger bästa resultat.

Vatteninläckning i samband med bergarbeten är föga önskvärd, huvudsakligen på grund av de risker för grundvattensänkning som därvid uppstår.

I praktiken har det visat sig att vattenläckage ofta motiverar stora investeringar i tätningsåtgärder. Detta även om berganläggningen kan slutföras utan att vare sig skadlig grundvattensänkning eller störningar i anläggningsarbetet uppstår.

Tätning av berg sker oftast med hjälp av injektering. Antingen injekteras före utsprängningen – så kallad förinjektering – eller också injekteras i efterhand. Dessa båda metoders relativa lämplighet lämnas därhän; här skall i korthet behandlas hur injekteringsmönstret påverkar inflödet av vatten. De teoretiska resonemangen jämförs sedan med fältobservationer hämtade främst från byggobjekt i Stockholm och Göteborg.

## Beräkning av grundvattenflödet till tunnel

Teorierna för vattnets strömning i ett isotropt, homogent material är sedan länge kända och har behandlats av bland andra Gustafsson [2]. De bygger genomgående på Darcys lag enligt vilken linjära relationer råder mellan potential (tryckfall) och strömningshastighet. Darcys lag, kombinerad med kontinuitetsvillkoret leder till Laplaces ekvation,  $\Delta^2 \varphi = 0$ , vilken gäller för alla potentialströmningar. Till dessa hör även den elektriska strömningen, varför formell likhet finns till exempel mellan grundvattenström och elektrisk ström. Detta innebär i sin tur att grundvattenströmning kan simuleras i elektriska modeller.

Gustafsson har löst Laplaces ekvation för ett antal specialfall som gäller avdränning av grundvatten. Dessa lösningar kan under vissa förutsättningar tillämpas även på det här aktuella problemet. Bland annat kan utsträckningen av den zon som kommer att drabbas av grundvattensänkningar beräknas. Följande förutsättningar antas gälla:

- Bergytan är horisontell och står under konstant vattentryck genom att tillgången till vatten är obegränsad. – Antagandet gäller till exempel när berget är täckt av ett grundvattenförande friktionsmaterial med hög permeabilitet.

- Permeabiliteten i berget är konstant, det vill säga sprickfördelningen är homogen vad gäller både sprickriktningar och sprickvidder.

- Tunnelns mått i radiell led är försumbart i jämförelse med övriga mått.

Av intresse är det av Gustafsson härledda sambandet

$$q = \frac{Q \arctan y/h}{\pi} \quad (1)$$

där  $y$  = lägeskoordinat från tunnelns centrumlinje tvärs tunnelriktningen (m)

$Q$  = totala flödet i tunneln ( $m^3/s$ ),

$q$  = den del av det totala flödet som kommer från ett område begränsat av vertikalen genom tunnelns centrum och  $y$  ( $m^3/s$ ),

$h$  = djupet från bergytan till tunnelns centrum (m). (Se bild 1.)

Sätts  $y=h$  blir enligt formeln delflödet  $q$  fjärdedelen av det totala flödet. Detta betyder på grund av symmetrin kring vertikalaxeln, bild 1, att hälften av det inläckande vattnet kommer från en zon som är dubbelt så bred som tunnelns djup under bergytan.

På samma sätt kan beräknas att från en dubbelt så bred zon kommer 70 procent av det totala flödet och från en tre gånger så bred zon 80 procent.

Det kan diskuteras vilken flödesandel av det inrinande vattnet som man vill anse karaktärisera influenszonen. Som framgår av siffrorna kan för praktiska fall konstateras att en influenszon med bredden  $2h$ , alltså den zon inom vilken 50 procent av delflödet kommer, är ett naturligt förstahandsmål för observationer.

Det är även av intresse i detta sammanhang att veta sambandet mellan totalt inläckande vattenflöde, tunneldjup och bergets permeabilitet. En kombination av Gustafssons ekvationer för grundvattnets strömningshastighet och Darcys lag ger formeln:

$$k = \frac{Q}{\pi h} \quad (2)$$

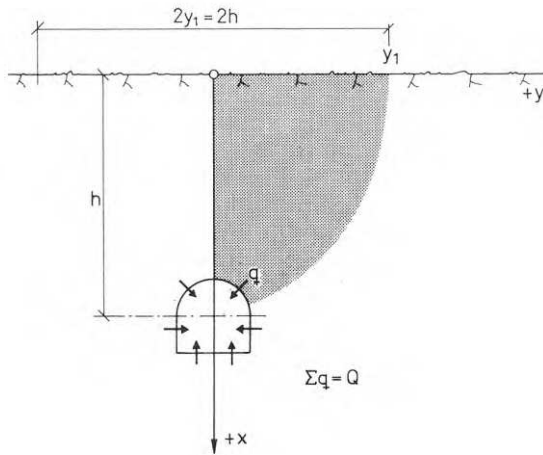
där  $k$  = bergets permeabilitet (m/s).

**1**  
Koordinatsystem och beteckningar för teoretiska beräkningar av vatteninläckning i tunnlar

$q$  = delflöde  
 $Q$  = totalflöde

Grid and symbols for theoretical calculations of water in tunnels

$q$  = partial flow  
 $Q$  = total flow



Ur ekvation (1) kan alltså erhållas den teoretiska bredden av den zon som är utsatt för grundvattensänkningar.

Vidare framgår av ekv (2) att influenszonens bredd inte påverkas av bergets permeabilitet. Detta betyder att företagna tätningsåtgärder inte minskar influenszonens bredd. Tätning medför endast en annan relation mellan grundvattentryck och vattenläckage i berganläggningen.

Slutligen visar ekv (2) att inläckningens totala storlek liksom influenszonens bredd är linjärt beroende av  $h$ . Ökat djup ger alltså ökat totalinflöde. Samtidigt förändras fördelningen av inflödet längs bergytan väsentligt (ekv 1). Inflödesökningen vid större tunneldjup drabbar således främst områden på större avstånd från tunneln. Teoretiskt bör alltså djupt liggande berggrum medföra risk för grundvattensänkning inom stora områden, och de kan förmodas vålla mer bekymmer än ytligt liggande anläggningar.

**Flödet vid heterogent berg**

Då det gäller att uppskatta flödet till en tunnel under förutsättning av heterogent berg är ett praktiskt sätt att angripa problemet att göra ett modellförsök, bild 2, ett annat att utnyttja en dator. Beträffande det senare alternativet kanske den enklaste vägen är att använda den så kallade relaxationsmetoden. Denna metod är ett itereringsförfarande till jämvikt i ett rutnät med ett på förhand bestämt flödesmotstånd i varje maska. Flöde genom varje motstånd samt potential i varje korsningspunkt beräknas.

Ett annat slags modell än den i bild 2 kan göras av elektriska komponenter, eftersom grundvattenflöde och elektriskt flöde följer samma differentialekvation. Av de många möjligheter som finns (och som också beskrivits i litteraturen) valdes för denna undersökning ett rutnät av elektriska motstånd, bild 3.

Efter några förundersökningar med olika stora rutnät och med olika motstånd, genomfördes huvudundersökningen med ett fält uppbyggt av cirka 600 motstånd på vardera 600 ohm. Rutnätet gjordes 32 enheter djupt och 22 enheter brett, varvid endast halva fältet på ena sidan en vertikal symmetrilinje byggdes. I närheten av tunneln, det vill säga vid de intressantaste mätpunkterna, gjordes rutnätet dubbelt så tätt som längre bort.

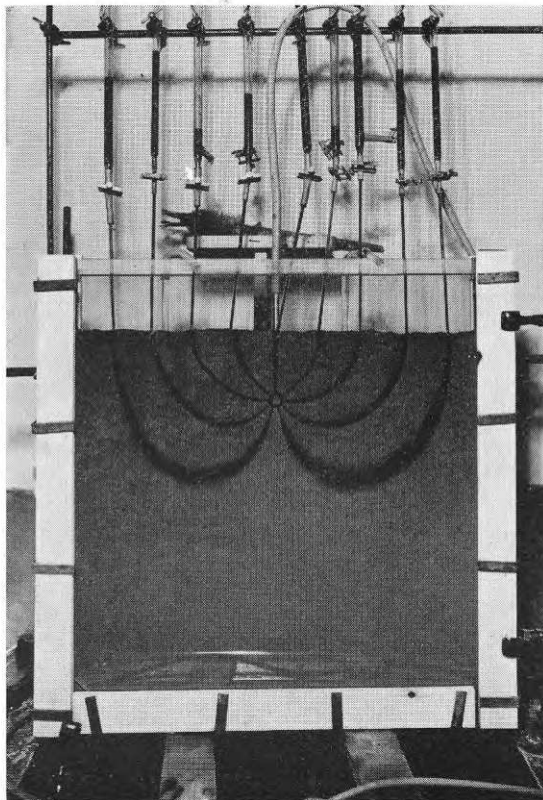
Den elektriska potentialen erhöles med hjälp av ett ficklampsbatteri. Potential, flöde och motstånd mättes med hjälp av ett så kallat universalinstrument.

I det uppbyggda potentialfältet gavs »grundvattentytan» potentialen 0 med hjälp av en kortslutande tråd längs en kant av fältet, bild 3. En tunnel med en viss bestämd potential skapades på samma sätt med en kortslutningstråd (equipotentiallinje) längs tunnelperiferin.

Sprickzoner i berget avbildades med hjälp av kortslutningstrådar och tätningar – injekteringar – med

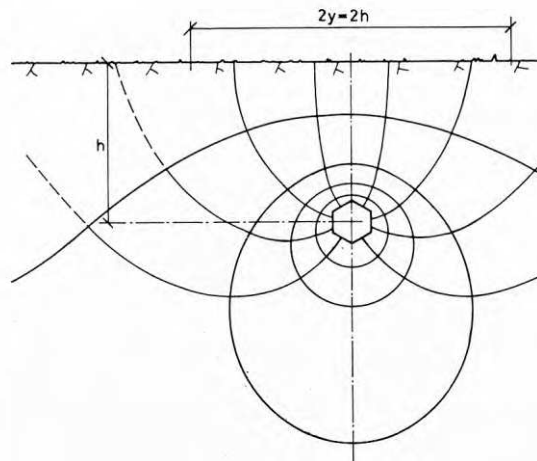
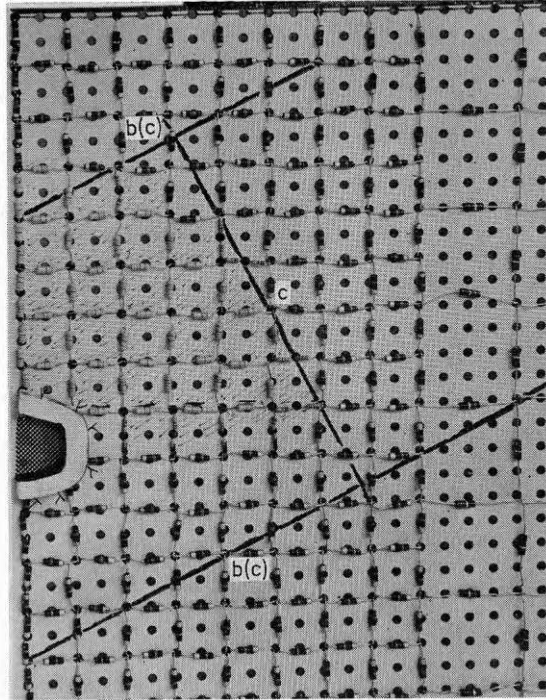
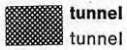
**2**  
Hydraulisk modell visande strömbilden vid grundvattenrörelse från markytan till en dränerande tunnel i homogent material. Modellen är uppbyggd av sand bakom en glasskiva och strömlinjerna framträder genom att färgmedel tillförs i markytan.

Hydraulic model shows the current picture in ground water movement from surface to a draining tunnel in homogenous material. The model is made of sand behind a glass pane and the currents appear when dye is added on the surface



3  
Rutnät av elektriska motstånd samt kortslutningsstrådar för bergyta, tunnelperiferi och sprickzoner. Spricksystem b är de två parallella snett mot tunneln gående sprickorna; spricksystem c innefattar dessutom en tvärs dessa gående sprickzon.

Grid of electrical resistances and short-circuiting wires for rock surface, tunnel periphery and crack zones. The crack system b is the two parallel cracks which run diagonally downwards towards the tunnel; the crack system c has, in addition, a crack area which transverses these.



4  
Ekvipotential- och strömningslinjer för ett okomplicerat fall utan sprickzoner och utan tätningar

Equipotential and current lines for an uncomplicated system without crack zones and without sealings

hjälp av ökade elektriska motstånd i maskorna inom den injekterade zonen.

Sammanlagt genomfördes ett femtital försök. Den första tredjedelen av försöken kan snarast betraktas som orienterande. De senare två tredjedelarna avsåg en deloptimering av hur en viss injekteringsvolym skulle fördelas kring tunneln för att minimum av inflöde skulle nås. Motståndsökningen inom den injekterade zonen valdes till 2,5 gånger för 13 försök och fem gånger för de återstående, det vill säga motstånden på 600 ohm byttes ut mot sådana på 1 500 respektive 3 000 ohm.

Redan av teoretiska överväganden framgår att en symmetrisk fördelning av injekteringsvolymen runt tunneln bör ge resultat. Modelförsöken avsåg att närmare verifiera och belysa detta förhållande.

Vid de första försöken uppritades ekvipotentiallinjer för ett okomplicerat fall utan sprickzoner samt utan injektering, bild 4. Genom att dela upp ekvipotentiallinjerna i delar genom vilka lika mycket ström passerade — detta kunde åstadkommas helt enkelt genom mätning av strömmen genom de motstånd som korsade ekvipotentiallinjen — kunde korsningspunkter för strömningslinjerna fastläggas. För en zon dubbelt så bred som tunneldjupet är överensstämmelsen med ekv (1) god, bild 4. För zoner med större bredd är överensstämmelsen något sämre.





Detta beror på att ekvationen (1) förutsätter stor utsträckning i sid- och djupled hos det grundvattenförande berget jämfört med tunneldiametern, ett villkor som inte helt kunnat uppfyllas i modellen. Vidare blir approximationsfelet vid uppritningen av strömningslinjerna relativt stora vid stort avstånd från tunnelcentrum. Noggrannheten kan dock lätt ökas om det skulle vara av intresse att närmare studera perifera strömningar.

Det relativa flödet till tunneln är åtkomligt genom direkt flödesmätning, som redan antytts, men kan även erhållas på enklare sätt och med större noggrannhet. Inverterade värdet av det relativa flödet i en »strömningstrumpe», det vill säga området mellan två strömningslinjer, är proportionellt mot motståndet mellan trumpetens båda ändar. I analogi härmed måste inverterade värdet av totalflödet vara proportionellt mot motståndet mellan grundvattenytan och tunnelperiferin. På så sätt visade det sig vara möjligt att med hjälp av en enda motståndsmätning för varje fall mäta flödesändringen vid en ändring av injekteringszonens placering och med olika antal sprickzoner i tunnelns närhet, tabell 1.

Av försöken framgår som väntat att det fördelaktigaste injekteringsmönstret är jämn fördelning runt om tunneln. En skärm endast ovanför tunneln gav flödet 41, medan jämn fördelning runt om gav flödet 23. Under antagande av tre sprickzoner i tunnelns närhet blev motsvarande flöden 25 respektive 64. Vid helt otät berg utan sprickor är flödet 70 och med sprickor 100.

**Tabell 1**  
Inverkan på inflödet Q och tätningresultatet T av injektionszonens placering kring en tunnel. Samtidig inverkan av närbelägna sprickzoner enligt bild 3 (relativt, %)  
a=inga sprickzoner  
b=två sprickzoner  
c=tre sprickzoner

Table 1  
The effect of the in-flow Q and the sealing T on the location of the grouting zone around a tunnel. The simultaneous effect of neighbouring crack zones as in fig 3 (relativity, %)  
a=no crack zones  
b=two crack zones  
c=three crack zones

Fall; injektionsmönster	Sprickzoner, alternativ					
	a		b		c	
	Q	T	Q	T	Q	T
	70	0	77	0	100	0
	41	41	42	45	64	36
	25	64	25	68	29	71
	23	66	23	70	25	75

### Jämförelse observationer—beräkningar

Genom att jämföra framdriften av en bergtunnel med grundvattenytans nivå månad för månad har det kunnat fastställas vid vilken tidpunkt och på vilket horisontellt avstånd den i ett visst grundvattenrör registrerade vattenytan påverkats.

Med utgångspunkt från dessa observationer har ett första försök gjorts att fördela uppmätt totalflöde på de områden där observationsrören är placerade. Denna kalkyl har lagts till grund för en beräkning av bergets permeabilitet, varvid värdet  $0,3 \cdot 10^{-7}$  m/s erhöles. Det må understrykas att kalkylen har sina brister och att siffran därför är mycket preliminär.

Vad tunneldjupet och dess inverkan beträffar har såvitt känt inga jämförelser gjorts på fältet beträffande influenszonens utsträckning vid ytligt respektive djupt belägna tunnlar.

Vid tätning av berg i en berganläggning försöker man i princip minska permeabiliteten i berget, då ju denna är direkt proportionell mot flödet, ekv (2).

Den gängse metoden har varit att injektera bergrummets övre halva, det vill säga fylla sprickor och hålrum i berget och därmed få en tät skärm i berganläggningens tak och i övre hälften av väggarna. Detta arbete visar sig ofta ge obetydlig minskning av vattenflödet, varför tätningen bättras på genom kompletterande injektering i berggolvet.

Enligt modellförsöken varierar tätningresultatet (100 procent=helt tätt berg) mellan 36 och 45 procent för fallet tätning endast ovan tunneln, tabell 1. Vid osym-

metrisk tätningsskärm runt om tunneln uppnås tätningegrader mellan 64 och 71 procent, medan en symmetrisk tätning runt om tunneln ger mellan 67 och 75 procent.

Då en symmetrisk skärm torde kosta ungefär lika mycket som en osymmetrisk är det förstnämnda tillvägagångssättet att föredra.

Vid injektionsarbeten i bergtunnlar i Stockholm och i Göteborg har tätningegrader mellan 15 och 24 procent uppnåtts vid enbart takinjektering, medan det vid systematisk tätning runt om varit möjligt att uppnå tätningegrader om 61–73 procent.

### Sammanfattning

Påverkan av grundvattenytan har spårats på relativt stort avstånd från en tunneldrivning. Både teoretiskt och praktiskt är emellertid den mest utsatta zonen bredd ungefär lika med dubbla djupet till tunneln, även om grundvattensänkning kunnat konstateras på avståndet 4,5 h, det vill säga motsvarande en influenszon av storleksordningen nio gånger djupet till tunneln.

Genom att utnyttja analogin mellan vätskeflöde och elektriskt flöde har inläckningen till en tunnel enkelt kunnat studeras under varierande förutsättningar. Prov med olika tätningmönster bekräftade att tätning runt om tunneln ger bästa resultat. Permeabiliteten i injektionszonen antogs vara femtedelen av det otätade bergets. I modellen erhöles mellan 66- och 75-procentig tätning — motsvarande praktiska mätvärden från tunnlar i Stockholm och Göteborg är 61 till 73 procent.

Med enbart injektering i tak och övre vägghalva gav modellen 36- till 41-procentig tätning och mätningar i praktiken 15 till 25 procent.

Alltför stor vikt får inte fästas vid modellens siffervärden, då resultatet i rätt hög grad är beroende av valda spricksystem och permeabiliteter.

### Litteratur

- [1] von Brömsen, U: *Grundvattenbildning i geologiskt olika terrängavsnitt*. Stockholm 1968.
- [2] Gustafsson, Y: *Die Strömungsverhältnisse in Gedrängtem Boden*. Stockholm 1964.
- [3] Hellgren, A: *Problemet med grundvattensänkning*. Svensk Naturvetenskap. Stockholm 1966.
- [4] STEGA. Interimsrapport av den 15.11 1967.
- [5] STEGA. Interimsrapport av den 25.2 1968.

UDK 551.491.4  
543.3

Tf professor Erik Eriksson,  
Internationella meteorologiska  
institutet, Stockholm

I artikeln ges en allmän beskrivning av de viktigaste kemiska processerna i vattnets kretslopp. Bland annat nämner författaren att nederbörden ingalunda enbart innehåller destillerat vatten, vilket man tidigare ansett. En rad andra för grundvattnets kemi viktiga ämnen ingår. Artikeln innehåller också en detaljerad undersökning av vattenkemin i Botkyrkaområdet. Avslutningsvis betonas vikten av att kemiska studier får ingå i kunskapsunderlaget för tekniska beslut.

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.

### 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 invid 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 1. Koncentrationerna är inte obetydliga.

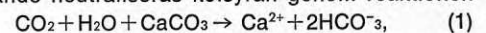
I detta område avdunstar kanske upp till 90 procent av nederbörden. Detta ger en koncentrationsökning i det vatten som slutligen bildar grundvatten av upp till tio gånger. Vissa ämnen får därför en koncentration som ligger ganska nära den som gäller för grundvattnet.

### 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 faunan av diverse insekter och maskar ger tydliga spår. Växtrötterna ersätts hela tiden så att de äldre, döda, bryts ner i en rad kompli-

cerade processer till ursprungsmaterialet, det vill säga 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 vatten utgörs 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.

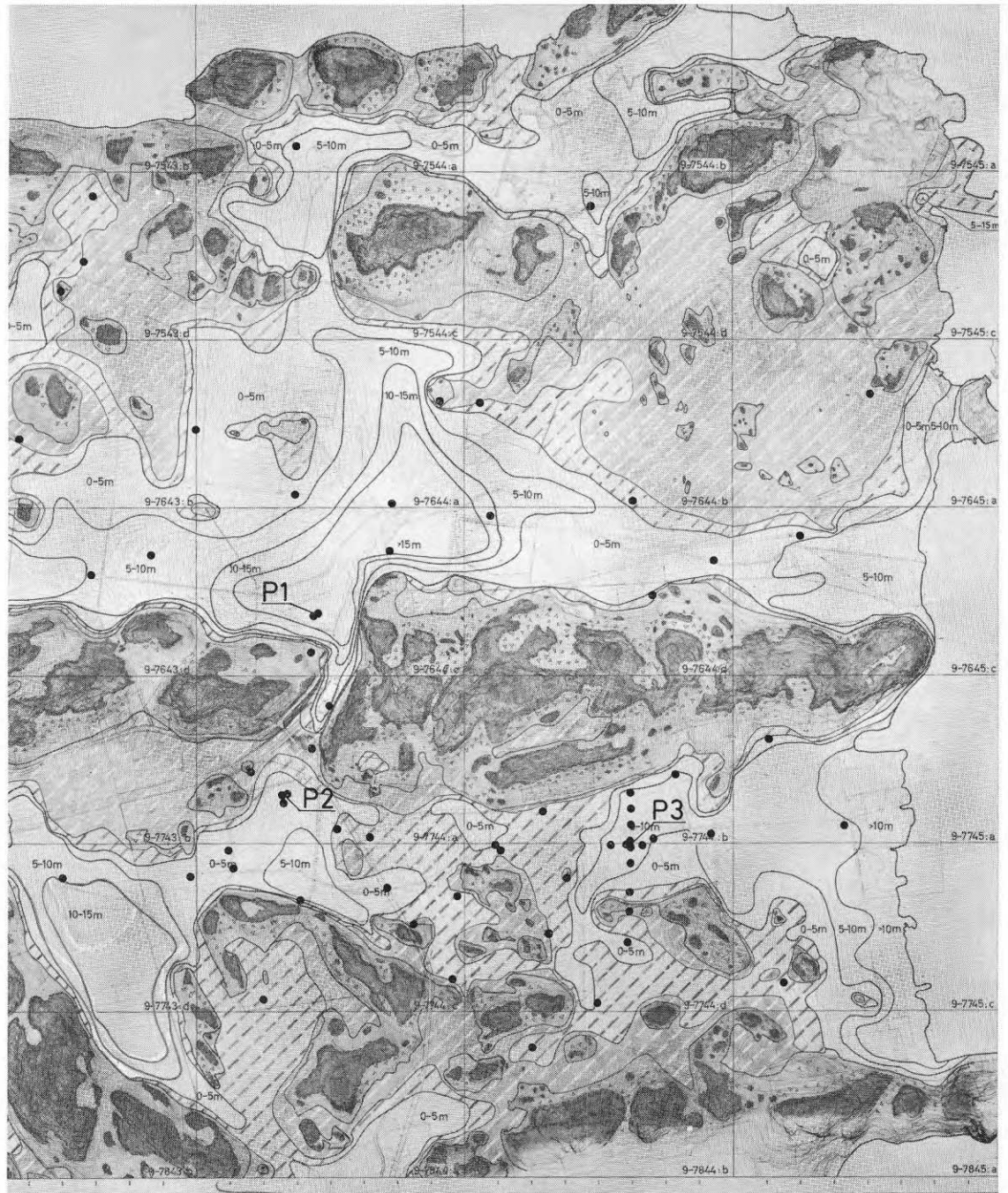
Om nu inte kalciumkarbonat skulle finnas, blir kolsyrekoncentrationen i vattnet betydande. Eftersom andra mineral i marken vittrar endast långsamt, kommer större delen att återfinnas i grundvattnet som fri kolsyra. Denna är en annan viktig beståndsdel i vatten. Den gör vattnet vad man kallar aggressivt, det vill säga 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, till exempel 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.

1  
Plan av Botkyrkaområdet. Fyllda punkter betecknar grundvattenobservationshål. P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> och P<sub>3</sub> är rörburor, den förstnämnda artesisisk, de båda senare med vattenstånd under markytan. I dessa har prov-pumpning skett.

Map of the Botkyrka area. Solid points denote bore holes for ground water recordings. P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> och P<sub>3</sub> are well points where test-pumping has been made.



Kala berghällar eller hällområden med mindre än 1 m jordtäck

Friktionsmaterial. Morän, grus, sand eller grov mo. God bärlighet, föga sättningsbenäget

Huvudsakligen friktionsmaterial med tunna kohesions(ler-)lager, merendels överlagrat av torrskorpelera. Tillåten markpåkänning under torrskorpelera: 1–2 kg/cm<sup>2</sup>. Små sättningar, materialet flytbenäget under vatten.

Huvudsakligen kohesionsmaterial med inslag av friktionsmaterial, överlagrat av torrskorpelera. Liten bärlighet, sättningsbenäget. De finkorniga friktionsmaterialen är flytbenägna under vatten.

Kohesionsmaterial = lera. 5–10 m = lerlagrets mäktighet. Stora delar överlagras av torrskorpelera. Ringa bärlighet, Sättningsrisk.

Blockig morän. Förekommer i friktionsmaterial.

## Kemiska processer i grundvattenmagasinet

När vatten har infiltrerats och passerat vegetations-skiktet är dess kontakt med atmosfären praktiskt taget avklippt. 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 kalifältpater till kaolin. Schematiskt kan reaktionen skrivas

$H^+ + \text{kalifältpat} \rightleftharpoons K^+ + \text{kaolinit} + \text{kiselsyra}$ ,  
det vill säga vätejonen angriper kalifältpaten så att kalium frigöres och kaolinit – ett välkänt lermineral

– och fri kiselsyra bildas. Reaktionen kan gå till jämvikt, och denna kan formuleras ganska enkelt genom villkoret

$$\frac{(\text{kaliumjonkoncentrationen})}{(\text{vätejonkoncentrationen})} \approx 10\,000$$

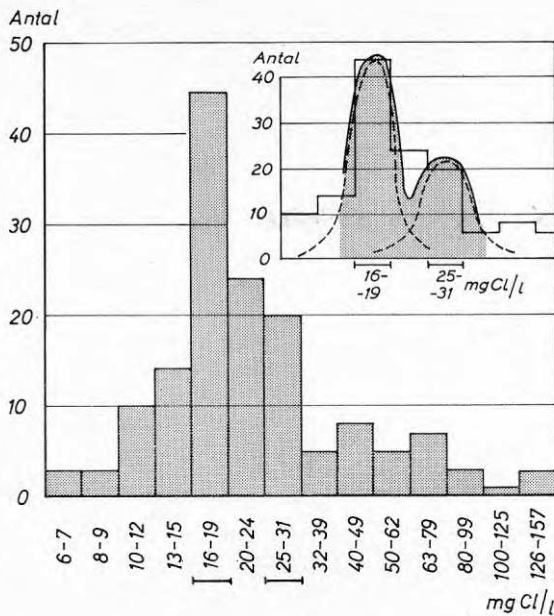
eller enklare

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

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



2  
Frekvenshistogram för kloridhalternas fördelning i Botkyrkaområdet. Proverna tagna i april, juni och augusti 1969.

Frequency histogram for the distribution of the chloride contents in the Botkyrka area

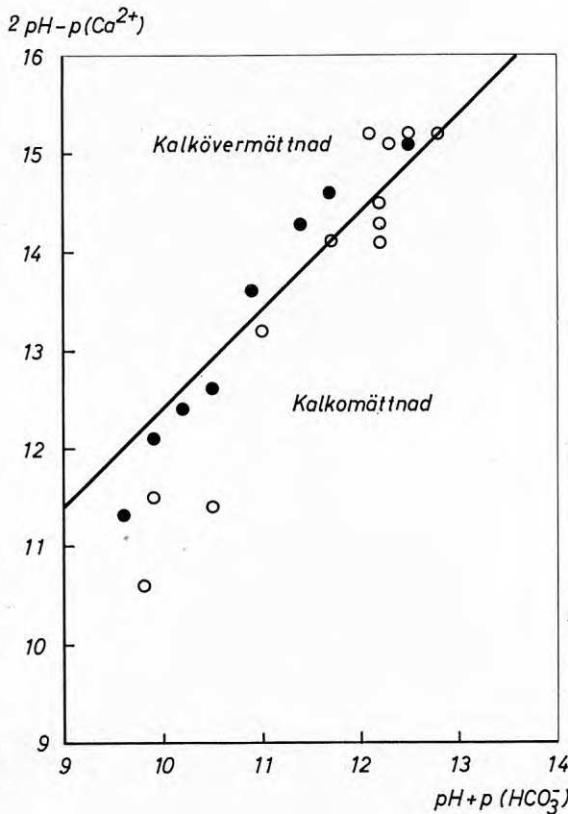
Tabell 1 A-B  
Exempel på nederbördens sammansättning i Erken, nordväst om Norrtälje. A. Extremer samt medelvärden för åren 1955 till och med 1966 (mg/l). B. pH-årsmedelvärden.

	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

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

Table 1 A-B  
Example of the ingredients of rain fall by the lake Erken, about 80 kms north-east of Stockholm. A. Extreme and mean values (mg/l) for the years 1955 to 1966. B. pH annual mean values.

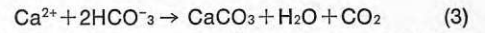


3  
Vätejonhalt minus kalciumjonhalt som funktion av vätejonhalt + karbonatjonhalt, det vill säga kalkmättnadsgraden som funktion av koldioxidtrycket för punkt P<sub>3</sub>, se bild 1.  
○ juni 1969  
● augusti 1969

Degree of chalk saturation as a function of the carbon dioxide pressure for the point P<sub>3</sub> (see picture 1)

nämnda anrikning som skedde i markskiktet vid infiltrationen.

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



Ganska allmänt i naturen förekommer så kallad 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.

### Vattenkemin i Botkyrkaområdet

Området kan topografiskt sett indelas i två delområden, Alby-sänkan och Fittja-sänkan, som bägge med mäktiga lerlager ytdräneras av dikessystem. Mätning av vattenflödet i dessa system har företagits. I samband därmed har också prov tagits för kemisk analys.

Förutom dessa ytvattenprover tas med jämna mellanrum grundvattenprov. I samband med provpumpningen i brunnarna P<sub>2</sub> i passet där E 4 passerar och P<sub>3</sub> i Alby-sänkan togs prov med korta tidsavstånd. Brunnen P<sub>1</sub> är artesisk, bild 1.

I första hand kloridhalterna i rörbrunnarna har en intressant fördelning. Frekvenshistogrammet vid de tre provtagningstillfällena april, juni och augusti 1969 är klassindelad approximativt i en geometrisk serie. Detta eftersom kloridhalterna ligger nära en så kallad lognormal fördelning, bild 2.

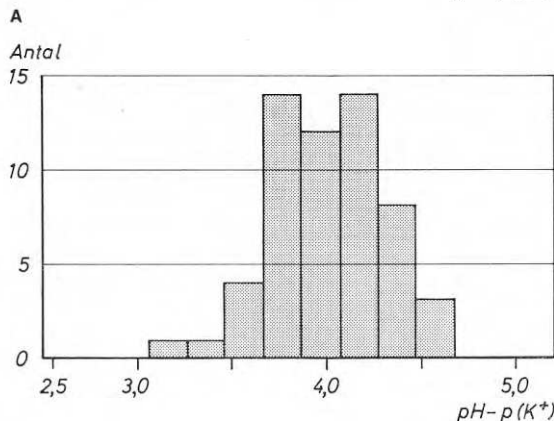
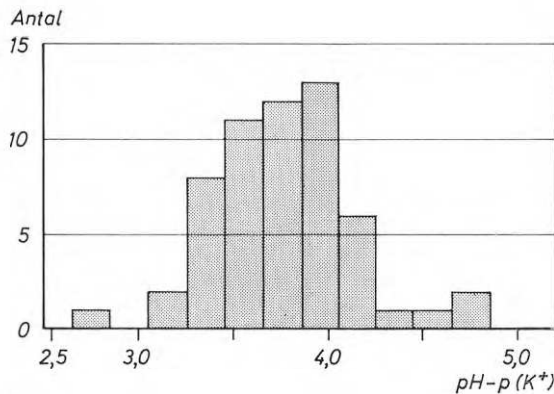
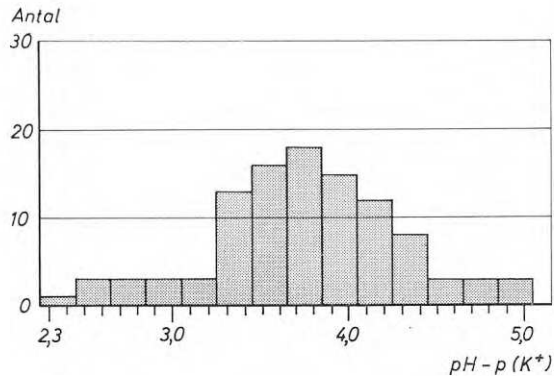
Den mest representerade klassen är 16–19 mg/l, som återfinns i sydvästra delen av Alby-sänkan samt i östra delen av Fittja-sänkan. Klassen 25–31 mg/l kommer från det övriga området i Alby-sänkan, där bland annat provpumpningar i P<sub>2</sub> gett halter mellan 30 och 37 mg/l. Således utgörs frekvensfördelningen av i huvudsak två fördelningar centrerade kring ovanstående koncentrationer. Dessutom finns vissa extremvärden, som troligtvis är mindre representativa. De mycket höga koncentrationerna härrör förmodligen från kontakt med havssediment under lång tid. De låga koncentrationerna kan antas representera vatten som till exempel varit lagrat i spricksystem i berget eller som relativt snabbt passerat området.

I en artesisk rörbrunn i Fittja-sänkan har kloridhalten varierat mellan 9 och 14 mg/l. Den förväntade halten är mellan 5 och 10 mg/l.

Kalkmättnadsgraden i grundvattnet har illustrerats i bild 3. Variablerna är 2 pH - p(Ca<sup>2+</sup>) avsatt mot pH + p(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), där p är negativlogaritmen av koncentrationerna uttryckta i mol/l. Den linje som delar diagrammet i två delar markerar gränsen mellan

4  
Frekvenshistogram för  $\text{pH} - \text{p}[\text{K}^+]$  inom Botkyrka. Proverna tagna i rörbunnarna under april, juni och augusti 1969.

Frequency histogram for  $\text{pH} - \text{p}[\text{K}^+]$  within Botkyrka



5 A-B  
Frekvenshistogram för  $\text{pH} - \text{p}[\text{K}^+]$  för Albysänkan respektive Fittjasänkan under tiden 18.7 1967–11.11 1969.

Frequency histogram for  $\text{pH} - \text{p}[\text{K}^+]$  in the Alby basin (A) and the Fittja basin (B) during the time 18.7 1967–11.11 1969

kalkövermättad (ovanför linjen) och kalkomättad (nedanför linjen).

Grundvattnet från Alby-sänkans västra del är delvis kalkomättat. Nu är  $\text{pH} + \text{p}(\text{HCO}_3^-)$  också ett mått på koldioxidtrycket i vattnet på så sätt att låga värden motsvarar högt partialtryck. Detta innebär att det kalkomättade vattnet är aggressivt. Den koldioxid som tillförts i markskiktet har inte i tillräcklig grad neutraliserats av kalciumkarbonat.

Kalkmättnadsgraden har också samband med klo-

ridhalten. Områden med hög kloridhalt har i regel kalkmättad och motsatsen.

Tidigare har nämnts att vissa lermineraljämvikter tenderar att inställa sig i grundvattnet, framför allt mellan kalifältspat och kaolinit, se (2). Frekvenshistogram över  $\text{pH} - \text{p}(\text{K}^+)$  visar att den förmodade mineraljämvikten i stort sett uppnåtts i grundvattnet, bild 4.

Förutom en ganska normal spridning förekommer en del anomalier med extremt höga värden på  $\text{pH} - \text{p}(\text{K}^+)$  (höga pH-värden).

Emellertid kan man av bild 4 dra slutsatsen att grundvattnet är relativt »gammalt» – minst tio år – vilket som nämnts förefaller vara en minimitid för att denna jämvikt skall etableras. Järnhalterna i grundvattenproven har också undersökts och tyder i de flesta fall på frånvaro av syre i vattnet. Infiltrationen av nederbörd är tydligen relativt långsam och syretäringen hos det organiska materialet i marken är så stor att allt syre förbrukas. Detta medför järnutfällning där grundvattnet kommer i dagen.

På ett tidigt stadium av undersökningarna stod det klart att ytvattnet i sänkorna knappast representerar enbart avrinnande nederbörd. Kloridhalterna varierar med årstiden från 30 till 60 mg/l och i enstaka fall högre. Dessa kloridhalter är högre än för typiska ytvatten, varför troligen dikessystemen i själva verket utgör dränering för grundvattnet. Säsongsvariationen kan då förklaras som avdunstningseffekt med lättförklarliga ökade kloridhalter under sommarhalvåret.

Kalkmättningen är också i regel hög, speciellt i Fittja-sänkans ytvatten, som visar övermättad praktiskt taget hela året. Alby-sänkan följer också samma mönster.

Det kanske avgörande indiciet på att grundvattnet är ursprung är differensen  $\text{pH} - \text{p}(\text{K}^+)$  som redovisas i frekvenshistogrammen i bild 5 för hela undersökningsperioden juli 1967 till och med november 1969. Av denna framgår att »ytvattnet» med största sannolikhet är vatten som tillbringat en avsevärd tid i jorden.

### Sammanfattande synpunkter

De kemiska undersökningarna av vattenprover från Botkyrka har visat förekomsten av två olika grundvattenregioner inom området. Dessa karakteriseras bland annat av olika kalkmättnadsförhållanden.

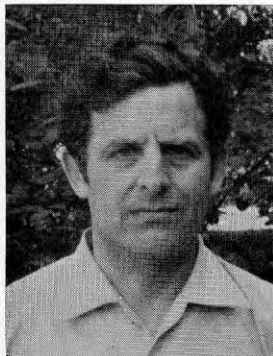
Ytvattnet i området har befunnits härstamma från grundvatten som trängt upp till ytan.

Av praktiskt intresse är bland annat kalkmättningen i den ena grundvattenregionen, som kan leda till korrosionsskador på betongkonstruktioner.

Kemiska studier ger uppenbarligen relief åt bilden i stort och är ett användbart instrument för att bygga upp ett kunskapsunderlag väl ägnat att grunda kommande tekniska beslut på.

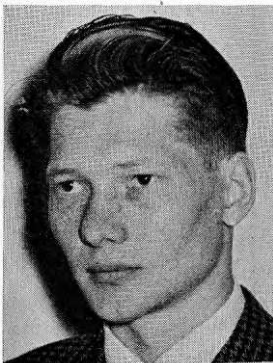


# Bakteriell nedbrytning av pålvirke



Fil lic Julius Boutelje, Svenska Träforskningsinstitutet, Stockholm

lakttagelser i samband med grundförstärkningsarbeten under en del gamla, kulturhistoriskt värdefulla byggnader i Stockholm har aktualiserat tanken att trä under grundvattenytan skulle kunna vara utsatt för rötskador. Behovet av forskning kring detta problem har också känts angeläget. Sedan 1967 arbetar man sålunda inom forskningsgruppen STEGA med undersökningar rörande nedbrytning av pålvirke. En inblick i forskningsproblematiken på detta område ges i artikeln.



Fil lic Bo Göransson, Institutionen för mikrobiologi, Lantbrukshögskolan, Ultuna

I många äldre städer sker en genomgripande omvandling av de centrala delarna. Härvid aktualiseras grundläggningsproblemen för äldre, kulturhistoriskt värdefulla byggnader.

Forskningsgruppen STEGA, som bedriver byggtekniskt inriktad forskning om grundvattenfrågor, har anmodats av Bygghälsorådet att på sitt program ta upp problemet om nedbrytning av pålvirke under grundvattenytan.

Denna nya tanke att trä under grundvattenytan skulle kunna vara utsatt för rötskador har just uppkommit i samband med grundförstärkningsarbeten under några av våra kulturhistoriskt värdefulla byggnader i Stockholms centrum.

## Upprinnelsen till forskningsarbetet

Vid undersökning av pålmaterial från bland annat Riksdagshuset och Operan kunde konstateras att pålarnas hållfasthet var avsevärt nedsatt, tabell 1 och bild 1.

Boutelje kunde konstatera att den mikroskopiska angreppsbilden inte var karaktäristisk för svampangrepp i dessa fall. Djuggående svampangrepp ansågs dessutom osannolika, eftersom veterligen pålarna alltsedan byggnadens uppförande varit belägna under grundvattenytan.

Ehuru helt säkra indikationer saknades, fanns emellertid så pass många indicier på att angreppen skulle kunna vara av bakteriell karaktär att en närmare undersökning kunde anses vara motiverad.

Det forskningsarbete som pågått sedan början av år 1967 innefattar en träteknisk del, vilken bedrivs vid Träforskningsinstitutet under ledning av Boutelje, en mikrobiologisk del som bedrivs vid Lantbrukshögskolan i Ultuna och som leds av Göransson. Ansvarig för forskningsprojektet inom STEGA är docent Lennart Arnborg, Uppsala. Genom hans försorg görs också de kemiska miljöanalyserna.

## Något om mikroorganismer

Bland mikroorganismerna utgör de mikroskopiska svamparna och bakterierna viktiga grupper. De kan i korthet karaktäriseras på följande sätt. Svamparna består av fina, flercelliga trådar, hyfer, som bildar ett nätverk. Detta kallas mycel.

Svamparna lever antingen på och av levande organismer, 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 entydigt, eftersom gruppen är så oenhetlig. Grovt generaliserat kan sägas att bakterier är encelliga organismer som saknar växtklorofyll. Bakterier är ofta stav-, klot- eller spiralformade. Formrikedomen är liten.

Artbestämning av bakterier baseras därför som regel på olikheter i deras biokemiska egenskaper. Bakterier kan vara rörliga eller orörliga. Många bakterieslag kräver syre för att kunna växa, det är de aeroba formerna. Åter andra är anaeroba, för dessa verkar syre som ett gift, och de kan icke växa i dess närvaro.

Precis som varje annan organism har alltså även mikroorganismerna vissa fundamentala miljökrav. Hit räknas också krav på viss fuktighet, temperatur och lämplig surhetsgrad (pH) samt tillgång till salter och eventuella tillväxtfaktorer (vitaminer etc).

## Glimtar av problematiken

De viktigaste skadegörarna på trä ovan jord är röt-svampar. Mögelrötsvamparna trivs med hög fuktighet och fordrar ringa syre för sin tillväxt.

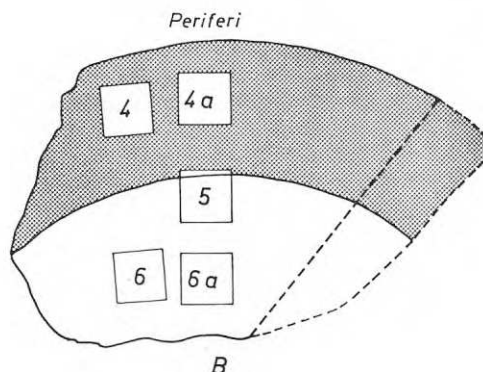
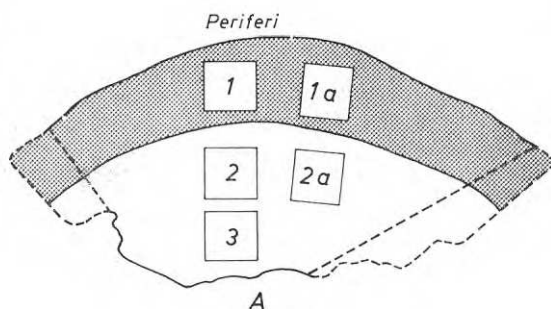
När fuktkvoten blir mycket hög, för till exempel barrträd gäller detta för fuktkvoter över 120 procent, så är vedens cellhåligheter till största delen fyllda med vatten. I så fall blir brist på syre en häm-

### 1 Pålprover från Kungl Operan

Material from piles from the Royal Opera House

■ mörk missfärgad zon  
dark, stained zone

□ material för mikroskopisk undersökning  
material for microscopic studies



Tabell 1  
Resultat av en tryckprovning av prismor tagna ur två pålar från en provgröp under Operan. Jämförelse med friskt trä. Prismornas läge framgår av bild 1.

Table 1  
Results of a compression test on prisms taken from two piles from a test hole under the Opera House. Comparison with sound wood. Location of prisms indicated in fig. 1.

Påle/Prisma	Fukt-kvot %	Torr densitet g/cm <sup>3</sup>	Tryckhållfasthet	
			$\sigma$ kp/cm <sup>2</sup>	$\sigma/\sigma=250$ relations-tal <sup>2</sup>
Friskt trä	— <sup>1</sup>	0,38—0,50	200—300	1,0
A/1	146	0,43	188	0,75
A/1 a	138	0,43	182	0,73
A/2	43	0,50	278	1,07
A/2 a	45	0,54	323	1,29
A/3	37	0,55	301	1,20
B/4	440	0,17	40	0,16
B/4 a	419	0,18	57	0,23
B/5	74	0,32	134	0,54
B/6	70	0,30	138	0,55
B/6 a	90	0,31	137	0,55

<sup>1</sup> över fibermättnadspunkten

<sup>2</sup> hållfasthetsvärden för friskt ved kan variera i hög grad och relationstalen ger följaktligen bara ett indicium på om materialet är angripet

mande faktor för rötsvampar. Man brukar allmänt anta att utveckling av mögelrötsvamparna i en sådan miljö är begränsad till perifera veddelar (se artikeln *Nedbrytning av pålvirke i kv Cadmus* på annan plats i detta nummer).

Just dessa förhållanden torde ha bidragit till att möjligheten av mikrobiologiska angrepp under vatt-net hittills knappast beaktats.

Angrepp av anaeroba eller mikroaerofila bakterier synes vara en nära till hands liggande förklaring till de angrepp som konstaterats.

Framför allt är de anaeroba bakteriernas inverkan på trä föga studerad.

Trä är kemiskt komplicerat. Huvudkomponenterna i barrved utgörs av cellulosa, hemicellulosa och lignin. Samtliga dessa substanser utgörs av mycket stora molekyler. Mikroorganismer som skall kunna tillgodogöra sig sådana substanser måste ha enzymer som först kan bryta ned dem till enklare föreningar, som sedan kan upptas via organismernas cellväggar.

Vedanatomiskt skils på splintved och kärnved. Kärnveden innehåller mer så kallade extraktivämnen än splinten och har även lägre permeabilitet. I kärnveden hos flera träslag förekommer substanser som hämmar mikroorganismers tillväxt. Detta avspeglas ofta tydligt i angreppsbilderna från utsatt virke.

När det gäller angreppsmönster hos barrträd skiljer sig mögelröten från andra rötsvampar. Dess myceltrådar växer till stor del i själva cellväggarna, bild 2. Därvid bildas enzymer, som angriper vedcellens väggar och förorsakar typiska långsträckta rombiska urgröpningar med tillspetsade ändar, bild 3.

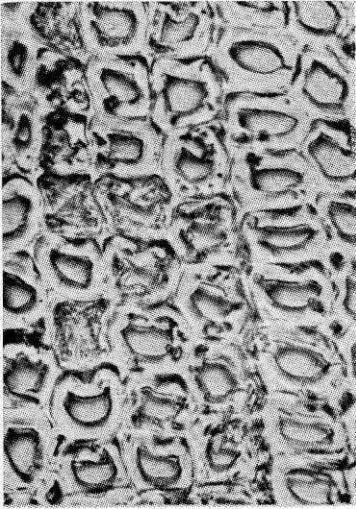
Hos övriga rötsvampar växer svamptrådarna i cellhålligheterna och angreppet sker här från randen av cellhålrummet in i cellväggen.

I bilderna 4 och 5 visas angrepp som troligen är förorsakade av bakterier. Som stöd för denna uppfattning kan exempelvis anföras att rombiska urgröpningar typiska för mögelrötsvampar helt och hållet saknas. Vanlig röta kan i det relaterade fallet inte förekomma, eftersom pålarna i fråga ständigt stått under grundvattenytan. Inte heller kan svamptrådar observeras i eller vid de eroderade cellväggsdelarna.

De delar av vedcellerna som angripits består till största delen av cellulosa. Därför har intresset fokuserats på cellulosanedbrytande bakterier. Sådana har också isolerats ur pålmaterialet, och vid skadade ställen i vedstrukturen har anhopningar av bakterier kunnat konstateras.

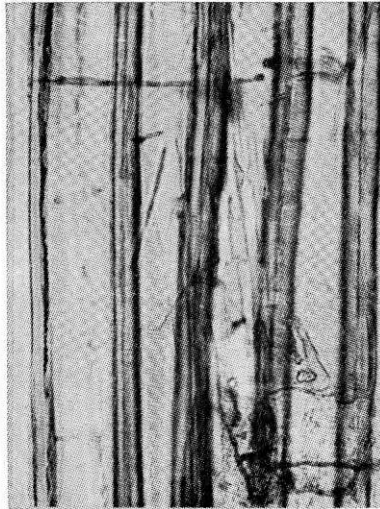
Från centrala påldelar, kärnved, har inga cellulosa-nedbrytande bakterier kunnat isoleras, och här har heller inte några strukturskador kunnat observeras.

Dessa observationer till trots kan det ännu inte definitivt påstås att de konstaterade skadorna beror på bakterieangrepp.



2 Mögelröta vid gränsen mellan splint och kärnved, tvärsnitt

Rot at the boundary zone between heartwood and sapwood, transverse section

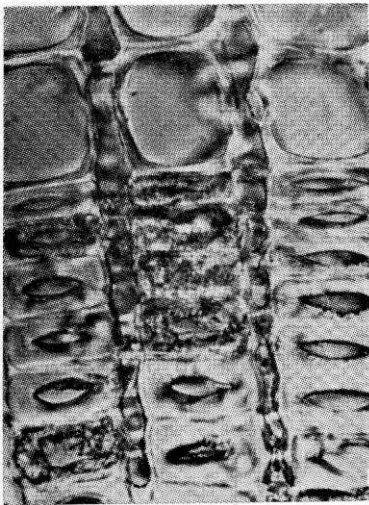


3 Mögelröta vid gränsen mellan splint och kärnved, längdsnitt

Rot at the boundary zone between heartwood and sapwood, longitudinal section

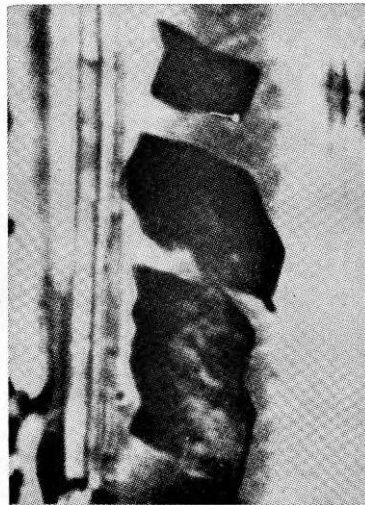
4 Bakteriell nedbrytning, tvärsnitt

Bacterial decomposition, transverse section



5 Bakteriell nedbrytning, längdsnitt

Bacterial decomposition, longitudinal section



### Mikrobiologiska undersökningsmetoder

Den mikrobiologiska undersökningen av pålprover utförs i stora drag på följande sätt.

Träprov tas ut från olika nivåer i varje enskild provtrissa. Träproverna finfördelas i steriliserad odlingsvätska och överförs därefter aseptiskt, det vill säga så att de inte kan smittas utifrån, till kolvar eller rör beskickade med olika flytande näringslösningar. Samtliga näringslösningar har enbart cellulosa som kolhydratkälla. Kolvar och rör hålls förseglade under odlingstiden, så att inte mikroorganismer från den omgivande luften kan infektera dem. Odling sker under såväl aeroba som anaeroba förhållanden. I de senare fallen görs odlingen på tjocka glaströr försedda med ansatsrör. Efter ympning ersätts luften med en blandning av 90 procent kvävgas och 10 procent koldioxid. Ansatsröret smälts därefter till för att inget syre skall kunna diffundera in i näringslösningen. På det här viset får man i första steget fram blandkulturer där cellulosedbrytande bakterier anrikats – förutsatt att sådana finns i provet. I naturen är det mindre vanligt att man påträffar renkulturer, det vill säga ett enda slag av mikroorganismer. Det råder ofta ett samspel mellan olika mikroorganismer såtillvida att till exempel ett bakterieslag kan vara beroende av någon tillväxtfaktor, som i sin tur bildats av någon annan bakterieart. Ett sådant beroende av andra mikroorganismer för tillväxten tycks ofta föreligga, i all synnerhet för anaeroba cellulospjälkare, vilket försvårar deras renodling.

Anaeroba bakterier odlade ur infekterat pålmaterial från kvarteret Python i Stockholm visas i bilderna 6 och 7. De tändsticksliknande formerna är karaktäristiska för den blandflora som erhålls vid anaerob odling. Dessa arter (tillhörande släktet *Plectridium*) är aktiva cellulospjälkare, bild 6.

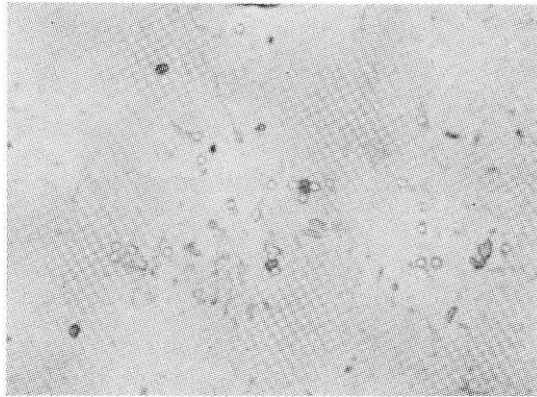
Aeroba cellulospjälkare, bild 8, är relativt enkla att få fram i renkulturer och därför har så många som möjligt av dessa och deras följeorganismer renodlats – i sig själva förmår följeorganismerna inte att utnyttja cellulosa men kan ha betydelse för de aktiva cellulospjälkarnas tillväxt.

En så fullständig kunskap som möjligt om ursprungsfloras sammansättning är från många synpunkter önskvärd. Artbestämningar har därför i möjligaste mån genomförts.

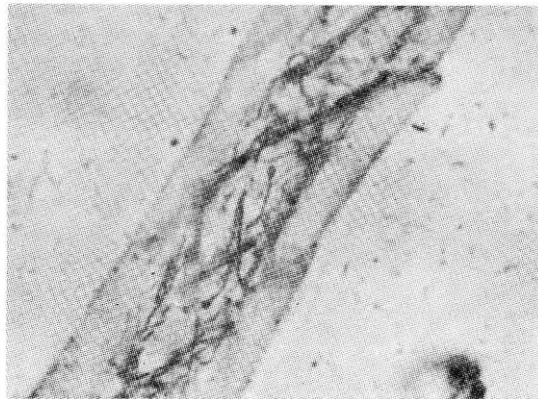
### Undersökning av skador i bakterieympad ved

Laboratorieförsöken skall visa om blandkulturer av bakterier i friskt trä kan ge samma angreppsmönster som observerats i grundläggningsspälar och som till-

6-7

Anaeroba bakterier från kv  
PythonAnaerobic bacteria from kv  
Python

6



7



8

8

Aeroba cellulospjälkare

Aerobic cellulolytic bacteria

skrivits bakterier. Därför sker nu ympning med bakteriekulturer, isolerade ur angripet pålmaterial på friska cirka 0,02 mm tjocka vedsnitt. Sådana försök pågår med såväl aeroba som anaeroba blandkulturer. Förhoppningen är att man direkt i snitten skall kunna konstatera om angreppsmönstret erhålls eller ej. Om så blir fallet skall den eller de bakterier som orsakar nedbrytningen bli föremål för renodlingsförsök. Lyckas försöken så vore det därigenom definitivt bevisat att bakterier bryter ned pålar under grundvattnet. Vid tidigare ympningsförsök konstaterades visserligen en penetrering och anhopning av bakterier i vedstrukturen, dock iaktogs inga påtagliga strukturskador. Vid försöken med aeroba och mikroaerofila blandkulturer observerades efter ett år ingen nedbrytning i vedsnitten. Thomas Nilsson vid Skogshögskolan har dock vid ympning av färsk furusplintved med bakterier isolerade ur dy i anaerob odling konstaterat en angreppsbild i veden liknande den som ofta observerats i pålar. Varför försöken med dybakterier lyckats utreds nu närmare.

Dessutom har olika forskare med elektronmikroskopi observerat bakterier i ett direkt sammanhang med skador i vedstrukturen.

### Obesvarade frågor

De miljöbetingelser som råder i och kring pålar under grundvattenytan är ännu föga kända. Vid provtagning i fält insamlas jord- och vattenprover från varje ställe där provpålar tas. På det materialet utförs sedan analyser som kommer att ge upplysningar om syrgashalt, närsaltkoncentrationer med mera.

En fråga av praktisk betydelse är hur snabbt en eventuell nedbrytning sker. Bakteriell nedbrytning in situ sker förmodligen långsamt, eftersom processen är bunden till kontaktzonen mellan bakterie och vedsubstans. För bakterier utgör vedceller ett besvärligt »substrat». Förutom cellulosa, som ju är fullständigt olöslig i vatten, innehåller de också lignin, som kan vara mer eller mindre associerat med cellulosan. Ligninet försvårar den bakteriella cellulosedbrytningen.

För svamparna är de mekaniska hinder som fibrerna utgör för ett inträngande lättare överkomliga. I litteraturen anges dessutom att svampenzymer snabbare skulle diffundera in i veden.

Frågor som också pockar på svar är om angreppen är av sent datum och om de har något samband med den pågående allmänna miljöförstörelsen, och sist men inte minst — hur skall angrepp av detta slag hejdas?

# Nedbrytning av pålvirke i kvarteret Cadmus, Stockholm

UDK 620.193.8  
624.154.2  
691.11

Ett enastående tillfälle att göra en bred vetenskaplig undersökning av nedbrytningsprocesser i grundläggningsvirke erbjöd sig då man i början av detta år frilade grundläggningen av en fastighet i Gamla stan i Stockholm. Undersökningen, som görs i forskningsgruppen STEGA:s regi, beskrivs och kommenteras i artikeln. För ytterligare belysning av materialet hänvisas till artikeln *Mikrobiologiska undersökningar av pålvirke från kvarteret Cadmus* på sidan 33.

I början av detta år frilades grundläggning under fastigheten Skeppsbron 46, kvarteret Cadmus i Gamla stan. Där gavs tillfälle att utföra undersökningen »efter konstens alla regler». Detta är förmodligen unikt såtillvida att det synes vara första gången som kemiska miljöanalyser av vatten och jord kunnat utföras samtidigt med att träprover undersökts kemiskt, mikroskopiskt, mekaniskt och med avseende på mikrobiellt liv.

Grundläggningsvirket i fråga, en horisontellt ligande furustock, låg 64 cm under den aktuella grundvattenytan och 18 cm under Saltsjöns lägsta kända vattenstånd.

## Miljöanalyser

Miljöanalyserna utfördes av AB Hydroconsult. Resultaten från analyserna av vatten- och jordprov från grundläggningen visas i tabellerna 1 A–B. De höga kväve- och fosforhalterna samt bakteriehalterna indikerar att vattnet kring pålarna är förorenat. Syrehalten var endast 0,9 mg/l, och man kan anta att värdena har varit ännu något lägre innan gropen grävdes. En närmare förklaring till värdena från vattenanalyserna ges i artikeln *Mikrobiologiska undersökningar av pålvirke från kv Cadmus* i detta nummer.

## Kemiska analyser av grundläggningsvirket

Materialet har en cirka 4 cm bred, svårt missfärgad zon, som består av splintvedens rester, bild 1. Denna zon uppdelades i tre delzoner, varifrån prover uttogs med ökande avstånd från periferin.

Dessutom undersöktes prov i kärnveden, alldeles intill det missfärgade området.

Den genomsnittliga polymerisationsgraden beräknades med gränsviskositetsbestämningar. Enzymatiska glukosbestämningar utfördes med glukosoxidas. Dessa värden är absoluta och har omräknats till pro-

centhalt glukos (anhydroglukos) i träet. Resultaten av de kemiska analyserna av pålverket har sammanfattats i tabell 2. Värdena för askhalt, kväve och fosfor är kraftigt förhöjda i den missfärgade splintveden (jämför med värden för kärnvedsdelen och med litteraturvärden för färsk furusplintved). Som framgår av tabell 2 är tydligen värdena för askhalt, kväve, fosfor, lignin, galaktos, glukos och glukos mycket olika i missfärgad och icke missfärgad ved. DP-värdena<sup>1</sup> i den yttre delen av den missfärgade zonen är något lägre än i icke missfärgad respektive frisk ved.

## Mikroskopiska observationer

Höstvedens nedbrytning är nästan lika intensiv tvärs igenom den missfärgade zonen medan nedbrytningen i värveden minskar i riktning mot splintvedsgränsen. Att nedbrytningen är mycket intensiv och nästan slutar tvärt i den icke missfärgade delen visas klart i bilderna 2 och 3. Mörkfärgade svamphyfer är mycket frekventa i den angripna veddelen, bild 3.

I många fiberväggar kan kanaler observeras som löper spiralformigt i fibrernas längsriktning. De är typiska för mögelröta och vittnar om att denna typ av svampangrep har en betydande andel i nedbrytningen, bilderna 4, 5 och 6. Flera olika mögelrötsvampar deltar förmodligen i angreppet och detta kan vara orsaken till att kanalernas form är mycket varierande. Såväl smala som mycket breda kanaler förekommer. De senare är ofta nästan helt uppfyllda av breda segmenterade hyfer.

Det är tydligt att nedbrytningen sker först och främst i väggskikten nära cellhållrummet, bild 7. Dessa skikt lossnar inte sällan och kvarlämnar de centrala väggskikten mer eller mindre intakta. De centrala väggskikten är galaktosrika, vilket kan förklara de höga galaktoshalterna i den nedbrutna veden, tabell 2.


Märgstrålarnas parenkymceller är ofta förstörda,

<sup>1</sup> Anger holocellulosans genomsnittliga polymerisationsgrad

1  
Skiss av stockens tvärsnitt, i skala 1:2. Splintveden är kraftigt missfärgad.

Sketch of the cross section of the log. Scale 1:2. The sapwood is very much discoloured

 splintved  
sapwood

 kärnved  
heartwood

 provbit som undersökts mikroskopiskt  
test piece for microscopic studies

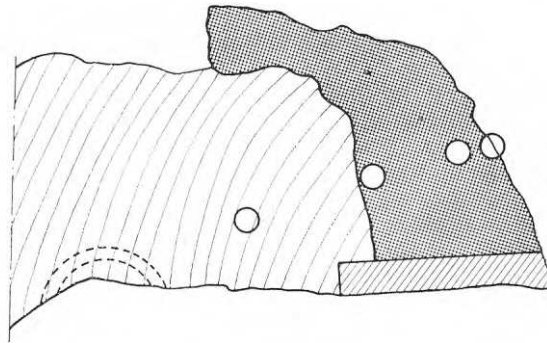


bild 6. I riktning mot splintvedsgränsen minskar dock deras nedbrytning, bild 8.

Flera tecken tyder på att nedbrytningen inte enbart är försäkrad av mögelröta. Intensivt angripna vävnadsdelar utan svamphyfer eller kanaler förekommer. I synnerhet nära splintvedsgränsen finner man rätt allmänt tråg- eller V-formade erosionsmönster i cellväggen, bild 8. Dessutom visar bild 9 hur gårdarna till ringporer mellan två vedfibrer delvis eroderats bort. Såväl de tråg- eller V-formade erosionsmönstren som angrepp på ringporers gårdar har beskrivits av flera forskare i samband med bakteriella angrepp. Det är därför sannolikt att även bakterier har bidragit till nedbrytningen i detta fall.

### Mikrobiologiska undersökningar

Både svampar och cellulosanedbrytande bakterier har isolerats ur den missfärgade veddelen. Dessa odlingar har utförts av licentiat B Göransson vid

Tabell 1 A-B

Analys av vattenprov (A) respektive tre jordprover från en grundläggning i kv Cadmus, Skeppsbron 46 den 2.2.1970. Jordproverna är tagna omkring och under pålen. De är mycket heterogena och innehåller jord, kalkbruk, tegel, träbitar med mera.

Table 1 A-B

Analysis of water samples (A) and three soil samples from a foundation works in kv Cadmus, Skeppsbron 46 2<sup>nd</sup>.2.1970. The samples have been taken from around and underneath the piles. They are very heterogeneous and contain lime mortar, brick, bits of wood etc.

Spec ledningsförmåga, K · 10 <sup>6</sup>	1 100
pH	7,0
Klorid, mg/l Cl	83
Sulfat, mg/l SO <sub>4</sub>	18
Ferrojärn, mg/l Fe(II)	0,12
Ammonium, mg/l NH <sub>4</sub>	3,5
Nitrit, mg/l NO <sub>2</sub>	<0,01
Nitrat, mg/l NO <sub>3</sub>	<0,1
Kväve enl Kjeldahl, mg/l N	7,8
Fosfat-fosfor, µg/l PO <sub>4</sub> -P	1 740
Totalfosfor, µg/l P	1 740
Syre, mg/l O <sub>2</sub>	0,9
Totala antalet bakterier (22°C), pr ml	15 000
Tot antalet coliforma bakt (35°C), pr 100 ml	17
Antal termostabila coliforma bakt (44°C), pr 100 ml	2

Prov nr	1	2	3
Torrsubstans, % TS	50	43	73
Glödförlust, % av TS	15	17	3
Kväve enl Kjeldahl, mg N/g TS	2,3	2,3	0,8
Totalsvavel mg S/g TS	2,6	—	3,0
Sulfat, mg/g TS, SO-S	0,4	—	0,7
Ferrojärn, µg Fe(II)/g TS	<1	—	<1

Tabell 2

Kemiska data för grundläggningens virke och jämförande data för färsk furusplintved (TS=torr substans; DP=genomsnittspolymerisationsgrad). Proven är tagna från kv Cadmus, Skeppsbron 46, den 2.2.1970.

Table 2  
Chemical data for foundation timber and comparable data for sound sapwood (TS=dry content; DP=mean degree of polymerisation). The samples are taken from kv Cadmus, Skeppsbron 46, the 2<sup>nd</sup>.2.1970.

	Missfärgat område, splintved			Icke missfärgat område, kärnved		Färsk furusplintved	
	10-12 cm från stockens centrum	8-10 cm från stockens centrum	Intill splintvedsgräns (7-8 cm från centrum)	Intill splintvedsgräns (6-7 cm från centrum)	1-3 cm från stockens centrum		
Askhalt (%)	4,6	1,7	—	—	0,5	0,2-0,4 <sup>1</sup>	
Kväve enl. Kjeldahl (mg/g TS)	7,05	4,19	—	—	0,94	≈1 <sup>1</sup>	
Total fosfor (µg/g TS)	865	465	—	—	0,7	70-140 <sup>1</sup>	
DP	1 020	1 080	1 220	1 180	—	1 230	
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	
Summa	100,0	100,0	100,0	100,0	—	100,0	

<sup>1</sup> Enligt litteraturen

Prisma nr	Prismas storlek cm	Prismas läge i stockens tvärsnitt	Torr densitet <sup>1</sup> $r_{ou}$ g/cm	Fukt-kvot <sup>2</sup> u %	Tryckhållfasthet kp/cm <sup>2</sup>
1	1,5×1,5×3	Yttre delen av den missfärgade zonen	0,22	310	26
2	1,5×1,5×3	Mitt i den missfärgade zonen	0,24	234	27
3	1,5×1,5×3	Inre delen av den missfärgade zonen, något kärnved ingår	0,32	205	72
4	1,5×1,5×3	Yttre delen av icke missfärgade zonen	0,52	63,5	213
5	1,5×1,5×3	Yttre delen av icke missfärgade zonen	0,48	56	187
6 a	1,5×1,5×3	ca 1 cm från stockens centrum	0,46	77	204
6 b	1,5×1,5×3	ca 1 cm från stockens centrum	0,45	84	204
7	2×2×6	ca 1 cm från stockens centrum	0,47	119	195
8	2×2×6	ca 1 cm från stockens centrum	0,55	61	236

<sup>1</sup> Torrdensitet  $r_{ou} = \frac{\text{vikt i absolut torrt tillstånd (g)}}{\text{volym vid fuktkvot u (cm}^3\text{)}}$

<sup>2</sup> Fuktkvot u = vattenmängden i träet i procent av dess torra vikt.

**Tabell 3**  
Tryckhållfasthet, fuktkvot och densitet hos grundläggningsvirket från kv Cadmus

Table 3  
Compression strength, moisture content and density of foundation timber from kv Cadmus

Lantbrukshögskolan i Uppsala och av licentiat T Nilsson vid Skogshögskolan i Stockholm. Göransson har meddelat att han även har isolerat en aktinomycet (*Micromonospora*) ur veden. Nilsson har uppgivit att två mögelrötsvampar, en *Chaetomium*-art och en svamp med bruna hyfer (en *Phoma*-art?) har isolerats ur materialet (se vidare artikeln *Mikrobiologiska undersökningar av påvirke från kv Cadmus*).

### Hållfasthet och densitet

Hållfasthetsvärdena bekräftar resultaten av de kemiska och mikroskopiska analyserna. Tryckhållfasthet och densitet för vedprismor från den missfärgade splintveden är mycket lägre än för prismor ur kärnveden, tabell 3. Kärnvedens tryckhållfasthet kan anses vara normal, medan den resterande tryckhållfastheten i splintvedsdelen är mycket låg.

Vid tryckhållfasthetsprovningsen avpassades deformationshastigheten till 0,3 procent/minut. Proven utfördes i en maskin av märket Alwetron. Provkroppstorleken kunde icke hållas konstant, men dess inflytande på värdenas variation bör vara försumbar (jämför t ex de »korta» proven 6a och 6b med de »långa» proven 7 och 8, som alla är tagna på lika avstånd från stockens centrum).

Kärnvedens densitetsvärden är normala, medan i splintveden en approximativt 50-procentig substansförlust har skett.

### Diskussion och slutsatser

Nedbrytningen av ved under vatten kan tydligen ske på många olika sätt. Vid denna undersökning var angreppet djupt med hela splintveden nedbruten. Till stor del är nedbrytningen förorsakad av mögelröta, men den beror sannolikt också på bakterieangrepp.

Vid andra undersökningar av liknande material har nedbrytningen haft annan karaktär, till exempel mögelröta vid periferin och »bakteriellt angrepp» djupare in i veden. Det är tydligt att mögelrötsvampar, förmodligen i samarbete med bakterier, kan bryta ned furusplintved under grundvattenytan även i mycket syrefattig miljö. Det är också tydligt att denna nedbrytning under vissa omständigheter kan bli mycket omfattande och beröra hela splintveden.

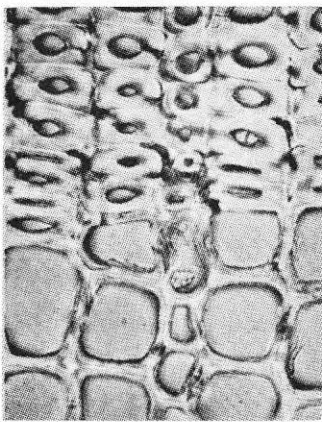
Det är inte osannolikt att en hög kvävehalt hos grundvattnet verksamt bidrar till att nedbrytningen blir intensiv. Flera forskare har visat att den ringa naturliga mängden kväve i ved är en begränsande faktor för svamputveckling och särskilt för mögelrötsvampar.

Även i andra delar av Gamla stan i Stockholm har svåra angrepp på grundläggningarna konstaterats. I ett av dessa fall visade vattenanalyser att grundvattnets kvävehalt även här var hög. Givetvis får man inte bortse från att grundläggningarna i Gamla stan är av hög ålder. Materialet för denna undersökning visade sig vid radioaktiv datering vara 470 år ( $\pm 100$  år)!

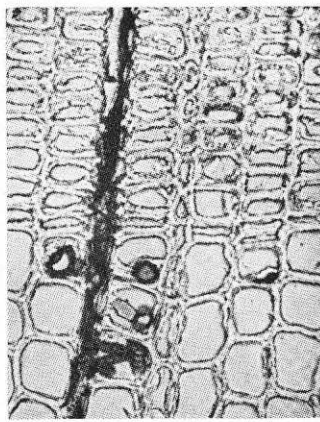
En annan jämförelse kan göras med påvirket från gamla Hisingsbron i Göteborg. Där observerades några centimeter in i veden, längs märkestrålarna, fläckvis fiberrader som var tydligt nedbrutna, medan övriga vedpartier på detta djup var väl bibehållna. Samma fenomen har observerats vid flera andra undersökningar av grundläggningsvirke under vattenytan. Detta typiska angreppsmönster – angreppet tillskrevs i det relaterade fallet bakterier – kan möjligtvis förknippas med lokal tillgång till kväve eftersom märkestråleceller utgör barrvedens viktigaste kvävekälla.

I det här aktuella undersökningsmaterialet observerades enbart en ringa minskning av holocellulosaens genomsnittliga polymerisationsgrad (DP-värde) trots att materialet var svårt nedbrutet. Detta är i och för sig i överensstämmelse med laboratorieförsök med mögelrötsvampar, som visar initial ökning av polymerisationsgraden av vedens  $\alpha$ -cellulosa vid rötning med *Chaetomium*. Efter denna initiala ökning sjunker värdena igen för att vid en 50-procentig vikt förlust i veden vara ungefär lika med den friska vedens värden.

Det har däremot rapporterats att brunröta förorsakar en snabb nedsättning av genomsnittspolymerisationsgraden (DP-värdet).



2



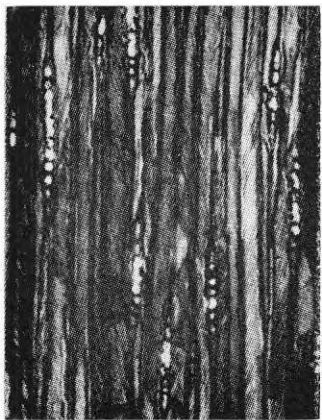
3



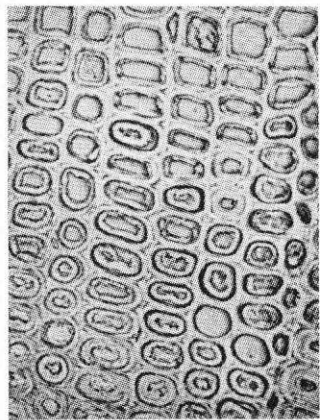
4



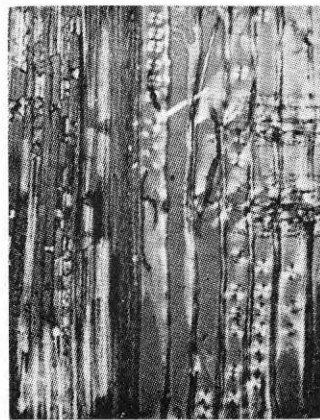
5



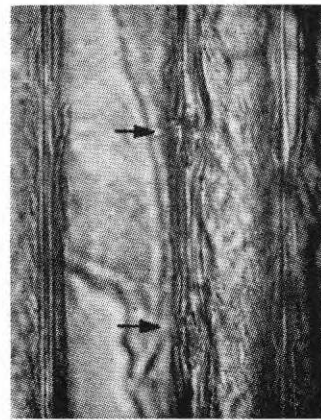
6



7



8



9

**2**  
Tvärsnitt från den icke missfärgade zonen, direkt intill den missfärgade zonen. Inga påtagliga skador.

Cross section from the non-discoloured zone, in direct neighbourhood of the discoloured zone. No noticeable damage.

**3**  
Tvärsnitt från den missfärgade zonen med svamphyfer. Intensiv nedbrytning.

Cross section from the discoloured zone with hyphae. Intensive decay.

**4–5**  
Längssnitt från den missfärgade zonen med för mögelröta typiska spiralformade kanaler i cellväggen. I några kanaler finns segmenterade svamphyfer, till exempel vid pilen. Bild 5 visar variationen i kanalernas form. I andra trakeiden från vänster (pilen) bakterieangrepp?

Longitudinal section from the discoloured zone with spiral cavities in the cell walls which are typical for soft rot. In some of the cavities there are segmented hyphae. Fig. 5 shows variations in the shape of the cavities. Possible bacterial attack in the second fiber from the left (see arrow).

**6**  
Längssnitt från den missfärgade zonen, mögelröta, mägstrålar nedbrutna

Longitudinal section from the discoloured zone, soft rot, rays decayed

**7**  
Tvärsnitt från den missfärgade zonen, intensiv nedbrytning nära cellhålrummen

Cross section from the discoloured zone, distinct decay at the cell lumina

**8**  
Längssnitt ur den missfärgade zonen vid gränsen mot den icke missfärgade zonen. Vårveden med några svamphyfer, för övrigt nästan oangripen. Höstveden intensivt nedbruten med tråg- och V-formade erosionsmönster. Förmodligen bakteriell nedbrytning.

Longitudinal section from the discoloured zone at the border against the non-discoloured zone. A few hyphae. Early wood nearly undamaged. The late wood intensively decomposed with trough- and V-shaped erosion pattern. Probably bacterial decay.

**9**  
Tangentiellt längssnitt ur den missfärgade zonen. Gårdarna till gårdade porer nedbrutna, se pilarna. Förmodligen bakteriell nedbrytning.

Tangential longitudinal section from the discoloured zone. The borders of the bordered pits decomposed, see the arrows. Probably bacterial decay.

Egna tidigare erfarenheter med grundläggningsmaterial av olika härkomst har givit varierande resultat beträffande DP-värden. Inte ens i samma trästycke har trenderna varit helt entydiga. Ofta har DP-värden i angripet trä varit nästan lika höga som i friskt trä. Det faktum att nedbrytningsorsaken vid pålars periferi kan vara en annan än djupare inne i veden förklarar kanske bristen på entydiga trender beträffande DP-värden.

Ett flertal undersökningar av grundläggningsvirke som legat under grundvattnet visar att bakterier kan ha förorsakat eller medverkat till en nedbrytning av splintveden. Den senaste undersökningen visar att även mögelröta kan förorsaka djupgående angrepp under grundvattenytan. Hög kvävehalt i omgivande vatten är inte osannolikt en gynnsam faktor för mikroorganismerna.



## Mikrobiologiska undersökningar av påvirke från kv Cadmus

Den i forskningsgruppen STEGA:s regi pågående undersökningen av bakterieangrepp i pågrundläggningens virke är ett lagarbete, där forskare från skilda fält inkopplats. Den vedanatominiska undersökningen av grundläggningens virke från kvarteret Cadmus beskrivs av fil lic *J Boutelje* på annan plats i detta nummer. Data från den mikrobiologiska undersökningen av Cadmus-materialet samt några aspekter på miljöundersökningen – sedd ur mikrobiologisk synvinkel – redovisas här.

Av stort värde för det mikrobiologiska arbetet har varit de miljöanalyser som utförts av ingenjör *G Granstrand* och ingenjör *U Kjellberg* vid AB Hydroconsult (se *Bouteljes* artikel, tabell 1). De har även ansvarat för att all provtagning utförts under strikt kontrollerade betingelser enligt ett i förväg uppgjort provtagningsschema.

### Miljöanalyser

De värden för den bakteriologiska vattenanalysen som anges i tabell 1 A i *Bouteljes* artikel kräver en närmare förklaring.

I livsmedelsstadgan upptas »vatten för allmän förbrukning (dricksvatten m m)» som ett speciellt livsmedel och är därför i profylaktiskt syfte föremål för rigorösa hygieniska föreskrifter. Dessa föreskrifter gäller även grundvatten, som på många håll i landet fortfarande kan användas som dricksvatten direkt utan föregående rening.

Vattenburna sjukdomar är i vårt land nästan undantagslöst tarmsjukdomar. Smittämnen finns i tarmen och sprids med tarmuttömningarna. Sådana så kallade fekala föroreningar kan spåras genom påvisande av patogena (sjukdomsframkallande) och/eller icke patogena tarmmikroorganismer i vatten.

Praktiskt är det komplicerat, tidsödande och kostsamt att påvisa patogener direkt i vatten. Patogener har inte så sällan strikta näringskrav. Bakterien *Escherichia coli* och denna organism närstående bakterier, gemensamt kallade coliformer, förekommer normalt rikligt i tarmen hos människor och varmblodiga djur. Dessa bakterier är vanligen inte patogena för människan utan har i stället direkt nyttiga funktioner att fylla. Coliformer är mestadels bättre anpassade till att överleva i vatten än tarmpatogena bakterier och troligen även virus. De lämpar sig därför utomordentligt väl som »indikatororganismer» för att spåra fekala föroreningar. Coliform-

analyser kan dessutom utföras snabbt och till rimlig kostnad.

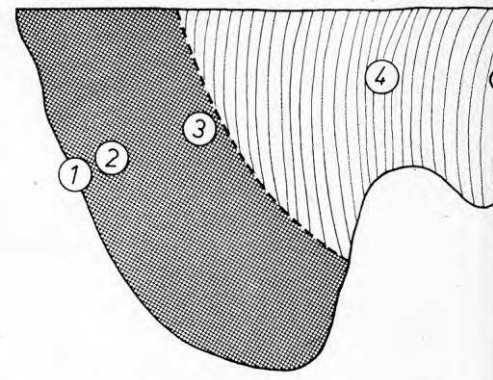
Genom att utnyttja vissa egenskaper hos dessa »indikatorer» kan man med analyser avgöra om en förorening är av sent eller äldre datum. Egenskapen som utnyttjas är att colibakterier från färsk fecalier har förmågan att förfäsa laktos under gasbildning vid högre temperatur (44°C) än andra colibakterier (35°C). Denna förmåga går ganska snart förlorad efter det att colibakterien utsöndrats från värdorganismen. Coliformer som kan växa vid 44°C kallas termostabila, och deras antal i ett vattenprov ger en uppfattning om graden av färsk fecal förorening.

I tabell 1 A finns även angivet totalantalet bakterier, framodlade vid 22°C. Den analysen görs främst som ett hjälpmedel för att avslöja eventuella brister i tekniska anordningar för rening och uppföring av vatten för konsumtionsändamål. I och för sig avslöjar den ingenting om vad slags bakterier man har att göra med från fall till fall. Totalantalet coliforma bakterier utgör ett vedertaget mått på sådan förorening som kan misstänkas ha ett fekalt ursprung.

Det är inte enbart den bakteriologiska kvaliteten som är avgörande för ett vattens lämplighet för ett visst ändamål. Ett bakteriologiskt fullgott vatten kan vara olämpligt av andra skäl. Om grundvattnet enligt tabell 1 A klassades efter gängse normer för bakteriologiska vattenundersökningar skulle det inte duga som »renvatten underkastat kontroll enligt hälsovårdsstadgans 32 och 34 §§ respektive sådant som avses i livsmedelsstadgans 3 och 14 §§ samt övriga renvatten...». Däremot skulle det kunna bedömas vara »med tvekan tjänligt» såsom »renvatten för enskild förbrukning samt dricksvatten för husdjur».

Föroreningen är av relativt sent datum, om hänsyn enbart tas till förekomsten av termostabila coliformer. *Escherichia coli* har emellertid kunnat isoleras ur träprov från ett djup av 1 cm in i påvirket, bild 1. Det förefaller därför troligt att det kring påmaterialet under en längre tid skett en kontinuerlig tillrinning av färsk fecal förorening, kanske från läckor i avloppsledningarna.

Vad beträffar kemiska analyser av grundvattnet under grundläggningen kan följande tilläggas. De höga värdena för specifik ledningsförmåga tyder på en mycket hög halt av salter. Även värdena för ammonium och fosfat är anmärkningsvärt höga. Som



Skala 1:2

- 1  
Tvärsnitt av träprov. 1–4 provtagningsställen
1. Svampar: *Penicillium* sp, *Phycomyces* sp (?), *Chaetomium* sp, *Phoma* sp (?)  
Aktinomycter: *Micromonospora* sp  
Aeroba bakterier: *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas aeruginosa* (?), *Arthrobacter* sp, *Pseudomonas* sp (cellulosaspjälkare), *Spirillum* spp (ej i renkultur)  
Anaeroba bakterier (cellulosaspjälkare): *Plectridium*- och *Clostridium*-arter samt svavelvätebildare
2. *Micromonospora*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Arthrobacter* sp, *Pseudomonas* sp (cellulosaspjälkare), *Plectridium*- och *Clostridium*-arter samt svavelvätebildare
3. *Micromonospora*, *Bacillus cereus*, *Plectridium*- och *Clostridium*-arter
4. Inga mikroorganismer isolerade från detta område

jämförelse med värdena i tabell 1 ges några värden för tappvattnet vid fyra slumpvis valda stationer i Uppsala:

Spec ledningsförmåga, $K \cdot 10^6$	550–650
Ammonium, mg/l $NH_4$	< 0,1
Fosfat-fosfor, $\mu\text{g/l PO}_4\text{-P}$	100

### Mikrobiologiska undersökningar

Såväl svampar som cellulosanedbrytande bakterier har isolerats ur den missfärgade veddelen. Bild 1 ger en antydning om att det är en betydande skillnad mellan olika mikroorganismer förmåga att penetrera vedmaterial. Mikrofloras sammansättning är dessutom mycket komplex och heterogen.

I renkulturer har ur det aktuella provet hittills framodlats två svampar; en *Penicillium*-art och en ännu inte identifierad art, som troligen hör till *Phycomyceterna*.

Parallellt med våra undersökningar har även vissa undersökningar bedrivits vid Skoghögskolan i Stockholm av licentiat *Thomas Nilsson*. Han har isolerat mögelröta, *Chaetomium*, och en svamp med bruna hyfer, som eventuellt kan vara en *Phoma*-art.

För att återgå till våra undersökningar vid Lantbrukshögskolan kan nämnas att en så kallad aktinomycet, en mycelbildande bakterie som förökar sig med hjälp av speciella sporer och som tillhör släktet *Micromonospora*, också isolerats.

Ett antal aeroba bakterier, som såvitt be-  
kant inte förmår spjälka cellulosa ensam-  
ma, har återfunnits i odlingarna. Detta kan  
synas anmärkningsvärt, eftersom träet be-  
visligen hela tiden legat under grundvat-  
tenytan. Sannolikt är bakteriearterna i fråga  
anpassade till att överleva med ytterst litet  
syre (de är mikroaerofila) och av miljö-  
analyserna framgår också att en viss  
mängd syre, 0,9 mg/l, finns i vattnet. De  
aeroba bakterierna är *Escherichia coli*,  
*Bacillus cereus*, *Pseudomonas sp* (troligen  
*Pseudomonas aeruginosa*), *Arthrobacter sp*.  
Vidare har en aerob, cellulospjälkande  
*Pseudomonas*-art isolerats, som närmast  
torde höra till släktet *Cellvibrio*. Av de  
aeroba bakterier som påträffats märks slut-  
ligen *Spirillum*-arter och svavelvätebildan-  
de bakterier.

Av anaeroba bakterier har cellulospal-  
tande *Plectridium*- och *Clostridium*-arter  
återfunnits ända in till 3,5 cm djup i splint-  
veden. Från kärnveden har inga mikroorga-  
nismen kunnat isoleras.

Anaeroba bakterier av *Plectridium*- och  
*Clostridium*-arterna har återfunnits nästan  
genomgående i angripna pålprover. Detta  
är ett ytterligare indicium på att angrepp  
av bakterier under grundvattenytan med-  
verkat till skadorna.

Om de pålprover från olika håll som  
hittills undersökts mikrobiologiskt kan sä-  
gas att mikrofloran alltid varit komplex till  
sin sammansättning, men vissa tendenser  
tycks dock gå att utläsa ur de identifierade  
isolaten. Ofta påträffas bakterier av släk-  
teten *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arthrobac-  
ter*, *Flavobacterium* och *Spirillum* i veden.

Så till exempel har den icke cellulosa-  
nedbrytande *Bacillus cereus* kunnat iso-  
leras från prov tagna nära gränsen splint-/  
kärnved i material från olika håll i landet  
vid flera tillfällen. Aktinomyceter av släktet  
*Micromonospora* är också vanliga, liksom  
*Plectridium*- och *Clostridium*-bakterier. Cel-  
lulosaspjälkande *Cellvibrio*- och *Cyto-  
phaga*-stammar har också återfunnits, fast  
mindre ofta. I enstaka fall har likaledes  
cellulosanedbrytande *Cellulomonas*-arter  
isolerats.

Vår förhoppning är att det så småningom  
skall bli möjligt att genom en sammanställ-  
ning av utförda – och kommande – ved-  
anatomiska och mikrobiella undersökning-  
ar samt miljöanalyser kunna förklara varför  
bakteriella angrepp uppkommer i pålvirke  
under grundvattenytan.

R6: 1971

Denna rapport avser anslag nr C 305 från Statens råd för byggnadsforskning till forskargruppen STEGA

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm

Abonnemangsgrupp: k (konstruktion)

Pris: 15 kronor