



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

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



Rapport

R62:1979

**Kontrollerad bevattning
för bevarande av trä-
pålar och rustbäddar**

**Kunskapsöversikt och förslag
till fortsatt forskning**

Göran Bergman m.fl.

Byggforskningen

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

R62:1979

KONTROLLERAD BEVATTNING FÖR BEVARANDE AV
TRÄPÅLAR OCH RUSTBÄDDAR

Kunskapsöversikt och förslag till
fortsatt forskning

Göran Bergman
Julius Boutelje
Kjell-Olof Enestedt
Gunnar Granstrand
Bo Göransson
Arne Lindh

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780357-0
från Statens råd för byggnadsforskning till Tyréns
Företagsgrupp AB, Stockholm.

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

R62:1979

ISBN 91-540-3048-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 954263

INNEHÅLL

FÖRORD	5
SAMMANFATTNING	7
1	INLEDNING 11
2	PROBLEMSTÄLLNING 13
3	GRUNDEVATTEN 15
3.1	Definition 15
3.2	Grundvattenyta 15
3.3	Grundvattenmagasin, övre och undre . . . 15
3.4	Grundvattenobservationer 15
3.5	Orsaker till grundvattensänkning 16
4	KONTROLLERAD BEVATTNING 19
4.1	Definition 19
4.2	Utförande 20
4.3	Erfarenheter i Sverige 21
4.3.1	Allmänt 21
4.3.2	Praktikfall 21
5	SKADEORGANISMER VERKSAMMA VID NEDBRYTNING AV TRÄPÅLGRUNDLÄGGNINGAR . . 25
5.1	Inledning 25
5.2	Svampar 25
5.2.1	Allmänt 25
5.2.2	Vitrötesvampar 25
5.2.3	Brunrötesvampar 26
5.2.4	Mögelrötesvampar 27
5.3	Bakterier 29
5.3.1	Allmänt 29
5.3.2	Anaeroba bakterier 29
5.3.3	Aeroba bakterier 30
5.4	Actinomyceter 30
6	KEMISK NEDBRYTNING AV TRÄPÅLGRUNDLÄGGNINGAR 33
7	MILJÖFAKTORER VID NEDBRYTNING 35
7.1	Miljöparametrar 35
7.1.1	Tillgång till syre och fukt 35
7.1.2	Temperatur 37
7.1.3	Näringssubstanser 37
7.1.4	pH 38
7.2	Jordbeskaffenhet 38
8	SKADEBESKRIVNING 39
8.1	Hastighet 39
8.2	Skadebild och skadebedömning 39

9	TILLÄMPNING OCH PRAKTISKA RÅD	43
9.1	Förundersökningar	43
9.1.1	Allmänt	43
9.1.2	Grundvattenobservationer	43
9.1.3	Sättningsmätning	44
9.1.4	Grundkonstruktion	44
9.1.5	Grundvattenkvalitet	44
9.1.6	Jordprovtagning	45
9.1.7	Provgropsgrävning	45
9.1.8	Tagning och analys av träprover	46
9.2	Kontrollerad bevattning	46
10	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNING	49
10.1	Nackdelar och fördelar med laboratorieskaleförsök respektive fältförsök	49
10.2	Fortsatt forskning	49
LITTERATUR		51
BILAGA 1	Undersökning av påle från fastighet i kv Pyramiden, tomt nr 17, Stockholm	55

FÖRORD

Statens råd för byggnadsforskning tillsatte 1977 en programgrupp som fick i uppdrag att undersöka forskningsbehovet kring ämnet "Grundförstärkning av be-fintliga byggnader". I gruppens slutrapport till BFR presenterades en lista med prioriterade FoU-projekt. Beträffande område 1 "Bevarande av hotade grundkon-struktioner", gavs högsta prioritet (1) till:

- Studium av vatteninfiltrationsmetoders verkan på lång sikt.
- Utveckling av vatteninfiltrationsmetoder.
- Metoder att reducera syrehalt i infiltrationsvatten.

Prioritetsgrupp 2 inleds med:

- Grundforskning om träpålars livslängd i olika miljöer.

Föreliggande rapport är resultatet av ett anslag från BFR avseende kunskapsöversikt och förslag till fortsatt forskning beträffande kontrollerad bevattning. Rapporten har utarbetats av en projektgrupp bestående av:

Arne Lindh	TYRÉNS (ordf)
Göran Bergman	TYRÉNS
Julius Boutelje	Sv. Träforskningsinstitutet
Kjell-Olof Enestedt	TYRÉNS (sekr)
Gunnar Granstrand	Hydroconsult AB
Bo Göransson	Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. för Mikrobiologi

Till projektgruppen har knutits en referensgrupp bestående av:

Håkan Bohm	Stockholms Fastighetskontor, Grundläggningssektionen
Lars Hellman	Statens Geotekniska Institut
Ola Leander	Stockholms Gatukontor

Vi tackar referensgruppen för värdefulla synpunkter och medverkan.

Rapporten skall ses som ett första steg i ett större forskningsarbete i vilket kontrollerad bevattning och dess påverkan på trägrundläggningar skall studeras.

Stockholm 1979-02-15

Arne Lindh

SAMMANFATTNING

I många av våra städer har vi kvar gamla hus som är grundlagda på träpålar eller rustbäddar. Risken för nedbrytning av grundläggningsträet har ökat markant under senare år, vilket utgör ett hot mot husen. Nedbrytningen orsakas i första hand av att grundvattnet på många ställen sjunkit så mycket att grundläggningsträet nu ligger nära eller till och med över grundvattenytan. Grundläggningsträet påverkas dessutom av ett alltmer förörenat grundvatten. I många fall har nedbrytningen redan gått så långt att sättningar uppstått i husen.

I praktiken har det visat sig att samtliga trägrundläggningar under äldre hus är mer eller mindre skadade. Vanligtvis behöver man förr eller senare göra en grundförstärkning eller vidta bevarande åtgärder, såvida huset inte måste rivas.

Hur snabbt går nedbrytning av grundläggningsträ? Trä under grundvattenytan bryts ner långsamt och träet bibehåller sin bärande förmåga under lång tid. Över grundvattenytan däremot går nedbrytningen fort. Som exempel kan nämnas att träpålarna under en magasinsbyggnad i Köpenhamn var totalt förstörda 12 år efter en grundvattensänkning.

Förr i tiden rev man ofta hus med skadade eller hotade grunder och byggde nya. Idag söker man av flera skäl möjligheter att bevara gamla hus. Det är då nödvändigt att klargöra om den gamla grundläggningen kan bära huset under dess återstående livstid.

Man har i avsikt att bevara trägrunder prövat att regelbundet tillföra vatten till jorden runt grundläggningsträet och därigenom höja och hålla grundvattenytan på önskad nivå. Metoden kallas kontrollerad bevattning och är i jämförelse med grundförstärkning en billig åtgärd. Försök med kontrollerad bevattning har gjorts på ett 15-tal platser i Sverige och man har därvid med måttlig vattentillförsel kunnat hålla grundvattenytan ovan trägrundläggningen.

Varför används då inte kontrollerad bevattning mera allmänt? Det beror på att man med nuvarande kunskaper inte vet hur infiltrationsvattnet påverkar träet på lång sikt. Är det möjligt att bevara träpålar och rustbäddar genom kontrollerad bevattning? Kommer en påbörjad nedbrytning att avstanna, fortgå eller kanske accelerera? Vilka krav skall ställas på infiltrationsvattnets sammansättning m m? Detta är några av de frågor som tarvar ett svar innan metoden kan rekommenderas med full säkerhet.

Nedbrytning av grundläggningsträ är antingen av biologisk eller kemisk natur. Biologisk nedbrytning orsakas av svampar, bakterier och actinomyceter. Svam-

par är de allvarligaste skadegörarna på trä beläget ovan och i direktkontakt med jord men ej under grundvattenytan. Bakteriell nedbrytning verkar även under grundvattenytan men sker långsamt. Actinomyceter anses vara minst verksamma när det gäller nedbrytning av trä.

Tillgång till syre betraktas allmänt som en av de viktigaste faktorerna i samband med biologisk nedbrytning av trä, eftersom nästan samtliga svamparter behöver syre för sin utveckling.

Utöver syre behöver rötsvampar vatten. Betingelserna för röta blir optimala då det finns tillgång till atmosfärisk luft, vedcellernas väggar är mättade med vatten (fuktkvot 30 - 50 %) och temperaturen ligger mellan 15°C och 30°C. Långvarig lagring av ved i vatten kan hindra spridning av en pågående nedbrytning, men kan inte förväntas döda svamp som orsakar den.

Det finns starka skäl anta att även små temperaturökningar kan medföra en påtagligt ökad biologisk aktivitet. Uppvärmning av källarutrymmen skulle således kunna påskynda nedbrytning.

Rötriskan är större i grovporiga, mullhaltiga jordtyper än i täta (lera) utan organisk substans. Särskilt betydelsefullt torde vara att syret lättare diffunderar fram till träkonstruktionen i grovporig jord.

Organiskt kväve och fosfor gynnar tillväxt av rötorganismer. Läckande avloppsledningar kan alltså bidra till att gynnsamma betingelser med avseende på näringsämnen skapas för nedbrytande organismer. Kväve anses som en begränsande faktor vid vednedbrytning. Vissa forskare har dock data som tyder på att kvävefixerande bakterier medverkar vid nedbrytning av ved i markkontakt. pH mellan 6 och 8 gynnar tillväxt av bakterier, medan svampar föredrar pH 4 - 6.

Beträffande kemisk nedbrytning har det länge varit känt att starka lösningar av syror och alkali hydrolyserar vedens kolhydrater - hela cellulosaindustrin baseras ju på detta. Långtidseffekter av svaga lösningar såväl i sur som alkalisk miljö som kan förväntas i trägrundläggningar torde inte vara studerade.

Metaller av olika slag inverkar kemiskt och åstadkommer uppmjukning och nedbrytning av ved. Väteperoxid och tvåvärt järn orsakar snabb viktförlust i ved.

Förutsättningarna för att man skall satsa på kontrollerad bevattning som en temporär eller permanent åtgärd är att grundläggningsträet därigenom skall kunna bära huset under dess återstående livstid. Man måste

därför innan beslut om åtgärd fattas förvissa sig om trägrundläggningens kondition.

För att undersöka träpålar och rustbäddar under hus krävs att man gräver provgropar. Pålprover tas i olika delar av grundläggningsträet och skickas till laboratorium för analys. Erfarenheten visar att okulär bedömning av nedbrytningsgraden av en trägrundläggning är mycket vansklilig. Om en grundläggning är påtagligt upprutten kan detta givetvis konstateras utan omständliga undersökningar. Däremot måste positiva bedömningar, som endast är baserade på okulär besiktning, betraktas med stor skepsis.

Vi måste således för närvarande erkänna att man inte vet hur kontrollerad bevattning påverkar grundläggningsträ. Tills vidare - under de närmaste åren - bör man dock med en viss försiktighet kunna rekommendera metoden. När det gäller omodern, icke kulturhistoriskt intressanta hus, som för att kunna nyttjas vidare måste rustas upp, bör man dock vara återhållsam med att använda kontrollerad bevattning.

Slutsatsen blir att det är nödvändigt att utföra forskning främst i form av fullskaleförsök. Dessutom behövs vissa laboratorieförsök. Nackdelen med laboratorieförsök är att man då arbetar med renkulturer och i slutna system. Sådana försök ger inget grepp om inverkan av naturliga fluktuationer, samspelet mellan olika organismer, naturliga transportmekanismer osv. Forskningen skall klargöra hur jord- och grundvattenförhållanden, skadeorganismer och olika kemiska ämnen påverkar grundläggningsträet vid kontrollerad bevattning.

Kontrollerad bevattning erbjuder avsevärda kostnadsbesparingar i jämförelse med konventionella grundförstärkningsmetoder och det är därför angeläget att metoden kommer till ökad användning.

1 INLEDNING

När städerna växte i slutet av 1800-talet och i början av 1900-talet och stadskärnorna förtätades blev man hänvisad till att i högre grad än tidigare även använda dålig byggnadsmark. Denna bestod på många platser av lös lera som krävde någon form av grundförstärkning. På den tiden, liksom tidigare i Gamla stan i Stockholm, grundförstärkte man vanligen med träpålar och/eller rustbäddar. Vi har därför i många av våra städer kvar gamla hus som är grundlagda på detta sätt.

Ett känt faktum sedan flera århundraden är att trä som står i vatten konserveras och bibehåller sin bärande förmåga under lång tid. Det visste också byggarna i Sverige och de såg därför till att träpålarna och rustbäddarna lades under dåvarande grundvattenyta.

För att underlätta framställningen i den fortsatta texten kommer ordet träpålar att även innefatta rustbäddar.

Sedan husen byggdes har stadsbilden förändrats mycket. Man har successivt moderniserat husen och dragit in kommunalt vatten och avlopp. I samband därmed grävdes ledningsgravar, vilka började fungera som dräneringsdiken för grundvattnet. Gatsten och grusade gångar, som tidigare var god infiltrationsmark, har successivt asfalterats. Dagvattenbrunnar har installerats som leder bort nederbördsvattnet.

Dessa åtgärder har medfört att den naturliga infiltrationen och påfyllningen till grundvattenmagasinen minskat samtidigt som avrinningen ökat. Grundvattennivån har därigenom på många ställen sjunkit så mycket att träpålarnas övre delar nu ligger alltför nära eller t o m över grundvattenytan.

Utmed speciellt Norrlandskusten medför även landhöjningen en successiv sänkning av grundvattennivån.

Föroreningar har medfört att även grundvattnets kvalitet försämrats sedan husen byggdes. I exempelvis Stockholm började vattentoaletter förekomma mera allmänt på 1920-talet. Genom läckande avloppsledningar har förorenat vatten infiltrerats till grundvattnet. En förändring av nederbördsvattnet har också skett på grund av utsläpp av avgaser från kol- och oljeeldning, fordon etc.

Följden av sänkt grundvattenyta och ett alltmer förorenat grundvatten har blivit att risken för nedbrytning av träpålar ökat markant på senare år. I många fall har nedbrytningen av grundläggningsträet redan gått så långt att sättningar uppstått i husen. På längre eller kortare sikt kommer detta att medföra

ett behov av grundförstärkning eller alternativt rivning/nybyggnad.

Förr i tiden rev man sättningssskadade hus och byggde nya med ny grund. Idag vill man ofta av kulturhistoriska och andra skäl sanera och bevara gamla hus. Det är då nödvändigt att veta om den befintliga grundkonstruktionen är i sådant skick att den kan bära huset under dess återstående livslängd eller om det behövs någon grundförstärkning.

Som exempel på behovet av grundförstärkningsåtgärder inom en stad kan nämnas situationen i Stockholm. Stockholms Fastighetskontor presenterade 1976 en utredning angående grundläggningsförhållandena för byggnader inom Stockholms innerstad. Där framgår att ca 400 hus i innerstaden är grundlagda på träpålar. I utredningen har också gjorts en bedömning av träpålarnas kondition. Pålarna för ett stort antal hus är redan så angripna att husen löper risk att förstöras om man inte förstärker grunderna omgående. Andra hus kommer inom en snar framtid att behöva grundförstärkas och man gör klokt i att redan nu planera för grundförstärkning. En del hus kan klara sig utan grundförstärkning om man vidtar sådana åtgärder att grundvattenytan inte sjunker.

När det gäller kostnaderna för olika grundförstärkningsmetoder har en översiktlig bedömning gjorts i Fastighetskontorets utredning.

TABELL 1.1 (Ur Stockholms Fastighetskontors utredning 1976-10-15, rev 1977-02-01)

Grundförstärkningsmetod	Kostnad kr/m ² by
Bevattning av träpålar	(500)
Sänkning av pålavskärning	1.700
Tryckpålar under grundmur	2.300
Tryckpålar vid sidan av grundmur	2.700
Borrade stålspålar	3.800
Slagna stålspålar	4.400

Dessa kostnader kan jämföras med grundläggningskostnaderna vid nybyggnad i innerstaden som 1976 var ca 850 kr/m² by.

Av TABELL 1.1 framgår att (kontrollerad) bevattning av träpålar är den billigaste åtgärden och nuvärdeskostnaden är relativt oberoende av infiltrations-tiden. I kostnaden ingår kostnad för viss invallning. Senare tids erfarenheter från Stockholm visar att sådan sällan behövs och då blir kostnaden bara 60-200 kr/m² by (dvs 30 - 100 tkr/hus), varav grundundersökningskostnaden utgör en betydande del.

2 PROBLEMSTÄLLNING

Den viktigaste förutsättningen för att träpålar inte skall utsättas för snabb förruttnelse är att de står under grundvattenytan. Då förhindras eller fördröjs nedbrytningen. I gynnsamma fall kan pålar som står helt i vattenmättad jord vara i stort sett opåverkade under mycket lång tid (50 - 100 år och mer).

Träets hållfasthet kan visserligen nedsättas även under vatten av bakterier, men denna nedbrytning går betydligt långsammare än den som orsakas av t ex röt-svampar som angriper trä ovanför vattenytan.

För att motverka grundvattensänkning och höja grundvattenytan kring träpålar har försök gjorts att regelbundet tillföra vatten kring pålarna. På detta sätt har man lyckats hålla en konstant vattennivå som ligger ovanför träpålarna. Metoden kallas kontrollerad bevattning.

Kontrollerad bevattning är en förhållandevis billig metod att öka träpålars livslängd. Varför används då inte denna metod mera allmänt? Detta beror på att man för närvarande inte med säkerhet vet hur infiltrationsvattnet påverkar träpålarna. Hur påverkas en påbörjad nedbrytning? Kommer den att avstanna eller kanske istället accelerera? Hur blir långtidsverkingarna? Snabbare vattenomsättning och högre syrehalt kanske ökar nedbrytningshastigheten.

3 GRUNDVATTEN

3.1 Definition

Grundvatten kallas det vatten som fyller hålrummen i jord och berg.

3.2 Grundvattenyta

Om ett rör slås ned till ett vattenförande jordlager stiger vattenytan i röret upp till en nivå som motsvarar det rådande grundvattentrycket.

Grundvattenytans nivå är inte konstant inom ett område utan varierar både med årstid och år från år. Nivåvariationerna beror på sambandet mellan den vattenmängd som infiltreras till jorden och den vattenmängd som rinner bort från jorden till sjöar och vattendrag.

3.3 Grundvattenmagasin, övre och undre

Normalt finns i ett orört, jungfruligt område ett grundvattenmagasin och därmed en grundvattenyta.

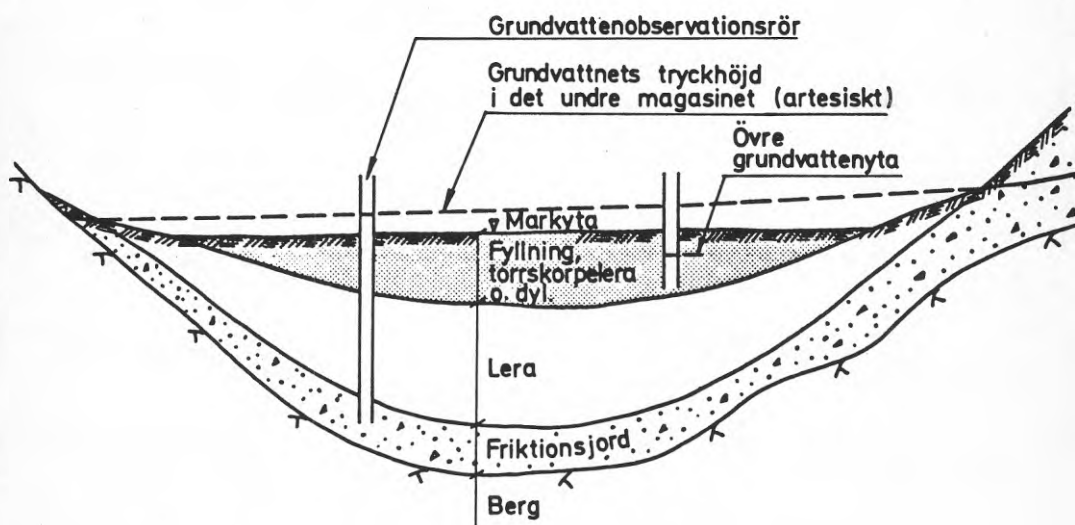
Flera grundvattenmagasin i samma jordprofil kan dock förekomma. Förutsättningen är att jorden innehåller i stort sett vattentäta lager, exempelvis lera, som över- och underlagras av vattengenomsläppliga lager, exempelvis sand eller grus. Sådana lagerföljder är vanliga vid rullstensåsar samt inom bebyggda områden där jordfyllning lagts ut ovanpå lera.

På FIGUR 3.1 visas ett exempel där det övre och det undre grundvattenmagasinet inte står i hydraulisk förbindelse med varandra. Grundvattnets tryckhöjd (och därmed den faktiska eller teoretiska grundvattenytan) kan därigenom vara olika för de båda magasinen. Det undre magasinet utgör huvudmagasin, där man kan erhålla kommunikation mellan rör belägna på långt avstånd från varandra, medan det övre magasinet är heterogent och ligger som lokala vattensamlingar i hålrum i fyllning och i de övre sprickrika delarna av torrskorpeleran.

3.4 Grundvattenobservationer

För att man skall kunna bilda sig en uppfattning om grundvattensituationen inom ett område behövs regelbundna mätningar av grundvattenytans nivå i ett antal observationsrör fördelade över området. Mätningarna bör vara fleråriga, om en säker trend skall kunna utläsas.

Finns flera grundvattenmagasin inom ett område måste varje magasin bevakas med särskilda observationsrör.
FIGUR 3.1.



FIGUR 3.1 Övre och undre grundvattenyta

3.5 Orsaker till grundvattensänkning

I ett jungfruligt landskap beror grundvattenytans nivåvariationer på skillnader i nederbördsmängd under olika delar av året respektive under olika år. Medelgrundvattenytan för en längre tidsperiod (mer än 30 år) ligger på en konstant nivå.

Ett undantag utgör dock områden som är belägna utmed Sveriges kust. Grundvattenytan sjunker här i takt med landhöjningen. Landhöjningen är störst utmed Norrlandskusten och avtar till noll i Skåne. I Stockholmstrakten uppgår exempelvis landhöjningen till ca 40 cm på 100 år, dvs landmassan höjs 40 cm i förhållande till havet. För Stockholms del betyder det att de delar som gränsar till Saltsjön och vars grundvattenyta är direkt beroende av Saltsjöns nivå får en sjunkande grundvattennivå, som i stort sett motsvarar landhöjningen. De delar som gränsar till Mälaren påverkas inte i samma grad eftersom Mälaren är reglerad.

När människan bebygger ett område rubbas grundvattenbalansen. I ett hårdexploaterat område som exempelvis Stockholms innerstad finns en rad faktorer som har påverkat och kommer att påverka grundvattnet.

Faktorer som medför sänkt grundvattennivå är:

- Ändrade infiltrationsförhållanden

Den naturliga infiltrationen genom markytan reduceras eller förhindras av hus, asfaltbelagda gator, permanentade gårdar m m. Från dessa ytor avleds vattnet genom dagvattenledningar direkt till sjö eller vattendrag.

- Djupa schakter

I samband med djupa grundläggningar för hus och djupa schakter för nya vägar och gator kan genom-brytning ske av bergryggar eller partier med tät jord som tidigare fungerat som trösklar för grundvattensjöar.

- Ledningsgravar och tunnlar

Av stor betydelse för grundvattensituationen är ledningar av olika slag som förläggs under marknivån. Dessa system fungerar vanligtvis som dräneringsledningar för grundvattnet antingen de är förlagda ytligt i jord eller på större djup såsom tunnlar i berg.

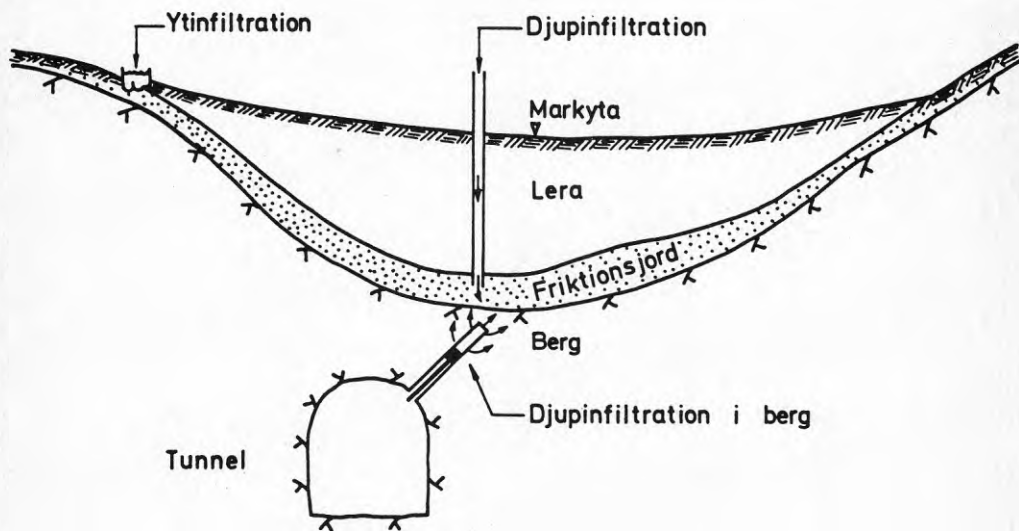
En faktor som däremot gör att vatten tillförs grundvattenmagasinen är läckande avloppsledningar. Att detta sker i stor skala bevisas av att vattnet i våra städers grundvattenmagasin till stor del består av avloppsvatten.

4 KONTROLLERAD BEVATTNING

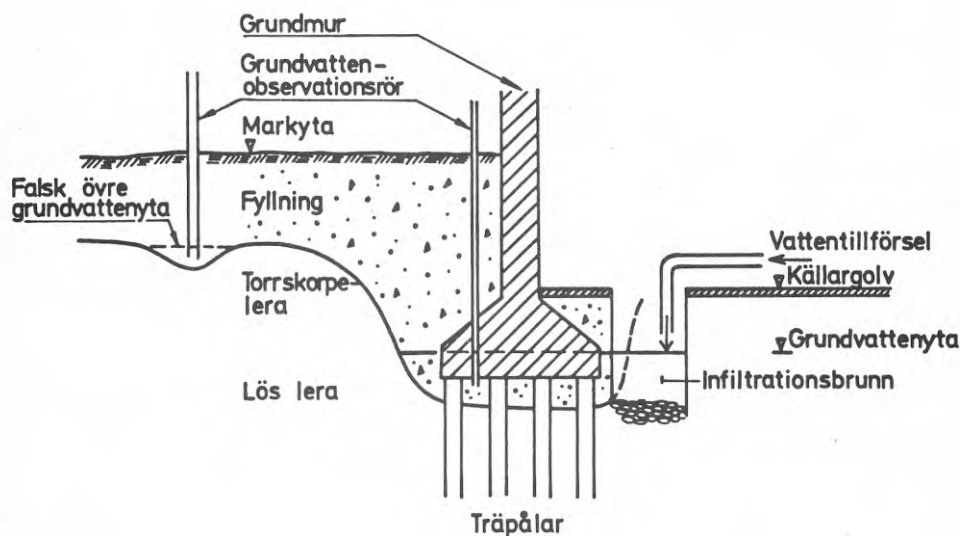
4.1 Definition

Med kontrollerad bevattning menas att genom regelbunden tillförsel av vatten höja den övre grundvattensytan kring träpålar och sedan hålla den på önskad nivå. Bevattningen omfattar normalt ett lokalt område, t ex en eller två fastigheter (Bergman, 1977).

Man skiljer mellan yt- och djupinfiltration och kontrollerad bevattning. Se FIGUR 4.1 och 4.2. Yt- och djupinfiltration utförs i syfte att vidmakthålla eller återställa ursprungligt grundvattentryck och därigenom förhindra sättningar orsakade av grundvattensänkning. Kontrollerad bevattning utförs för att öka livslängden för en av grundvattensänkning hotad träpålgrundläggning.



FIGUR 4.1 Yt- och djupinfiltration i jord och djupinfiltration i berg



FIGUR 4.2 Kontrollerad bevattning av träpålar. Korrekt bestämning av övre grundvattenyta.

4.2 Utförande

I anslutning till den grav där träpålarna är belägna iordningställs en infiltrationsbrunn. Brunnen skall nå ned till det jordlager som har kontakt med träpålarna, FIGUR 4.2. Vatten tillförs brunnen så att grundvattenytan hålls på önskad nivå över pålarna, minst 0,5 m.

Ett antal observationsrör utplaceras för att kontrollera att grundvattenytan höjs under hela huset. Rörrens spetsar skall stå i det jordlager som omger pålarna, för att mätningarna skall ge rättvisande resultat.

Under första tiden kan vattentillförseln ske manuellt. Blir resultatet positivt kan vattentillförseln efter en tid automatiseras. Nivåvippor placeras då i infiltrationsbrunnen så att vattentillförseln automatiskt startas när grundvattenytan sjunker under en fastställd miniminivå och stoppas när den stigit till fastställd maximinivå.

4.3 Erfarenheter i Sverige

4.3.1 Allmänt

Kontrollerad bevattning av träpålar utförs idag för ca 15 byggnader i Stockholm och för en i Örebro.

Vid hittills utförda bevattningar har det alltid varit möjligt att höja grundvattenytan något (minst några decimeter). Även ca 1 m stora höjningar har uppnåtts.

Vid nästan samtliga försök har vattenytans höjning avstannat vid en viss nivå när infiltrationen pågått en tid. Trots en ökning av vattentillförseln har grundvattenytan inte kunnat höjas ytterligare. Grundvattenytan har då nått en avrinningströskel, som i vissa fall kunnat härledas till avloppsledningens underkant.

För att hålla grundvattenytan på önskad höjd över träpålarna har tillförd vattenmängd varierat mellan 1 och 16 m³/dygn. Är den kommunala vattentaxan 4 kr/m³ varierar årskostnaden för olika objekt mellan 4.000 och 60.000 kr. Kostnaden kan minskas till hälften om överenskommelse kan träffas med det lokala VA-verket om befrielse från avloppsavgiften.

Vad beträffar sammanhanget mellan nedbrytning och observerade sättningar har man mycket liten erfarenhet. I ett fall har man dock konstaterat att sättningarna i ett hus fortsätter trots bevattning. Orsaken till detta torde vara att pålarna redan var alltför nedbrutna när man startade bevattningen.

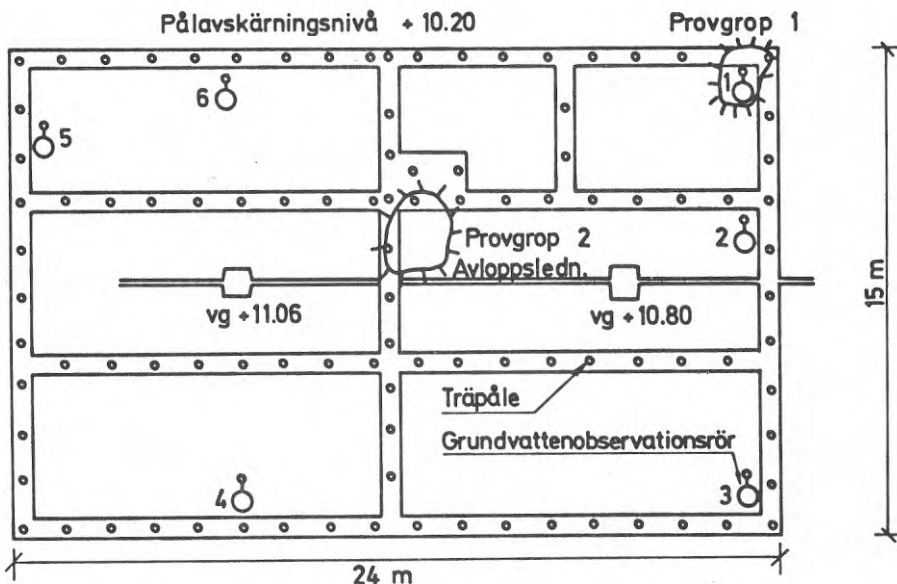
4.3.2 Praktikfall

I Örebro har TYRÉNS gjort en kartering av husens grundläggning, som avses ingå i ett bevarandeprogram för den centrala staden. I karteringen ingick även en analys av grundvattensituationen. Analysen visade att grundvattenytan under ett hus, grundlagt med träpålar, låg i nivå med eller under pålavskärningen.

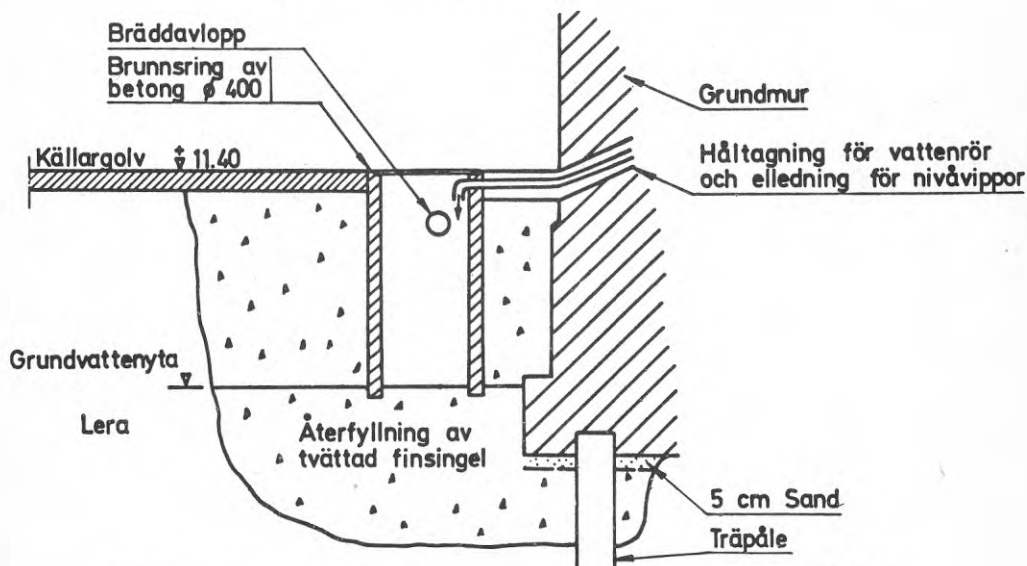
Ett program gjordes för att snarast höja grundvattenytan över träpålarna. För att kontrollera träpålarnas kondition grävdes först två provgropar. Pålarna tycktes vid okulärbesiktning vara friska. Av tids- och kostnadsskäl avstod man i detta fall från att utföra en fullständig träanalys. En sådan är annars nödvändig för att man skall kunna kontrollera om pålarnas tryckhållfasthet är nedsatt.

Man valde att utföra bevattningen i provgrop 2 mitt i huset, FIGUR 4.3. Provgropen fylldes med tvättad finsingel och ett betongrör med 400 mm diameter monterades, FIGUR 4.4. Ett bräddavlopp utfördes på nivån

+11,1, så att vattnet inte skulle kunna stiga över källargolvet som ligger på nivån +11,4. Sex observationsrör monterades för att kontrollera att det infiltrerade vattnet spreds till alla delar av huset, FIGUR 4.3.



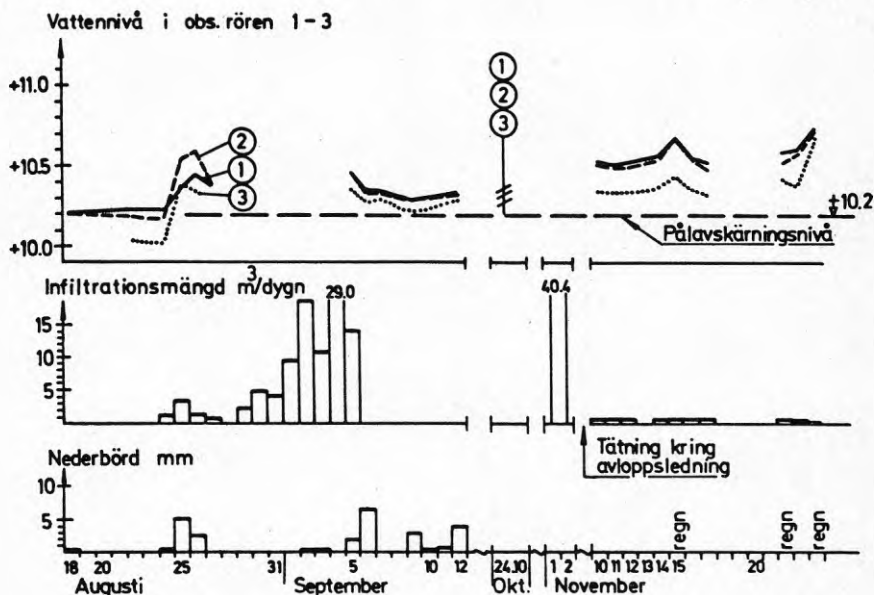
FIGUR 4.3 Plan över grundmurar, träpålar, avloppsledningar, provgropar och grundvattenobservationsrör.



FIGUR 4.4 Sektion genom provgrop samt infiltrationsbrunn för bevattning av träpålar.

Bevattningen utfördes under den första tiden manuellt en gång per dygn med påfyllning från vattenledningsnätet direkt i brunnen.

På FIGUR 4.5 visas diagram över grundvattenytans nivåvariationer i tre av observationsrören, tillförd vattenmängd samt nederbörd.



FIGUR 4.5 Diagram över grundvattenobservationer, infiltrerad vattenmängd och nederbörd.

Som framgår av FIGUR 4.5 låg grundvattenytan före bevattningen under eller i närheten av pålavskärningsnivån +10,2. Bevattningen startade 1977-08-24 varvid vattenytan under de följande dagarna steg till ca +10,4 à +10,6. Av arbetstekniska skäl gjordes tyvärr inga grundvattenobservationer kring månadsskiftet augusti-september. Under de första dagarna i september infiltrerades stora vattenmängder för att undersöka hur mycket vattenytan kunde höjas. Det visade sig omöjligt att med måttliga vattenmängder höja och hålla nivån över +10,3.

Under oktober höll sig grundvattenytan kring +10,3 utan bevattning. Detta visar att det räckte att fylla på grundvattenmagasinet för att hålla denna nivå under längre tid. Marginalen 10 cm mellan grundvattenytan och pålavskärningsnivån var dock otillfredsställande.

En infiltration av $40,4 \text{ m}^3$ mellan den 1 och 2 november utfördes och man kunde konstatera att vatten

läckte ut kring avloppsledningen. Man tätade kring denna och fick genast en höjning av vattenytan i rören till ca $+10,6$. Denna nivå har nu kunnat hållas med ca 1 m^3 påfyllning per dygn.

Nederbördens inverkan på grundvattennivån kan tydligt urskiljas under november då regn resulterat i en höjning av vattennivån. Under augusti och september har nederbördsvärdena varit så låga att man inte kunnat notera någon påverkan.

Resultatet av denna bevattning av träpålar är mycket uppmuntrande. Kostnaden för arbete, infiltrationsanläggning och utsättning av sex observationsrör blev ca 50.000 kr. Kostnaden för vatten, i detta fall $1 \text{ m}^3/\text{dygn}$ à 4:00 kr/ m^3 , ger en vattenkostnad av ca 1.500:-/år.

5 SKADEORGANISMER VERKSAMMA VID NEDBRYT- NING AV TRÄPÅLGRUNDLÄGGNINGAR

5.1 Inledning

En allmän översikt av olika mikroorganismers utmärkande egenskaper har getts i STEGA-gruppens slutredovisning till BFR 1974.

De organismer som påvisats som nedbrytare i träpålgrundläggningar är svampar, bakterier och actinomycter. Systematiskt hör de sistnämnda till bakterierna men behandlas här separat. Vilka organismer som kan etablera sig i och eventuellt angripa en från början helt frisk träpålgrundläggning är i hög grad en fråga om på platsen rådande miljöförhållanden och eventuella variationer i eller störningar av dessa.

5.2 Svampar

5.2.1 Allmänt

Det är sedan länge känt att svampar är de allvarligaste skadegörarna på trä beläget ovan och i direktkontakt med jord. Trä nedsänkt under grundvattenytan anses bättre skyddat mot svampangrepp. I praktiken grupperas skadesvamparna ofta efter "röttypens" makroskopiska utseende eller konsistens. Terminologien varierar beroende på om rötangreppen gäller skog på rot, timmer eller trä i byggnader och pålgrundläggningar. Sådana här grupperingar är mer eller mindre godtyckliga och har inget sammanhang med svamparnas taxonomiska, dvs systematiska, ställning. Den beskrivning av några i samband med träpålgrundläggningar viktiga röttyper som ges nedan avser röta i fortskridet stadium och skildrar inte i detalj olika stadier i rötningsförloppen. Indelningen i vitrötter ("korrosionsröta"), brunrötter ("destruktionsröta", eng. dry rot) och mögelrötter (eng. soft rot, ty. Moderfäule) får betraktas som vedertagen i träskyddssammanhang.

Mögelrötsvampar är förmodligen den viktigaste svampgruppen när det gäller nedbrytning av träpålgrundläggningar.

5.2.2 Vitrötesvampar

Systematiskt hör vitrötesvamparna till någon av svampklasserna Basidiomycetes eller Ascomycetes. Ekonomiskt mest betydelsefulla är Basidiomyceterna eller basidiesvamparna. Sporerne utbildas här på s k basidier, varav benämningen. Bland vitrötande basidiesvampar kan nämnas vedtickor och den vanliga honungsskivlingen. Vitrötesvampar kan attackera såväl

levande som död ved. Som exempel på en vitrötesvamp hörande till sporsäcksvamparna (Ascomycetes-sporerna utbildas i en väl skyddad sporsäck, ascus) kan nämnas den åtminstone i södra Sverige tämligen vanliga stubbdynsvampen. Utmärkande för dessa rötsvampar är att de kan utnyttja såväl cellulosa som lignin i veden. Slutresultatet blir en nära nog total nedbrytning av utgångsmaterialet. Den fullt utbildade rötan är vit och känns åtminstone i vått tillstånd "svampig". Även trä med långt avancerad vitröta kan dock vara fast och segt. Veden blir aldrig spröd som vid brun- eller mögelröta.

Vitrötesvamparna har mest ingående studerats när det gäller angrepp på vedmaterial ovan grundvattenytan. De kräver nästan utan undantag relativt god tillgång på syre, men som påpekas redan av Cartwright & Findlay (1958) - det är troligt att en viss tillväxt kan ske under relativt anaeroba förhållanden då slutprodukten blir organiska ämnen såsom alkohol, oxalsyra osv i stället för koldioxid.

5.2.3 Brunrötesvampar

Systematiskt hör även brunrötesvamparna till Basidiomycetes eller Ascomycetes. Jämfört med vitrötesvamparna är deras lignin-nedbrytande förmåga låg. En följd härav är att rötan i fortskridet stadium är brunfärgad, eftersom ligninet finns kvar mer eller mindre intakt (se även nedan). Cellulosa och hemicelluloser bryts däremot ned. Veden blir spröd och spricker sönder i ett rutnätsliknande mönster, där liksom var ruta krymper ihop för sig och veden lätt smulas sönder.

Rypáček har gjort en sammanställning över vednedbrytande Basidiomyceter i mellaneuropa med avseende på vedslag och röttyp. Ett flertal av dessa svampar påträffas även hos oss.

Svamp orsakande	Svamp som endast angriper			Totalt
	Barrträd	Lövträd	Båda	
Vitröta	4	34	27	65
Brunröta	8	6	21	35
Totalt	12	40	48	100

(Efter Rypáček. Siffervärdena anger procentuell fördelning av röttyp etc).

Den här tendensen att brunrötesvampar lättare angriper barrträd och vitrötesvampar lövträd är känd sedan länge. Från kemisk synpunkt avviker barr- och lövträd från varandra främst med avseende på ligninnehåll och ligninsammansättning. Man har dock inte kunnat påvisa att olikheterna i ligninsammansättning skulle orsaka skillnaden i substratspecificitet mellan de

olika röttyperna. Rypáček framhäver särskilt att detta förmodligen icke är orsaken. De svampar som i naturen har preferens för barrträd utnyttjar sockerarterna galaktos och mannos bättre än glykos. Likaledes utnyttjas mannos bättre än xylos. Barrved, såväl gran som tall, har avsevärt högre halt mannos och galaktos än lövved. I barrträd är halten xylos (det typiska björksöcket) mindre än hälften av den i lövträd.

Kemiskt uttryckt skadar brunrötorna vedstrukturen genom att snabbt depolymerisera cellulosan (Cowling, 1961). Detta sker innan någon påtaglig viktsförlust kan påvisas i veden. I detta skede kan dock betydande hållfasthetsminskningar föreligga.

I en andra nedbrytningsfas sker en avsevärd viktsförlust varunder den depolymeriserade cellulosan bryts ned ytterligare och förbrukas, liksom även hemicelluloser. Denna andra fas åtföljs endast av en obetydlig ligninförbrukning (Kirk, 1973) även om olika nedbrytningsförändringar i den komplexa aromatiska ligninpolymeren äger rum (Kirk, 1971). En till fullo brunrötad ved består huvudsakligast av omformat lignin. I en sammanfattning över iakttagelser beträffande brunrötesvampars inverkan på lignin konstaterar Kirk (1975) bl a att inverkan av brunröte- och vitrötesvampar på lignin är likartad fram till en viss punkt. Brunrötor är dock till skillnad från vitrötor inte speciellt aktiva när det gäller att spjälka aromatiska ringar, och om de gör det överhuvudtaget är deras förmåga att ytterligare bryta ned ringfragmenten uppenbarligen dålig.

Grovkemin beträffande vit- och brunrötesvampars lignin nedbrytning är numera ganska väl känd. Däremot är den rent biokemiska kunskapen fortfarande otillräcklig. Fram till 1973 var inte ett enda enzym i lignin nedbrytningskedjan identifierat (Kirk, 1975). En stor svårighet är fortfarande avsaknaden av en definitiv och känslig assaymetod (bestämningsmetod). Även bristen på isolerat naturligt lignin är en hämsko.

5.2.4 Mögelrötsvampar

Hittills beskrivna mögelrötsvampar hör till Ascomycetes eller Fungi Imperfecti (Deuteromycetes). Denna grupp saknar sexuell förökning eller har sällan perfekta stadier eller är dess perfekta stadier ännu inte kända. De var till för snart 25 år sedan mycket litet studerade i vednedbrytningssammanhang. Först genom Savory (1954) fästes uppmärksamheten på deras ekonomiska betydelse som förstörare. Sedan dess har ett mycket stort antal publikationer belysande olika aspekter angående mögelrötsvampar/vednedbrytning kommit. Mögelrötsvamparna angriper cellulosa och polysackarider. Beträffande deras förmåga att bryta

ned lignin uppges att denna nedbrytning förefaller ske långsamt och att den kanske också är ofullständig. De liknar i detta avseende mest brunrötesvamparna.

I naturen är - med avseende på lignin nedbrytningsförmågan - mögelrötsvamparnas betydelse förmodligen begränsad (Kirk et al 1977 - se även avsnitt 5.3.1). Man förmodar att de kan bidra till humusbildningen och i vissa fall till en fullständig överföring till koldioxid. Enligt Käärik (1974) ingår mögelrötsvampar bland de första angriparna på nyexponerad ved. Angrepp orsakade uteslutande av mögelrötsvampar påträffas endast under extrema fuktbetingelser. Detta understryks också av Takahashi (1978) i en utmärkt översikt över mögelrötsvampen Chaetomium globosum. Just mögelröta tycks vara speciellt vanlig i miljöer där veden innehåller mycket vatten såsom i kyltorn, i pålgrundläggningar m m.

I början betraktades som "soft rot" sådana angrepp där vedytan var karakteristiskt mjuk och svampen en mikrosvamp. Numera kallas alla angrepp orsakade av mikrosvampar för mögelröta eller soft rot (Nilsson 1976), oberoende av hur vedytan makroskopiskt karakteriseras.

Enligt Levy (1965) kan mögelröta - i varje fall vid nedbrytning av ved i kontakt med marken - tjäna som vägröjare för senare basidiomycetangrepp.

För Chaetomium globosum har visats att renkulturer kan åstadkomma de för röttypen karakteristiska förändringarna. För andra mögelrötsvampar föreligger i flera fall motstridiga uppgifter.

Svårigheten att vid odling av renkulturer på laboratorier åstadkomma samma angreppsmönster som i naturrötat material påminner i mycket om de erfarenheter, som erhöles vid undersökning av bakteriell nedbrytning av pålvirke under grundvattennivå (Boutelje & Göransson, 1975).

Naturen arbetar endast i sällsynta fall med "renkulturer". I naturen ges möjligheter till växelverkan mellan organismer på ett helt annat sätt än i laboratorieodling. Detta har insetts av ett flertal forskare och man har vid samodling av olika organismer sökt fastlägga arten av dessa påverkningar organismerna emellan. Hittills har såvitt känt endast försök gjorts med två eventuellt tre organismer samtidigt. Morton och Eggins (1976) konstaterade vid två- organismförsök över mikrosvampar i ved följande mönster för växelverkan:

1. Stimulering eller retardering av en organism utan någon effekt på den andra.

2. Stimulering av den ena organismen på bekostnad av den andra.
3. Ömsesidig retardering eller antagonism.

Växelverkan mellan organismer i ved och successioner i organismsammansättningen vid olika tider är utan tvivel synnerligen komplexa processer, som kräver långt mer omfattande undersökningar än de som hittills utförts. På sikt bör sådana studier kunna ge en bättre förståelse för de ekologiska förloppen och bättre grund för rimliga vedskyddsprognoser.

5.3 Bakterier

5.3.1 Allmänt

Som en övergripande indelningsgrund kan man här betrakta organismernas olika syrekra. Såväl aeroba, mikroaerofila som anaeroba former finns (dvs former som kräver syre, kan tolerera låg syrehalt respektive inte tål syre). Indelning kan även ske efter temperaturkrav, men den distinktionen är mer diffus än föregående. Taxonomiskt (systematiskt) grundas indelningen på morfologi och biokemiska egenskaper.

Som väsentligt anger Kirk et al (1977) att de flesta mikroorganismer som kan angripa isolerade vedkolhydrater inte kan angripa vedvävnad. Detta gäller om de inte kan bryta ned ligninet, som rent fysikaliskt skyddar kolhydraterna, eller om inte vedvävnaden bryts ned till så små partiklar att ligninbarriären forceras. Det är troligt att Kirk's resonemang även är tillämpligt på bakteriell nedbrytning av trä, som alltid sker långsamt.

Det är svårt att förutspå hur bakteriell nedbrytning skulle påverkas av infiltreringsvattnets syrehalt, eftersom såväl anaerob som aerob bakteriell nedbrytning av trä har rapporterats. Det är möjligt att betydelsen av bakteriell nedbrytning kan öka avsevärt om även mögelrötsvampar är verksamma (Holt & Gareth Jones, 1978).

5.3.2 Anaeroba bakterier

Anaeroba bakterier är sedan länge kända som effektiva cellulosedbrytare i naturen. I samband med angrepp på pålvirke under grundvattenytan har olika former isolerats bl a av Boutelje och Göransson (dock icke i renkultur).

Odling i renkultur under laboratoriebetin gelse r är ofta synnerligen vansklig, eftersom många anaeroba bakterier syns kräva närvaro av andra organismer för att kunna överleva.

5.3.3 Aeroba bakterier

Att aeroba bakterier är verksamma vid nedbrytning av pålvirke är numera bevisat. En svårighet som fortfarande kvarstår är att i laboratorieförsök med renkultur över kortare tidsrymder imitera naturliga långtidsförlopp avseende angreppsbilden på vedmaterial.

Ett tillvägagångssätt som torde förkorta inkuberings-tiden har använts av Holt och Gareth Jones (1978). De har studerat kavitettsbildning i delvis delignifierad ved och med kontroller utan delignifiering. Som försöksbakterie användes Cellvibrio vulgaris, dels som renkultur, dels i samodling med mögelrötsvampen Chaetomium globosum. I och med att ligninbarrriären avlägsnades skedde bakterieangreppet snabbt. Nedbrytningen, mätt som procentuell viktsförlust för vedsnitt av bok och tall, visade sig vara större med bakteriekulturen enbart än i samodling med svampen. Försök med icke delignifierad ved av såväl bok som tall angreps inte av bakterien. Man förmodar dock att angrepp kommer till stånd under laboratoriebetingelser även på odelignifierad ved, men att detta endast sker efter mycket lång försökstid.

I Holt och Gareth Jones' undersökning var växelverkan mellan bakterie och svamp av negativ art. Man måste dock här än en gång understryka att försöket gjordes med delignifierad ved. En eventuell positiv växelverkan mellan organismerna i naturen då det gäller nedbrytning av obehandlad ved är givetvis inte alls utesluten. Många litteraturuppgifter nämner nämligen stimulering av nedbrytande organismer. Henningsson (1967) visade att nedbrytningshastigheten ökade om en icke vednedbrytande bakterie tillsattes till ved som var angripen av en vednedbrytande svamp. Speciellt tycks en positiv associering föreligga mellan mögelrötsvampar och bakterier vid angrepp på björk (Butcher, 1972). Butcher anser också att den höga associationsgraden mellan mögelrötsvampar och bakterier möjligen kan utgöra en förklaring till varför mögelrötangrepp uppkommer i ved.

5.4 Actinomyceter

Systematiskt hör dessa till bakterierna, men avviker såtillvida att deras tillväxtsätt erinrar om svamparnas. De bildar hyftrådar, som grenar sig och utvecklas till mycel. Likheten med svamparna är dock endast ytlig. Storleken är ungefär densamma som bakteriernas. Hyfernas diameter är ca 1 - 1,5 μm , dvs mindre än hos de flesta svampar. Kärnan är av bakterietyp och cytoplasman saknar flera för svampar typiska strukturer, bl a mitokondrier. I äldre stadier sönderfaller dessutom många former i typiska bakte-

rieenheter. Actinomyceter är aeroba men kan även växa i syrefattig miljö. Tillväxten är långsam. Trots detta har de god överlevnadsförmåga även i konkurrens med andra mikroorganismer. Många arter bildar - åtminstone under laboratoriebetingelser - för andra mikroorganismer giftiga substanser, t ex antibiotika. Huruvida detta också sker i naturen är fortfarande en omstridd fråga. I vart fall är det helt klarlagt att flyktiga luktämnen (bl a geosmin) bildas av actinomyceter i naturen. Sådana luktämnen kan i vissa fall hämma andra mikroorganismer.

Actinomyceter är vanliga i mark, men förekommer också i akvatiska miljöer - speciellt då i sötvatten. Markformer har sedan länge varit kända som aktiva cellulosanedbrytare in situ. Om actinomyceter aktivt nedbryter cellulosa i vatten och i bottenslam är inte till fullo bevisat. Cross & Collins (1966) visade att Micromonospora spp., isolerade ur bottenslam från olika provnivåer i en engelsk sjö, mer eller mindre reducerade draghållsfastheten hos bomullstråd (nästan ren cellulosa). I 15 av 52 isolat nedsattes bomullstrådens hållfasthet med 80 - 90 % inom 30 dagar.

Uppgifter tyder på att vissa markformer skulle kunna bryta ned cellulosa i ved. King och Eggins (1977) har visat att Streptomyces spp. är goda kolonisatörer av ved. Alla undersökta isolat penetrerade 7 cm tjocka vedblock fullständigt inom 28 dagar vid +25°C.

Actinomyceter har isolerats ur angripet pålmateriale av flera forskargrupper. Boutelje och Göransson isolerade ett flertal Micromonospora-stammar i sin undersökning 1975.

På grund av den långsamma tillväxten anses actinomyceter - när det gäller nedbrytning av organiskt material i marken - kolonisera materialet sist, således efter svampar och bakterier.

KEMISK NEDBRYTNING AV
TRÄPÄLGRUNDLÄGGNINGAR

Det har länge varit känt att starka lösningar av syror och alkali hydrolyserar vedens kolhydrater - hela cellulosaindustrin baseras ju på detta! Långtidseffekter av svaga lösningar, som t ex kan förväntas i pålgrundläggningar, i såväl sur som alkalisk miljö, förefaller inte vara studerade. Inte en enda referens om detta har kunnat återfinnas.

Att metaller av olika slag kemiskt inverkar och åstadkommer uppmjukning och nedbrytning av ved är välkänt.

I en serie publikationer av Rudge (enligt Cartwright & Findlay) hävdas att infiltration av oorganiska salter, speciellt kalciumsalter, kan resultera i vednedbrytning. Detta har dock inte bekräftats av andra forskare.

Koenigs (1974 a) har visat att låga koncentrationer av väteperoxid och tvåvärt järn orsakar snabb viktsförlust i ved av bl a Pinus taeda (loblolly pine). Cellulosans polymerisationsgrad i sålunda behandlad ved minskar snabbt redan vid låg viktsförlust hos veden, för att sedan gradvis avta. Effekten liknar den som brunrötesvampar åstadkommer i ved. På grund av detta - och med stöd av det faktum att brunrötesvampar bildar väteperoxid ur naturliga substrat i ved - har Koenigs (1974 b) framfört som en möjlighet att dessa svampar angriper cellulosa och delvis nedbryter ved via ett väteperoxid-tvåvärt-järn-system. Detta är en bestickande tanke!

Utlösning av vissa vedfraktioner sker när ved exponeras i vatten. Ytterligare en faktor som framförts i diskussioner är hur absorption av svaveldioxid inverkar på ved. Här ställer man sig frågan i vad mån atmosfärisk nedsmutsning och åtföljande urtvättning av sura komponenter bidrar till nedbrytningen. Såväl mikroorganismer som biologiska processer i marken påverkas förmodligen av surt nedfall (Tamm, 1976). Problemkomplexet är dock otillräckligt studerat ännu för att man skall kunna dra några slutsatser.

Av gaser finns i jorden huvudsakligen kolsyra samt kväve. Kväve kan knappast angripa trä. Däremot är det okänt hur det förhåller sig med kolsyra.

7 MILJÖFAKTORER VID NEDBRYTNING

7.1 Miljöparametrar

7.1.1 Tillgång till syre och fukt

Tillgång till syre betraktas allmänt som en av de viktigaste faktorerna i samband med biologisk nedbrytning av trä, eftersom nästan samtliga svamparter behöver syre för sin utveckling. Vissa mikrosvampar, t ex Fusarium solani, som är kända som mögelrötsvampar (Duncan och Eslin 1966) tycks dock fortfarande kunna utveckla sig vid syrekoncentrationer under 14 mg per liter atmosfärisk luft (Walsh, 1972). Medan atmosfärisk luft innehåller ca 280 mg syre per liter är tillgången av syre i vatten mindre än 10 mg/liter. För de flesta rötsvampar på trä innebär tillgång till atmosfärisk luft en gynnsam förutsättning för tillväxt.

Utöver syre är vatten en livsnödvändighet för röt-svampar. Förhållandena för röta blir optimala för de flesta rötsvampar då en kombination av följande faktorer föreligger:

- Direkt tillförsel av atmosfärisk luft.
- Vedcellernas väggar är mättade med vatten och mot lumensidan täckta med en vattenfilm. Detta förhållande motsvarar en fuktkvot mellan 30 och 50 %.
- Temperaturen ligger mellan 15° och 30°C.

Om cellväggarna är mättade med vatten och dessutom cellumina är fyllda med vatten - för furu och gran gäller detta vid fuktkvoter över 150 % - blir bristen på tillräcklig syretillförsel en hämmande faktor för många rötsvampar. En grupp av svampar, mikrosvamparna, tål dock en mycket fuktig miljö och utvecklas även då veden är mättad med vatten. Sådana angrepp (mögelröta, "soft rot") berör till att börja med ytorna hos de utsatta trästyckena och är mera utpräglade i väl syresatt strömmande vatten - t ex i trä hos kyltorn - än i stillastående syrefattigt vatten.

Många trägrundläggningar som permanent stått under grundvattenytan har varit funktionsdugliga under mycket lång tid. En sänkning av grundvattenytan innebär att aeroba förhållanden skapas för organismer och därmed ökar rötrisken genom mögelrötsvampar och andra rötsvampar påtagligt.

Ovan har framhävts risken för röta då en grundläggning utsätts för syretillträde. Ofta har tyvärr denna problematik förenklats för mycket och uttalanden att grundläggningar som står under vatten skulle vara

skyddade mot angrepp är bevisligen felaktiga. Av Houtinstituut (1966), Boutelje & Göransson (1975), Eslyn och Clark (1975), Scheffer, Duncan, Wilkinson (1969) etc framgår att under anaeroba förhållanden kan bakteriell nedbrytning av grundläggningsvirke förekomma och att denna nedbrytning kan leda till ansevärliga hållfasthetsnedsättningar. På Svenska Träforskningsinstitutet har man också ofta konstaterat påtaglig nedbrytning i brogrundläggningar som bevisligen aldrig har stått ovan vatten. Bakteriell nedbrytning under aeroba betingelser har beskrivits av Harmsen och Vincents Nissen (1965) och av Harmsen (1970).

I kv Pyramiden på Södermalm i Stockholm togs 1974 prov av en träpåle. Provet delades och ena halvan sattes tillbaka i jorden på sin ursprungliga plats som referens för framtida undersökningar. Man kunde 1974 konstatera att träpålen var angripen av bakterier trots att den hela tiden stått under grundvattenytan. Den andra halvan av pålen togs upp 1978 och en laboratorieundersökning visade en lägre hållfasthet jämfört med proven 1974. BILAGA 1. Detta pekar på en långsam nedbrytning på grund av bakterieangreppen. Skillnaden mellan tryckhållfastheten 1974 och 1978 är ca 10 %.

Växt av vedrötande svampar under reducerad syretillgång har beskrivits redan av Bavendamm (1928 enligt Cartwright & Findlay 1958). Liknande undersökningar har gjorts av flera forskare, bl a av Walsh (1972). I Walsh's undersökning om mögelrötsvampar konstateras bl a att förmågan hos försökssvamparna att utnyttja kolkällor minskar vid låga syrgasspänningar, men att varken låga glykoskoncentrationer eller en polymer kolkälla (cellulosa eller stärkelse) föreföll att begränsa tillväxten ens vid lägsta syrgasspänning.

Överlevnad av vednedbrytande svampar i ved nedsänkt i vatten studerades av Schmitz och Kaufert (1938 enligt Cartwright & Findlay 1958). De fann bl a att brunrötesvamparna Trametes serialis, Lentinus lepideus och Lenzites trabea (numera Gloeophyllum trabeum) odlade på furusplint klarade 38 veckors inkubering under vatten, medan vitrötesvampen Polyporus anceps (numera Dichomitus squalens) under samma betingelser dog ut inom ca 6 veckor. Enligt Cartwright & Findlay är den praktiska slutsatsen härav att "medan långvarig lagring av ved under vattenytan kan hejda spridningen av pågående nedbrytning, kan den inte förväntas döda svampen som orsakar den".

Redan Hirayama (1938 enligt Cartwright & Findlay) framförde den tanken att cellulosedbrytande svampar (brunrötter) har större förmåga att respirera anaerobt än vad ligninbrytare (vitrötter) har. Detta är mycket rimligt att anta eftersom ligninbrytning såvitt bekant innebär oxidation.

Med undantag för jästsvampar är inga fall kända där obligat (nödvändig) anaerob växt av svamp visats. Däremot har man visat att fakultativ (tillfällig) anaerob svampväxt förekommer. Många arbeten publicerade fram till ca 1960 över svampväxt under mikroaerofila eller anaeroba betingelser är såväl svårvärderade som motsägande. Orsaken härtill är att slutsatser beträffande syrekrav baserats på halvkvantitativa eller visuella uppskattningar. Undersökningarna försvårades också av att man då icke hade möjlighet att skilja mellan anaerob tillväxt och anaerob metabolism (fermentation). Inte heller kunde man åstadkomma rigorösa anaeroba betingelser (Bull & Bushell, 1976).

7.1.2 Temperatur

Som tidigare omnämnts ligger idealtemperaturen för många röttsvampar mellan 15° och 30°C. Temperaturen i jorden och grundvattnet kring en grundläggning samt i själva grundläggningsvirket är normalt 5° - 10°C. En temperatur av 5° - 10°C hindrar dock ingalunda rötangrepp om övriga betingelser för röta är uppfyllda. I detta sammanhang bör påpekas att den optimala temperaturen för de organismer som har isolerats ur grundläggningsvirke - oavsett om det har varit bakterier eller svampar - ofta inte är känd under naturliga förhållanden. Det finns dock starka skäl att anta att även små temperaturökningar kan medföra en påtagligt ökad biologisk aktivitet. Huruvida den ökade omfattningen av uppvärmning i källarutrymmen påverkar nedbrytningen är osäkert. I detta samband bör dock påpekas att enligt danska erfarenheter skador på grundläggningspålar under yttre grundmurar har varit mindre omfattande än under innerväggar. Några svenska dokumenterade erfarenheter föreligger inte.

7.1.3 Näringssubstanser

Bl a Boutelje, Göransson och Granstrand (1974) och Wälchli (1970) har belyst betydelsen av näringsämnen i jorden (t ex organisk kväve och fosfor) för tillväxt av rötorganismer. I en fyllningsjord med mycket organisk substans är angreppen på pålgrundläggningar i allmänhet större än i en lermark utan organiskt kväve och fosfor. Cowlings undersökningar (1966, 1970) visar betydelsen av kväve i virket för de nedbrytande organismerna. Läckande avloppsledningar kan bidra till att gynnsamma betingelser med avseende på näringsämnen skapas för nedbrytande organismer.

Kväve är sedan länge ansedd som en begränsande faktor vid vednedbrytning. Flera arbeten om lösligt kväve i ved har publicerats, bl a av King och medarbetare

(1974, 1975, 1976). King et al har visat att en omfördelning av lösligt kväve äger rum vid torkning av ved. Lättlösliga kväveföreningar transporteras ut mot vedytan, något som utan tvivel kan gynna uppkomsten av röta vid markkontakt. Park (1976) har visat att kol/kväve-kvoten som indikator för potentiell nedbrytbarhet är behäftad med vissa brister speciellt då kolkällan är ett olösligt substrat (modellsubstans - cellulosa). Park föreslår istället kvävekonzentrationen (eller mineralkonzentrationen) som varande i flera fall ett mer relevant mått på mikroorganismaktivitet. Park's data ger stöd för ett samband mellan koncentration av kvävekälla, nedbrytningshastighet och olika organisms succession under nedbrytningen.

I ett arbete från 1973 (publicerat 1975) ger Levy preliminära data som tyder på att kvävefixerande bakterier medverkar vid nedbrytning av ved i markkontakt. Huruvida kvävefixerande bakterier förekommer i de blandfloror som finns i angripna pålgrundläggningar ger litteraturen inga upplysningar om. Levy's iakttagelser förtjänar all uppmärksamhet vid fortsatta studier av pålgrundläggningar!

7.1.4 pH

Vid en undersökning av grundläggningar i Stockholm och Göteborg (Boutelje, Göransson, Granstrand) hade grundvattnet pH-värden mellan 7,2 och 8,0. I jorden kring grundläggningen var pH 6,2 - 8,2. I allmänhet gynnar pH-värden på denna nivå mera tillväxt av bakterier än av svampar. De senare föredrar en något surare miljö (pH 4 - 6).

7.2 Jordbeskaffenhet

Det mest väsentliga har redan omnämnts i tidigare avsnitt och innebär i stort sett att rötriskerna är större i grovporiga, mullhaltiga jordtyper än i täta jordarter utan organisk substans. Särskilt betydelsefullt torde vara att i grovkorniga jordar diffunderar syret lättare fram till träkonstruktionen vid tillfälliga grundvattensänkningar än om konstruktionen står i tät lera.

8 SKADEBESKRIVNING

8.1 Hastighet

Nedbrytningshastighet och intensitet i träangrepp är beroende av en rad faktorer. Viktigt härvidlag är vedens kemiska sammansättning, främst kanske då dess halt av sekundära substanser (följesubstanser) som vissa svampar är speciellt känsliga för. Det kan röra sig om extraktivämnen, t ex den fenoliska substansen pinosylvin, vars förekomst i kärnved hos tall i viss mån förklarar kärnvedens något större resistens mot angrepp än splintvedens. Dessa ämnen inhiberar vednedbrytning genom att minska aktiviteten hos svampens enzymsystem (Rypáček).

Dokumenterade erfarenheter beträffande nedbrytningshastigheten hos en grundläggning som genom grundvattensänkning utsätts för syretillräde är få. För t ex pålar under Kungl Teaterns magasinsbyggnad i Köpenhamn omnämns att de under en tolvårsperiod efter en grundvattensänkning blev totalt förstörda (Teknologisk Institut och Danmarks Geotekniske Institut, 1975). Enligt Fellenius (1955) kollapsade nyslagna träpålar för en provbelastningsanordning redan drygt ett år efter nedslagningen på grund av rötangrepp. Rötangreppen berodde på att den övre delen av träpålarna stod i 2 m grusfyllning. Grundvattnet låg i fyllningens nedersta del, vilket medförde hög fuktighet hos pålarnas övre delar.

Nedbrytningshastigheten är mycket beroende av syrets diffusionshastighet, som i sin tur är beroende av markbeskaffenhet och sådana faktorer som asfaltering kring eller förekomst av luftspalter under byggnaden etc (van Uchelen, 1973).

Osäkerheten beträffande tidsförloppet för den nedbrytning som har konstaterats i trägrundläggningar under grundvattenytan är ännu större. Eftersom många av de undersökta grundläggningarna är från sekelskiftet och splintveden oftast fortfarande inte är totalt förstörd är det emellertid sannolikt att denna nedbrytning sker långsamt.

8.2 Skadebild och skadebedömning

I praktiken har det visat sig att samtliga trägrundläggningar under äldre hus är mer eller mindre skadade. Både i trägrundläggningar som genom grundvattensänkning blivit utsatta för syretillräde och i trägrundläggningar som står i vatten börjar nedbrytningen i perifera zoner av konstruktionsdelarna för att med tiden gå in mot de centrala delarna.

Nedbrytningen är i allmänhet störst i närheten av ändytor. Grundvattenytan pendlar hos många trägrundläggningar i gamla stadsdelar omkring pålavskärningsnivån. Detta innebär ofta att en grundläggnings högst belägna delar är mest nedbrutna. Det händer sålunda inte sällan att om två rustbäddsskikt föreligger, så är det övre rustbäddsskiktet betydligt mera angripet än det undre.

Den mest nedbrutna delen i en träpåle ligger nästan undantagslöst i den perifera zonen, dvs i splintveden, nära pålavskärningsytan. Inte sällan är splintveden påtagligt angripen medan kärnveden nästan är ograverad. Veddensiteten är oftast högre i trädstammarnas perifera än i deras inre delar. Detta betyder att det är den starkaste veden som först blir utsatt för nedbrytning.

Hos trägrundläggningar som står i tät lera och är täckta av grundvatten är kärnveden nästan alltid helt oskadad. Som tidigare påpekats kan dock splintveden även hos sådana grundläggningar förete tydliga skador.

Det faktum att rustbäddsvirke - trots att det ligger över pålavskärningsnivån - ofta har bättre kvalitet än pålvirket beror på att det ofta innehåller en stor andel kärnved (grova virkesdimensioner sågade ur centrala stamdelar). Nedbrytningen i rustbäddsvirke kan variera starkt om splintvedsandelen är olika i olika plank. En eller flera starkt nedbrutna plank som råkar innehålla mycket splintved behöver inte vara representativa för rustbädden i övrigt. För att erhålla en korrekt bedömning av kvaliteten i en rustbädd bör hänsyn tas till dessa förhållanden vid besiktningar och uttag av material.

Svenska grundläggningar för byggnader och broar utgörs mestadels av furu, ibland av furu och gran och mera sällan av enbart gran. I enstaka fall har ek använts som grundläggningsvirke (t ex Norrbro i Stockholm). I kontakt med mark och samtidigt utsatt för luft är varken furu eller gran beständiga (livslängden är mindre än 10 år) i motsats till ekvirke, som under sådana förhållanden har en ungefärlig livslängd mellan 15 och 25 år (Princes Risborough 1957, 1972). Kärnveden hos furu är, i kontakt med mark, beständigare än splintveden. Skillnaden är dock mindre än man i allmänhet trott (D.F. Purslow, 1976).

Det har tidigare omnämnts att vatten skyddar träkonstruktioner relativt väl. Här bör dock noteras att denna beständighet i första hand gäller kärnveden hos såväl furu som gran. Splintveden i träkonstruktioner, t ex i brogrundläggningar och även i trägrundläggningar som har stått i grundvatten, har oftast en betydligt nedsatt hållfasthet. Dessa hållfasthetsnedsättningar av konstruktionsvirke i

vatten är oftast större i splintveden hos furu än hos gran. Eftersom splintvedsandelen i en grundläggningspåle brukar vara 50 - 70 % och splintvedens hållfasthetsnedsättning ofta är 50 % eller ännu mera är denna typ av hållfasthetsnedsättning av praktisk betydelse.

Visuellt innebär nedbrytning i allmänhet att veden missfärgas, ofta gråaktigt till svart. Intensiteten av missfärgningen är dock ett mycket dåligt kriterium för nedbrytningens intensitet och enstaka fall har observerats, där splint har blivit ljusare i stället för mörkare vid nedbrytningen. En mörk splint kan å andra sidan vara relativt väl bibehållen.

Erfarenheten visar således att visuell bedömning av nedbrytningsgraden av en grundläggning är mycket vansklig. Om en grundläggning är mycket påtagligt upprutten kan detta givetvis konstateras utan omständiga undersökningar. Däremot måste positiva bedömningar beträffande status av en trägrundläggning betraktas med stor skepsis om de endast är baserade på en visuell bedömning.

Ett test, varvid man skjuter ett vässat stift in i veden och mäter inträngningsdjupet (Pilodyn instrument), kan ge en viss uppfattning om vedkvaliteten. Detta test utsäger dock enbart något om perifera veddelar eftersom största inträngningsdjupet är 40 mm.

Med vanliga tillväxtborrar kan även inre delar av träpålar och rustbäddar framtas. För hållfasthetsförsök eller mikroskopisk undersökning är vanliga borkärnor mindre lämpliga på grund av att deras diameter är liten och att uttagningen brukar medföra deformationer och brott i provningsmaterialet. Borkärnor med större diameter än 30 mm kan användas såväl för hållfasthetsförsök som för mikroskopisk undersökning men deras uttagning kan inte ske manuellt.

9 TILLÄMPNING OCH PRAKTISKA RÅD

9.1 Förundersökningar

9.1.1 Allmänt

Det är normalt svårt eller omöjligt att fullständigt klargöra jord- och grundförhållanden för en hel byggnad eftersom

- undersökningarna av ekonomiska skäl endast kan utföras i ett fåtal punkter,
- undersökningspunkterna av praktiska skäl ofta inte kan placeras där de förväntas ge bästa möjliga information,
- jordförhållandena kan variera på grund av schaktning och återfyllning i samband med tidigare grundläggningsarbeten,
- relationsritningar ofta saknas eller är ofullständiga,
- ventilationen och/eller grundvattnets strömningshastighet kan variera inom olika delar av grunden,
- läckande avloppsledningar kan ge stora lokala miljövariationer för grundläggningsträet

Som underlag för bedömningar måste man därför ofta nöja sig med stickprovsvisa undersökningar och kontroller i kombination med tidigare erfarenheter från liknande projekt.

9.1.2 Grundvattenobservationer

Grundvattenytans nivå bestäms genom mätning i observationsrör fördelade över hela byggnadsytan. Observationsrörens spetsar skall vara placerade under pålavskärningsnivån och i jordlager som har hydraulisk kontakt med jorden runt grundläggningsträet. Rörens funktion bör kontrolleras regelbundet genom påfyllning av vatten och mätning av vattenytans sjunkning efter påfyllning.

Det är viktigt att grundvattenytans nivå bestäms inom hela byggnadsytan.

Grundvattenytans nivåvariationer skall undersökas. Påverkas nivån av närliggande vattendrag eller sjö? Grundvattenytans nivå är årstidsberoende, varför observationstiden bör omfatta minst ett år. Markant skillnad kan dessutom föreligga mellan nederbördsrika och nederbördsfattiga år.

Allmänt gäller att bedömningsunderlaget förbättras med observationstidens längd.

9.1.3 Sättningsmätning

Sättningar i byggnader kan bestämmas antingen genom precisionsavvägning av dubbar i grundkonstruktionen eller med sättningspeglar. Sättningspeglar har högre mätnoggrannhet (ca 1/100-dels mm) och är därför att föredraga.

Sättningshastigheten är oftast låg och tillgänglig observationstid kort. Det är därför synnerligen viktigt att mätningarna görs med största möjliga noggrannhet och påbörjas så tidigt som möjligt. I annat fall kan sättningsprognosen bli felaktig liksom de beslut som betingas därav.

9.1.4 Grundkonstruktion

Grundkonstruktionens utformning bestäms så noggrant som möjligt för aktuell byggnad samt för närliggande byggnader genom arkivforskning. Uppgifterna kontrolleras där så är möjligt genom besiktning och kompletterande mätningar.

Genom avvägning bestäms nivåer för lägsta golv o d i berörda byggnader. Kan en bevattning medföra risk för översvämning i en grannfastighet? Nivåskillnaden mellan pålavskärning och lägsta källargolv är ofta liten.

9.1.5 Grundvattenkvalitet

Grundvattenprov bör tas i särskilda rör som placeras i omedelbar anslutning till träpålarna. Ett järnrör slås därvid ned till lämpligt djup. Inuti järnröret förs ned ett i nedre delen perforerat plaströr, varefter järnröret dras upp. Grundvattnet i plaströret omsätts ett par gånger genom pumpning. När vattenytan i röret stabiliserats tas vattenprov.

Vattenprov skall tas före provgroppgrävning. Det har nämligen visat sig vara mindre lämpligt att ta vattenprover i en provgrop. Luften har då haft fritt tillträde till angränsande jord och vatten vilket medför att syrebestämningen blir osäker. I samband med grävning av provgropar erfordras dessutom ofta bortpumpning av tillrinnande vatten. Vatten från läckande avloppsledningar kan därvid strömma till provtagningsstället och medföra missvisande analysresultat.

I finkornig jord kan man, om tillgången på vatten är liten, genom centrifugering av jordprover separera

vatten och jord.

Grundvattenprover analyseras på laboratorium (bortsett från bestämning av syrehalten, som görs på platsen). Analyser som vanligen utförs är:

- Bakteriologisk analys

koliforma bakterier

- Fysikalisk-kemisk analys

ledningsförmåga	ammoniumkvävehalt
pH	nitritkvävehalt
totalhårdhet	nitratkvävehalt
kloridhalt	totalkvävehalt
sulfathalt	fosfatfosforhalt
alkalitet	totalfosforhalt
salinitet	ferrojärnhalt

9.1.6 Jordprovtagning

Jordprover bör tas så nära träpåle som möjligt, över, i anslutning till och under grundvattenytan.

Lämpligaste provtagningsmetod - skruvprovtagning, kolvprovtagning eller i en provgrop - beror på tillgängligt utrymme och jordförhållanden. Upptagna jordprover bör förvaras vid $+2^{\circ}\text{C}$ - $+5^{\circ}\text{C}$, såvida bakterieprov inte tas direkt genom lämpligt inokulationsförfarande.

På laboratorium analyseras jordproverna med avseende på jordart, naturlig vattenkvot, glöddrest och glödförlust, kloridhalt, total järnhalt och ferrojärnhalt, nitritkvävehalt, nitratkvävehalt, totalkvävehalt, totalfosforhalt, totalsvavelhalt och sulfatsvavelhalt.

9.1.7 Provgropsgrävning

Provgropsgrävning ger den säkraste och fullständigaste bilden av jord- och grundförhållanden. Provgropsgrävning är dock en kostsam metod.

Provgropar bör noga dokumenteras genom uppritning av plan och sektioner. Därvid skall anges nivåer för markyta, jordartsgränser, botten, grundvattenyta, pålavskärning, källargolv m m samt pållutningar och/eller rustbädds konstruktiva utformning. Provgropar bör alltid fotograferas. Representativa jordprover tas av de olika jordlagren och särskild beskrivning av jordförhållanden och grundmurens uppbyggnad närmast grundläggningsträet bör upprättas. Notera även tecken på jordsättningar exempelvis mellanrum mellan golv och jord och mellan balkar och jord.

9.1.8 Tagning och analys av träprover

Grundläggningsträet schaktas fram genom provgruppsgrävning. Prover tas i olika delar av träpålar och rustbäddar i anslutning till de ställen där jordprover tidigare tagits.

Data om provernas lägen i grundkonstruktionen och om materialets ålder bör införskaffas. Ange för samtliga prover plats, nivå, dag, klockslag samt vem som är ansvarig för provtagningen.

Grundläggningsträet kan i vissa fall vara blottlagt en tid innan provtagning sker. Detta bör dock i möjligaste mån undvikas. Inhämta uppgifter om när schaktningen påbörjats, när pålarna blottats genom pumpning etc.

Provets (trätrissans) tjocklek bör helst överstiga 7,5 cm så att det finns möjlighet att dels framställa 2 x 2 x 6 cm stora prismor (6 cm i fiberriktningen) för hållfasthetsprovning dels ta ut provbitar för mikroskopisk och mikrobiologisk undersökning.

Träprov bör omedelbart efter uttagandet överföras till plastpåse och inte förvaras varmare än +5°C och inte kallare än +2°C (prov för mikrobiologisk undersökning). Djupfrysning kan dock ske av material som enbart skall användas för träteknologisk undersökning. (Det finns nämligen risk att man kan misslyckas med isolering av eventuellt förekommande mikroorganismer om materialet är djupfrost.)

Två dagar före provtagningen bör laboratoriet varskos så att substrat etc för odling hinner beredas i tid. Någon av de personer som är ansvarig för laboratorieförsöken bör beredas tillfälle att vara närvarande vid provtagningen.

Proverna skickas till laboratorium för hållfasthetsprovning, mikroskopisk undersökning samt eventuellt mikrobiologisk och kemisk undersökning.

Vid mikroskopisk undersökning på laboratorium bestäms art och omfattning av rötskador. Förekomst av olika fungi (svampar) och bakterier bestäms genom odlingsförsök. Dessutom bestäms fuktkvot, askhalt, kvävehalt, fosforhalt och järnhalt (procent av torrsubstans och aska) 0 cm, 5 cm och 10 cm från periferin samt i kärnan.

9.2 Kontrollerad bevattning

Förutsättningarna för att man skall kunna satsa på kontrollerad bevattning som en temporär eller permanent åtgärd är att träpålarna därigenom skall kunna

bära byggnaden under dess kvarstående livslängd. Exempelvis är avskrivningstiden för ombyggnadslån ofta 30 år.

Som tidigare nämnts vet man för närvarande inte hur kontrollerad bevattning påverkar grundläggningsträ. Tills vidare - under de närmaste åren - bör man dock med viss försiktighet kunna rekommendera metoden. Som grund för rekommendationen ligger då det kända faktum att det är fördelaktigt att grundläggningsträet ligger på betryggande djup under grundvattenytan. Dessutom vet man ju med säkerhet att träet kommer att brytas ner om det ligger ovanför grundvattenytan. Tidsförloppet för nedbrytningen kan dock inte förutses.

Kontrollerad bevattning är en relativt billig metod och jämförbara alternativ från ekonomisk synpunkt saknas. Även av det skälet kan det därför vara motiverat att försöka rädda en trägrundläggning med kontrollerad bevattning, trots att man inte med full visshet kan förutse effekten. Detta gäller speciellt om huset har god standard eller skall bevaras av miljöskäl.

När det gäller omoderna, icke kulturhistoriskt intressanta hus som måste rustas upp bör man tills vidare vara återhållsam med att använda kontrollerad bevattning.

Nedanstående faktorer bedöms minska nedbrytningshastigheten i trä eller i bästa fall kanske t o m få den att avstanna. Man bör därför sträva efter att de uppfylls i så hög grad som möjligt.

- Trägrundläggningen skall permanent stå i vatten. Grundvattenytan bör helst ligga 0,5 m över trädets översta delar.
- Grundvattenomsättningen bör vara låg. Ledningsgrarna kan behöva kompletteras med tätskärmar.
- Avloppsledningar bör vara täta för att förhindra förorening av grundvattnet.
- Infiltrationsvattnet skall ha låg temperatur, låg syrehalt och ringa innehåll av näringsämnen.

10 FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNING

10.1 Nackdelar och fördelar med laboratorie-
skaleförsök respektive fältförsök

Låt oss först konstatera att mycket av den forskning som utförts över nedbrytning av lignin, cellulosa, hemicellulosor m fl substanser gjorts på ur ved frilagda rena substrat (dvs icke bundna som i naturlig ved) eller på modellsubstanser (gäller speciellt lignin). I naturen är ved kemiskt olika beroende på träslag, ålder m m.

Att utan fältförsök dra slutsatser enbart från laborieförsök om hur angreppsmönster utbildas i naturen, om hur bekämpning bör ske etc, är mycket vanskligt. Laborieförsök utförs vanligtvis med renkulturer och under mer eller mindre kontrollerade betingelser. Sådana försök ger inget grepp om inverkan av naturliga fluktuationer som kan ha stor betydelse för praktisk tolkning av erhållna resultat.

Den kanske viktigaste invändningen mot enbart laborieförsök är följande. Som regel arbetar man i laboratorium under sådana betingelser att respektive försök utgörs av ett slutet system. In situ däremot är systemen inte slutna utan transportmekanismer av olika slag och i olika riktningar kan vara verksamma. Sådana icke slutna system är dock svårstuderade. Vid laborieförsök med renkulturer uppträder inte sällan hämningsfenomen. Det kan gälla ackumulering av giftiga ämnesomsättningsprodukter (organismen "omkommer" eller hämmas av sina egna spillprodukter), degeneration av försöksorganismen, mutationer m m. I renkulturförsök bortfaller också samspelet mellan olika organismer - ett samspel som är vanligt i naturen. Försök kan visserligen göras med blandfloror. Man har dock fortfarande att göra med slutna system utan naturliga transportmekanismer och man kan ofta ifrågasätta om den använda blandfloran av organismer är representativ för naturliga förhållanden.

10.2 Fortsatt forskning

Den forskning som är mest aktuell kan sammanfattas i nedanstående punkter.

- Inventering och utvärdering av pågående, kontrollerade bevattningar.
- Fältförsök (fullskaleförsök) med kontrollerad bevattning under olika betingelser dels där bevattning pågått en längre tid, dels påbörjande av nya försök.

- Förnyade undersökningar av trägrundläggningar som undersökts tidigare (helst för mer än tio år sedan). Gamla Riksdagshuset - där prov tagits 1968 - är ett exempel på lämpligt försöksobjekt. (TYRENS har för detta projekt sökt anslag hos BFR.) Jfr undersökningarna i kv Pyramiden, Stockholm (BILAGA 1).
- Laboratorieundersökningar och försök (träanalyser under olika betingelser, mikrobiologisk aktivitet, vattenanalyser m m).
- Prov med reduktion av syrehalt i vatten.

Frågor som kräver svar:

- Är det möjligt att på sikt bevara grundläggningsträ genom kontrollerad bevattning?
- Måste träet vara helt friskt för att en bevattning skall bli meningsfull? Hur angripet kan träet få vara? Hur fördröjs förruttnelseprocessen vid bevattning av en redan angripen trägrundläggning?
- Kan träprovtagning och analys standardiseras?
- Hur syrerikt får infiltrationsvattnet vara utan att friskt grundläggningsträ angrips av svampar och bakterier eller att angrepp på redan angripet trä underhålls eller accelereras?
- Finns det någon metod att nedbringa infiltrationsvattnets syrehalt som är acceptabel från ekonomisk och miljömässig synpunkt?
- Hur påverkas nedbrytningsförloppet om bakteriehämmande substans tillsätts infiltrationsvattnet?
- Vid vilka förutsättningar från geoteknisk synpunkt är kontrollerad bevattning lämplig och hur undersöks dessa förutsättningar?
- Vilka kontrollåtgärder behövs?

LITTERATUR

Bergman, G., 1977, Kontrollerad bevattning av träpäl-
lar. Särtryck ur Byggmästaren nr 12.

Bohm, H., 1976, Översiktlig utredning om grundlägg-
ningsförhållandena för innerstaden. Stockholms Fas-
tighetskontor, Grundläggningssektionen.

Boutelje, J.B., Göransson, B. & Granstrand, G.,
1974, Byggeforskning Rapport R20:1974, kapitel 14.

Boutelje, J.B. & Göransson, B., 1975, Swedish
J.agric.Res. 5, p. 113-123.

Bull, A.T. & Bushell, M.E., 1976, Environmental
control of fungal growth. - I The Filamentous Fungi
2, Biosynthesis and Metabolism (eds. Smith, J.E.
& Berry, D.R.), p. 1-31 Edward Arnold London.

Butcher, J.A., 1972, I Biodeterioration of Materials
2/Proc.2nd Int Biodegr.Symp. - Lunteren, The Nether-
lands 1971/ (eds. Walters, A.H. & Hueck-van der Plas,
E.H.), p. 319-325 Appl.Sci.Publ., London.

Cartwright, K.St.G. & Findlay, W.P.K., 1958, Decay
of Timber and its Prevention, 2nd Ed., HMSO London.

Cowling, E.B., 1961, U.S.D.A. Tech.Bull No 1258.

Cowling, E.B., 1966, Can. J. Bot., 44, p. 1544.

Cowling, E.B., 1970, Nitrogen in forest trees and
its role in wood deterioration. Dissertation, Upp-
sala.

Cross, T. & Collins, V.G., 1966, IX Int.Congr. for
Microbiology, Moskva. Abstr.of Papers - Micromono-
spora in an inland lake.

Duncan, C.G. & Eslyn, W.E., 1966, Mycologia 58,
p. 642.

Eslyn, W.E. & Clark, J.W., 1975, Organismen und Holz,
Heft 3, p. 43.

Fellenius B., 1955, Resultat från pålprovningar vid
Göteborg C. Meddelande nr 5 från Kungl Järnvägssty-
relsens geotekniska avdelning. p. 15. Stockholm.

For. Prod. Res. Lab, Princes Risborough, 1957, A
handbook of softwoods.

Harmsen, L. & Vincents Nissen, T., 1965, Ingenior-
och bygningsvaesen Nr 7, p. 157.

- Harmsen, L., 1970, *Traeindustrien* 20 (3), p. 43.
- Henningsson, B., 1967, Interactions between microorganisms found in birch and aspen pulpwood, *Studia Forestalia Suecica*, 53, Skogshögskolan, Stockholm.
- Holt, D.M. & Gareth Jones, E.B., 1978, *Material u. Organismen* 13, p. 13-30.
- Houtinstituut, TNO Delft, 1966, Rapport H-66-95.
- King, B. & Eggins, H.O.W., 1977, *J.Inst.Wood Sci.* 7(6), p. 24-29.
- King, B., Oxley, T.A. & Long, K.D., 1974, *Material u. Organismen* 9, p. 241-268.
- King, B. & Oxley, T.A., 1976, *I Proc.3rd Int.Biodegr. Symp./Kingston, Rhode Island 1975/*, (eds. Sharpley & Kaplan), p. 387-994, *Appl.Sci.Publ.*, London.
- Kirk, T.K., 1971, *Ann.Rev. Phytopath.* 9, p. 185-210.
- Kirk, T.K., 1973, *The chemistry and biochemistry of decay. I - Wood Deterioration and its Prevention by Preservative Treatment, Vol.I*, (ed. Nicholas, D.), Syracuse Univ.Press, Syracuse, N.Y.
- Kirk, T.K., 1975, *Chemistry of Lignin Degradation by Wood-Destroying Fungi. I - Biological Transformation of Wood by Microorganisms/(Proc. 2nd Int. Congr. of Plant Pathology, Minneapolis 1973)* p. 153-164, Springer-Verlag Berlin/Heidelberg.
- Kirk, T.K., Connors, W.J. & Zeikus, J.G., 1977, *Rec. Adv. in Phytochemistry* 11, p. 369-394.
- Koenigs, J.W. 1974a, *Wood and Fiber* 6, p. 66.
- Koenigs, J.W. 1974b, *Arch. Mikrobiol.* 99, p. 129-145.
- Käärik, A.A., 1974, *Biology of Plant Litter Decomposition Vol 1*, (eds Dickinson, C.H. & Pugh, J.E.), p. 129-174, Academic Press, London and New York.
- Levy, J.F., 1965, *Adv.Bot.Res.*2, p. 323
- Levy, J.F., 1975, *Bacteria Associated with Wood in Ground Contact. I - Biological Transformation of Wood by Microorganisms.* p. 64-73.
- Lindskoug, N-E, & Nilsson, L-Y, 1974, *STEGAs arbete 1966-73, Grundvatten och byggande. Rapport BFR R20:1974.*

- Morton, L.H.G. & Eggins, H.O.W., 1976, Material u. Organismen 11, p. 197-214.
- Nilsson, T., 1976, Soft-Rot Fungi - Decay Patterns and Enzyme Production. I - Organismen und Holz. Int. Symp. Berlin-Dahlem 1975, Beihefte zu Material u. Organismen Heft 3, p. 103-112, Duncker & Humblot, Berlin.
- Park, D., 1976, Carbon and nitrogen levels as factors influencing fungal decomposers. I - The role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition processes. (eds. Anderson, J.M. & Macfadyen, A.), p. 41-60, Blackwell Sci.Publ., London.
- Princes Risborough Lab. 1972, A handbook of hardwoods.
- Purslow, D.F., 1976, Results of field tests in the natural durability of timber (1932-1975). Building Research Establishment Current Paper 6/76.
- Rypacek, J.G., 1954, Ann.Appl.Biol. 41, p. 336-347
- Scheffer, T., Duncan, C.G. & Wilkinson, T., 1969, Wood Preserving 47 (1).
- Takahashi, M., 1978, Studies on the wood decay by a soft rot fungus, *Chaetomium globosum* KUNZE, Wood Research. Bull. No 63, p. 11-64, Wood Res. Inst Kyoto
- Tamm, C.O., 1976, Ambio 5 (5-6), p. 235-238.
- Teknologisk Institut och Danmarks Geotekniske Institut, 1975, Rapport Svigtende fundering av aeldre bygninger. Etape 1.
- van Uchelen, H., 1973, De Ingenieur 85 (19), p 385.
- Walsh, J.H., 1972, Growth and deterioration ability of fungi at low oxygen tensions. I - Biodeterioration of Materials 2, p. 152-160.
- Wälchli, O., 1970, Influence on the content of organic matter of soil on the degradation of wood by soft rot fungi. Föredrag vid möte av the Intern. Res. Group on Wood Pres. i Nancy.



Redogörelse nr: 780814/2330/1
 Uppdragsgivare: Tyréns, Fack, 103 30 Stockholm
 Uppdragets art: Undersökning av påle från fastighet
 i kv Pyramiden, tomt nr 17, Stock-
 holm

UNDERSÖKNING AV PÅLE FRÅN FASTIGHET I KV PYRAMIDEN, TOMT NR 17,
 STOCKHOLM

Förutsättning

I mars 1974 uttogs en del grundläggningsvirke tillhörande en fastighet från kv Pyramiden, tomt nr 17, för en undersökning vid Svenska Träforskningsinstitutet. Viss nedbrytning observerades hos detta material (se STFI:s redogörelse 740419/1331/1). Ett av de uttagna pålavsnitten klövs mitt itu på längden och en av halvorna placerades tillbaka i leran i en särskild anordning med en bygel som möjliggjorde framtida upptagning (se bilaga 1). Avsikten var att i framtiden undersöka avsnittets hållfasthet och omfattningen av nedbrytningen. Den andra halvans tryckhållfasthet, densitet, fuktkvot och struktur undersöktes i 1974 och resultaten av denna undersökning redovisades i ovan nämnda redogörelse. I maj 1978 upptogs det halva pålavsnittet i leran för undersökning. Under de sista fyra åren har pålavsnittet varit konstant omgivet av vattenmättad lera.

Ändamålet med undersökningen är att genom jämförelse av pålens status i 1978 med den i 1974 få en uppfattning om nedbrytningshastigheten.

Beskrivning av pålavsnittet

Träslaget i pålen är furu. Pålavsnittets diameter är ca 20 cm och dess längd 0,7 m. Medelårsringsbredden är hos splintveden mindre än 0,6 mm och hos kärnveden ca 1,8 mm. Splintvedsbredden varierar från 3-4,5 cm. Splintveden är över hela avsnittets längd gråaktigt missfärgad. Kärnveden är endast nära pålavskärningen missfärgad. Längre ifrån pålavskärningen är den ljus som i frisk rå ved.

Uttagning av försöksmaterial

Uttagningen skedde så långt som möjligt på samma sätt som vid den tidigare undersökningen i 1974. Vid den tidigare undersökningen hade prismor för tryckhållfasthetsundersökningen uttagits på fyra nivåer i pålen. Nivåerna 1, 2, 3 och 4 betecknar lägena 5-11 cm, 25-31 cm, 44-50 cm och 64-70 cm under pålavskärningen. I 1974 uttogs på varje nivå 9 prismor, varav 6 ur splinten och 3 ur kärnan. Med några få avvikelser följdes detta uttagningsschema även denna gång. På nivå 1 uttogs dock 4 i stället för 6 prismor ur splintvedsdelen på grund av att en del splintved var borta i samband med fastsättning i den tidigare omnämnda anordning med bygel. På nivå 1 och 3 uttogs två extra prismor i kärnvedsdelen nära klyvytan (H och I på nivå 1 resp K och L på nivå 3, se bilaga 2 och 3). Undersökningen av dessa prismor visade att kärnvedsdelen nära klyvytan hade ungefär samma hållfasthet som övrig kärnved (se hållfasthetsundersökningen). Det prisma som på varje nivå ligger längst ifrån pålperiferin råkade vid uttagningen 1978 ligga något närmare stamcentrum (märgen) än vid uttagning 1974. Ved omkring stammärgen brukar vara lättare och svagare än övrig ved. Vid bestämning av medelhållfasthet för olika veddelar har därför värdena för dessa prismor försumrats. Uttagningen av prismor och material för mikroskopi framgår för övrigt från bilaga 2 och 3.

Tryckhållfasthetsundersökning

Tryckhållfastheten undersöktes längs fiberriktningen i 20 x 20 x 60 mm prismor. Material med naturliga defekter såsom kvistar, snedfibriighet undveks i möjligaste mån. Deformationshastigheten var 0,3 %/min. Tryckhållfasthet bestämdes hos totalt 35 prismor.

Följande definitioner har använts nedan:

Fuktkvot (μ): Vattenmängd i procent av vedens vikt i absolut torrt tillstånd.

Torr-rådensitet (γ_{ou}): Kvoten mellan provets vikt i absolut torrt tillstånd och provets volym vid fuktkvoten u , d v s

$$\gamma_{ou} = \frac{\text{provets vikt i absolut torrt tillstånd (g)}}{\text{volym av provet vid fuktkvot } u \text{ (cm}^3\text{)}}$$

För frisk rå furuved betraktas 19-24 MPa och 0,40-0,45 g/cm³ som normala värden för tryckhållfasthet längs fiberriktningen respektive för torr-rådensitet. Centrala stamdelar har ofta något lägre värden.

Prismornas tryckhållfasthet, torr-rådensitet och fuktkvot visas i tab 1-3. En jämförelse mellan de i 1974 och 1978 erhållna medelvärdena ges nedan, varvid värdena för prismorna nära mörgen icke har medtagits i beräkningarna (se avsnitt beträffande uttagning).

	Tryckhållfasthet (MPa)		Torr-rådensitet (g/cm ³)		Fuktkvot (%)		
	1974	1978	1974	1978	1974	1978	
Nivå 1.	{ splint	9,6	9,3	0,37	0,36	146	165
	{ kärna	24,8	21,8	0,47	0,46	52	77
Nivå 2.	{ splint	7,9	7,7	0,35	0,34	166	192
	{ kärna	24,5	23,1	0,46	0,47	44	65
Nivå 3.	{ splint	6,9	6,0	0,33	0,31	201	213
	{ kärna	24,5	23,0	0,47	0,46	46	64
Nivå 4.	{ splint	7,1	5,4	0,33	0,30	200	218
	{ kärna	23,1	23,0	0,48	0,46	48	64

Såväl tryckhållfasthets- som densitetsvärdena är något lägre nu än vid undersökningen i 1974. Minskningen i hållfasthet är för splintveden genomsnittligt 0,8 MPa (= 10 % av splintvedens medelhållfasthetsvärde från 1974) och för kärnveden 1,5 MPa (= 6 % av kärnvedens medelhållfasthetsvärde från 1974). Dessa skillnader är, med hänsyn till spridningen, för små att tolkas som ett bevis på att nedbrytning har skett mellan 1974 och 1978. Det kan sålunda icke avgöras om de är betingade av skillnader i uttagning eller tecken på en långsam nedbrytning.

Mikroskopisk undersökning

Vid den tidigare undersökningen hade vissa skador i splintveden konstaterats som ansågs härröra från bakteriell nedbrytning. I kärnveden hade ej några tecken på nedbrytning observerats. Denna gång undersöktes kärnved i direkt närhet av den yta som uppstod genom klyvning (se bil 2). Någon nedbrytning kunde ej upptäckas. Liksom vid den tidigare undersökningen observerades en tydlig nedbrytning av splintveden som förmodligen är förorsakad av bakterier. Svamphyfer eller mögelrötekaviteter förelåg ej i splintveden, men däremot en typ av trådformiga sporkedjor som vi anser tillhöra Aktinomycceter (bild 1). Aktinomycceter är en grupp av bakterier som bildar trådar (mycel). Det vegetativa mycelet är visserligen svårt att upptäcka med ljusmikroskopi och vanliga infärgningsmetoder, men sporbildande organ av Aktinomycceter infärgas däremot distinkt och syns tydligt, även i ett vanligt ljusmikroskop.



*Trådbildning i splintveden
(se röda pilarna) som förmodligen
utgörs av mycel och sporbildande
organ av Aktinomycceter.*

Stockholm den 15 augusti 1978
SVENSKA TRÄFORSKNINGSINSTITUTET
Avdelningen för träteknik

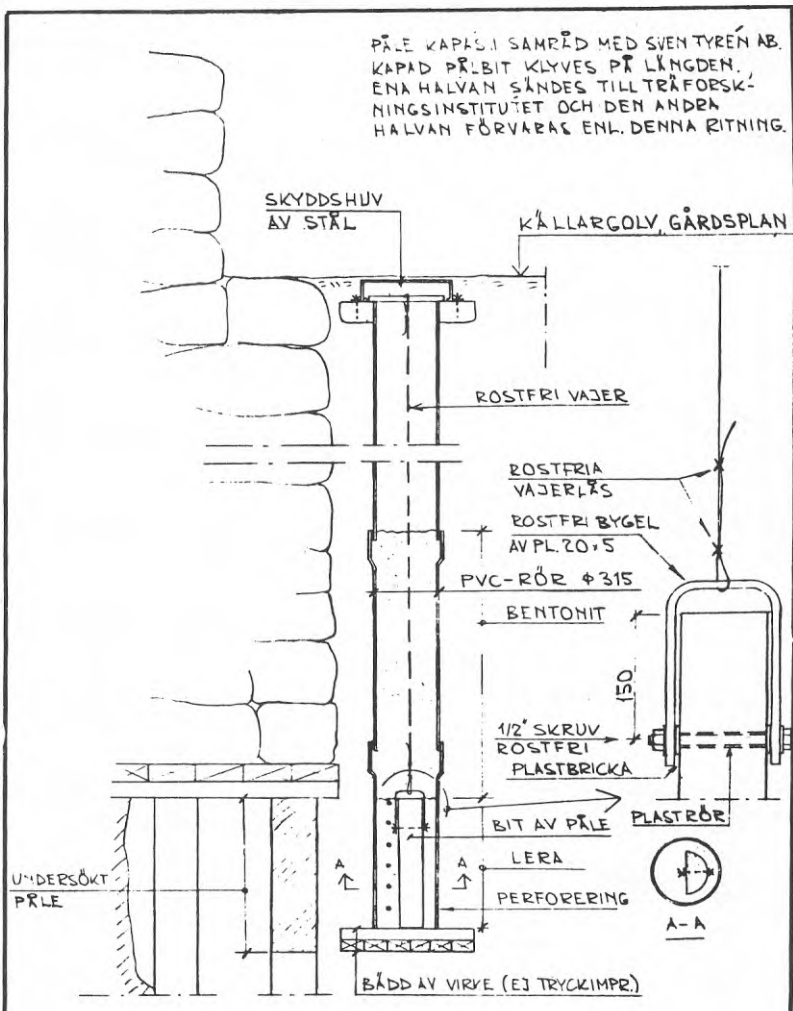
Sven Casselbrant

Julius Boutelje
Julius Boutelje

Prov	Kärna (K) splint (S)	Avst. från periferi cm	Dimension cm	Fuktvol %	Torrädensitet $\rho_{0,0}$ g/cm ³	Tryckhållfasth. σ_c MPa	Anm.
1A	S	0,5-2,5	2x2x6	156	0,365	8,8	
1B	S	1,0-3,0	2x2x6	179	0,349	7,2	
1C	K	4,5-6,5	2x2x6	80	0,487	22,9	
1D	K	7,5-9,5	2x2x6	90	0,437	21,2	
1E	K	10,5-12,0	2x2x6	196	0,332	12,1	PROVET INOM HÖRST HÄRENS SMA SPRICKOR. Icke med- tagits i beräkningar
1F	S	0,5-2,5	2x2x6	169	0,371	10,5	
1G	S	0,5-2,5	2x2x6	156	0,376	11,0	
2A	S	1,0-3,0	2x2x6	170	0,348	7,8	
2B	S	0,8-2,8	2x2x6	198	0,314	5,7	
2C	S	1,5-3,5	2x2x6	136	0,425	12,7	
2D	S	0-2,0	2x2x6	236	0,299	5,7	SPRICKA
2E	S	0,5-2,5	2x2x6	262	0,268	4,2	
2F	S	0-2,0	2x2x6	166	0,360	8,1	Tab. 7.
2G	K	4,0-6,0	2x2x6	61	0,493	23,6	
2H	K	6,5-8,5	2x2x6	69	0,455	22,5	
2I	K	9,0-11,0	2x2x6	96	0,360	16,0	icke medtagits i beräkningar
2K	S	0,8-2,8	2x2x6	176	0,373	9,4	

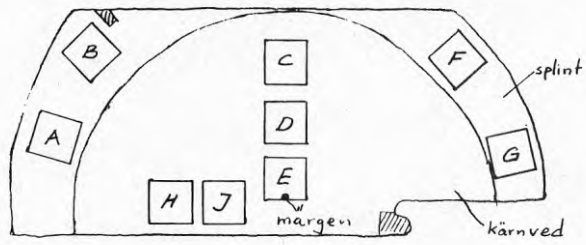
Prov	Kärna (k) splint (s)	Avst. från periferi cm	Dimension cm	Fuktkvot $\frac{u}{\rho}$ %	Torrvidensitet ρ_{00} g/cm ³	Tryckhållfasth σ_{II} MPa	Anm.
3A	S	0,8-2,8	2x2x6	216	0,303	5,7	
3B	S	0,8-2,8	2x2x6	214	0,323	5,8	
3C	S	1,5-3,5	2x2x6	206	0,332	6,5	
3D	S	0-2,0	2x2x6	218	0,309	5,8	
3E	S	0,2-2,2	2x2x6	208	0,313	6,4	
3F	S	0,2-2,2	2x2x6	215	0,299	5,8	
3G	K	4,0-6,0	2x2x6	59	0,481	25,4	
3H	K	7,0-9,0	2x2x6	70	0,449	23,5	
3I	K	9,5-11,5	2x2x6	131	0,357	15,4	icke medtagits i beräkningar
4A	S	1,0-3,0	2x2x6	173	0,354	7,6	
4E	S	1,2-3,2	2x2x6	229	0,300	4,7	
4C	S	0-2,0	2x2x6	260	0,275	4,6	
4D	S	0,8-2,8	2x2x6	221	0,285	4,6	
4E	S	0,5-2,5	2x2x6	209	0,299	5,5	
4F	S	0,5-2,5	2x2x6	214	0,291	5,3	Tab. 2
4G	K	4,0-6,0	2x2x6	61	0,472	23,7	
4H	K	7,0-9,0	2x2x6	68	0,446	22,4	icke medtagits i beräkningar
4I	K	10,0-12,0	2x2x6	132	0,379	17,6	

PÄLE KAPAS I SAMRÄD MED SVEN TYRÉN AB.
KAPAD PÄRBIT KLYVES PÅ LÅNGDEN.
ENA HALVAN SÄNDES TILL TRÄFORSK-
NINGENSINSTITUTET OCH DEN ANDRA
HALVAN FÖRVARAS ENL. DENNA RITNING.



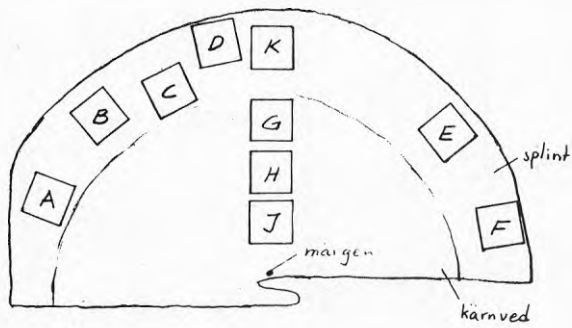
SVEN TYRÉN AB		KV. PYRAMIDEN	
RÄDGIVANDE INGENJÖRER		FÖRVARING AV TRÄPÄLE FÖR	
FAK, 103 40 STOCKHOLM	TFN 08/22 09 40	FRÄMTIDA UNDERSÖKNING	
RITAD KONSTRUERAD AV	GRANSKAD AV	ARBETSNUMMER	
		5139	
STOCKHOLM	KOD TYP P08	RITINGSNUMMER	REG
		P100	

PYRAMIDEN TOHT NR 17



NIVÅ 1.

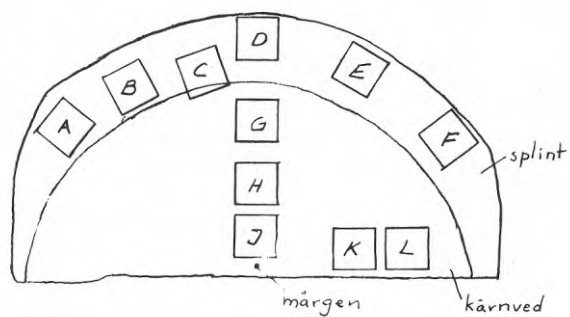
▨ material för mikroskop
 □ tryckprismor



NIVÅ 2

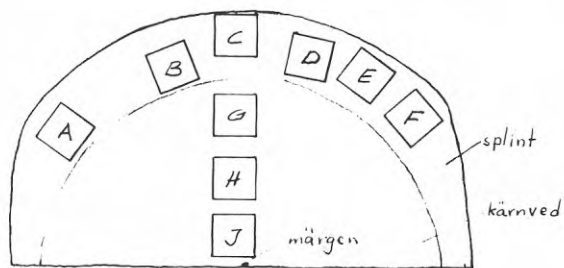
0 ————— 10 cm

PYRAMIDEN TOMT NR 17



NIVÅ 3

□ tryckprismor



NIVÅ 4

0 ————— 10 cm

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780357-0 från
Statens råd för byggnadsforskning till Tyrén Företagsgrupp
AB, Stockholm**

R62:1979

ISBN 91-540-3048-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6600962

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner o. material**

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

Cirka pris: 30 kr exkl moms