
Soft rot i saltimpregnerade ledningsstolpar från åren 1940–1954

Soft Rot in Salt Treated Electricity Poles from the Years 1940–1954

1. Mikrobiologiska, mikroskopiska och kemiska undersökningar av några saltimpregnerade ledningsstolpar från åren 1941–1946.

Microbiological, microscopical and chemical studies of some salt treated electricity poles installed in Sweden in the years 1941–1946.

Björn Henningsson och Thomas Nilsson

2. Mechanical properties of soft rot decayed Scots Pine with special reference to wooden poles.

Mekaniska egenskaper hos furu angripen av soft rot med särskild inriktning på trästolpar.

Preben Hoffmeyer

3. Undersökningar och erfarenheter av soft rot förekomst och utveckling i saltimpregnerade ledningsstolpar av furu (*Pinus silvestris*) insatta i kraftledning i Sverige under åren 1940–1954.

Studies and experiences of occurrence and development of soft rot in salt treated poles of pine (*Pinus silvestris*) installed in Swedish transmission-lines in the years 1940–1954.

Henning Friis-Hansen

4. Erfarenheter av rötskador i saltimpregnerade ledningsstolpar av furu med särskild vikt lagd på rötskadade stolpars återstående hållfasthet och besiktningmetoder.

Experiences of soft rot damages in salt treated electricity poles of pine with special reference to the residual strength of rot damaged poles and inspection methods.

Lars Schmidt och Sven Jacobsson

BAKGRUND TILL UNDERSÖKNINGARNA

Vid andra världskrigets utbrott dominerade kreosotolja som impregneringsmedel för kraftlednings- och telegrafstolpar. Saltimpregnering förekom i viss utsträckning i form av Boucheriebehandling med koppar-sulfat samt open tank- och tryckimpregnering med huvudsakligen fluoridbaserade medel. Redan 1940 blev importmöjligheterna för kreosotolja starkt beskurna för att sedan helt omöjliggöras. Saltmedlen övertog i samband därmed kreosotoljans marknad. En stark satsning på att utveckla ett inhemskt saltimpregneringsmedel gjordes. Efter omfattande och forcerade provningar, varvid jämförelser gjordes med existerande tyska saltmedel av U- och UA-typ, togs Bolidensaltet BIS i bruk. Detta impregneringsmedel användes sedan för nästan all stolpimpregnering under krigsåren. Under en övergångsperiod åren 1940-41 användes emellertid jämsides med BIS-saltet även U- och UA-salter. Impregneringar enligt open tank-metoden förekom dessutom. Man kan förmoda att kvalitén på impregneringarna varierade högst betydligt under denna besvärliga period. Från 1946 minskade saltimpregneringen av kraftledningsstolpar successivt till förmån för kreosotimpregneringen. För telestolpar förmådde emellertid kreosotolja icke återta sina positioner. Telestolpar och en avsevärd mängd kraftledningsstolpar impregnerades med BIS-saltet fram till 1954. Från 1952 tog successivt effektivare saltmedel över. *Med saltstolpar (saltimpregnerade stolpar) avses i denna rapport tele- och ledningsstolpar impregnerade med saltmedel under åren 1940 - 1954.* För vidare information om träskyddets utveckling i Sverige hänvisas till en uppsats publicerad i Record of the 1971 Annual Convention of the British Wood Preserving Association.

Beräkningar av antalet utsatta BIS-stolpar har gjorts vid flera tillfällen. Någon exakt siffra kan inte presenteras, men man kan räkna med att 4-5 milj impregnerats och installerats i linjer. Av dessa är sannolikt minst 4 milj fortfarande i bruk. Efter de accellererade provningarna i början på 1940-talet prognoserade man BIS-saltstolpars medelvaraktighet till ca 35 år, en prognos som visade sig stämma ovanligt väl med senare mätningar (Träskyddskommittén, Information om Träskydd 1970:1), vilket torde bero på att stolparna var överdimensionerade vid uppsättningen. Detta innebär, om det nuvarande stolpbeståndet skall behållas och inga preventiva åtgärder tillgrips, att 4 milj stolpar

skall bytas inom loppet av 10 år - förutom de stolpbyten som de resterande i tjänst varande 10 milj stolparna kräver. En sådan utbytestakt skulle kräva minst en fördubbling av den nuvarande stolpimpregneringen, som uppgår till 200 - 250 000 stolpar per år.

För att kunna planera stolpbyten och linjerivningar samt för att kunna garantera personsäkerheten vid linjearbeten, är det av yttersta vikt att dels kunna beräkna gamla och rötangripna stolpars kvarvarande hållfasthet och dels kunna prognosera deras återstående livslängd.

Erfarenheter har visat, att saltimpregnerat virke i kontakt med mark och vatten nästan uteslutande angrips av s k soft rot. Detta förhållande gäller i hög grad för ledningsstolpar. Soft rot (mögelröta) kan orsakas av ett stort antal mikroskopiska svampar tillhörande grupperna Sporsäcksvampar och Imperfekta svampar. Ett utmärkande drag för genuina soft rot svampar är att deras hyfer växer inne i vedfibrernas cellväggar (i S_2 -skiktet) där kanaler, s k kaviteter, bildas (Information om Träskydd 1969:1). Cellulosamikrofibrillerna i vedfibrerna upplöses därvid genom angrepp av svamphyfernas enzymer, och vedens hållfasthet går snabbt förlorad. I långt framskridna stadier kan hela mittskiktet i vedfibrernas cellvägg vara upplöst, genom att kaviteterna förstoras och smälter samman.

Angrepp av soft rot i förvedade celler observerades så tidigt som i mitten av 1800-talet av den tyske forskaren Schacht (1850, 1863). Det skulle emellertid dröja mer än 100 år, innan soft rot svamparnas verkliga betydelse som skadegörare på virke uppdagades. Det banbrytande arbetet utfördes därvid av engelsmannen J.G. Savory, som publicerade tre viktiga artiklar under åren 1954 - 1955. Under de två decennier som förflutit sedan Savory's arbeten publicerades, har intresset för soft rot stegrats, allt eftersom dess stora skadliga betydelse klarlagts. I vårt land har detta intresse bl a resulterat i två doktorsavhandlingar (Lundström 1974 och Nilsson 1974).

Soft rot angreppen i saltstolpar är - om man undantar stolpar med öppen stenkilning - nästan alltid kraftigast i en zon strax under markbandet. Angreppen avancerar vanligen från de perifera delarna mot kärnan. Många gånger föreligger en mer eller mindre tydlig gräns mellan de yttre, starkt nedbrutna, mjuka partierna och de innanför liggande relativt

hårda delarna. Det är emellertid icke heller ovanligt att angreppen är tämligen jämnt fördelade i hela splintveden, eller att de trängt djupt in i en viss sektor i stolpen. I alla händelser är det ett vanskligt företag att med gängse metoder söka avgöra hur långt in soft rot angreppen sträcker sig, och hur framskridna angreppen är på olika djup från periferin. Med mikroskopets hjälp kan man dock göra en sådan bedömning. Denna bedömning kräver emellertid, för att vara till verklig praktisk nytta, att de mikroskopiska observationerna kan överföras till hållfasthetstermer.

Det var bl a med dessa utgångspunkter, som det samarbete igångsattes, vilket resulterat i föreliggande rapport. Inom Sydsvenska Kraftaktiebolaget (Sydkraft) påbörjades hållfasthetsprovningar av ledningsstolpar i fält. På goda grunder började man ifrågasätta om existerande former för stolpbesiktning var lämplig för att bedöma angrepp av soft rot i saltimpregnerade stolpar. Man måste, insåg man, arbeta fram bättre undersökningsmetoder och efter kontakter med Svenska Reimpregnerings AB Cobra beslöts att noggrannare utreda möjligheterna att bedöma gamla stolpars hållfasthet.

Sydkraft startade nya omfattande fullskaleförsök, där stolpar i fält provbelastades till brott och Cobra påbörjade, efter kontakter och samarbete med Skogshögskolan i Stockholm, regelbundna mikroskopiska undersökningar av gamla saltstolpar.

Redan tidigt stod det klart att hållfasthetsproblemen i samband med soft rot måste analyseras mycket grundligt. Danmarks Tekniske Højskole genom Laboratoriet for Bygningsmaterialer åtog sig att göra en sådan undersökning. Det gällde bl a att konstruera ett matematiskt begrepp, som kunde användas för att med mikroskoperingsmetoden som grund bestämma en stolpes kvarvarande hållfasthet.

Föreliggande rapport utgörs följaktligen av fyra separata delar, som behandlar olika aspekter på problemet soft rot i saltstolpar. Den första delen har skrivits av B Henningsson och T Nilsson och utgör en mikrobiologisk, mikroskopisk och kemisk undersökning av brottsektioner från hållfasthetsprovade saltstolpar. Undersökningen var av grundläggande art; bl a utarbetades de första mikroskoperingsförfarandena.

Vidare gjordes odlingar för att bestämma svampfloran i saltstolpsektionerna. En kemisk analys av kvarvarande impregneringsmedelskomponenter utfördes också.

Den andra delen har författats av P Hoffmeyer. Där redovisas ingående undersökningar över sambandet mellan tryck- och draghållfastheter å ena sidan och olika grader av mikroskopiskt bestämda soft rot angrepp å den andra. Med hjälp av dessa samband och kända matematisk-fysikaliska funktioner för stolpars hållfasthet, har en formel framtagits, som gör det möjligt att beräkna en angripen stolpes kvarvarande hållfasthet.

Del tre har skrivits av H Friis-Hansen. Med hjälp av resultat från mikroskopundersökningar av ett stort antal angripna stolpar har en datorbearbetning gjorts. Olika samband har kunnat uppställas t ex mellan stolpens ålder, markbeskaffenheten och det geografiska läget å ena sidan och soft rot angreppens styrka å den andra. Med tidigare stolpbesiktningar som grund har dessutom soft rot angreppens utvecklingshastighet i BIS-stolpar kunnat beräknas.

Författare till den fjärde delen är L Schmidt och S Jacobsson. I denna del beskrives resultaten från hållfasthetsprovningarna av rötskadade stolpar i fält. Jämförelser görs mellan med olika indirekta metoder beräknade värden på hållfastheten och motsvarande aktuella värden, såsom de uppmättes vid provningarna. Avslutningsvis har en instruktion för rötskadebesiktning av saltstolpar utarbetats med utgångspunkt från alla de resultat, som framkommit vid denna undersökning. Denna instruktion bör kunna ligga till grund för utarbetande av rutiner för stolpinspektioner hos de flesta företag.

REFERENSER

- Henningson, B.: Development in wood preservation in Sweden. - Rec. Brit. Wood Pres. Assoc. 21. 117-126 (1971).
- Savory, J.G.: Breakdown of timber by Ascomycetes and Fungi Imperfecti. - Ann. Appl. Biol. 41 (2), 336-347 (1954).
- D:o Damage to wood caused by micro-organisms. - J. Appl. Bact. 17. 213-218 (1954).
- D:o The role of the microfungi in the decomposition of wood. - Rec. Brit. Wood Pres. Assoc. 5. 3-19 (1955).

Schacht, H.: Über eigentümliche, bisher noch nicht beobachtete
Erscheinungen in der Verdickungsschichten gewisse Holzzellen.
- Botan. Zeitung 8, 697-702, 713-719 (1850).

Schacht, H.: Über die Veränderungen durch Pilze in abgestorbenen
Pflanzenzellen.- Jahrb. f. wiss. Botan. 3. 442-483 (1863).

Träskyddskommittén : Mögelröta. - Information om Träskydd 1969:1.

Träskyddskommittén : Rötskador i stolpar impregnerade med Boliden
BIS salt. - Information om Träskydd 1970:1.

1

MIKROBIOLOGISKA, MIKROSKOPISKA OCH KEMISKA UNDERSÖK-
NINGAR AV NÅGRA SALTIMPREGNERADE LEDNINGSTOLPAR

FRÅN ÅREN 1941 - 1946

*MICROBIOLOGICAL, MICROSCOPICAL AND CHEMICAL STUDIES
OF SOME SALT TREATED ELECTRICITY POLES INSTALLED IN
SWEDEN IN THE YEARS 1941 - 1946*

av

Björn Henningsson och Thomas Nilsson¹⁾

1) Skogshögskolan
Fack
104 05 Stockholm 50

INNEHÅLL

	Sid.
ABSTRACT	1.1
SAMMANDRAG	1.1
INLEDNING	1.2
MATERIAL OCH METODER	1.5
RESULTAT OCH DISKUSSION	1.7
a) Beräkning av stolpens brottbelastning med hjälp av knivmetoden	1.7
b) Mikroskopiska undersökningar	1.8
c) Undersökningar av svampfloran i stolparna	1.9
d) Kemiska analyser av vedens innehåll av fluor, arsenik, zink, krom, koppar och kväve	1.11
SAMMANFATTNING	1.13
SUMMARY	1.14
LITTERATUR	1.16
FIGURER	1.18
TABELLER	1.23

ABSTRACT

Sections of old salt impregnated poles were studied. The extent and distribution of soft rot was estimated using the microscope or a knife method. The strength values obtained were compared with the true strength values. The fungus flora in the poles was examined. The effect of Cobra treatment on this flora was also observed. Chemical analyses for determination of the degree of leaching of preservative components were made.

SAMMANDRAG

Sektioner från gamla saltimpregnerade stolpar studerades. Soft rot angreppens styrka och utbredning undersöktes i mikroskop eller med hjälp av en knivmetod. De erhållna hållfasthetsvärdena jämfördes med de verkliga. Svampfloran i stolparna undersöktes liksom inverkan av en Cobrabehandling på denna flora. Kemiska analyser för att bestämma utlakningen av impregneringsmedelskomponenterna utfördes.

INLEDNING

Föreliggande uppsats utgör en delrapport i ett samarbetsprojekt, där förutom författarna följande personer medarbetat: L Schmidt och S Jacobsson, Sydsvenska Kraftaktiebolaget (Sydkraft), P Hoffmeyer, Danmarks Tekniske Højskole, H Friis-Hansen, Svenska Reimpregnerings AB Cobra. Projektet initierades genom att Sydkraft vid hållfasthetsprovningar av impregnerade stolpar i fält fann att gängse inspektionsmetoder icke tillfredsställande avslöjade förekomst av soft rot. I samarbete med Cobra igångsattes ytterligare provningar och därvid inkopplades även Skogshögskolan och Danmarks Tekniske Højskole.

På Skogshögskolans institution för virkeslära kom att förläggas undersökningar av grundläggande mikrobiologisk, mikromorfologisk och kemisk natur. Dessa undersökningar, som utfördes på en begränsad del av Sydkrafts stolpmaterial (Schmidt och S Jacobsson 1975), slutfördes långt innan övriga tre delar av samarbetsprojektet hade avslutats. De redovisade resultaten kan därför i vissa stycken förefalla vara av tämligen preliminär natur. Trots detta beskrivs resultaten relativt utförligt, eftersom de i flera fall utgör det första steget på väg mot mera ändamålsenliga arbetsförhållanden, redovisade i de senare rapporterna.

Sedan en tid tillbaka har det stått klart att saltstolpar av de här aktuella årgångarna (1940-talet) besväras av allvarliga angrepp av en röttyp, som benämns soft rot (Information om Träskydd 1970:1, Henningsson och Nilsson, 1971). Termen "soft rot" användes för att beskriva en mycket speciell typ av svampangrepp i cellulosahaltiga fibrer. Svamphyferna växer inne i fibrens cellvägg, vanligen i det så kallade S₂-skiktet. Genom enzymatisk nedbrytning av cellväggsmaterial bildas långsträckta svagt spiralformade kanaler. Dessa kallas kaviteter och kan ses som mer eller mindre runda hål i ett mikroskopiskt tvärsnitt av fibern, se fig 1 och 2.

Angrepp av soft rot i växtceller observerades och rapporterades redan i mitten av 1800-talet av den tyska botanisten Schacht (1850, 1863). Inte förrän mer än hundra år senare avslöjades

emellertid soft rot svamparnas verkliga betydelse som vedförstörare. Pinjonjärarbetet gjordes då av den engelska mykologen J G Savory, som publicerade flera betydelsefulla arbeten i mitten av 1950-talet (1954a, 1954b och 1955). Sedan dess har intresset för soft rot oavbrutet stigit i takt med att dess vedförstörande betydelse blivit mer och mer klarlagd. Den första alarmerande rapporten avseende svenska förhållanden kom redan 1956 (E Rennerfelt 1956).

Omfattande soft rot angrepp upptäcktes till en början i trä, som användes i kyltorn med vattenkylning, och mycket av det tidiga arbetet rörande soft rot gjordes på sådant virke. Man fann emellertid också att virke i marken ofta utsattes för svåra soft rot angrepp. Organismer som kunde orsaka denna typ av angrepp isolerades. En av de första svampar, som påvisades ge upphov till snabb soft rot, var Ascomyceten *Chaetomium globosum*. Denna svamp har sedan dess i stor utsträckning använts i laboratorieexperiment såsom prototyp för soft rot svamparna. Det blev emellertid mer och mer uppenbart, att ett stort antal svampar hade förmåga att orsaka soft rot. Alla dessa tycktes tillhöra grupperna Ascomycetes och Fungi imperfecti. Idag känner man mer än 300 olika svampar, som kan orsaka soft rot (Seehahn, Liese och Kess 1975).

Successivt under arbetet med soft rot problemen framkom, att de flesta av de aktuella svamparna, förutom förmåga till kavitetbildning, också kunde orsaka enzymatiska angrepp på vedcellens vägg från lumen (Corbett 1965, Nilsson 1973). Dessa angrepp kunde ses som mer eller mindre oregelbundna förtunnningar eller erosioner av cellväggen från lumen mot mittlamellen. De två angreppstyperna har benämnts Typ I (kaviteter) och Typ II (erosion).

Undersökningar visade också snart att lövvirke var mindre motståndskraftigt mot soft rot än barrvirke. Fortfarande saknas dock en invändningsfri vetenskaplig förklaring till denna skillnad. Man tror emellertid att olikheter i kemisk sammansättning och ultrastruktur hos cellväggarna är orsaken.

De kaviteter som blir resultatet av Typ I-angrepp kan variera mycket i form och storlek. De kan vara tunna och långa eller tjocka och korta, allt beroende på svampart och träslag. Miljöfaktorer kan också inverka på utseendet (Courtois 1963).

Vanligtvis initieras en kavitet av en svamphyf som tränger in i cellväggen från cellumen i rät vinkel mot fiberaxeln. När hyfen nått S_2 -lagret bildas en sk T-branch (T-förgrening), varav den ena grenen växer uppåt och den andra nedåt mer eller mindre parallellt med fiberaxeln. En initialkavitet har bildats. När hyfgrenarna växer vidare följer de vanligtvis cellulosa-mikrofibrillernas spiralformade orientering och bildar därvid en kedja av kaviteter åtskilda av en smal kanal (Levy 1965, Lundström 1972). Orsaken till denna speciella utformning och orientering hos kaviteterna diskuteras fortfarande och är föremål för omfattande forskning.

Snart klarlades också att soft rot svampar kunde angripa impregnerat virke, även om detta uppenbarligen var väl impregnerat. Så var speciellt fallet för virke i markkontakt (Rennerfelt 1956). Särskilt svåra angrepp har kunnat noteras på den typ av impregnerade saltstolpar, som omfattas av detta arbete (Henningsson och Nilsson 1971). Ett gemensamt drag för alla dessa stolpar är att de impregneringsmedel med vilket de behandlats icke innehåller koppar. Under årens lopp har en mängd fältförsök och laboratorieförsök klart visat, att koppar ökar behandlade provers motståndskraft mot soft rot. Idag innehåller de flesta av de vattenlösliga tryckimpregneringsmedlen koppar som en aktiv beståndsdel.

Fältförsök liksom praktiska erfarenheter (t ex i Australien) har visat, att impregnerat lövvirke har mycket mindre motståndskraft mot soft rot än impregnerat barrvirke. Inte ens en god tryckimpregnering med ett verksamt impregneringsmedel i höga upptagningar har gett ett skydd som kan jämföras med det man får hos impregnerat barrvirke.

Nya forskningsresultat har visat att det otillfredsställande skydd som uppnås vid impregnering av lövvirke kan vara ett resultat av ojämn fördelning av impregneringsmedlet i cellväggen. Med hjälp av speciella elektronmikroskopiska metoder har det påvisats att största delen av impregneringsmedlet inte tränger in i S_2 -skiktet i lövträfibrens cellväggar. Detta innebär att soft rot svampar, vilka har förmåga att växa inne i S_2 -skiktet, undviker impregneringsmedel, som är infört i virket (Dickinson 1974, Greaves 1974).

1. MATERIAL OCH METODER

Försöksmaterialet utgjordes i denna delundersökning av 22 sektioner från kraftledningsstolpar impregnerade med saltmedel under åren 1941, 1944, 1945 och 1946. Vissa av stolparna har behandlats enligt Cobra-metoden år 1964 och 1971. Sektionerna utgjorde markbandsdelen från stolpar vilkas draghållfasthet provats i fält vid Sydkrafts undersökningar (Schmidt och Jacobsson 1975). Från varje stolpe fanns två bitar, en från vardera sidan av brottstället. Se fig 3.

Stolparnas diameter vid brottstället mättes genom korsklavning. Eventuella borthuggningar av ved registrerades.

Med hjälp av en kniv gjordes ett försök att bedöma soft rot angreppens djup. Angreppsdjupet mättes så nära brottstället som möjligt på den undre biten och på fyra diametralt motsatta ställen. Soft rot angreppets gräns inåt i veden bedömdes ligga, där vedfibrerna ånyo bröts på ett för frisk ved karaktäristiskt sätt vid den mekaniska bearbetningen med kniven. Denna provning utfördes vid två tillfällen. Dels när stolpsektionerna var relativt torra och senare, när virket blöt-lagts i vatten ca 1 vecka.

Så nära brottstället som möjligt och företrädesvis på den undre biten, där soft rot angreppets djup bedömdes vara representativt för stolpen, uttogs en kvadrant och ett borrhprov enligt fig 4. Borrhprovet uttogs före utsågningen av kvadranten. Därvid användes alkoholsteriliserad borrh. Arbetet utfördes så sterilt som möjligt. Borrhproven placerades därefter i sterila rör med vattenagar och förvarades i kylskåp fram till den vidare bearbetningen.

Vid denna bearbetning delades borrhproven i fem delar enligt fig 5. De fem borrhprovsbitarna delades sedan upp ytterligare i mindre bitar som placerades i petriskålar med två olika substrat. Dels användes maltextraktagar och dels en bakteriehämmande agar (Bergman & Nilsson 1971). Framvuxna mycel omypades på nya substrat och isolerades. En identifiering av de framvuxna mycelen utfördes så långt detta var möjligt.

Varje kvadrant uppsågades i en övre 3 cm hög och en undre 7 cm hög del som sedan torkades. Den övre delen användes för mikroskopiska undersökningar av veden och den undre delen för kemiska analyser.

För den mikroskopiska undersökningen uttogs prover på fyra ställen längs radien på kvadranten enligt fig 6. Provställena var belägna på följande ungefärliga avstånd från periferin A) 5 mm, B) 15 mm, C) mitt emellan B och kärngränsen. Provstället D) slutligen var beläget ca 5 mm innanför kärngränsen. Proverna undersöktes ljusmikroskopiskt med såväl opolariserat som polariserat ljus. Både höstvedceller och vårvedceller studerades därvid i tvärsnittet. När det gäller höstveden indelades angreppen i fem skadeklasser, där antalet kaviteter på en viss bestämd yta användes som kriterium: 1) 1 - 10 kaviteter, 2) 10 - 50 kaviteter, 3) 50 - 100 kaviteter, 4) 100 till enskilda kaviteter ej längre kan urskiljas, 5) fullständig nedbrytning av den sekundära cellväggen. Detta klassningssystem har sedermera ersatts av ett system med klasserna 0 - 4 (se sid 2.6). I vårvedens cellväggar, som är förhållandevis tunna, urskiljdes endast tre skadeklasser: 1) enskilda kaviteter, 2) flera kaviteter, 3) mycket riklig förekomst av kaviteter. Förutom observationerna av soft rot angrepp antecknades också förekomst av traditionell röta, t ex vitröta eller brunröta.

Den undre delen av kvadranten delades upp såsom framgår av fig 5. Därvid erhöles tre splintvedsskikt. Dessa tre vedsskikt styckades och maldes i en laboratoriekvarn med en 1 mm:s sikt. De malda proverna analyserades beträffande innehåll av fluor, arsenik, zink, krom, koppar och kväve.

Fluorhalten bestämdes medelst en kolorimetrisk metod enligt Deutsche Normen DIN 52161, Mars 1967. Metoden innefattar användning av eriokromcyanin och zirkoniumoxiklorid och bestämningen utfördes på spektrofotometer vid 525 nanometer.

Arsenik, zink, krom och koppar bestämdes med hjälp av atomabsorption. Därvid våtförbrändes proverna först med hjälp av svavelsyra och väteperoxid enligt en metod beskriven av American Wood Preservers Association i AWPA Standarder. Efter lämpliga utspädningar av de våtförbrända proverna gjordes mätningarna på en atomabsorptionsspektrofotometer

Techtron AA 120. De erhållna värdena omräknades sedan till kilogram per kubikmeter av de olika ämnena. Därvid antogs vedens torr-densitet vara 0.5 gram per cm^3 .

2. RESULTAT OCH DISKUSSION

a) Beräkning av stolpens brottbelastning med hjälp av knivmetoden

Mätningar av stolpdiameter, kärndiameter och splintdjup samt det bedömda röttningsdjupet redovisas i tabell 1. Därav framgår att stolparnas diameter varierade mellan 198 och 260 mm. Materialet omfattade således stolpar med relativt enhetlig diameter. Betraktar man däremot kärndiametern eller splintdjupet, ser man att dessa båda parametrar i förhållande till stolpdiametern varierade avsevärt mellan olika stolpar. Således varierade splintdjupet mellan 25 och 74 mm.

Bedömningarna av soft rot angreppens djup med knivmetoden har gett flera intressanta resultat. Det kan först och främst konstateras att röttningsdjupet varierade betydligt mellan olika stolpar (medelvärde för varje stolpe). Sålunda varierar det bedömda röttningsdjupet i splintveden mellan 0 och 29 mm. Något direkt samband mellan stolpdiameter eller splintdjup och det bedömda röttningsdjupet kan icke spåras. Om man betraktar variationen i uppmätt röttningsdjup hos de enskilda stolparna, framgår vidare att angreppens djup varierar betydligt inom samma stolpe. I något fall uppmättes minsta djup till 8 mm och största djup till 25 mm. Mätningarna av röttningsdjupet visar slutligen att betydande skillnader i bedömningen uppnås om stolpen är torr eller våt. I nästan samtliga fall har röttningsdjupet bedömts vara större när stolpen var våt, än när den var torr.

Med hjälp av de olika mätningarna av soft rot angreppens djup har minimum-, maximum- och medelbrottbelastningen för varje stolpe beräknats. Därvid har stolpens diameter reducerats med dubbla uppmätta röttningsdjupet. Förutsättningen har alltså varit, att hållfastheten hos den rötade delen av stolpen antagits vara lika med 0. Dessa resultat finns redovisade i tabell 2. Där har också angetts den beräknade belastningen hos stolpen om den hade varit frisk. Den aktuella brottbelastningen uppmätt vid provdragningar i fält har

ställt till förfogande av Sydkraft (L Schmidt och Jacobsson 1975). Dessa resultat har införts i tabell 2 liksom den relativa brottbelastningen beräknad på provdragningsresultaten och på resultaten med knivmetoden (våt stolpe och minsta beräknad brottbelastning). Vid beräkningarna har böjhållfastheten 50 N/mm^2 tillämpats (SEN 35 01 04).

Om man med hjälp av tabell 2 gör en jämförelse mellan den relativa brottbelastningen uppmätt vid aktuella provdragningar resp beräknad med hjälp av knivmetoden, finner man att beräkningarna i många fall stämmer rätt väl med de uppmätta värdena. I allmänhet har stolparnas styrka något överskattats vid beräkningen enligt knivmetoden. I en del fall avviker däremot de beräknade värdena avsevärt ifrån de aktuella. Detta antyder att man för en säkrare bedömning av angreppens djup måste förfina metodiken eller utarbeta andra och bättre metoder. Den tenderade överskattningen av stolparnas hållfasthet som demonstreras i tabell 2 kan delvis ha orsakats av att angreppens djup i denna undersökning icke kunde mätas exakt på brottstället. Brottet var oftast allt för trasigt för att mätningarna skulle kunna göras exakt på brottstället.

b) Mikroskopiska undersökningar

Vid de mikroskopiska undersökningarna och indelningen av vedproverna i skadeklasser togs i första hand hänsyn till soft rot angrepp av Typ 1, d v s kavitetsbildning. Emellertid förekom också angrepp av erosionstyp, soft rot Typ 2. I några fall kunde dessutom vitröteangrepp konstateras. För närmare beskrivning av de två typerna av soft rot angrepp hänvisas till arbeten av Corbett (1965) och Nilsson (1973).

De ursprungligen registrerade fem skadeklasserna har i en vidare bearbetning grupperats om till ett system med fyra skadeklasser. Denna omarbetning har gjorts för att en fullständig harmonisering av bedömningen skulle uppnås med den undersökning över soft rot angreppens inverkan på vedens mekaniska egenskaper, som utförts av P. Hoffmeyer (1975) och de undersökningar av angreppen i stolpar i fält som redovisas av H Friis-Hansen (1975). Dessa fyra skadeklasser kommer då att motsvaras av empiriskt bestämda medelvärden för den procentuella reduktionen i böjhållfasthet (>30 % fuktkvot), nämligen 23, 45, 67 och 88 % reduktion.

I tabell 1 redovisas angreppsgraden i höstvedcellerna enligt båda skadeklasssystemen. Resultaten visar att soft rot angrepp nära nog in till kärnan förekom i en stor del av stolparna. Inte i något fall har däremot några angrepp 5 mm in i kärnan kunnat påvisas. Om man jämför rötningsdjup bestämt enligt knivmetoden på "våta" stolpar med mikroskoperingsresultaten framgår att tämligen kvalificerad soft rot ofta förekom djupare in i veden än knivmetoden utvisade. Detta är säkerligen en av orsakerna till att den beräknade hållfastheten (se tabell 2) i allmänhet gav ett högre värde än den genom provdragning empiriskt fastställda. Emellertid kompliceras hela bedömningen av att man med knivmetoden betraktar den rötade delen som utan någon som helst hållfasthet. Som framgår av P Hoffmeyers undersökningar (1975) kvarstår emellertid även i skadeklasserna 4 och 3 i medeltal 12 respektive 33 % av den ursprungliga böjhållfastheten.

Om mikroskoperingsresultaten ställs i relation till de relativa brottbelastningarna uppmätta vid provdragningen och de beräknade brottbelastningarna för kärnan (tabell 2), finner man att splintveden, även hos så kraftigt angripna stolpar som 1884 - 1889, har en betydande kvarstående hållfasthet.

En mer detaljerad genomgång av resultaten visar att överensstämmelsen mellan mikroskoperingsmetoden och knivmetoden var större, när soft rot angreppet var ytligt, än när djupa och omfattande angrepp förekom. Soft rot angreppets djup är alltså svårare att bedöma med knivmetoden ju mer avancerat angreppet är.

c) Undersökningar av svampfloran i stolparna

En uppställning visande de framodlade och isolerade svamparna återfinns i tabell 3. Som alltid vid arbete med starkt förorenat material, förelåg även i denna undersökning vissa svårigheter att odla fram de för nedbrytningen ansvariga svamparna. Trots att ett av de använda medierna är starkt bakterie- och mögelhämmande, har för några få stolpar endast sådana organismer kunnat framodlas.

Av de isolerade svamparna har följande visat sig kunna orsaka soft rot: *Acremonium atro-griseum*, *Acremonium* sp., B77-A23 (beskriven

som fungus D av Nilsson 1974), *Phialophora hoffmannii*, *Phialophora fastigiata*, *Phialophora* sp. A, *Rhinocladiella anceps* och SP98-2. Flertalet av dessa svampar har tidigare ofta påträffats i impregnerat virke i markkontakt (Henningsson & Nilsson 1971, Nilsson 1973 och Nilsson 1974). En del av dem har tidigare undersökts närmare t ex beträffande resistens gentemot olika svampgifter. Därvid har det visat sig att t ex *Phialophora hoffmannii* och *Phialophora* sp. A är synnerligen resistenta mot zink, arsenik och koppar. Både zink och arsenik ingår som aktiva komponenter i BIS-saltet med vilket de undersökta stolparna impregnerats.

Om stolparna grupperas i sådana som icke varit föremål för Cobra-behandling (574 - 7745) och sådana som behandlats enligt nämnda metod 1964 (1884 - 1889) och 1971 (889 - 891), finner man att soft rot svampar i stor omfattning kunde isoleras från de två första grupperna. Undantag utgör därvid stolparna 1886, 574 och 7744, vilka var starkt bemängda av bakterier eller mögelsvampar. Hos stolpar som behandlats enligt Cobra-metoden 1971 kunde emellertid inte några soft rot svampar isoleras. Från stolpen 891 kunde överhuvud taget inte några mikroorganismer isoleras. Detta tyder på att man med en sådan behandling kan uppnå temporär sterilisering, vilkens effekter åtminstone kvarstår 1 år. Nio år efter behandlingen (stolparna 1884 - 1891) kunde emellertid inga effekter på mikrofloras sammansättning observeras.

En intressant iakttagelse är att soft rot svampar i flera fall har kunnat isoleras från kärnveden (7619:5, 7624:5, 7625:5). Några angrepp i kärnveden kunde dock icke konstateras vid den mikroskopiska undersökningen. Detta innebär att mycel av soft rot svampar redan hade trängt in i kärnan hos vissa stolpar, men att synliga angrepp ännu icke hunnit utbildas. Soft rot angrepp i kärnveden hos BIS-impregnerat virke har dock tidigare noterats (Henningsson & Nilsson 1971).

Sammanfattningsvis kan alltså sägas om svampförekomsten, att aktiva kvalificerade soft rot svampar fanns närvarande allmänt i splintveden hos de undersökta BIS-stolparna. Undantag utgjorde endast de stolpar som nyligen (1971) behandlats enligt Cobra-metoden.

d) Kemiska analyser av vedens innehåll av fluor, arsenik, zink, krom koppar och kväve

Som tidigare framhållits hade man anledning förmoda att de i undersökningen ingående stolparna från början tryckimpregnerats med Boliden-saltet BIS. Detta impregneringsmedel användes för praktiskt taget all stolpimpregnering i Sverige under andra världskriget och även i betydande utsträckning åren närmast därefter. BIS saltet hade följande sammansättning: $3\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{Na}_2\text{HAsO}_4 + \text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 3\text{ZnSO}_4$. Vid tillverkningen av impregneringslösning blandades zinksulfatet och resterande del av medlet för sig så att den slutliga lösningen kom att bli 1.5 %:ig med avseende på zinksulfatet och 2 %:ig med avseende på arsenik-kromatdelen. Om man räknar med en bruttoupptagning av impregneringslösning på 600 l/m^3 splintved, skulle en väl impregnerad BIS-stolpe från början ha hållit ca 21 kg av impregneringsmedlet per m^3 splintved. Detta skulle innebära i runda tal 4 kg As, 1 kg Cr och 2 kg Zn per m^3 splintved i medeltal.

I tabell 4 och fig 8 redovisas resultaten av de kemiska analyserna. Därav framgår att halterna av de vid den ursprungliga impregneringen tillförda ämnena varierar på ett konsekvent sätt i de tre splintvedsskikten. De högsta halterna finner man i det yttre och det lägsta i det inre skiktet. En sådan impregneringsmedelsgradient föreligger normalt också hos nyimpregnerat virke. Medeltalen för stolpgruppen B (574 - 7745), d v s de stolpar som icke Cobra-behandlats, antyder att arseniken under stolparnas tjänstgöring lakats ur mest och kromen minst. De variationer som föreligger mellan de enskilda stolparna kan naturligtvis bero på skillnader i urlakningsförhållanden (markens vattenhalt och pH, nederbörd o s v) men avsevärda variationer torde ha förekommit redan från början.

Urlakningen av impregneringsmedel för de icke Cobra-behandlade stolparna har varit ungefär av den omfattning man hade anledning att vänta. De lakningsförsök som ursprungligen utfördes med BIS-impregnerat virke visade t ex att ungefär 65 % av den tillförda arseniken var urlakbar (Rennerfelt 1946). Med den mikrobiologiska analysen och de mikroskopiska undersökningarna som bakgrund kan man konstatera att de mängder arsenik och zink, som fanns kvar i veden icke förmått förhindra soft rot angrepp. Man har dessutom anledning förmoda att gift-

verkan gentemot vissa soft rot svampar varit otillräcklig långt innan urlakningen nått nuvarande omfattning.

Analysresultaten för stolpgruppen A (1884 - 1889), d v s de stolpar, som Cobrabehandlades år 1964, visar att mängderna av såväl As som Zn och Cr var avsevärt lägre än för övriga stolpar. Den allra största skillnaden finner man i vedens zinkinnehåll, som för dessa stolpar var 20 - 30 gånger lägre än för övriga stolpar medan arsenik- och krominnehållet var 2 - 3 gånger lägre. Anledningen till dessa stora skillnader kan f n inte förklaras på ett tillfredsställande sätt. En förklaring skulle kunna vara att det impregneringssalt som användes icke var rätt balanserat beträffande sin sammansättning och att upptagningen därför från början varit mycket låg. Det skulle vidare kunna vara tänkbart att stolparna från 1941 icke tryckimpregnerats utan impregnerats med en s k open tank metod. Sådan typ av impregnering förekom under 1940-talets första del i landets mellersta delar. Möjligen kan ett annat medel än BIS, t ex ett CFA-medel, använts. Blandningar av olika medel kan också ha förekommit.

Fluoranalyserna visar att samtliga stolpar som Cobrabehandlats innehåller fluor i mängder varierande mellan 0.174 och 1.322 kg/m³. Om man jämför de olika skikten hos stolpar behandlade 1971 resp 1964, framgår att fluorhalten är hög i de yttre delarna av stolparna strax efter Cobrabehandlingen. Därefter sker synbarligen en migration av fluorider såväl inåt i stolpen som ut till omgivande mark. Ett år efter Cobrabehandlingen fanns omkring 1 kg/m³ fluor i det yttre skiktet medan det efter 9 år fanns endast ca 0.3 kg/m³. För att er-hålla ett gott rötskydd räknar man med att det krävs ca 1 kg/m³ fluor i aktiv form, d v s i jonform (Liese und Gröger 1954). Resultaten från den mikrobiologiska analysen visar också att mängden fluor 9 år efter behandlingen inte är tillräcklig för att förhindra växt av olika soft rot svampar. Svampfloran var då praktiskt taget densamma i behandlade och obehandlade stolpar.

Kopparanalyserna ger belägg för att stolparna behandlats med ett kopparfritt salt. Endast i ett fall har signifikanta mängder koppar kunnat uppmätas. Någon förklaring till den relativt höga kopparhalten i denna stolpe (7621) kan icke ges. Övriga mindre förekomster av koppar i vissa stolpars yttre skikt härrör sannolikt från läckage från omgivande mark.

Kväveanalyserna, slutligen, visar en obetydligt högre kvävehalt i ytterskikten hos de stolpar som Cobrabehandlats. Detta kan orsakas av den tillförsel av små mängder dinitrofenol, som Cobrabehandlingen innebär. För övrigt ger kvävehalterna belägg för att stolpverket under årens lopp tillförts icke obetydliga mängder kväveföreningar från omgivande mark. Normalt innehåller färsk splintved av furu $< 0.4 \text{ kg N/m}^3$. Det ökade kväveinnehållet kan ha en betydande accelererande effekt på soft rot angreppens utveckling. Man vet genom flera undersökningar, t ex Duncan (1960) och Lundström (1973) att artificiell tillförsel av kväve till ved ökar angreppshastigheten hos de flesta kända soft rot svampar.

SAMMANFATTNING

Ett antal sektioner från brottregionen hos hållfasthetsprovade stolpar undersöktes. Stolparna var saltimpregnerade och hade varit i tjänst ca 25 - 30 år. Med hjälp av mikroskopiska undersökningar av soft rot angreppens utbredning och en mekanisk bedömning (med kniv) av soft rot angreppens djup gjordes beräkningar av stolparnas återstående hållfasthet. Jämförelser med de vid hållfasthetsprovningen erhållna, verkliga värdena har gjorts. I allmänhet bedömdes den återstående hållfastheten vara något för hög jämfört med det verkliga förhållandet. Soft rot konstaterades mikroskopiskt djupare in i stolpen än vad knivmetoden utvisade. Knivmetoden gav ett riktigare resultat när stolpen var våt än när den var torr.

Inget samband mellan soft rot angreppets djup och stolpdiameter eller splintdjup kunde påvisas.

Undersökningen av svampfloran visade att kvalificerade soft rot svampar förekom i nästan samtliga stolpar. *Phialophora hoffmannii*, *Phialophora* sp. A, *Rhinocladiella anceps* och *Acremonium atro-griseum* var vanliga i materialet.

Cobrabehandling ledde till en sterilisering i stolparna, vilken var effektiv ännu 1 år efter behandlingen. Nio år efter behandlingen kunde ingen skillnad iakttagas i mikrofloran mellan Cobrabehandlade och icke behandlade stolpar.

Kemiska analyser visade att av komponenterna i det ursprungliga impregneringsmedlet hade arsenik urlakats mest och krom minst. De mängder arsenik och zink som fanns kvar i veden hade icke förmått skydda denna mot angrepp av soft rot svampar.

Fluoranalyserna visade att nyligen Cobrabehandlade stolpar hade höga halter av fluor (över 1 kg/m^3) i de yttre delarna. I stolpar som Cobra behandlats nio år före provningen hade en utjämning skett, så att lägre och jämnare fluorhalter påträffades i stolparnas olika skikt.

SUMMARY

A number of sections from the fracture region of strength tested poles were studied. The poles were impregnated and had been in service for 25 - 30 years.

Using microscopical examinations of the extent and distribution of soft rot and a mechanical method (knife) for estimation the depth of soft rot, calculations were made to determine the residual bending strength of the poles. The results were compared with those obtained at the strength testing. Usually the residual strength was estimated slightly too high compared with the true strength. In the microscope soft rot could be demonstrated deeper in the pole than was estimated by the knife method.

The knife method gave a significantly more accurate result in wet than in dry poles.

The examination of the fungus flora revealed presence of a number of soft rot fungi in almost all the poles. Phialophora hoffmannii, Phialophora sp. A, Rhinocladiella anceps and Acremonium atro-griseum were commonly found.

Cobra treatment caused a sterilization of the poles, which was effective still one year after the treatment. Nine years after treatment, however, no difference in fungus flora was detectable between Cobra treated and non-treated poles.

Chemical analyses showed the following order of leachability among the elements originally used in the preservative: arsenic > zinc > chrome. The residual amounts of arsenic and zinc were not high enough to protect the wood from attack by soft rot fungi.

The fluorine analyses showed that in recently Cobra treated poles the concentration of fluorine was very high in the outermost layers (more than 1 kg/m³). In poles, Cobra treated nine years before the testing, a migration had taken place, resulting in lower concentrations and a more uniform distribution of fluorine in the various layers.

LITTERATUR

- Bergman, Ö. och Nilsson, T.: Studies on outside storage of saw mill chips. - Research Note R 71, 1971. Dep. of Forest Prod., Royal College of Forestry, Stockholm.
- Corbett, N.H.: Micro-morphological studies on the degradation of lignified cell walls by Ascomycetes and Fungi Imperfecti. - J. Inst. Wood Sci. 3 (14), 1965.
- Courtois, H.: Mikromorphologische Befallssymptome beim Holzabbau durch Moderfäulepilze. - Holzforschung u. Holzverwertung 15, 5, 1963.
- Dickinson, D.: The Micro-distribution of Copper-chrome-arsenate in *Acer pseudoplatanus* and *Eucalyptus maculata*. - Material und Organismen 9 (1974):1, 21-23.
- Duncan, C.G.: Wood-attacking capacities and physiology of soft-rot fungi. - U.S. Dept. Agric. For. Prod. Lab. Rep. 2173, 1960.
- Friis-Hansen, H.: Undersökningar och erfarenheter av soft rot förekomst och utveckling i saltimpregnerade ledningsstolpar av furu (*Pinus silvestris*) insatta i kraftledning i Sverige under åren 1940 - 1954. - Svenska Träskyddsinstitutets meddelande nr 117, 1975.
- Greaves, H.: Electron Probe X-Ray Analysis of Selected Anatomical Structures in Copper-Chrome-Arsenic-Treated Wood. - Wood Science Vol. 7 No 2, 1974.
- Henningsson, B. och Nilsson, T.: Preliminära undersökningar över mikrobiella angrepp i impregnerat virke. - Lahontorjunta 2:1971.
- Hoffmeyer, P.: Mechanical properties of soft rot decayed Scots Pine with special reference to wooden poles. - Svenska Träskyddsinstitutets meddelande nr 117, 1975.
- Levy, J.F.: The soft rot fungi: Their mode of action and significance in the degradation of wood. - Adv. in Bot. Res. 2, 1965.
- Liese, J. und Gröger, C.: Holzschutz - VEB-Verlag Technik, Berlin, 1954.
- Lundström, H.: Microscopic studies of cavity formation by soft rot fungi *Allescheria terrestris* Apinis, *Margarinomyces luteo-viridis* v. Beyma and *Phialophora richardsiae* Conant. - Studia for. suec. Stockholm 98, 1972.
- Nilsson, T.: Studies on wood degradation and cellulolytic activity of microfungi. - Studia for. suec., Stockholm 104, 1973.
- Nilsson, T.: The degradation of cellulose and the production of cellulase, xylanase, mannanase and amylase by wood-attacking microfungi. - Studia for. suec., Stockholm, 114, 1974.

- Rennerfelt, E.: Iakttagelser över mögelröta. Träskyddskommittén, Meddelande nr 28, 1956.
- Savory, J.G.: Breakdown of timber by Ascomycetes and Fungi Imperfecti. - Ann. Appl. Biol. 41(2), 1954.
- Savory, J.G.: Damage to wood caused by micro organisms. - J. Appl. Bact. 17, 1954.
- Savory, J.G.: The role of the micro fungi in the decomposition of wood. - Rec. Brit. Wood Pres. Assoc. 5., 1955.
- Schacht, H.: Über eigentümliche, bisher noch nicht beobachtete Erscheinungen in der Verdickungsschichten gewisse Holzzellen. - Botan. Zeitung 8, 1850.
- Schacht, H.: Über die Veränderungen durch Pilze in abgestorbenen Pflanzenzellen. - Jahrb. f.wiss. Botan. 3., 1863.
- Schmidt, L. och Jacobsson, S.: Erfarenheter av rötskador i saltimpregnerade ledningsstolpar av furu med särskild vikt lagd på röt-skadade stolpars återstående hållfasthet och besiktningsmetoder. - Svenska Träskyddsinstitutets meddelande nr 117, 1975.
- Seehann, G., Liese, W. and Kess, B.: List of fungi in soft-rot tests. - The International Research Group on Wood Preservation, Document No: IRG/WP/105, 1975.
- Svensk Standard: SEN360104. Dimensionering av friledningar för starkström. Stolpar. 1973.
- Träskyddskommittén: Rötangrepp i stolpar impregnerade med Boliden BIS-salt. - Information om Träskydd 1970:1.

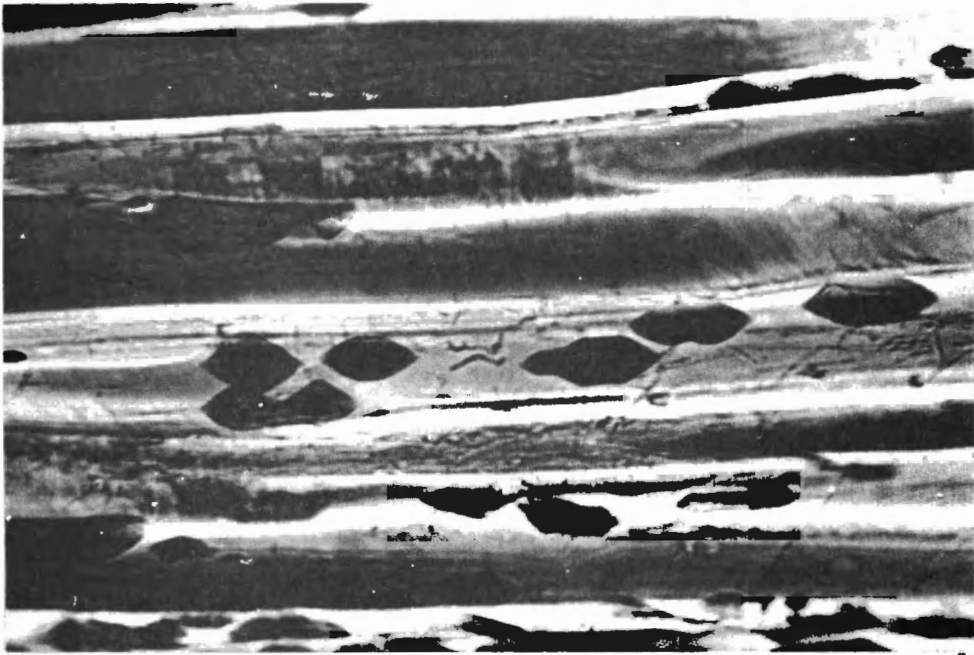
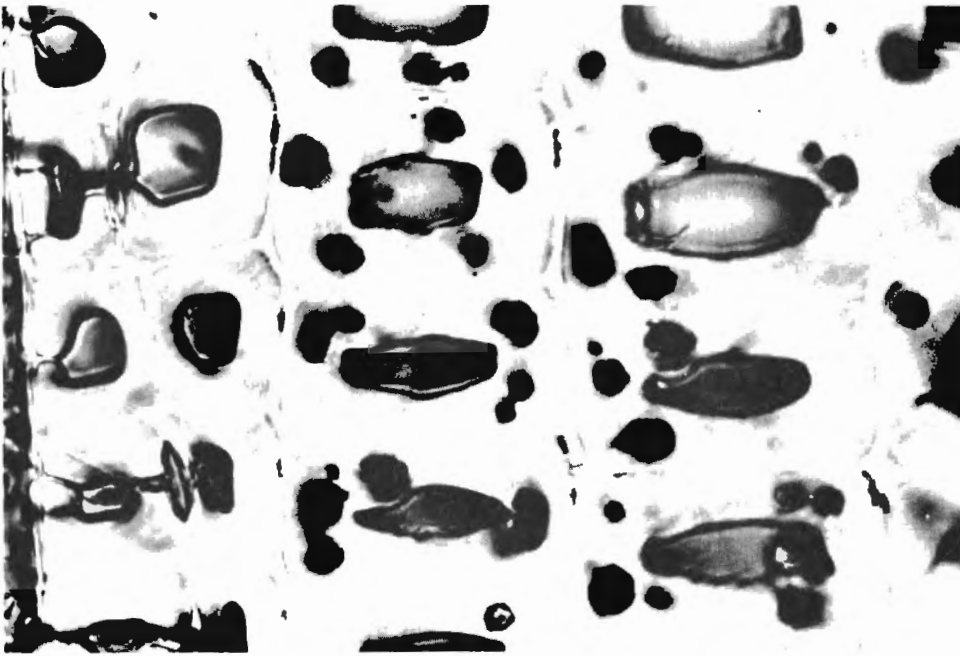
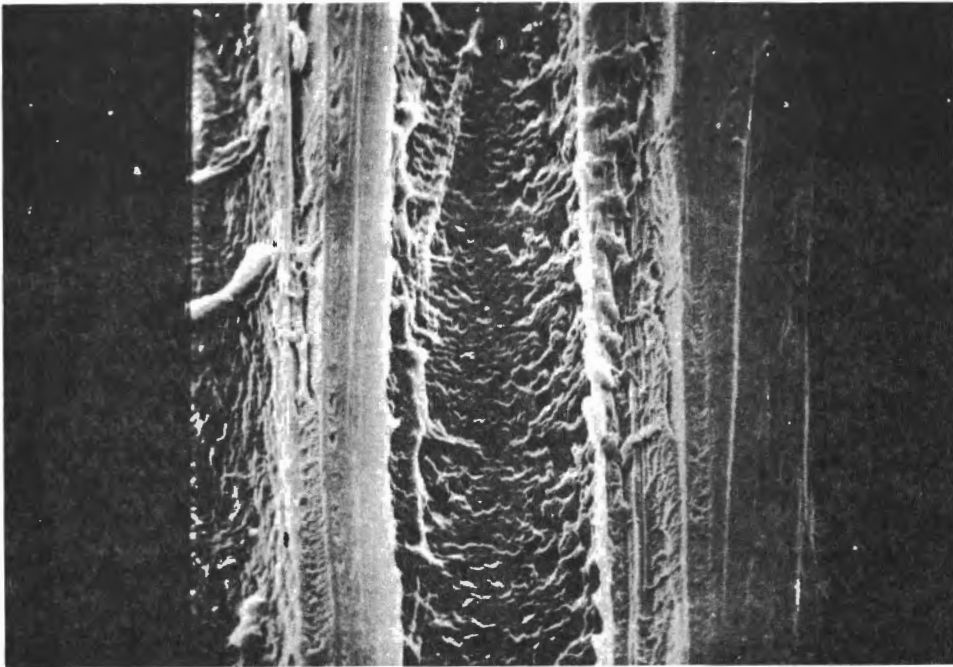


Fig. 1. Längdsnitt av björkved (*Betula verrucosa* Ehrh.) visande typiska soft rot kaviteter. Förstoring ca 650 X.

Longitudinal section of birch (Betula verrucosa Ehrh.) wood showing typical soft rot cavities. Approx 650 X. From T Nilsson 1973.



A



B

Fig. 2 a. Tvärsnitt av tallved (*Pinus silvestris* L.) visande karakteristiska angrepp av typ 1. Förstoring ca 900 X.
 b. Svepelektronbild av ett längdsnitt genom en björkfiber (*Betula verrucosa* Ehrh.) visande karakteristiskt angrepp av typ 2 (erosion). Förstoring ca 2 100 X.

a. *Transverse section of pine (Pinus silvestris L.) wood showing characteristic Type 1 attack. Approx 900 X.*
 b. *Scanning electron micrograph of a longitudinal section of birch (Betula verrucosa Ehrh.) showing characteristic Type 2 attack. Approx 2.100 X.*
 From T. Nilsson 1973.

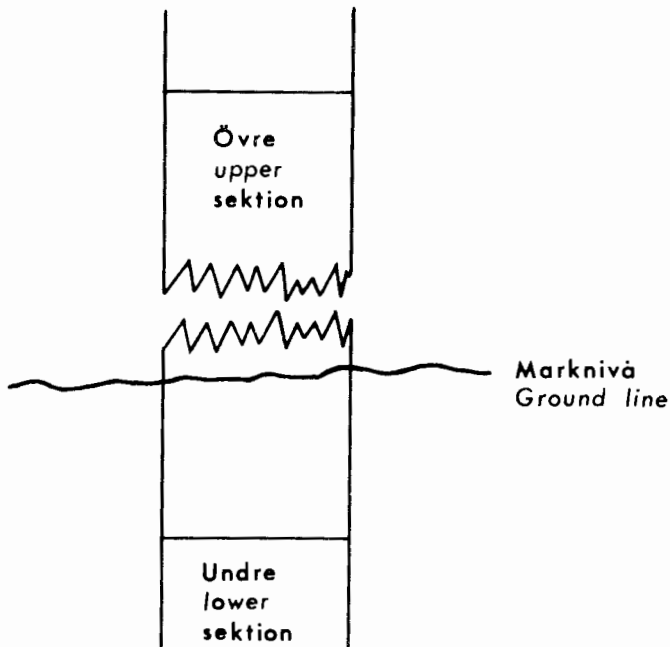


Fig. 3. Två sektioner av varje stolpe, en på vardera sedan om brottet, användes i undersökningen.

The study included the two pole sections on either side of the fracture.

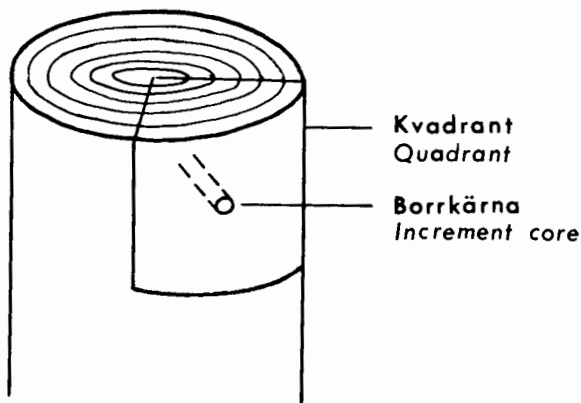


Fig. 4. Efter en försiktig "frisering" av brottytan uttogs en borkkärna, och en kvadrant av varje stolpe.

After a careful cleaning of the surface of the fracture an increment core and a quadrant was taken from each pole.

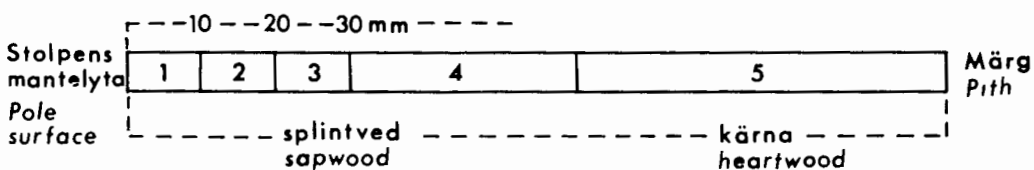


Fig. 5. Borrkärnan uppdelades i fem delar vid den mikrobiologiska analysen.

The increment core was sectioned in five pieces when the microbiological analysis was prepared.

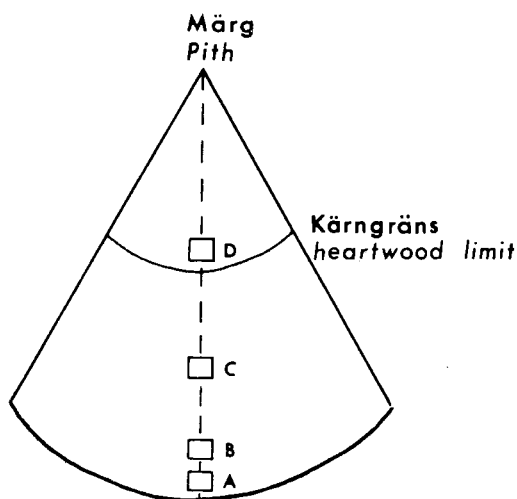


Fig.6 . För mikroskopering togs prover på fyra ställen på varje kvadrant. Provställena var belägna 5 (A) resp 15 (B) mm från periferin, på halva avståndet mellan B och kärngränsen (C) samt c:a 5 mm innanför kärngränsen (D).

For the microscopical studies four samples were taken from each quadrant on the following positions: 5 (A) and 15 (B) mm from the periphery respectively on half the distance between position B and the heartwood limit (C) and finally c:a 5 mm inside the heartwood limit (D).

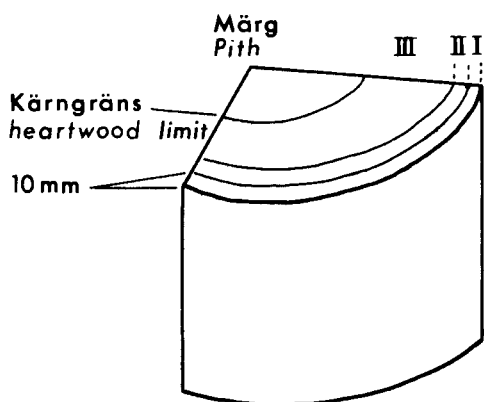


Fig.7 . För de kemiska analyserna uppdelades kvadrantens splintved i tre skikt. De två yttre skiktens (I och II) djup var c:a 10 mm och det inre skiktet (III) utgjordes av resterande del av splintveden.

For the chemical analyses the sapwood of the quadrant was divided into three layers. The depth of the outer two layers (I and II) was 10 mm. The inner layer contained the remaining part of the sapwood.

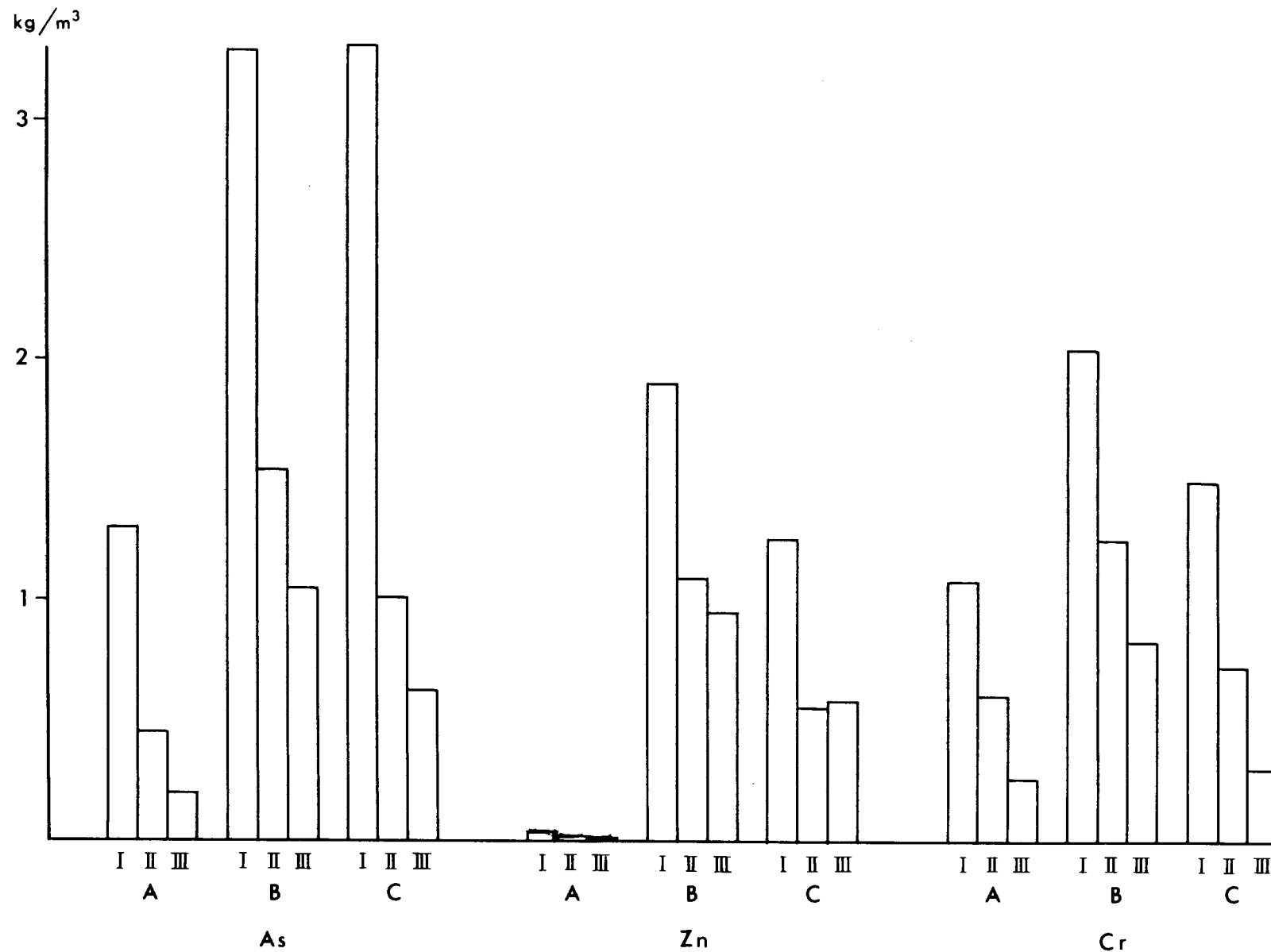


Fig. 8. Stapeldiagram visande vedens innehåll av arsenik, zink och krom i yttre-(I), mellan-(II) och innerskiktet (III) hos stolpar som Cobrabehandlats 1964 (A) och 1971 (C) samt stolpar som icke Cobrabehandlats (B).

Diagram showing the content of arsenic, zinc and chrome in the outer (I), middle (II) and inner (III) layers in poles Cobra treated in 1964 (A) and 1971 (C) and poles not Cobra treated (B).

Tabell 1. Uppmätta parametrar för stolparna (stolp- och kärndiameter, splintdjup), röttningsdjup bedömt på torra och våta stolpar med knivmetoden, samt skadeklasser i höstveden på olika avstånd från periferin bedömda med hjälp av mikroskopering. Siffror inom parentes för röttningsdjup anger minsta och största röttningsdjup. Siffror inom parentes för mikroskopering anger provställets avstånd från periferin. Båda systemen för indelning i skadeklasser (se sid 1.6 och 2.6) har använts. Systemet med klasserna 0 - 4 är att föredra och har använts i övriga delrapporter i undersökningen. VR = vitröta.

Registered parameters for the poles (diameter, heartwood diameter, depth of sapwood), depth of soft rot decay in dry and wet poles according to the knife method and the degree of soft rot in late wood tracheids on various distances from the pole periphery as determined in microscope. Figures within brackets for depth of soft rot indicate the variation. Figures within brackets for microscopy show the exact position of the sample in mm from pole surface. VR = white rot.

Stolpe nr Pole No	Diameter		Splintdjup Depth of sapwood mm	Röttningsdjup (mm) bedömt vid besiktning med hjälp av kniv Depth of soft rot (mm) determined according to the knife method		Skadeklass vid mikroskopering (höstvedceller) Degree of soft rot in late wood tracheids determined by microscopy									
	Stolpe Pole mm	Kärna Heartwood mm		Torra prover Dry samples	Våta prover Wet samples	A (5 mm från periferin)		B (15 mm från periferin)		C (x mm från periferin)		D Kärnan (y mm från periferin)			
						4 kl	5 kl	4 kl	5 kl	4 kl	5 kl	x	4 kl	5 kl	y
1884	210	110	50	11 (9-14)	13 (9-19)	3	4	3	4	3	4	(33)	0	0	(55)
1885	234	100	67	22 (17-27)	21 (15-25)	4	5	3	4	3	4	(41)	0	0	(72)
1886	231	120	55	9 (5-17)	27 (22-30)	4	5	3	4	3	4	(35)	0	0	(60)
1887	229	100	65	9 (6-16)	29 (25-30)	4	5	3	4	3	4	(40)	0	0	(70)
1889	201	105	48	17 (15-21)	18 (12-22)	3	4	3	4	3	4	(32)	0	0	(53)
574	226	125	50	0 (0)	1	0	0	0	0	0	0	(33)	0	0	(55)
584	230	120	55	3 (0-7)	4 (3-5)	2	3	1	2	1	1	(35)	0	0	(60)
596	205	155	25	5 (4-7)	7 (6-8)	4	5	3	4	3	4		0	0	
597	249	110	70	8 (2-13)	18 (15-20)	3	4	3	4	3	4	(43)	0	0	(75)
3332	231	120	55	4 (2-6)	8 (5-10)	3	4	2	3	2	3	(35)	0	0	(60)
7618	215	110	50	2 (0-4)	6 (2-15)	3	4	1	1	1	1	(33)	0	0	(55)
7619	221	105	58	5 (0-11)	7 (6-9)	3	4	2	3	2	3	(37)	0	0	(63)
7620	218	130	44	5 (3-7)	13 (10-15)	3	4	3	4	3	4	(30)	0	0	(49)
7621	209	155	27	0 (0)	11 (8-15)	3	4	2	3	1	2	(21)	0	0	(32)
7623	206	150	28	7 (5-9)	14 (11-20)	4	5	3	4	0	0	(22)	0	0	(33)
7624	260	170	45	4 (2-5)	8 (3-10)	3	4	3	4	1	2	(30)	0	0	(50)
7625	234	145	45	6 (2-10)	4 (2-5)	3	4 (VR)	1	2	1	2	(30)	0	0	(50)
7742	235	165	35	8 (6-10)	15 (9-24)	3	4	3	4	2	3	(25)	0	0	(40)
7744	198	100	49	10 (8-15)	18 (15-20)	3	4	2	3	2	3	(32)	0	0	(54)
7745	208	120	44	8 (5-11)	17 (8-25)	3	4	2	3	3	4	(30)	0	0	(49)
889	232	100	66	7 (6-8)	7 (5-8)	3	4	2	3 (VR)	1	1	(41)	0	0	(71)
891	243	95	74	0 (0)	5 (1-9)	2	3	1	1	1	1	(45)	0	0	(79)

Tabell 2. Beräknade och uppmätta absoluta brottbelastningar i kN samt relativa brottbelastningar hos de rötskadade stolparna i % av den beräknade brottbelastningen om stolpen varit frisk.

Theoretically calculated and absolutely registered bending strength in kN and relative bending strength of the soft rot decayed poles in per cent of the theoretically calculated bending strength of the sound poles.

Stolpe nr Pole No	Brottbelastning kN Bending strength kN								Relativ brottbelastning % Relative bending strength per cent	Differens i relativ brottbelastning Difference in relative bending strength II-I		
	Frisk stolpe Sound pole		Rötskadad stolpe Soft rot decayed pole									
	Hela stolpen Entire pole	Kärnan Heartwood	Med hjälp av knivmetoden According to the knife method				Uppmätt vid provning i fält Registered at strength test in the field	Uppmätt vid provdragnig Registered at strength test in the field	Beräkning med knivmetoden x) Calculated according to the knife method x)			
			Torr stolpe Dry pole		Våt stolpe Wet pole							
		Min	Medel Average	Max	Min	Medel Average	Max	I	II			
1884	6.0	0.85	3.7	4.3	4.5	3.3	4.0	4.5	2.3	38	55	18
1885	7.8	0.63	3.6	4.3	5.0	3.9	4.4	5.3	2.4	31	50	19
1886	6.9	1.1	4.9	6.2	6.9	3.2	3.6	4.2	2.0	29	46	17
1887	6.7	0.63	4.7	5.8	6.3	3.0	3.1	3.5	2.5	37	45	8
1889	5.2	0.75	2.6	3.0	3.2	2.3	2.9	3.6	1.8	35	44	9
574	6.4	1.1	-	6.4	-	-	6.3	-	5.5	85	98	13
584	6.0	0.91	5.3	5.9	6.2	5.6	5.7	5.9	3.8	75	93	18
596	4.2	2.0	3.7	3.9	4.1	3.6	3.7	3.8	2.8	67	86	19
597	8.1	0.79	6.6	7.5	8.7	5.4	5.7	6.2	2.5	31	67	36
3332	6.5	1.1	6.4	6.8	7.1	5.7	6.1	6.6	4.1	63	88	25
7618	6.6	0.81	6.2	6.6	6.9	4.4	5.8	6.6	5.3	80	67	-13
7619	5.6	0.70	4.7	5.7	6.5	5.0	5.3	5.5	2.8	50	89	39
7620	6.8	1.4	5.5	5.8	6.1	4.3	4.5	5.8	3.2	47	63	16
7621	6.5	2.3	-	5.6	-	3.5	4.0	4.4	3.6	55	54	-1
7623	7.0	2.3	5.0	5.3	5.7	3.4	4.2	4.7	3.5	50	49	-1
7624	10.0	3.2	10.0	10.3	10.8	8.9	9.3	10.5	3.8	38	89	51
7625	8.6	1.9	6.0	6.7	7.4	6.9	7.0	7.4	5.5	65	80	15
7742	7.6	2.8	6.1	6.5	6.8	4.0	5.3	6.3	3.8	50	53	3
7744	4.6	0.62	2.9	3.5	3.7	2.4	2.6	2.9	2.5	54	52	-2
7745	5.7	1.1	3.9	4.3	4.7	2.4	3.2	4.3	3.0	53	42	-11
889	7.2	0.57	5.8	5.9	6.1	5.8	5.9	6.3	2.8	39	81	42
891	7.4	0.49	-	8.2	-	6.5	7.3	8.0	4.3	57	88	31

x) Våt stolpe; minsta beräknade brottbelastning
Wet pole; minimum calculated bending strength

Tabll 3. Isolerade och identifierade svampar. Prov 1, 2 och 3 utgör första, andra resp tredje centimetern av splintveden. Prov 5 är taget från kärnan och prov 4 utgör eventuell resterande del av splintveden. Hos vissa stolpar var splintveden för tunn för att prov 4 eller prov 3 skulle kunna tagas. Understrukna svampar har visat sig kunna orsaka soft rot (Nilsson 1973).

Isolated and identified fungi. Samples nos 1, 2 and 3 consist of first, second and third centimeter of the sapwood. Sample no 5 is taken from the heartwood and sample no 4 from the remaining part of the sapwood. In some poles the sapwood was too narrow to allow the samples 4 or 3 to be taken. The underlined fungi have been shown to cause soft rot (Nilsson 1973).

Prov nr	Framvuxna mikroorganismer
Sample no	Isolated micro-organisms
1884:1	<u>Acremonium atro-griseum</u> , Penicillium sp
2	<u>Acremonium atro-griseum</u> , Penicillium sp
3	Penicillium sp
4	Penicillium sp
5	Penicillium sp
1885:1	<u>Phialophora hoffmannii</u>
2	<u>Phialophora hoffmannii</u> , Penicillium sp
3	<u>Acremonium atro-griseum</u> , Penicillium sp, bakterier
4	Penicillium sp
5	steril
1886:1	Trichoderma sp, Penicillium sp
2	Trichoderma sp
3	Trichoderma sp
4	Trichoderma sp
5	Trichoderma sp
1887:1	vitträtesvamp, Penicillium sp, bakterier
2	<u>Phialophora hoffmannii</u>
3	<u>Phialophora hoffmannii</u>
5	steril
1889:1	<u>Acremonium atro-griseum</u>
2	<u>Acremonium atro-griseum</u> , <u>Phialophora fastigiata</u> , bakterier
5	bakterier
574:1	bakterier
2	bakterier
3	bakterier
4	bakterier
5	bakterier
584:1	<u>svampen B77-A-23</u>
2	<u>svampen B77-A-23</u>
3	<u>svampen B77-A-23</u>
4	Cladosporium sp
5	steril

Tabell 3, forts.

Prov nr <i>Sample no</i>	Framvuxna mikroorganismer <i>Isolated micro-organisms</i>
596:1	steril
2	<u>Phialophora sp A</u> (tidigare <u>Phialocephala sp</u>)
5	steril
597:1	steril
2	steril
3	<u>Phialophora sp A</u> (tidigare <u>Phialocephala sp</u>)
4	<u>Phialophora sp A</u>
3332:1	steril
2	steril
3	<u>svampen B77-A-23</u> , Penicillium sp
5	Penicillium sp
7618:1	Penicillium sp
2	<u>svampen B77-A-23</u> , Penicillium sp
3	<u>svampen B77-A-23</u> , Penicillium sp
4	Penicillium sp
5	Penicillium sp
7619:1	steril
2	steril
3	<u>svampen B77-A-23</u>
4	Penicillium sp
5	<u>svampen B77-A-23</u>
7620:1	bakterier
2	svampen SP100-1 (brunsvart mycel), bakterier
3	Rhinocladiella mansonii, <u>Rhinocladiella anceps</u> , bakterier
4	Penicillium sp
5	Penicillium sp
7621:1	<u>svampen B77-A-23</u>
2	<u>svampen B77-A-23</u>
5	steril
7623:1	steril
2	steril
3	<u>Phialophora sp A</u> (tidigare <u>Phialocephala sp</u>)
5	Penicillium sp
7624:1	svampen SP100-1
2	svampen SP100-1
3	svampen SP100-1
5	<u>Rhinocladiella anceps</u> , bakterier
7625:1	<u>svampen B77-A-23</u>
2	<u>svampen B77-A-23</u>
3	<u>svampen B77-A-23</u>
4	<u>svampen B77-A-23</u> , <u>soft rot svampen SP98-2</u>
5	svampen B77-A-23
7742:1	steril
2	<u>Acremonium sp</u> , svampen <u>B77-A-23</u>
3	Rhinocladiella mansonii
D	steril

Tabell 3, forts.

Prov nr <i>Sample no</i>	Framvuxna mikroorganismer <i>Isolated micro-organisms</i>
7744:1	Penicillium sp
2	Penicillium sp
3	Penicillium sp
4	Penicillium sp
5	Penicillium sp
7745:1	steril
2	steril
3	<u>Phialophora sp A</u> , (tidigare <u>Phialocephala sp</u>)
5	steril
889:1	steril
2	steril
3	steril
4	Penicillium sp
5	Penicillium sp
891:1	steril
2	steril
3	steril
5	steril

Tabell 4. Resultat av de kemiska analyserna. För var och en av de tre stolpgrupperna har medelvärden framräknats. A = Cobrabehandlade 1964, B = icke Cobrabehandlade och C = Cobrabehandlade 1971. x) Minsta mängd som kan säkerställas med använd metodik.

Results from the chemical analyses. The average figures for each groups of poles have been calculated. A = Poles Cobra treated in 1964, B = Poles, not Cobra treated and C = Poles Cobra treated in 1971.

Prov nr Sample No	Skikt layer	Vedens innehåll i kg/m ³ (splintved) Content (sapwood)										Impregnerings- år Impregnation, year	Cobrabehand- ling, year Cobra treatment year	
		F x) min. 0.013	M̄	As M̄	Zn M̄	Cr M̄	Cu x) min. 0.01	N M̄						
1884	I	0.347		1.04		0.087		1.26		0.068	0.98	0.55	1941	1964
	II	0.269	0.314	0.42	0.54	0.021	0.096	0.74	0.77	0.38				
	III	0.327		0.17		0.018		0.25	0	0.30				
1885	I	0.324		1.20		0.033		1.11		0	0.10	0.38	1941	1964
	II	0.358	0.308	0.47	0.59	0.019	0.021	0.77	0.77	0	0.67			
	III	0.242		0.11		0.012		0.30	0	0.37				
1886	I	0.203		1.35		0.039		0.59		0	0.99	0.67	1941	1964
	II	0.322	0.329	0.25	0.57	0.023	0.027	0.45	0.45	0	0.58			
	III	0.462		0.12		0.020		0.31	0	0.46				
1887	I	0.416		0.21		0.069		1.65		0	1.31	0.64	1941	1964
	II	0.262	0.314	0.56	0.34	0.017	0.032	0.56	0.81	0	0.39			
	III	0.264		0.25		0.011		0.22	0	0.24				
1889	I	0.212		1.69		0.082		0.77		0	1.01	0.58	1941	1964
	II	0.175	0.235	0.53	0.83	0.017	0.036	0.50	0.49	0	0.42			
	III	0.320		0.29		0.009		0.21	0	0.33				
M̄ 1884 A 1889	I	0.300		1.30		0.062		1.08		0	1.08	0.63	1941	1964
	II	0.277	0.300	0.45	0.64	0.019	0.031	0.60	0.60	0	0.49			
	III	0.323		0.19		0.014		0.26	0	0.34				
574	I	0		3.59		1.89		1.64		0	0.37	0.27	1944	-
	II	0		3.21	1.71	2.34	1.77	0.60	1.13	0	0.23			
	III	0		1.33		1.08		0.60	0	0.23				
584	I	0		3.15		1.81		1.86		0	0.49	0.33	1944	-
	II	0		2.15	2.22	1.47	1.49	1.24	1.29	0	0.27			
	III	0		1.37		1.20		0.77	0	0.23				
596	I	0		1.69		0.89		1.85		0	1.03	0.69	1964	-
	II	0		0.54	0.27	0.56	0.48	0.27	1.06	0	0.35			
	III	0												
597	I	0		8.43		5.78		1.91		0.021	0.68	0.44	1944	-
	II	0		1.84	3.65	0.83	2.42	1.43	1.28	0.012	0.39			
	III	0		0.68		0.67		0.50	0	0.25				
3332	I	0		1.72		2.03		1.30		0	0.24	0.36	1946	-
	II	0		0.68	0.88	1.34	1.42	0.73	0.76	0	0.24			
	III	0		0.26		0.90		0.26	0	0.26				
7618	I	0		2.69		1.59		1.74		0.014	0.48	0.29	1946	-
	II	0		1.72	2.06	1.32	1.45	1.11	1.30	0	0.22			
	III	0		1.78		1.44		1.06	0	0.18				
7619	I	0		2.87		1.61		2.40		0.012	0.76	0.42	1946	-
	II	0		1.52	1.93	1.12	1.34	1.64	1.79	0	0.27			
	III	0		1.41		1.30		1.33	0	0.25				
7620	I	0		3.33		1.48		2.31		0	0.89	0.57	1946	-
	II	0		1.93	2.31	1.33	1.39	1.20	1.49	0	0.41			
	III	0		1.69		1.38		0.96	0	0.41				
7621	I	0		3.32		1.45		2.58		0.414	0.98	0.52	1946	-
	II	0		0.99	1.70	0.55	1.15	0.73	1.23	0.040	0.34			
	III	0		0.80		0.45		0.40	0	0.26				
7623	I	0		3.61		1.61		2.12		0	0.64	0.38	1945	-
	II	0		1.54	1.92	1.12	1.14	1.01	1.18	0	0.26			
	III	0		0.63		0.71		0.43	0	0.24				
7624	I	0		5.10		3.68		2.45		0.013	0.81	0.48	1945	-
	II	0		2.07	2.89	1.18	1.94	1.50	1.69	0	0.33			
	III	0		1.52		0.98		1.14	0	0.30				
7625	I	0		2.23		1.24		1.62		0	0.63	0.35	1946	-
	II	0		1.05	1.17	0.82	0.84	0.79	0.84	0	0.24			
	III	0		0.24		0.47		0.11	0	0.19				
7742	I	0		2.53		1.06		1.85		0.051	1.38	0.77	1946	-
	II	0		1.65	1.75	0.98	0.99	0.86	1.08	0	0.61			
	III	0		1.09		0.93		0.53	0	0.32				
7744	I	0		2.42		1.62		2.10		0.079	1.62	0.72	1946	-
	II	0		1.02	1.37	0.75	1.03	0.83	1.12	0	0.35			
	III	0		0.67		0.73		0.43	0	0.19				
7745	I	0		2.63		0.84		3.01		0.111	1.38	0.70	1946	-
	II	0		1.21	1.71	0.69	0.84	1.44	1.85	0	0.49			
	III	0		1.29		1.00		1.10	0	0.25				
M̄ 574 B 7745	I	0		3.29		1.91		2.05		0	0.85	0.25	1944 ↓ 1946	-
	II	0		1.54	1.96	1.09	1.31	1.26	1.36	0	0.33			
	III	0		1.05		0.95		0.78	0	0.25				
889	I	0.921		2.08		1.13		1.46		0.025	0.80	0.47	1946	1971
	II	0.234	0.443	0.68	1.00	0.51	0.69	0.51	0.69	0	0.35			
	III	0.174		0.26		0.43		0.11	0	0.27				
891	I	1.322		5.05		1.39		1.52		0.054	1.19	0.60	1946	1971
	II	0.345	0.652	1.33	2.45	0.60	0.90	0.92	0.92	0.021	0.36			
	III	0.291		0.97		0.72		0.47	0	0.25				
M̄ 889 C 891	I	1.122		3.57		1.26		1.49		0	1.00	0.54	1946	1971
	II	0.290	0.548	1.01	1.73	0.56	2.46	0.72	0.83	0	0.36			
	III	0.233		0.62		0.58		0.29	0	0.26				