SVENSKA TRÄSKYDDSINSTITUTET

SWEDISH WOOD PRESERVATION INSTITUTE

Meddelanden
Reports

Nr 148 1984

ISSN 0346-7090

Träskyddsforskning vid Bolidenbolaget

Sten T Henriksson

STOCKHOLM 1984

INNEHÅLL

		Sida
FÖRORD		
1.	Inledning	3
2.	Zink-krom-arsenik-system	5
3.	Koppar-krom-arsenik-system	9
4.	Koppar-krom-fosfor-system	17
5.	Impregneringsprocesser - OPM-impregnering	19
6.	Kemiska reaktioner mellan CCA-medel och trä	34
7.	Fältförsök	44
8.	Den optimala CCA-sammansättningen - finns den?	51
9.	Slutord	55
Litteratur		57
Bilaga		63

FÖRORD

Bolidenbolaget har spelat en central roll för utvecklingen på träskyddsområdet i Sverige och "Bolidenimpregnering" och "Bolidenträ" är välkända begrepp.

Sten T Henriksson, verksam inom Bolidenbolaget under många år och en av dess ledande forskare på träskyddsområdet, har på initiativ från Träskyddsinstitutet ställt samman föreliggande rapport, som ger en unik inblick i Bolidenbolagets omfattande forsknings- och utvecklingsarbete såväl när det gäller träskyddsmedel som impregneringsprocesser.

Från institutets sida är vi mycket tacksamma över det uppoffrande arbete Sten T Henriksson lagt ned på att skildra ett icke obetydligt stycke svensk träskyddshistoria.

Jöran Jermer
Föreståndare, Svenska Träskyddsinstitutet

TRÄSKYDDSFORSKNING VID BOLIDENBOLAGET

1. INLEDNING

Bolidenbolagets träskyddsforskning började under de första åren på 1930-talet vid bolagets dåvarande centrala forskningslaboratorium i Stockholm. Redan tidigare hade man studerat arsenik för träskydd. De första kända arbetena har sagts datera sig så långt tillbaka i tiden som till 1700-talet. Under 1900-talets första årtionden syntes femvärd arsenik såsom arseniksyra och dess salter i vattenlösliga system bli den mest intressanta arsenikföreningen. Den femvärda arseniken kombinerades sedan med sexvärd krom. Denna har förmodligen en viss träskyddande förmåga som kompletterar arsenikens, men dessutom har kromen flera andra nyttiga egenskaper. Den svarar för fixeringen både av sig själv och arseniken i veden. Vidare är krom en korrosionsinhibitor, som motverkar korrosion av metallföremål som spik och skruv i beröring med virket. Kromen i lösningen skyddar även impregneringsapparaturen av stål. Natriumbikromat var en vanlig sexvärd kromförening som användes.

Det sista steget fram till dagens moderna system av vattenlösliga arsenikhaltiga träskyddsmedel kan sägas ha tagits genom att kombinera arsenik och krom med en s k fungicid metall. Denna tredje aktiva komponent hade till uppgift att komplettera arsenik och krom och ge ett bredare verkningsspektrum gentemot de många olika träförstörande organismerna.

På 1930-talet förestod ett mycket omfattande kunskapssökande arbete på träskyddsområdet. Det gällde att utveckla ett förfarande för praktisk tillämpning i industrin och att finna det optimala träskyddssystemet med avseende på olika faktorer. Det gällde frågor såsom medlets sammansättning, d v s den kombination av aktiva komponenter som ger bästa träskyddande effekten. Denna utvärderades med träprover i mer praktiskt betonade försök, s k fältförsök, eller i laboratorieförsök med renkulturer av rötsvampar eller insekter. Det gällde det

kemiska systemet med avseende på vattenlöslighet och hållbarhet, uppträdande gentemot träet såsom fixering och utlakning, inträngningsförmåga samt produktutformning och industriell framställning. Det gällde det praktiska impregneringsförfarandet och att utveckla impregneringsanläggningar för den träbearbetande industrin. Slutligen gällde det en mångfald tekniska egenskaper hos det impregnerade virket såsom hållfasthet, limning och ytbehandling, elektrisk ledningsförmåga, miljö- och hygienfrågor i samband med användning, hantering och bearbetning av virket m m.

Mot slutet av 1930-talet och en bit in på 1940-talet hade tillräckliga kunskaper framkommit för att möjliggöra marknadsexploatering i en större omfattning av Bolidens impregneringsförfarande för träskydd. Under detta skede fram till mitten av 1940-talet var civ ing Bror Häger - ett känt namn inom träskyddet - den inom bolaget närmast ansvarige för forskningen och utvecklingen.

Som nämnts kombineras arsenik och krom med en fungicid metall. Många olika metaller provades, men till sist framstod zink och koppar som de bäst lämpade. Zink valdes till en början, kanske mest för att den var billigare än koppar, och då det inte föreföll vara någon mer betydande skillnad mellan dessa från träskyddssynpunkt. Från mitten av 1940-talet började det emellertid komma resultat från fältförsök som gjorde det troligt att koppar var klart bättre. Detta visade dels bolagets egna fältförsök, dels försök på många håll i utlandet, bl a i USA, där man tidigare studerat system med koppar, krom och arsenik.

I Sverige samarbetade bolaget i stora fältförsök med dåvarande Träskyddskommittén samt Skogshögskolan och sedermera Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala, där först dr Erik Rennerfelt och senare professor Björn Henningsson gjort fina arbeten av största värde för träskyddsforskningen.

Forskningen kom i hög grad att inriktas på det s k CCA-systemet (copper, chrome, arsenic). Arbetet resulterade i träskyddsmedlet Boliden K33, som fått en stor användning såväl inom Sverige som

utomlands. 1949 flyttade träskyddsforskningen från Stockholm till Skelleftehamn, Rönnskär, till bolagets då nybyggda centrala forskningslaboratorium, stort och modernt enligt dåtida förhållanden och med en förnämlig utrustning. Utvecklingen av CCA-medlen skedde i huvudsak där med särskild inriktning på kemiska egenskaper hos CCA-system, produktutformning och industriell framställning. Träskyddsforskningen pågick till 1975, då den i huvudsak upphörde. Det var slutet på en forskningsinsats som pågått oavbrutet i över 40 år.

I det följande behandlas några forskningsobjekt som bedöms som intressanta och belysande för problematiken vid forskning om träskydd.

2. ZINK-KROM-ARSENIK - SYSTEM

Ett praktiskt sätt att ange sammansättningen av träskyddsmedel är som en molformel med ingående element i oxidform. Det är svårt och ofta omöjligt att ange de verkliga kemiska föreningarna, i synnerhet då medlet föreligger i en koncentrerad form. En redovisning av elementoxiderna ger dock en fullständig kvantitativ redovisning.

Det första arsenikhaltiga träskyddsmedel som Boliden tillverkade och som fick mer omfattande användning var Boliden BIS med zinksulfat (1). För impregnering användes en utspädd vattenlösning i en koncentration motsvarande omkring 10 gram As_2O_5 per liter. Formeln för denna impregneringslösning är:

$$1.2\ ZnO + 0.9\ CrO_3 + As_2O_5 + 1.2\ SO_3 + 1.3\ Na_2O + 1\ 300\ H_2O$$

Lösningen kan framställas med vanliga kemikalier som arseniksyra, soda, natriumbikromat, zinksulfat och vatten. Det är givetvis olämpligt och besvärligt att sända lösningen som den är till impregneringsverken. Medlet bör tillverkas i form av ett koncentrat, som upplöses i vatten till en brukslösning på impregneringsverket.

Det är nu svårigheter uppstår vid tillverkningen. Om i ovanstående formel vattnet minskas successivt, så inträffar ett

läge där lösningssystemet inte längre är stabilt utan det bildas fällningar. Dessa utgörs av zinkarsenater. Det finns flera olika arsenater och fällningen är inte definierad till sammansättningen, då den är en blandning. Systemet är inte reversibelt, åtminstone inte i praktiken, eftersom det inte går att inom rimlig tid återställa en äkta lösning i jämvikt genom att tillföra vatten. Ett koncentrat med "allt i ett" gick inte att göra, utan man var tvungen att avskilja zinken och sålunda uppdela produkten på två koncentrat - BIS-saltet och zinksulfat. BIS framställdes ur arseniksyra (koncentrerad 65 % As_2O_5), soda och natriumbikromat som blandades och värmdes i en elvärmd omrörarreaktor. Efter smältning och homogenisering göts den tungflytande massan på plåtfat där den vid avsvalning stelnade till en fast kropp. Zinksulfatet levererades som tekniskt kristalliserad vara $ZnSO_4$ x 7 H_2O i säckar. Vid impregneringsverket löstes delarna var för sig. Fyra delar BIS på tre delar zinksulfat blandades och späddes med vatten till brukslösning. På så sätt undgicks utfällningar av zinkarsenater, och man uppnådde en avsevärd koncentrering av produkten. I ovanstående formel minskade sålunda mängden vatten från 1 300 H_2O till 13.1 H_2O. Upplösningsförfarandet vid impregneringsverken blev ganska enkelt och medförde inga större praktiska problem.

Efterhand erhölls alltmer erfarenheter av BIS-saltet med zinksulfat beträffande tillverkningen, träskyddets effektivitet och virkets tekniska egenskaper. I stort sett var erfarenheterna goda. I några avseenden var dock erfarenheterna från fältet mindre goda. Det var tydligt att dessa kunde återföras på vissa egenskaper hos medlet. Främst gällde det virkets elektriska ledningsmotstånd, korrosionsegenskaper och miljöeffekter. Dessa hade samband med medlets innehåll av natrium och sulfat, som införs med de kemikalier som används vid tillverkningen. De fixeras inte i träet utan är lättlösliga i vatten och ger upphov till jonledning när virket är fuktigt. Virkets elektriska ledningsförmåga ökar, vilket är en olägenhet för virke i järnvägsspår med elektriska signalsystem och i stolpar för högspänningsledningar. Natriumsulfatet ökar korrosionen av metalldelar i beröring med virket. Vid torkningen

efter impregnering utfaller ofta natriumsulfat på virkets yta, vilket är en miljörisk då salthungriga djur lockas att slicka på virket. Utfällningen har även yrkeshygieniska olägenheter, dammning etc i samband med hanteringen av virket. Natrium och sulfat är egentligen en belastning, då endast de aktiva komponenterna zink, krom och arsenik har betydelse för träskyddet. Utvecklingen gällde sålunda att framställa medlet av den typ som kallas "nonionic". Vidare återstod att kunna framställa medlet med alla aktiva komponenterna i en enda produkt. Detta skulle underlätta förpackning, transporter och upplösningen vid impregneringsverken.

De olika zinkarsenaterna började nu målmedvetet undersökas beträffande jämviktsegenskaper och löslighet. Det visade sig då att det finns ett surt zinkarsenat $ZnHAsO_2 \times H_2O$ som är i jämvikt och stabilt som fast fas även i koncentrerade system med arseniksyra och kromsyra och som vid systemets utspädning med vatten ger en äkta lösning.

Zinkarsenatet kan enkelt framställas genom att tillföra en vattenuppslamning av zinkoxid till en något utspädd arseniksyra i stökiometrisk mängd eller att till en lösning av zinksulfat och arseniksyra tillsätta soda. Reaktionen genomförs under omröring vid en någon förhöjd temperatur och kan följas med pH-mätningar. Nära neutralpunkten är reaktionen praktiskt taget avslutad med ett utbyte på nästan 100 %. Marknadens kvaliteter av zinkoxider är mycket varierande till renhet och reaktionsförmåga. Man bör välja en zinkoxid av bästa kvalitet och som villigt reagerar med arseniksyra. Över huvud taget är det viktigt att använda utgångskemikalier av hög renhet vid tillverkningen av arsenikhaltiga träskyddsmedel, något som närmare berörs längre fram.

Zinkarsenatet $ZnHAsO_4 \times H_2O$ är en väldefinierad kristallin förening. Den kan fås i plattor 10-20 µm breda och 20-80 µm långa. Det är viktigt att kontrollera reaktionsbetingelserna så att kristallerna är väl utvecklade till bestämd storlek och form.

Efter reaktionen upptas arsenatet på ett filter. Arsenatet är

lättfiltrerat. Filterkakan kan tas fuktig utan torkning och tillsätts direkt till en koncentrerad lösning av kromsyra i arseniksyra. Blandningen görs i en omrörarreaktor under svag värmning, och efter homogenisering tappas den på vanliga plåtfat. Vattenbalansen avvägs efter vattenhalten i filterkakan, i arseniksyran och slutproduktens totala vattenhalt. Slutprodukten är en "nonionic" pasta. Fysikaliskt betyder detta ett tvåfassystem med den fasta fasen $ZnHAsO_4 \times H_2O$ suspenderad i en vätskefas av kromsyra, arseniksyra och vatten, vari även en del zinkarsenat gått i lösning. Till formen är pastan tungflytande, homogen och relativt hållbar vid lagring. Så småningom sedimenterar en del av arsenatet och bildar en bottenavsats. Om arsenatet är rätt avpassat till storlek och form blir avsättningarna inte svårartade, utan pastan kan enkelt upplösas vid impregneringsverken genom att först omröras eller genom direkt urspolning ur faten med vatten. Arsenatet löser sig inom några minuter. Medlet fick beteckningen Bolidensalt S med följande oxidformel:

$$1.2\ ZnO + 1.5\ CrO_3 + A_2O_5 + 8\ H_2O.$$

Den kan jämföras med oxidformeln för det koncentrerade Bolidensaltet BIS med zinksulfat:

$$1.2\ ZnO + 0.9\ CrO_3 + As_2O_5 + 1.2\ SO_3 + 1.3\ Na_2O + 13.1\ H_2O.$$

Som synes har "jonerna" natrium och sulfat eliminerats, vatten i förhållande till arsenik är ungefär lika och mängden zink överensstämmer, medan S håller avsevärt mer krom per As än BIS.

En analys av pastans byggnad visar att zinken fördelar sig till ungefär 60 % i vätskefas och resten i fast fas. Uppdelas oxidformeln efter fasernas innehåll erhålles med avrundade siffror:

$$\underbrace{0.7\ ZnO + 1.5\ CrO_3 + 0.8\ As_2O_5 + 7.3\ H_2O}_{\text{vätskefas}} + \underbrace{0.5\ ZnHAsO_4 \times H_2O}_{\text{fast fas}}.$$

Vätskefasen utgör cirka 83 % av pastans vikt.

Den analytiska sammansättningen redovisad som viktsprocent oxider blir följande för de två nämnda medlen av typen Zn-Cr-As.

	ZnO	CrO_3	As_2O_5	Na_2O	SO_3	H_2O
BIS med zinksulfat	12.2	10.5	27.7	9.2	11.9	28.5
Bolidensalt S	15.7	24.1	37.0	-	-	23.2

Det sura zinkarsenatet $ZnHAsO_4 \times H_2O$ fick även användning som skyddsmedel inom ett annat närliggande område nämligen till träfiberplattor (2). Det visade sig att arsenatet hade en god förmåga att fixeras på fibrerna. Arsenatet inblandas i fiberuppslamningen före plattornas formning. Det uppfångas då väl av fibrerna varför förlusten i avsuget vatten blir låg. Arsenatet ger bland annat ett gott termitskydd, vilket är av betydelse i varma tropiska länder.

3. KOPPAR-KROM-ARSENIK - SYSTEM

När fältförsöken alltmer tydligt visade kopparns överlägsenhet som fungicid metall började vi undersöka möjligheten att framställa en "nonionic" pasta med Cu. Vi var dock obenägna att släppa zinken helt, då erfarenheterna med zink varit ganska goda och då det fanns en väl inarbetad rutin för framställning av systemet Zn-Cr-As.

Vi valde därför att söka utarbeta ett system med både Cu och Zn. Därigenom kunde bägge metallernas fungicida effekter kombineras och dessutom bli mer ekonomiskt än om enbart koppar ingick. Ett blandningsförhållande valdes på molbasis 25 % Cu och 75 % Zn.

Frågan är nu om en pasta med zinkarsenat som fast fas kunde göras. Detta visade sig möjligt genom att all Cu kunde gå in i vätskefasen och med $ZnHAsO_4 \times H_2O$ fortfarande som fast fas i jämvikt. Cu kunde införas i arseniksyran före blandningen. Arseniksyra framställes ur arseniktrioxiden As_2O_3 som oxideras med saltpetersyra. Härvid bildas nitrösa gaser vilka upptas i en vattentvätt, återoxideras till salpetersyra som går tillbaka i processen. När Cu ingår görs en kopparhaltig arseniksyra då

kopparnitrat deltar som oxidationsmedel. Ren koppar (elektrolytkoppar) upplöses då först i salpetersyra varefter arseniktrioxiden tillsätts. Reaktionen fungerar snabbt, förmodligen katalyserad av Cu-jonerna, och kan göras i samma anläggning som den vanliga arseniksyran.

Under svag värme i en blandarreaktor löses kromsyra i den kopparhaltiga arseniksyran varefter zinkarsenatet inblandas som fuktigt filterarsenat. Framställningen går sålunda i princip till på samma sätt som S-saltet. Något av zinkarsenatet löser sig även i vätskedelen.

Formeln för Bolidensalt S25 som "nonionic" pasta blir:

$0.9\ ZnO + 0.3\ CuO + 1.5\ CrO_3 + As_2O_5 + 9.0\ H_2O.$

Oxidsammansättningen i viktsprocent för S25 blir:

ZnO	11.6 %
CuO	3.9 %
CrO_3	23.0 %
As_2O_5	36.0 %
H_2O	25.5 %

En tid under början av 1950-talet användes S25 ganska mycket i Sverige och även i några andra länder.

Ett annat och kanske mer närliggande kopparhaltigt medel var BIS-saltet med zinksulfatet ersatt av kopparsulfat. Detta gick mycket bra och innebar inga praktiska svårigheter för lösningsberedning etc. Det användes 4 delar BIS och 3 delar kristallerat kopparsulfat $CuSO_4 \times 5\ H_2O$.

Formel:

$1.4\ CuO + 0.9\ CrO_3 + As_2O_5 + 1.4\ SO_3 + 1.3\ Na_2O + 11.7\ H_2O.$

Oxidsammansättningen i viktsprocent:

CuO	13.3 %
CrO_3	10.8 %
As_2O_5	27.5 %
SO_3	13.4 %
Na_2O	9.7 %
H_2O	25.3 %

Andra blandningar mellan zink och koppar gjordes även, men dessa salter fick inte någon större praktisk användning. Resultat från fältförsök med vissa av dessa medel finns dock redovisade i litteraturen (47).

S50 $0.6\ ZnO + 0.6\ CuO + 1.5\ CrO_3 + As_2O_5 + 9.5\ H_2O$.

TV $1.5\ ZnO + 1.3\ CrO_3 + As_2O_5 + 10\ H_2O$.

TV 50 $0.6\ ZnO + 0.9\ CuO + 1.3\ CrO_3 + As_2O_5 + 10\ H_2O$.

De två sistnämnda har förhållandevis mycket fungicid metall och litet krom. De ligger nära löslighetsgränsen och kan inte upplösas inom rimlig tid utan särskilda åtgärder.

Huvuddelen av forskningen gällde det rena systemet Cu-Cr-As och då i form av "nonionic" pasta. Det blev det kända träskyddsmedlet Boliden K33 som fått en stor marknad i Sverige, övriga Norden och i många andra länder.

En mycket viktig principiell fråga var naturligtvis den inbördes avvägningen mellan de aktiva komponenterna Cu, Cr och As. Om det funnits resultat från fältförsök etc, som klart visade att ett visst blandningsförhållande eller variationsområde gav optimal träskyddande effekt skulle saken varit klar. Men något sådant material syntes inte finnas. Det verkade snarare som om blandningsförhållandet inte var kritiskt utan att betydande variationer kunde tillåtas. Som en allmän princip kunde möjligen sägas att man borde eftersträva så mycket av den fungicida metallen Cu som möjligt och så litet Cr som möjligt per enhet As. Krominnehållet skulle kunna hållas relativt lågt utan att riskera eller försämra kromets andra uppgifter för fixeringen och korrosionsskyddet, vilka inte syntes vara starkt kvantitetsberoende. Dessutom var Cr det dyraste elementet av de tre.

Det blev de praktiska egenskaperna som mest avgjorde sammansättningen - att framställa medlet koncentrerat, lätthanterligt och med god vattenlöslighet. Vi har diskuterat dessa problem i vårt grundläggande patent (3). På andra håll har systemet

Cu-Cr-As studerats mycket ingående. Arbeten av stort intresse har publicerats i patentlitteraturen av Häger (4), Kamesam (5) och McMahon (6, 7) samt i uppsatser av McMahon (8), Wallace (9) och Henry (10). Här behandlas medlens sammansättning och de tekniska egenskaperna hos själva produkten och hos det behandlade virket.

Sammansättningens variationsområde för några kända CCA-patent har sammanställts i fig 1. Det finns som synes en betydande överlappning för de olika patentens revir. Området för koppar är till stor del gemensamt medan Kamesam har höga halter krom och de svenska patenten höga arsenikhalter.

Vi planerade att framställa CCA-systemet i princip på samma sätt som S-saltet, d v s med en vätskedel med CuO - CrO_3 - As_2O_5 - H_2O och med en fast fas av koppararsenat. Det finns för Cu liksom för Zn en hel del olika arsenater. En utmärkt översikt över koppararsenaten har skrivits av Mas (11) som vi hade stor nytta av. Det visade sig finnas ett surt koppararsenat $CuHAsO_4 \times H_2O$ analogt med $ZnHAsO_4 \times H_2O$. Det gällde då först att framställa ett rent och väldefinierat $CuHAsO_4 \times H_2O$. Med ren elektrolytkoppar görs först en kopparsulfatlösning på vanligt sätt, och ur denna fälls ett kopparkarbonat med soda. Karbonatet tvättas på filter och omsättes sedan med arseniksyra. Reaktionen kräver ett rent karbonat fritt från Na och SO_4 samt en noggrann kontroll av temperatur, pH och tillsatser. Under gynnsamma betingelser erhålles en homogen utfällning av ljusblå , monoklina kristaller av $CuHAsO_4 \times H_2O$. Arsenatet upptas på ett filter, varefter filterkakan kan tillföras direkt utan torkning till en lösning av arseniksyra och kromsyra i en uppvärmd omrörarreaktor. Emellertid inträder nu en fasomvandling av den fasta fasen så att i slutprodukten föreligger inte $CuHAsO_4 \times H_2O$ som fast fas, vilket förväntades. En hel del undersökningar gjordes på detta och till sist kunde den fasta delen isoleras och identifieras. Det var tydligt att kromsyra reagerar med koppararsenatet och ingår i fast förening med detta. Möjligen sker reaktionen homogent över vätskefasen med en sekundär utfällning eller heterogent

mellan kromsyra i lösning och arsenatet i fast fas. Reaktionen kan tecknas:

$$3\ CuHAsO_4 \times H_2O + 2\ CrO_3 + 1.5\ H_2O \rightarrow$$

$$(\ 3\ CuO \times 2\ CrO_3 \times As_2O_5 \times 6\ H_2O\ ) + 0.5\ As_2O_5.$$

Föreningen $3\ CuO \times 2\ CrO_3 \times As_2O_5 \times 6\ H_2O$ kan ses som ett kopparkromatarsenat som vi betecknade CCA 321 efter oxidförhållandet. Kristallformen är triklin, vanlig storlek 1-10 µm i symmetriska plattor eller nålar, gula eller gulröda till färgen och starktljusbrytande. Denna förening visade sig ej tidigare vara känd. Troligen kan den endast bildas under mycket speciella förhållanden i system med höga aktiviteter av kromsyra och arseniksyra. Möjligen förutsättes även att grundsubstansen är det särskilda koppararsenatet $CuHAsO_4 \times H_2O$, vilket kan tala för att transformationen är av heterogen typ. CCA 321 har indicerats med röntgen och kristalldata har beräknats. Dessa arbeten har gjorts av professor Stig Rundqvist vid kemiska institutionen, Uppsala Universitet. CCA 321 är beskriven i patentlitteraturen (12).

Den slutliga framställningen av pastan sker som nämnts i en omrörarreaktor i värme. Hastigheten för omvandlingen till CCA 321 är starkt temperaturberoende men vid temperaturer omkring 50° C sker omvandlingen inom några timmar. Saltblandningen homogeniseras genom kraftig omröring och tappas på plåtfat där den får svalna. Det är viktigt att processen styrs och kontrolleras noggrant för att få rätt storlek och form på CCA 321 kristallerna. Under dessa förutsättningar kan en pasta erhållas som är mycket hållbar och inte ger upphov till sättningar av fasta, svårhanterliga sediment. Saltet kan då mycket lätt upplösas till färdig impregneringslösning. Boliden K33 "nonionic" pasta har följande oxidformel:

$$1.3\ CuO + 1.8\ CrO_3 + As_2O_5 + 9.2\ H_2O.$$

Jämfört med S och S25 är mängden fungicid metall ungefär oförändrad medan mängden krom är något högre.

CCA 321 har följande oxidsammansättning i viktsprocent:

CuO	30.7 %
CrO_3	25.7 %
As_2O_5	29.6 %
H_2O	14.0 %

Vätskefasen i pastan har följande oxidsammansättning i viktsprocent:

CuO	7.8 %
CrO_3	25.7 %
As_2O_5	34.1 %
H_2O	32.4 %

Den viktsmässiga fördelningen mellan fast och flytande fas i pastan är:

fast fas CCA 321	28.5 %
vätskefas	71.5 %

Beräknat på oxiderna fördelar dessa sig mellan fast fas och vätska på ungefär följande sätt:

fast fas CCA 321		**vätska**
CuO	61 %	39 %
CrO_3	29 %	71 %
As_2O_5	26 %	74 %
H_2O	15 %	85 %

Boliden K33 "nonionic" pasta har följande totala oxidsammansättning:

CuO	14.8 %
CrO_3	26.6 %
As_2O_5	34.0 %
H_2O	24.6 %

Mängdförhållandet Cu-Cr-As är inte kritiskt bundet till K33 för att CCA 321 skall kunna bildas. Även en del andra kända CCA-medel undersöktes om de gick att framställa som pasta

med CCA 321 som fast fas. Detta visade sig möjigt. I nedanstående tabell anges oxidformel och den analytiska oxidsammansättningen.

Tabell 1. Oxidformel och analytisk oxidsammansättning för några CCA-medel.

Beteckning	Oxidformel per As_2O_5					Viktsprocent oxider						Summa aktiva
	CuO	CrO_3	SO_3	Na_2O	H_2O	CuO	CrO_3	As_2O_5	SO_3	Na_2O	H_2O	oxider, vikts %
Boliden K33	1,3	1,8			9,2	14,8	26,6	34,0			24,6	75,4
Boliden S100	1,2	1,5			9,1	14,9	23,4	36,0			25,7	74,3
Celcure AP I BWPA Standard 102	1,3	2,7	0,9	1,4	15,4	10,2	26,9	22,7	7,4	8,3	24,5	59,8
Celcure AP II APUS	1,3	2,7		0,5	11,4	12,3	32,4	27,4		3,4	24,5	72,1
Celcure AP III Apunas	1,3	2,7			10,6	13,0	34,1	28,9			24,0	76,0
CCA typ C AWPA Standard P5-71	1,6	3,2			11,9	14,1	36,1	25,8			24,0	76,0

De i praktiskt bruk mest vanliga CCA-medlen finns införda i officiella specifikationer utgivna av exempelvis AWPA (American Wood Preservers' Association) och BWPA (British Wood Preserving Association). Man finner en rätt stor överensstämmelse i sammansättningen och detta har sannolikt sin orsak i det avgörande kriteriet om vattenlöslighet som tidigare nämnts. Som en allmän regel kan sägas, att ju mer krom som används desto snabbare och lättare låter sig medlet lösas i vatten. Men frihetsgraden är begränsad. Krom är det dyraste elementet av de tre, och vidare medför ökad kromhalt minskad Cu-och/eller As-halt vilket kan ge en minskning av den del av träskyddseffekten som uppbärs av koppar och arsenik.

I diagrammet, fig 2, har sammansättningen för några olika CCA-medel införts. Därjämte har löslighetskurvan för impregneringslösningar i en koncentration motsvarande ca 1 % As_2O_5 (10 gram As_2O_5 per 1 000 gram H_2O) införts. Kurvan innebär att av sammansättningar som ligger över denna kan sådana impregneringslösningar inte framställas, d v s äkta lösningssystem i jämvikt kan inte erhållas.

Som synes ligger de olika CCA-medlen nära löslighetskurvan.

I diagrammet finns även CCA 321 enbart och i kombination med As_2O_5 och CrO_3. Systemet CCA 321 + As_2O_5 + CrO_3 är lösligt. Linjerna för CCA 321 + n x As_2O_5 resp CCA 321 + n x CrO_3 följer delvis löslighetskurvan.

Slutligen skall nämnas något om föroreningars betydelse. Som en allmän erfarenhet vid arbeten med träskyddsmedel av typ "nonionic" pasta befanns det viktigt att använda rena kemikalieråvaror. Föroreningar kan komma in med arseniken, om man använder en sämre oxid (s k crude arsenic) vid framställningen av arseniksyra. Vid Bolidenbolaget användes en s k våtraffinerad arsenik vilket är en oxid av högsta renhetsgrad som finns att tillgå. Teknisk kromsyra kan hålla höga föroreningar av järn och mangan varför en kromsyra av högsta kvalitet bör väljas.

Som kopparråvara används kopparmetall av elektrolytkvalitet, vilken är i det närmaste fri från föroreningar. Man kan även använda kopparoxider, men dessa är ofta starkt förorenade och har dålig reaktivitet.

Föroreningarna ingriper i bildningsreaktionerna för koppar- och zinkarsenater. Kristallernas form och symmetri försämras och detta har betydelse för slutprodukten. Egenskaper som hållbarhet av pastan vid lagring och lösligheten kan försämras dramatiskt. Reaktionen för CCA 321 synes vara mycket känslig för påverkan av föroreningar. Föroreningar i råvarorna bör inte ligga över 25-50 gram per ton i slutprodukten för Fe, Al, Pb och Ca samt några gram per ton för Mn.

Föroreningarna bildar svårlösliga eller olösliga arsenater. Dessa ger upphov till slam i impregneringslösningen och beläggningar på det impregnerade virkets yta. Detta ger olägenheter hygieniskt och hanteringsmässigt. Slammet kan även tänkas försvåra inträngningen av impregneringslösningen i virket. En del av slammet ackumuleras i impregneringsanläggningen och måste då och då undanskaffas och destrueras, vilket med nutida miljökrav innebär en hel del hanteringsproblem och kostnader. Med hänsyn till föroreningarnas betydelse kan

man tycka att i de officiella specifikationerna för CCA-medel borde finnas angivet ej blott sammansättningen av huvudkomponenterna utan även högsta tillåtna halter av från råvarorna vanliga föroreningar.

4. KOPPAR-KROM-FOSFOR-SYSTEM

Då fosforsyrans kemi i mycket liknar arseniksyrans, låg det nära till hands att tänka sig att bygga en "nonionic" pasta med arseniksyran helt eller delvis ersatt av fosforsyra. I vissa fall kunde arsenikfria medel vara av intresse om dessa i övrigt hade i stort sett likartade egenskaper med CCA. Det gällde då först att bestämma den träskyddande effekten för systemet koppar-krom-fosfor (CCP).

Accelererade rötförsök utfördes i växthus med små stavar. Det visade sig då - överraskande nog - att CCP-systemet gav mycket goda resultat och likvärdiga med CCA. I själva verket kunde man inte finna någon påtaglig försämring av den träskyddande effekten vid utbyte av As helt eller delvis mot P.

Följande grundformel studerades:

$1.3\ CuO + 1.8\ CrO_3 + As_2O_5/P_2O_5$

och i fem olika alternativa steg:

1. 100 % As: $1.3\ CuO + 1.8\ CrO_3 + As_2O_5$
2. 75 % As, 25 % P: $1.3\ CuO + 1.8\ CrO_3 + 0.75\ As_2O_5 + 0.25\ P_2O_5$
3. 50 % As, 50 % P: $1.3\ CuO + 1.8\ CrO_3 + 0.50\ As_2O_5 + 0.50\ P_2O_5$
4. 25 % As, 75 % P: $1.3\ CuO + 1.8\ CrO_3 + 0.25\ As_2O_5 + 0.75\ P_2O_5$
5. 100 % P: $1.3\ CuO + 1.8\ CrO_3 + P_2O_5$

Undersökningen gjordes med tre olika lösningskoncentrationer (upptagningar) för varje medel 1-5 och med 10 st stavar i varje mätpunkt. Medelvaraktigheten beräknades, d v s medelvärdet av livslängden - tidpunkten då staven utdöms då rötstyrkan (rötindex) uppnått värdet 100 - för de i gruppen ingående

stavarna dividerad med motsvarande medelvärde för obehandlade referensstavar som var utsatta inom samma tidsperiod.

Medelvaraktigheten anger sålunda den förlängningsfaktor av varaktigheten som åstadkommes genom behandlingen.

Tabell 2. Medelvaraktighet hos stavar impregnerade med olika lösningar och kombinationer av CCA- och CCP-systemen.

Lösn konc	0.5 %	1.0 %	2.0 %
	Medelvaraktighet, år		
1. 100 % As	1.8	2.4	2.9
2. 75 % As, 25 % P	1.6	2.2	3.0
3. 50 % As, 50 % P	1.8	2.1	2.5
4. 25 % As, 75 % P	1.6	2.0	3.1
5. 100 % P	1.7	2.0	3.3

As och P synes sålunda vara inbördes utbytbara utan påtaglig inverkan på träskyddseffekten. Resultatet var uppmuntrande varför fortsatta undersökningar gjordes med fältförsök på vanligt sätt såväl i Sverige som i flera provfält utomlands. Dessa är ännu ej helt avslutade, men det är tydligt att P inte är lika bra som As.
Man får dock med CCP ett ganska gott träskydd som är jämförbart med många andra vanliga medel på marknaden. P-saltet har även blivit officiellt godkänt av Nordiska Träskyddsrådet som träskyddsmedel.

Vi undersökte framställningen av systemet CCP som "nonionic" pasta. Det visade sig finnas en analog till CCA 321, ett kopparkromatfosfat CCP 321 med oxidformeln:

$3\ CuO \times 2\ CrO_3 \times P_2O_5 \times 6\ H_2O$.

Föreningen kan framställas på samma sätt som redovisats för CCA 321, men med arseniksyra utbytt mot fosforsyra. Pastan utgörs sålunda av en vätskedel som är en vattenlösning med oxiderna CuO, CrO_3, P_2O_5 och H_2O som en fast fas av CCP 321.

Även denna förening var, liksom CCA 321, ny och inte tidigare känd. Den har likaledes indicerats av professor Rundqvist vid kemiska institutionen i Uppsala, och CCP 321 finns beskriven i patentlitteraturen (13).

Träskyddsmedlet har betecknats Boliden P50 och har följande oxidformel och sammansättning:

$1.7\ CuO + 1.7\ CrO_3 + P_2O_5 + 22.6\ H_2O$.

Sammansättning viktsprocent oxider:

CuO	15.9 %
CrO_3	20.0 %
P_2O_5	16.6 %
H_2O	47.5 %

Summa Cu-Cr-P-oxider är 52.2 % av pastans vikt.

En mer utförlig beskrivning av P-saltet finns i patentlitteraturen (14).

5. IMPREGNERINGSPROCESSER - OPM-IMPREGNERING

För impregnering med Bolidensalterna provades under inledningsskedet under 1930-talet olika kända metoder. Det framstod snart att för furuvirke - det i praktiken viktigaste träslaget - var s k fullimpregnering med vakuum och tryck i speciell tryckapparatur av stål det mest rationella förfarandet. Boliden utvecklade därför sådana anläggningar till storlek och utförande lämpliga för industriell användning, i första hand för de förhållanden som gällde för vårt eget land. Det startades ett flertal tryckanläggningar i olika delar av landet, och bolaget fick allt fler erfarenheter beträffande impregneringsprocessen. I stort sett var resultaten goda. Urvalet av virkessortiment lämpliga för impregnering visade sig vara viktigt och likaledes virkets förbehandling såsom lagring och torkning före impregnering.

Trä är ett poröst material men är inte uniformt utan har stora individuella variationer beroende på växtplats, klimat

m m. Impregneringen av gran var gåtfull. Resultaten blev som regel mycket dåliga. Naturligtvis ställdes frågan på vilket sätt skiljer sig gran från furu från impregneringssynpunkt?

Vedens och särskilt barrvedens anatomi började studeras från då kända fina handböcker i ämnet såsom Brown-Panshin-Forsaith, Trendelenburg, Wise och Tiemann (15-18). Litteratur om vätskors inträngning och strömning i träets kapillära system började systematiskt insamlas och studeras.

Särskilt intressanta arbeten var av Bailey, Stamm, Erickson et al, Phillips och Griffin (19-27). De visar att porerna i virket (ringporer, "bordered pit pairs") är avgörande för vätskeinträngningen. I samband med virkets torkning sker en porstängning som helt stoppar vätskeflödet, vilket är fallet med gran. Denna stängning inträffar, då torkningen underskrider fibermättnadspunkten och den är irreversibel, d v s poren kan inte återigen öppnas. Vedanatomiskt är poren byggd som en slags dubbelsidig ventil, och man antar att den kan ha en sådan ventilfunktion i det levande trädet. Det antydes även i nämnda arbeten att porerna vid impregnering skulle kunna verka som ventiler och stoppa inträngningen. Detta skulle i så fall gälla fuktigt eller rått virke med fukthalter över fibermättnadspunkten.

Vanligtvis impregneras i praktiken endast torkat virke under fibermättnadspunkten, då sålunda en ventilverkan i porerna inte skulle vara aktuell. Emellertid fanns det utomlands några metoder kända (Boucherie och Gewecke 28-29) med vilka gran kunde impregneras. Det gällde då fuktigt virke, ofta nyfällt och saftrikt.

Det bedömdes som intressant att studera möjligheterna för granimpregnering med Bolidens träskyddsmedel trots denna begränsning med fukthalten. Under vissa förhållanden kunde det rent av vara en fördel att impregnera rått utan en inledande torkning. Det kan ha samband med lokala transportförhållanden och klimatiska förhållanden som medför svårigheter och virkesskador vid långvarig lagring och torkning av virket före impregneringen.

Forskningsarbetet utgick från hypotesen att porerna verkligen fungerar som ventiler vid inträngningen av impregneringslösningen. Den tanken hade varit framme i de ovan nämnda uppsatserna, men ingen hade närmare analyserat denna effekt och dess konsekvenser beträffande det praktiska impregneringsförfarandet.

Barrvedens uppbyggnad framgår av fig 3. Det finnes s k ringporer i märgstrålecellernas tvärväggar och i övergångarna mellan märgstråle- och trakeidceller. Ringporen framgår i detalj av fig 4, som är en teckning efter elektronmikroskopiska mätningar (52). I mitten finns ett membran med en central kropp, torus. Membranet består av fina trådar i vilka torus är upphängd. Mellan trådarna finns små spaltformiga öppningar. På vardera sidan om mebranet finns en poröppning (porus). Membranet är cirka 16 µm i diameter, torus 8 µm och poröppningen 4 µm. Antalet trådar kan vara cirka 180 st med en tjocklek av 0.03 µm. Avståndet mellan membranet i mittläge och poröppningen kan vara ca 2 µm.

Poren tänkes verka som en ventil enligt fig 5. Överst är membranet med torus i mittläget. Vätskan kommer in genom poröppningen till vänster, går sedan genom öppningarna i membranet och lämnar poren genom höger poröppning. Tryckfallet vid vätskans strömning blir nu enligt Stamm (21) i huvudsak lokaliserad till pormembranet. Detta innebär att på membranet verkar ett tryck i vätskeströmmens riktning. Om man nu antar att pormembranets trådar är elastiska, vilket är troligt, och att trycket är tillräckligt högt så förs torus mot höger poröppning och ventilen stängs av vätskeströmmen. För att öppna ventilen igen måste man uppenbarligen lätta på trycket, då torus genom membranets elasticitet strävar ett återgå till mittläget, eller ännu snabbare genom att ordna en vätskeström i motsatt riktning. Detta är möjligt genom att det i träets celler vanligen finns en viss mängd luft även i det vätskerika, saftfriska virket. Om trycket som verkar på virkets yta görs lägre än den i cellerna inneslutna luftens tryck uppnås en sådan reverserad strömning. Sedan ventilen öppnat kan vätska återigen tränga in i virket till dess

ventilerna stänger nästa gång etc. Principen för den s k växeltryckimpregneringen eller OPM (oscillating pressure method) blir sålunda att virket och den omgivande impregneringsvätskan utsätts för tryck som är omväxlande högre och lägre än luftens tryck inne i vedens celler.

Det gällde nu att utforma ett impregneringsprogram baserat på denna princip. Detta var inte alldeles lätt, då det vid en närmare analys framkom att problemet är ganska komplicerat både fysikaliskt och träanatomiskt. Sålunda stod det klart att tryckväxlingarnas frekvens måste kunna varieras på ett definierat sätt. I början av impregneringen då vätskan inte hunnit in så långt, bör trycket på pormembranen enligt Stamm vara förhållandevis högt medan allteftersom vätskan tränger in trycket blir lägre och rörelserna i porventilen långsammare. Vidare borde det högre trycket i inträngningsriktningen inte verka längre tid än att ventilen nätt och jämt stänger och därefter det lägre trycket inte längre än att ventilen öppnas, då den utåtgående strömmen innebär en förlust av impregneringsvätska. Växlingarna måste sålunda avpassas för en optimal nettoinströmning. En långtgående förenkling och schematisering måste göras beträffande vedens anatomi i impregneringsmodellen. I verkligheten finns som bekant stora variationer i vedceller och porer, mellan årsringar, höst- och vårved etc, vartill hänsyn inte kunde tas då det blivit alltför invecklat.

Vi hade stor hjälp av de nämnda arbetena av Alfred J Stamm. Han verkade som forskare vid Forest Products Laboratory i Madison, Wisconsin, USA. Hans uppsats om strömningen i de kapillära systemen i trä, "Passage of Liquids, Vapors and dissolved materials through sapwoods", var högintressant för vårt arbete. Stamm visade att i ett kapillärt system med starkt varierande öppningsarea, så blir det totala tryckfallet, som alltid föreligger i samband med en vätskeströmning, i huvudsak fördelat över de minsta öppningarna. Är öppningarna av ungefär samma storlek, blir tryckfallet i stort sett lika fördelat över dessa. Då öppningsarean i trakeider och märgstråleceller är avsevärt större än den sammanlagda arean av de små öppningarna mellan trådarna i pormembranet, innebär

detta att tryckfallet i huvudsak kommer att ligga över pormembranet.

I modellen i fig 6 tänkes märgstrålen som ett rör med ett antal tvärväggar med kapillära öppningar. Röret förbinder en behållare V, som motsvarar det virket omgivande rummet i impregneringscylindern fyllt med lösningen, med en annan behållare L som svarar mot det i virket befintliga luftrummet. Vätsketrycket i V är vid undertryck P_1 och vid övertryck P_2. Lufttrycket i L är P_a. Antalet tvärväggar eller porer som passeras av lösningen är n stycken. Vid övertryck är P_2 större än P_a och tryckfallet över varje pormembran blir $(P_2-P_a)/n$. Då n även är ett mått på den radiella inträngningen i träet så blir tryckfallet över varje membran som passerats lika stort och omvänt proportionellt mot inträngningsdjupet. Vid undertryck är P_1 mindre än P_a, totala tryckfallet är P_a-P_1, och tryckfallet över varje membran blir även nu omvänt proportionellt mot inträngningen. Då tryckfallet över membranet är den kraft som orsakar torus rörelse, följer att rörelsen blir långsammare ju längre in i veden som lösningen gått, och detta gäller för båda riktningarna såväl över- som undertryck. Därmed stod det också klart, att tryckväxlingsfrekvenserna borde fortlöpande minskas under impregneringens gång, d v s respektive tryckssteg fortlöpande göras längre.

Enligt modellen för den radiella inträngningen, fig 7, går lösningen genom märgstrålen och fördelar sig tangentiellt in i de anliggande trakeidcellerna. Varje trakeid har minst en poröppning mot märgstrålecellen. En ventilverkan antas i dessa porer men även i de porer som finns i märgstrålens tvärväggar, särskilt i väggarna mellan de trakeidala märgstrålecellerna. Vid övertryck erhålls en vätskeström enligt fig 7. Hastigheten för strömningen genom porerna är beroende av tryckfallet - ju högre tryckfall desto högre hastighet. Tryckfallet är enligt ovan störst i början, då inträngningen endast berör det yttersta radiella trakeidskiktet men avtar sedan inåt för varje trakeidrad som fylls. Inträngningen går sålunda fortast för de ytterst belägna trakeiderna. Ett

liknande förhållande gäller vid undertryck, då lösningen strömmar i den motsatta utgående rikningen. Även här är tryckfallet över porerna och vätskeströmmens hastighet störst för de ytterst belägna trakeiderna. Vid undertryck går det kapillära vattnet (saven) ut ur cellerna liksom impregneringslösning samt luften från cellerna i form av små blåsor suspenderade i den utgående vätskan. Efter ett antal växlingar har trakeidcellen helt befriats från luft och fyllts med lösning. Detta sker först i de yttersta trakeidraderna emedan vätskeströmmen här gått snabbast. Sedan en trakeid blivit helt fylld och är utan luft berörs den inte längre av vätskeströmmen, eftersom undertrycket i cylindern aldrig kan bli lägre än vätskans ångtryck i cellerna. Vätskeströmmen i märgstrålarna passerar då förbi de helt fyllda trakeiderna och tränger in i de längre in belägna cellerna, som ännu inte blivit fyllda. Slutresultatet blir sålunda att alla celler i splintveden befriats från det fria vattnet och luften och fyllts helt med impregneringslösning. Splinten föreligger i ett vätskemättat tillstånd. Den i cellerna ursprungligen befintliga saven har blandat sig med den impregneringslösning som omger virket i cylindern.

Den beskrivna modellen för inträngningen tjänade som underlag för en matematisk behandling i syfte att bestämma ett program för växlingarna av trycken under impregneringens gång. Vid denna tid (1951) praktiserade på bolagets forskningslaboratorium en ung student och matematiker, Lars Hörmander, sedemera professor i matematik vid Lunds universitet. Han tyckte att uppgiften var ganska intressant, och efter någon tids arbete presenterade han de matematiska ekvationerna. Hörmander yttrade efteråt att uppgiften inte varit så alldeles elementär matematiskt. Den matematiska utvecklingen skall inte anges i sin helhet här, då detta skulle föra för långt, utan endast utgångsläget och slutekvationerna. Avståndet (fig 8) mellan torus i ett givet läge och mittläget betecknas som variabeln x. Avståndet mellan mittläget och poröppningen betecknas med konstanten a. De krafter som påverkar torus är dels tryckfallet p över membranet, som sålunda uppkommer

vid vätskans strömning genom membranöppningarna, och dels spänningarna i membrantrådarna genom membranets formändringar som orsakas av tryckfallet. De senare strävar alltid till att återföra torus till mittläget och är direkt proportionella mot x. Enligt känd Newtonsk lag bör för torus rörelse gälla en acceleration, som är direkt proportionell mot summan av de på torus verkande krafterna. För rörelsen under övertrycket kan därför skrivas:

$$\text{Accelerationen} = \frac{d^2\mathbf{x}}{dt^2} = \ddot{x} \simeq - \mathbf{A} \times \mathbf{x} + \mathbf{B} \times \mathbf{p}$$

A och **B** är konstanter.

Vid undertrycket får man motsvarande ekvation för rörelsen

$$\frac{d^2\mathbf{x}}{dt^2} = \ddot{x} \simeq \mathbf{A} \times \mathbf{x} + \mathbf{B} \times \mathbf{p}$$

Här samverkar tryckfallet och töjningskraften då de verkar i samma riktning.

Med porstängningstrycket P_o förstås det tryckfall som erfordras för att balansera töjningskrafterna då torus ligger an mot poröppningen. P_o betraktas som en materialkonstant. Eftersom accelerationen blir 0 vid poröppningen där $\mathbf{x} = \mathbf{a}$ kan enligt definitionen på porstängningstrycket skrivas:

$$-\mathbf{A} \times \mathbf{a} + \mathbf{B} \times P_o = 0$$

Utgående från dessa grundläggande ekvationer kan uttrycken för torus rörelser under övertrycks- och undertrycksstegen formuleras. Likaledes blir det möjligt att bestämma genomströmningen under respektive steg då porventilen är öppen. Genomströmmad vätskemängd är direkt proportionell mot öppningstiden och tryckfallet över membranet. Nettogenomströmningen är skillnaden i mängd mellan övertryck och undertryck, och nu kan villkoren formuleras matematiskt för att nettogenomströmningen skall vara maximal under hela impregneringens gång. De framkommer i några slutliga ekvationer enligt fig 9. Symbolen för den sammanlagda tiden för ett steg med det lägre

trycket och det därpå följande steget med det högre trycket är ϕ. Fördelningen F anger förhållandet i procent mellan tiden för övertrycket och hela perioden, n är antalet pormembran som passerats av lösningen i radiell riktning, d v s ett mått på inträngningen, då avståndet mellan porerna är känt. C slutligen är en materialkonstant, som sammanfattar de vedanatomiska- och kapillära egenskaperna av betydelse för inträngningen såsom celldimensioner, årsringsbredder, höst- och vårvedsförhållanden etc. C bestäms på empirisk väg.

Variationen i nämnda parametrar under impregneringens gång framgår av ett exempel enligt fig 10. Det avser det fall då högre trycket P_2 är 9 kp/cm^2, lägre trycket P_1 är 0.08 kp/cm^2 (motsvarande cirka 700 mm Hg vakuum) och lufttrycket i cellerna P_a motsvarande atmosfärstrycket cirka 1 kp/cm^2. Värdet för porstängningstrycket P_o har valts till 3 x 10^{-3} kp/cm^2, vilket val närmare skall motiveras längre fram.

Den teoretiska analysen visar, att tryckväxlingarna i början av impregneringen skall ske snabbt, torus skall svänga med hög frekvens nära poröppningen, i vårt exempel i fig 8 således vid öppningen till höger. På grund av apparattekniska begränsningar och den naturliga trögheten i systemet trä och lösning finns en undre gräns för periodlängden. För impregneringsanläggningar av normal storlek ligger denna gräns vid omkring en minut för periodlängden (ϕ_o). För inträngningen i mm (n x L) har antagits ett medelavstånd mellan porerna L = 0.04 mm.

Materialkonstanten C och tidsaxeln C x t bestämdes genom impregneringsförsök med virke av av varierande splintdjup, varvid den uppnådda inträngningen relaterades till impregneringstiden. Enligt exemplet erfordras för en radiell inträngning i gran av 80 mm cirka 20 timmar. Periodens längd är i början cirka en minut (ϕ_o) och ökar sedan efter kurvan till 6.4 minuter i slutet, medan fördelningen F går från 30 % till 85 % vilket svarar mot ett högre tryck under 18 sekunder i den första perioden och under 5.5 min i den

sista. Om inträngningen skulle uppgå till 120 mm, vilket ju är mycket exceptionellt, blir tryckfallet P_2 över membranet lika med porstängningstrycket P_o, vilket innebär att porventilen slutat att stänga. Man har då F = 100 %, motsvarande behandling med enbart tryck. Antalet porventiler som passerats av lösningen (n) är då 3 000 stycken. Det lägre vätsketrycket skulle teoretiskt motsvara 100 % vakuum med en inert vätska, men så sker inte i verkligheten då lösningen har ett visst, dock ganska lågt vattenångtryck vid rådande relativt låga temperaturer. Dessutom kommer under varje period en liten luftmängd ut ur virket med den utgående vätskeströmmen. Trycket blir sålunda något högre men ligger ganska nära ett fullständigt vakuum.

Fig 11 visar program som grundar sig på ett stort erfarenhetsmaterial med mellan- och sydeuropeisk gran. Här anges tiderna med variationsområde för högre och lägre tryck (vakuum) jämte periodens längd. Det ingår sex olika program från 2 till 22 timmars behandling. Tiden väljes erfarenhetsmässigt efter virkessortiment och impregnerbarhet.

Ett program upptecknat med en tryckskrivare ansluten till impregneringscylindern kan se ut som i fig 12. Man ser hur trycken växlar över och under atmosfärslinjen och ökningen av tryckstegen under impregneringens gång. Behandlingen inledes med ett förtryck för att blockera luft i de yttersta belägna cellerna i virket, så att luftavgången under de första perioderna inte blir alltför stor, och avslutas med ett vakuumsteg för att avlägsna överskott av lösning på virkets yta och minska avrinningen.

I ekvationerna ovan och i fig 9 ingår porstängningstrycket P_o som en viktig konstant som måste bestämmas experimentellt. Enklast syntes detta kunna ske med strömningsförsök med små cylindriska provkroppar av saftfrisk gran. Strömningens riktning blir longitudinell då provkroppen ingjutes i ett tätt hölje av glasklar härdplast men med ändytorna fria. Den ena ytan anslutes till en behållare med CCA-lösning, där trycket kan varieras, medan den andra kopplas till ett öppet

uppsamlingskärl, där den utgående lösningen per tidsenhet kan bestämmas genom fortlöpande vägning. Tryckfallet över hela provkroppen är lika med övertrycket i behållaren. Då lösningen går genom porventilerna i serie med ett avstånd cirka 2 mm, motsvarande halva trakeidlängden, kan antalet porer beräknas och likaså tryckfallet över varje pormembran. Strömningens hastighet ökar proportionellt mot ökat vätsketryck på inträngningsytan, men då tryckfallet blir så högt att porstängningstrycket uppnås, sker en språngvis minskning av hastigheten. Med de relativt små provkroppar som användes var det emellertid svårt att få tydlig indikation på porstängning, sannolikt beroende på att antalet porer i serie var för litet för att få en tillräckligt stark integrerad effekt. Dessutom överskuggades den sannolikt av felkällor, genom att lösningen gick andra vägar, t ex genom öppna longitudinella hartskanaler och genom snett liggande trakeider. I en provkropp med längden exempelvis 10 cm och poravståndet 2 mm blir antalet porer i serie bara omkring 50 stycken.

Vi övergick då till större längder och valde helt enkelt obarkade trädstammar av saftfrisk gran i segment upp till sex meter (fig 13 och 14). Här blir antalet porer i serie upp till tre tusen, vilket bättre svarar mot det antal som kan engageras vid radiell inträngning under praktisk impregnering. Anordningen framgår i princip av fig 15. Läckningsställen som kvisthål, sprickor eller skador i barken tätades med pasta och bandage. Strömningen i bägge riktningar kan studeras då pumpen är reversibel. På detta sätt kunde vi erhålla en tydlig bild av sambandet mellan strömningens hastighet och tryckfallet som i fig 16. Hastigheten ökar till en början nästan direkt proportionellt mot trycket upp till ett visst värde P, varefter hastigheten avtar. Detta värde antas då motsvara porstängningstrycket P_o och beräknades ur försöken till 0.001 - 0.005 kp/cm^2.

I försök med tryckfall väl över porstängningstrycket och med reverserad strömning erhölls förlopp enligt fig 17. Hastigheten ökar snabbt till ett spetsvärde då porstängning

uppkommer och hastigheten minskar. Reverseras riktningen erhålles en identisk kurva fast spegelvänd. Vid dessa försök var totala tryckfallet lika i bägge riktningarna och förloppen kunde upprepas till synes obegränsat. Vi bedömde dessa försök som en intressant demonstration, av att porerna i virket verkligen kan fungera som ventiler och i bägge riktningar i överensstämmelse med ringporens anatomi. Försöken gav även en viss ledning beträffande hastigheten för torus rörelse. Tiden mellan en växling, då torus antages ligga mot ena öppningen, och den därpå följande spetspunkten, då torus antas hunnit fram till den andra öppningen var ungefär en minut. Detta värde synes rätt väl storleksordningsmässigt ligga inom det antagna variationsområdet för periodlängden ϕ i impregneringsprogrammet och som har samband med hastigheten för torus rörelse. I de ovan nämnda arbetena av Stamm, Erickson m fl finns försöksdata som möjligen kan kopplas till porstängning. Härur kan porstängningstryck av storleksordningen 10^{-3} kp/cm^2 beräknas.

I början av 1950-talet hade Boliden ett omfattande samarbete med impregneringsindustrier i Schweiz. CCA i form av BIS med kopparsulfat prövades vid Boucherie-impregnering, en vanlig metod i Schweiz för gran, varvid kopparsulfat används som träskyddsmedel. Man lägger horisontellt ut kvistade trädstammar av saftfrisk, obarkad gran och slangansluter rotänden till en behållare med impregneringslösning som är uppställd på ett högt torn. Dess höjd över markplanet med stolparna är ca 1 meter per meter stolplängd eller vanligen omkring 10 meter. Man berättade att man försökt använda högre torn för att påskynda impregneringen men att det då visat sig att impregneringen försämrades och att vätskeströmmen genom stolparna ibland kunde helt upphöra. Om man antar att dessa effekter orsakas av en begynnande porstängning så skulle denna inträffa vid ett membrantryck av omkring 0.2×10^{-3} kp/cm^2, vilket stämde ganska väl överens med ovannämnda försöksvärden.

En annan metod för impregnering av färskt granvirke, den s k Gewecke-metoden, används i Tyskland. Barkade stolpar

omges av impregneringsvätskan, eventuellt under ett högre tryck, och vakuumsug ansluts till ändytorna. Vid kontroller med uppfinnaren H Gewecke efterhördes praktiska erfarenheter som möjligen kunde tyda på porstängningseffekter, eftersom porstängningstrycket rimligen borde ha överskridits vid sådana tryckförhållanden. Några sådana effekter synes emellertid inte ha förekommit. Det kan möjligen bero på att inträngningsbilden här är betydligt mer komplex och inte renodlad longitudinell som i de tidigare fallen.

Det fanns sålunda visst underlag för val av värdet på porstängningstrycket, såväl från försök som från praktiska erfarenheter. Vid beräkningar av impregneringsprogrammen för OPM valde vi ett ungefärligt medelvärde $P_o = 3 \times 10^{-3}$ kp/cm^2.

Från 1946 till 1950 gjordes de grundläggande teoretiska arbetena för OPM och omfattande försök på laboratoriet då många olika varianter av program provades. I arbetet ingick även att utveckla en praktiskt fungerande apparatur. Någon passande färdig konstruktion fanns inte att få. Uppgiften var i princip ny och inte så enkel att i ett stort tryckkärl åstadkomma snabba nära momentana växlingar mellan höga och låga tryck enligt ett visst förutbestämt program. En halvstor försöksanläggning byggdes enligt fig 18 och 19. Mellan impregneringscylindern och behållaren för lösningen är två vätskepumpar inkopplade - en tryckpump och en sugpump. Dessa arbetar växelvis och ger omväxlande över- och undertryck i cylindern. Då sugpumpen går töms inte cylindern helt på lösning - eftersom pumpen arbetar från ett i princip slutet kärl - utan endast en mindre del lösning utgår. Med tryckpumpen fylls cylindern helt, varefter lösningen återgår till lösningsbehållaren via en på det högre trycket inställd tryckregleringsventil monterad ovanpå cylindern. Genom en särskild slussventil likaledes högst upp på cylindern kan luft som utgått ur virket under det lägre trycket avlägsnas ur cylindern då denna fylls. Programgivaren har en lampa med en fotocell mellan vilka ett filmband föres på vilket finns exponerade ljusa och mörka fält i växlande följd. De svarar mot var sin pumpriktning -

ljusa för sugpumpen och mörka för tryckpumpen - och ger styrimpulserna för aktivering av respektive pump.

Det finns nu en hel del erfarenheter från praktik och försök med OPM, t ex vad som gäller för olika lokala förhållanden, klimat, trädslag etc. I Sverige har metoden använts mycket litet och endast i bolagets egen anläggning i Boliden (20 m cylinder) för impregnering med CCA av färskt gran- och furuvirke för bl a gruvbyggnader. Anläggningen har använts i många år och med i stort sett gott resultat.

På flera håll utomlands passade emellertid OPM tydligen bättre till rådande marknadsförhållanden. I Sydtyskland i Hörgertshausen, en liten ort i närheten av München, kom OPM tidigt igång. Bolidenbolaget gjorde många försök där och samarbetade med Josef Benker, anläggningens ägare. Han var mycket intresserad av OPM och gjorde många fina insatser för att anpassa metoden till de lokala träslagen gran (Picea abies) och ädelgran (Abies alba). Han gjorde även avsevärda förbättringar av apparaturen till gagn för ökad driftsäkerhet och precision. Dessa arbeten visade sig ha stort värde för den fortsatta exploateringen av OPM. Fig 20 visar en principskiss över anläggningen i Hörgertshausen. Många anläggningar byggdes sedan i Tyskland och Österrike. I Schweiz kom OPM att helt ersätta de gamla Boucherieanläggningarna.

Man kan säga att OPM numera utvecklats till en generellt användbar teknik för impregnering av virke - således inte enbart gran - i saftfriskt tillstånd direkt från skogen eller av fuktigt virke, som inte torkats längre ned än till fibermättnadspunkten. Detta är på många håll betydelsefullt ekonomiskt, då man kommit från en långvarig lagring och torkning av virket, som kan medföra skador och kvalitetsförsämringar. Vidare uppnås en snabbare omsättning av virket, varigenom räntekostnaderna för lagerhållningen minskar. OPM används numera för många olika träslag såväl barr- som lövträd.

I Nya Zeeland gjordes stora undersökningar med OPM-impregnering av där vanliga träslag som Pinus radiata och Pinus nigra.

Dessa är svåra att torka utan att få lagringsskador och därför var impregnering i rått tillstånd intressant. Pinus radiata är en vanlig skogsråvara från stora skogsplanteringar på Nya Zeeland. Undersökningarna gjordes vid Forest Research Institute, Roturua under ledning av A J McQuire. Intressanta resultat erhölls som blivit mycket uppmärksammade i litteraturen. Sedermera har OPM eller varianter härav kommit till stor praktisk användning i flera anläggningar i Nya Zeeland.

I USA gjordes 1957 en stor undersökning med OPM vid Forest Products Laboratory i Madison och sedermera mer praktiskt betonade försök i Spartanburg, South Carolina. Vi samarbetade med Oscar Blew och Monie Hudson, som var mycket hjälpsamma och visade stort intresse vid försökens genomförande. Tio olika träslag, såväl barr- som lövträslag, undersöktes. Resultaten var mycket intressanta men bedömdes av olika skäl inte som tillräckliga för en omgående praktisk användning av OPM i USA. Min personliga uppfattning var nog att inträngnings- och reaktionsförhållandena med CCA i dessa träslag i fuktigt tillstånd var komplicerade och inte tillräckligt kända. Sannolikt skulle mer ingående studier, kombinerade med senare erfarenheter från andra håll, kunna leda till bättre och jämnare inträngningar.

I Danmark gjordes en stor undersökning med inhemsk gran från olika delar av landet. Dessa arbeten skedde i samarbete med Niels Moldrup.

Vid anläggningen i Boliden gjordes på 1950-talet omfattande driftsundersökningar med mätningar och analyser av upptagning och inträngning i färskt norrländskt granvirke. OPM kan i princip ses som en savförträngningsmetod. Det fria vattnet eller saven uttränges och blandas i impregneringslösningen och cellhålrummen fylls helt med lösning. Därigenom sker en utspädning av lösningen. Denna kan enkelt mätas. En kubikmeter gransplint väger exempelvis 1 200 kg då den är helt fylld med vätska. Det rena trämaterialet utan fritt vatten väger kanske 500 kg per m^3 splint och därmed finns cirka

700 kg vätska i cellerna. En gransplint som väger 800 kg per m^3 före impregneringen väger sålunda efter, då den är helt fylld, 1 200 kg och sålunda har (1 200 - 500) kg = 700 kg lösning upptagits av virket och (800 - 500) kg = 300 kg fritt vatten per m^3 splint avgivits till lösningen. Virkets viktsökning genom impregneringen blir sålunda (1 200 - 800) = 400 kg per m^3. Ett virke med högre fukthalt, exempelvis vägande 1 000 kg per m^3 splint före impregneringen, upptar samma mängd lösning men avger mer fritt vatten (500 kg), men viktsökningen blir mindre bara (1 200 - 1 000) kg = 200 kg per m^3 splint. Man finner sålunda att upptagningen av lösning inte står i ett sådant enkelt förhållande till viktsökningen som vid vanlig impregnering av torr furu. När man mäter utspädningen, d v s skillnaden i lösningens koncentration före och efter impregnering, så finner man att den är avsevärt större än motsvarande utspädningen från fria vattnet. Det färska virket fungerar som ett absorberande material eller jonbytare, när lösningen passerar genom dess celler. En del av de i lösningen befintliga jonerna och molekylerna uppfångas av reaktiva grupper i träets cellväggar. Den totala upptagningen av träskyddsmedel blir därför sammansatt av en del från den direkta lösningsupptagningen och en del från absorbtion och jonbyte. Våra mätningar visade att desa bägge delar kan vara ungefär lika stora. I virket från Boliden gjordes omfattande inträngningsanalyser med röntgenanalysteknik direkt på spån. Fig 21 visar resultaten av ett stort statistiskt material av över fyra hundra analyser. Det gäller vanlig CCA-lösning med Boliden K33 proportioner och rundvirke av skogsfärsk gran. Som synes erhölls en god och jämn inträngning med väl samlade värden i de tre splintskikten. Här visas inträngningen av arsenik men även koppar och krom ingick, sålunda sammanlagt över 1 200 analyser. Koppar och krom visar i stort sett samma fördelningsmönster och inträngning som arseniken.

Det finns en hel del publicerat om OPM, om teori och forskning, försökserfarenheter och praktiska erfarenheter (30-42).

Forskningsarbetet med OPM upphörde för Bolidenbolagets del mot slutet av 1960-talet. Såsom tidigare nämndes är den teoretiska grunden för OPM - porernas ventilfunktion och inträngningsmodellen - hypotetisk och starkt schematiserad och kan kanske även ifrågasaättas. Emellertid är OPM mycket intressant som forskningsobjekt och om man skulle vilja gå vidare synes det vara främst på två områden.

Det ena är att söka komma åt porventilen genom direkta observationer av dess verkningssätt in situ i veden. Detta kanske vore möjligt med dagens utvecklade mikroteknik. Man kunde då direkt bestämma tidsfunktionen för torus rörelse och porstängningstrycket. Det andra är att nyansera tidskonstanten C som ju egentligen inte är en konstant. Det kan sägas att i C har sammanfattats alla vedanatomiska svårigheter och variation av betydelse för inträngningen. Med modern datateknik är det säkert möjligt att i de matematiska uttrycken integrera variationer av celldimension, årsringsbredd, höst- och vårved och porventilernas dimension. Detta skulle naturligtvis vara ett stort framsteg för en förbättrad anpassning av metoden till det aktuella virket som behandlas och säkert göra OPM mycket effektivare.

6. KEMISKA REAKTIONER MELLAN CCA-MEDEL OCH TRÄ

De kemiska reaktionerna mellan CCA-medlen och veden har ägnats mycken forskning såväl av Bolidenbolaget som av många forskare på andra håll. Vad händer egentligen när vattenlösningar med de arsenikhaltiga träskyddsmedlen kommer i kontakt med träet? Att det sker kemiska reaktioner mellan oorganiska ämnen i lösningen och organiska ämnen i träet är klart, men vilka ämnen bildas vid reaktionerna och hur fort bildas de, d v s hur är reaktionskinetiken och hur ligger dessa reaktionsprodukter fördelade i vedens struktur? Dessa frågor har naturligtvis en mycket stor betydelse för hela den samlade bilden av träskyddet, dess effektivitet och varaktighet.

Under 1930- och 40-talen gjordes en mångfald s k lakningsförsök. Små träklotsar eller träspån, vanligen av torr furuved, impregnerades med lösningar av olika sammansättningar och styrka varefter de lakades med vatten under varierande tid. Den mängd av grundsubstanserna arsenik, krom och fungicid metall såsom koppar och/eller zink som urlakades bestämdes med analyser. På så sätt bestämdes fixeringen och fixeringsreaktionernas tidfunktion. I de flesta fall var reaktionerna i veden väsentligen avslutade inom två à tre veckor.

Utgående från dessa erfarenheter gjordes reaktionsmodeller mera av typ konventionell klassisk reaktionslära som gick ut på att i veden utfälles arsenater av koppar, krom, zink etc, vilka är svårlösliga i vatten. Träets funktion var helt enkelt som ett reduktionsmedel vilket som helst i en reaktionsformel. Men med tiden framstod det allt klarare, att verkligheten var betydligt mer komplicerad än så.

Ett mycket stort arbete över fixeringsreaktionerna gjordes på senare tid inom Bolidens forskningsorganisation av Sven-Eric Dahlgren. Han har publicerat ett flertal uppsatser om detta och en utmärkt sammanfattning i BWPA Proceedings 1972 (43). Dessa undersökningar har i väsentliga stycken ökat kunskaperna om CCA-systemens fixeringsreaktioner och givit säkrare hänvisningar för hanteringen av virket.

Dahlgren studerade CCA-systemets reaktioner vid sammansättningar motsvarande Boliden K33 och några andra CCA-medel. Han använde spån av torrt furu- och granvirke och följde fixeringsreaktionernas förlopp i systemet spån och lösning medelst pH-mätningar och analyser. Utgående från detta experimentella underlag kunde detaljerade modeller göras över reaktionsförlopp och kinetik för de olika i impregneringslösningen ingående komponenterna. Dahlgren visar att i CCA-lösningen finns joner och föreningar enligt:

H^+, Cu^{2+}, H_3AsO_4, H_2CrO_4, $H_2AsO_4^-$, $HCrO_4^-$, $Cr_2O_7^{2-}$.

Under det inledande skedet sker snabba reaktioner av typen absorption och jonbyte mellan protoner, kopparjoner och aktiva grupper i veden. De slutliga fixeringsprodukterna då reaktionsjämvikt inträtt i systemet skulle vara:

Cu^{2+} bundet genom jonbyte,

$CrAsO_4$, $Cu(OH)CuAsO_4$, Cr_2O_3.

Den tid som erfordras för fixeringsreaktionerna till jämvikt i dessa undersökningar, av storleksordningen två till tre veckor, överensstämmer i stort med resultaten vid de äldre lakningsförsöken och som tillämpats vid impregneringsanläggningarna för virkets lagring och kvarhållning efter impregneringen.

CCA-reaktionerna i virket har även under senare år ägnats ett betydande forskarintresse på olika håll i världen. Man söker klargöra hur olika beståndsdelar i veden reagerar. Det verkar som om ligninet kan vara särskilt reaktivt, vilket framgår av studier av reaktioner mellan de oorganiska föreningarna i lösningen och modeller av kända reaktiva grupper i lignin. Det förefaller nu ganska klart, att det finns kemiska bindningar mellan oorganiska och organiska ämnesgrupper och att dessa överväger i jämförelse med sådana reaktionsprodukter av helt oorganisk natur som tidigare antagits. Ännu i denna dag finns dock så vitt man vet inte någon klar identifikation av de kemiska föreningarna från CCA genom direkta observationer in situ i veden.

CCA-lösningens reaktioner kan variera avsevärt beroende på träslaget. Det visar våra egna erfarenheter från lakningsförsöken och även uppgifter i litteraturen. Sålunda förekommer säkert stora skillnader i kinetik och reaktionsprodukter mellan barrträ- och flera lövträslag.

Boliden gjorde redan på 1950-talet försök att lokalisera elementen Cu, Cr och As i vedens struktur genom mikroskopering av infärgade mikrotomsnitt av CCA-impregnerad furu

och gran. En viss anrikning särskilt av Cu till mittdelen av cellväggarna - primärväggen - verkade förekomma. Med en modernare utrustning med energidispersiv röntgenanalys i elektronscanningmikroskop uppföljdes senare Cu, Cr och As i OPM-impregnerad, skogsfärsk gran. Metoden är endast halvkvantitativ, men ger ändå en viss upplysning om mikrofördelningen av elementen. Cu, Cr och As ligger mycket finfördelade i vedstrukturen i cellväggarna och ofta med tydlig anrikning till vissa delar såsom primärväggen och pormembranet som ju är byggt av samma material som primärväggen. Betydande variationer finns i koncentrationen av Cu-Cr-As mellan olika strukturelement och i olika delar av tvärsnittet. Kvantitativa analyser är inte möjliga, men av de varierande intensiteterna att döma får man inte intryck av att det skulle kunna finnas något konstant stökiometriskt förhållande mellan de tre elementen. Tvärtom synes proportionerna dem emellan kunna variera högst betydligt. Ofta kan man se en stark anrikning av Cu till pormembranen. Några diskreta partiklar eller depositioner i cellhålrummen som kunde vara utfällningar av rent oorganisk natur kunde man inte finna.

Uppmärksammade undersökningar över mikrofördelningen av CCA och med samma teknik med användning av scanningmikroskop och röntgenanalys har gjorts av H Greaves i Australien. Han har undersökt flera olika träslag, bland andra även Picea och Pinus (44-45), där flera resultat synes stämma väl överens med våra egna iakttagelser.

Den kända mikrofördelningen tycks ge anledning förmoda att reaktionsprodukterna i träet inte enbart är en historia mellan Cu-Cr-As utan här föreligger även starka kemiska bindningar mellan dessa element och reaktiva grupper i själva veden. Särskilt gott om sådan reaktiva ämnen synes det finnas i primärväggen när det gäller våra träslag furu och gran. Med de kunskaper som idag finns om träkemi, de olika träsubstansernas fördelning i vedens struktur etc, borde det kanske vara möjligt att konstruera reaktionsmodeller över redoxsystemet CCA med olika kända reaktiva ämnen i träet. Troligen

skulle man på detta sätt kunna få värdefullt nytt vetande som belyser träskyddets mekanismer.

Vi studerade även reaktionskinetiken genom mer direkta mätningar på virket, dels genom det elektriska ledningsmotståndet efter impregneringen och dels genom ändringar i lösningssammansättning vid longitudinell genomströmning.

Det elektriska ledningsmotståndet mättes i stavar efter impregneringen. Stavarna infästes mellan två elektroder mot tvärytorna och ledningsmotståndet longitudinellt mättes fortlöpande under en längre tid. Mätningarna gjordes i en särskilt anordnad mätbrygga med konstanthållning av elektrodernas anläggningstryck och stavarnas vätskeinnehåll. Motståndet steg fort i början men planade sedan ut till en relativt konstant nivå. Motståndsvärdena varierade något för de enskilda stavarna men var i stort sett väl samlade och följde ett tydligt mönster. Fig 22 visar representativa kurvor för gran och furu vid en lösningskoncentration motsvarande cirka 3.5 g As_2O_5/l. Stavarna sågades ur skogsfärskt virke, impregnerades omedelbart i 5 timmar med OPM och sattes därefter direkt in i mätbryggan. Då ändringar av motståndet antas stå i ett direkt förhållande till ändringar i totala jonkoncentrationen i virket, så kan hastigheten av motståndsändringen uttrycka den integrerade hastigheten för de olika fixeringsreaktionerna i virket, som pågår under mätningen. Mätningar gjordes för en serie olika lösningskoncentrationer från cirka 6 till 0.5 g As_2O_5 per liter. Det blir en kurvskara med koncentration som parameter och kurvorna parallellförskjutna mot högre motståndsvärden med avtagande koncentration. Då lutningen på kurvorna är lika, är den relativa reaktionshastigheten oberoende av lösningens koncentration i virket. Den konstanta slutnivån för motståndet uppnås fortare och ligger högre vid lägre koncentration. Det framgick vidare att motståndet genomgående var högre för gran än för furu, men lutningen på kurvorna var ungefär densamma, d v s ingen skillnad i reaktionshastighet mellan färskt gran- och furuvirke. Tiden för att uppnå konstant motstånd, d v s i huvudsak

avslutade fixeringsreaktioner, var ungefär 5 dagar vid normalkoncentration, vilket kan betyda att reaktionerna går fortare i detta fall än vid motsvarande impregnering av torrt virke.

Försöken med longitudinell strömning genom skogsfärska granstolpar utfördes som tidigare beskrivits i samband med bestämningen av porstängningstrycket. Anordningen framgår av fig 13 och 14. Till stolpens rotända är kopplat ett tryckkärl med lösningen. Koncentrationen av koppar, krom och arsenik i den utgående lösningen mättes fortlöpande. Kurvorna kan variera något beroende på stolparnas individuella egenskaper men fig 23 är ganska representativ för utvecklingen i princip. Kurvorna visar haltförändringen med tiden för respektive element i den från toppändan utgående lösningen. Halten anges i procent av ingående. Som synes kan As spåras i lösningen redan efter cirka 20 timmar, krom uppträder först efter omkring 80 timmar, medan koppar kan spåras efter cirka 100 timmar. Kopparhalten ligger mycket lågt i början och ökar först efter cirka 200 timmar. Den utgående lösningen blir utspädd med det fria vattnet i virket, men då denna utspädning bör vara förhållandevis lika för alla tre elementen, så visar försöken att initialreaktionerna ger bindningar till virket som går fortast och är mest fullständiga för koppar, något långsammare och svagare för krom, medan arseniken tydligen behöver lång tid för att bindas i träet. Om försöken får fortgå tillräckligt lång tid skall den utgående lösningen få samma sammansättning och koncentrationen som den ingående. Det fria vattnet har då helt drivits ut och virket blivit mättat med avseende på sin reaktionskapacitet för CCA-reaktionerna. Detta inträffar dock sällan. Utrinningen av lösning i toppändan upphör helt dessförinnan beroende på blockering. I mycket kortare virkesprover, omkring 10 cm, kunde dock ett stabilt fortvarighetstillstånd uppnås, där in- och utgående lösning var lika.

Försöken med stolparna synes sålunda visa, att under själva impregneringstillfället sker ett omfattande reaktionsutbyte mellan de oorganiska jonerna och föreningarna i CCA-lösningen

och reaktiva grupper i färskt granvirke. Vidare kan dessa reaktioner i virket bli så intensiva, och då särskilt med koppar, att de kan orsaka en fullständig blockering av de kapillära ledningsbanorna i träet.

Nämnda undersökningar och antaganden kunde förklara en del iakttagelser från OPM-impregneringarna med skogsfärsk gran och furu, som från början tedde sig mycket gåtfulla. Vid inträngningsreaktionerna med CCA har koppar tydligen en nyckelroll. Koppar reagerar omedelbart vid lösningens kontakt med virket, och denna reaktion är särskilt intensiv i pormembranen som lösningen tränger igenom. Då membranet är rikt på lignin sker reaktionen särskilt mellan reaktiva grupper i ligninet och koppar. Härvid bildas reaktionsprodukter som tenderar att fylla igen de små spaltformiga öppningarna mellan trådarna i membranet. Möjligen kan det vara så att koppar orsakar en svällning av trådarna, som gör mellanrummet mindre. Resultatet blir att membranet inte längre är genomsläppligt för lösningen - poren blockeras. Ligninet är känt för sin kompliceade uppbyggnad med rika variationsmöjligheter. Man tänker sig variationer, som är artskilda och hänförbara till olika trädindivider inom samma grupp och med sinsemellan varierande reaktivitet. Skogsfärskt virke från ett träd med högreaktivt lignin skulle sålunda vid impregneringen ge en snabb porblockering och visa en dålig inträngning, medan i ett virke från ett träd med mer långsamt reagerande lignin hinner lösningen passera genom ett stort antal membran innan blockering inträder. Inträngningen blir då bättre. Det egendomliga var att vid de stora försöken i Boliden och i försöksanläggningen på laboratoriet med OPM, inträffade i en synbarligen homogen population av skogsfärsk gran och furu med för huvudparten goda inträngningar, att några individer kunde visa sig helt avvikande. Här var inträngningen mycket dålig. Det kunde röra sig om endast någon eller några millimeter i ytskiktet. Vi undersökte dessa avvikande virkesstycken mycket noga och blev så småningom alltmer övertygade om, att det måste ha att göra

med CCA-lösningens inträngningskemi. Vi undersökte till en början provernas anatomi och struktur i ljusmikroskop såsom utseende av trakeidceller, märgstrålar och porer, portäthet, årsringtäthet, höst och vårvedförhållande etc men kunde inte finna några anomalier, som kunde knytas till impregneringen. Vi startade då ett stort program, som omspände över ett år, och som avsåg att studera olika förhållanden vid trädets växtplats som kunde tänkas ha inflytande på impregnerbarheten. Här ingick marktyp och beskaffenhet, fukthalt, pH, beståndets täthet, ljusförhållanden, höjdläge, skogstyp (gran, furu eller blandskog med löv), trädets utseende och växt med avvikelser såsom barkskador, insektsangrepp, snedvridning, förekomst av svampar och lavar, savningen, väderlek, temperatur samt tidpunkten för avverkningen. Dessutom ingick splintvolym samt splintens densitet och -fukthalt. Alla dessa faktorer antecknades fortlöpande under året och materialet behandlades sedan statistiskt. En hel del samband mellan faktorer var för sig eller i kombination och med impregnerbarheten framkom med varierande styrka. Ett starkt samband fanns med savningen. Virke avverkat under vårsavningen maj-juni gav genomgående ganska dåliga impregneringar. Det hade även uppmärksammats tidigare vid den praktiska impregneringsverksamheten. Emellertid visade undersökningen inte på någon omständighet, som kunde knytas explicit till de avvikande trädindividerna med extremt dålig impregnering. Då vi sedermera fick tillgång till utvecklade analysresurser med scanningmikroskop kunde för de extremt dåliga impregneringarna den höga kopparbelastningen i ytporerna påvisas, och som vi i dessa fall naturligtvis bedömde som helt utslagsgivande.

Granvedens reaktionsaktivitet är kanske i viss mån geografiskt betingad. I allmänhet kunde den nordsvenska granen impregneras ganska bra, men den danska granen var besvärlig. Det framkom vid de förhållandevis stora OPM-försöken som gjordes i Danmark. Särskilt i gran från Jylland kunde inträngningen bli mycket dålig. Vi analyserade prov på ytskiktet härifrån, som visade mycket hög kopparbelastning på pormembranen.

Med nämnda kunskaper och antaganden beträffande inträngningsreaktionerna, så ligger sådana åtgärder nära till hands att vidta, som syftar till att minska reaktionshastigheten i systemet CCA-lösning-virke. Sådana har även framkommit genom erfarenheter från praktisk impregnering och fått stor användning. Lakningsförsöken på laboratoriet hade visat att hastigheten för fixeringsreaktionerna kunde minskas genom att manipulera proportionerna Cu-Cr-As i CCA, genom att tillföra "främmande" joner såsom Na^+ och SO_4^{2-} ("ionic CCA") eller föreningar såsom borsyra B_2O_3, kända för att kunna påverka redoxreaktioner som antas försiggå i virket. Det har även visat sig, att för de våtimpregneringar av olika träslag som tillämpas i praktiken såsom OPM, Boucherie och liknande, men även diffusionsimpregneringar, väljes system som är mer långsamt verkande än vanlig CCA, och de synes erfarenhetsmässigt ge bättre inträngningar.

Ett annat sätt att minska reaktionshastigheten i systemet CCA-virke är att nedsätta virkets reaktivitet.

Som framgår av referenserna utvecklades i Nya Zeeland en metod att kombinera OPM-impregneringen av Pinus radiata med en inledande upphettning av virket genom ångning. Virket fick svalna till yttertemperaturen före impregneringen. Det visade sig att upphettningen förbättrade inträngningen i virket. Upphettningen kan ha haft en nedsättande effekt på pormembranens reaktivitet genom att ångningen ändrar på de mest aktiva grupperna i membranligninet. Liknande erfarenheter med ångning och CCA finns från försöken i USA med skogsfärskt virke av flera olika inhemska trädslag. Vid impregnering av furu enligt i Sverige vanliga rutiner så torkas och lagras virket rätt lång tid före impregneringen. Denna förbehandling kan ha till följd att membranligninets aktivitet nedsättes, som sålunda kan bidra till de mycket goda inträngningsresultaten som i allmänhet uppnås med CCA. För skogsfärsk furu och gran förefaller det inte finnas någon större skillnad i hastighet för CCA-reaktionerna enligt ovan nämnda undersökningar. Sannolikt

ändras även granvirkets reaktivitet vid torkning och lagring på samma sätt som furu, men den stora skillnaden i impregnerbarhet mellan furu och gran är fysikaliskt betingad genom att en del av porventilerna i furu är öppna även efter torkningen medan de i gran förblir stängda.

Vad lövträden beträffar så har CCA-reaktionerna i lövträvirket undersökts ganska lite inom Bolidens forskningar. Det framgår dock av erfarenheter från lakningsförsök, och även från fältförsök, att fixeringsreaktionerna vanligen går fortare i lövträvirket, och att de slutliga reaktionsprodukterna och deras fördelning i virkets celler och cellväggar kan vara helt annorlunda i barrträvirke. I OPM-försöken i Madison (33) ingick även skogsfärskt virke från några olika lövträd, där CCA-reaktionerna troligen gick mycket fort med ojämna och mindre goda inträngningar till följd. Sannolikt bör för många lövträd andra och mer långsamt verkande lösningssystem än vanlig CCA användas för att goda inträngningar skall kunna erhållas.

Hastigheten för reaktionssystemet CCA-virke är även beroende av systemets temperatur. Detta är ett välbekant faktum. Vanligen bör man söka hålla lösningens och virkets temperaturer så låga som är praktiskt möjligt, då inträngningen härigenom förbättras. Erfarenheter från driften under många år i OPM-anläggningen i Boliden både med gran och furu visade, att man ofta kunde få mycket goda inträngningar vintertid då såväl lösning som virket var mycket kalla. Det förekom till och med att virket kunde tillföras cylindern fruset och inträngningen likväl blev mycket god.

Slutligen kan nämnas beträffande CCA-reaktionerna, att vi från början befarade att med OPM få betydande utfällningar och slambildningar i lösningen genom för tidiga reaktioner med den sav som uttages ur virket och blandas med lösningen. Saven innehåller organiska reducerande ämnen. De praktiska erfarenheterna visade att utfällningarna blev obetydliga och acceptabla om lösningen inte tilläts bli för varm. Saven har en stabiliserande verkan på lösningen, så att denna kan tåla

en relativt betydande kromreduktion utan att fällningar bildas. Detta kunde visas med modellförsök då CCA-lösningen tillfördes kända mängder sav och kromreduktionen bestämdes analytiskt för varierande mängd sav.

7. FÄLTFÖRSÖK

Redan från början av forskningen över arsenik för träskydd var utvärderingen av effekten genom biologiska provningar en viktig del av arbetet. Dessa provningar gjordes med olika rötsvampar i renkultur på laboratoriet eller med olika s k jordburksprovningar("soil block tests") samt närmare verkligheten i naturen genom växthusförsök med små impregnerade stavar. Slutligen gjordes också verklighetsnära fältförsök med större stavar och stolpar. De sistnämnda försöken var de mest informativa med de säkraste resultaten men tog å andra sidan avsevärt längre tid.

Provningsverksamheten under de första åren var av mer orienterande karaktär, men gav en hel del upplysningar om effekten av olika metallarsenater. Arbetet inriktades ganska snart, såsom nämndes inledningsvis, på systemet krom, arsenik och fungicid metall. Verksamheten kom alltmer att göras i samverkan med olika officiella institutioner som arbetade med träskyddsfrågor såväl i Sverige som utomlands, varvid Bolidens egna fältförsök successivt avvecklades. 1957 inrättades dock ett växthus vid forskningslaboratoriet på Rönnskär. Här gjordes omfattande prov som en första gallring av olika medel och kombinationer, varefter vi kunde gå vidare med sådant, som verkade lovande för samarbete med utomstående institutioner.

Fältförsöksverksamheten utvecklades mycket och finns nu i många olika länder och i nästan alla delar av världen - Norden, Centraleuropa, England, Kanada, USA, Australien, Nya Zeeland, Indonesien, Malaysia m fl länder. Särskilt livliga förbindelser hade vi som naturligt var i Sverige med dåvarande Träskyddskommittén och Skogshögskolan, sedermera Svenska Träskyddsinstitutet och Lantbruksuniversitetet i Uppsala samt med

Nordiska Träskyddsrådet. Även med Forest Products Laboratory i Madison och med Forest Research Institute i Rotorua i Nya Zeeland hade vi nära förbindelser. Flera fältprovningar med arsenikmedel har pågått sedan början av 40-talet. Detta gäller bl a det stora fältet i Simlångsdalen i Halland och fältet i Wisconsin i norra delen av USA och i Mississippi i södern. Resultaten härifrån är relativt entydiga och medger ganska säkra bedömningar. Systemen krom-arsenik med zink och/eller koppar jämföres för följande Bolidenmedel:

100% Zn	75% Zn-25% Cu	50% Zn-50% Cu	100% Cu
BIS+$ZnSO_4$	Boliden S25	BIS+Zn/$CuSO_4$	Boliden K33
Boliden S			
Boliden TV		Boliden TV50	Boliden S100

Det framgår då, att rötskyddet tydligt förbättras genom övergången från Zn till Cu. Bolidensaltet K33 ger som regel mycket fina resultat och hävdar sig väl gentemot andra vanliga träskyddsmedel och även gentemot andra CCA-sammansättningar. Skyddsvärdet för K33 liksom för andra arsenikmedel kan dock enligt allmän erfarenhet variera något mellan olika försöksfält beroende på klimat och biologisk miljö. Sålunda är resultaten för CCA-medel i USA bättre i södern i Mississippi än i norr i Wisconsin, vilket antas bero på att i det senare fältet förekommer rötsvampar, som är toleranta mot arsenik.

Vanligen är virket i fältförsöken stavar och stolpar av olika furuarter, som impregnerats i torrt tillstånd. Det finns dock även prover som impregnerats i fuktigt tillstånd med OPM. I Simlångsdalen finns således gran- och furustolpar samt stavar av såväl splint som kärna. K33 men även Zn-Cu-kombinationen (TV50) och enbart Zn (TV) ingår i dessa försök som utsattes i början av 1950-talet. Resultaten är goda för såväl gran som furu, furusplinten är kanske något bättre än gransplinten. Impregnering av stavar av grankärna verkar inte ge något skydd. Övergången från zink till koppar tycks

medföra en förbättring liksom även är fallet med furu som impregnerats i torrt tillstånd.

Laboratorieundersökningar på OPM-impregnerad färsk furu och gran gjordes tidigt (1953-54) av Erik Rennerfelt på Skogshögskolan (35). De gjordes som jordburksprovningar men med renkulturer av rötsvamparna Coniophora puteana, Lentinus lepideus och Poria vaporaria (nytt namn: Antrodia sinuosa). Systemen Zn-Cr-As (TV) och Zn-Cu-Cr-As (TV50) användes. Undersökningarna visade god skyddsverkan för furu- och gransplint och även för grankärna.

I Mississippi pågår sedan 1957 fältförsök med OPM-impregnerade stolpar. Virket impregnerades skogsfärskt och ingick i OPM-impregneringsprogrammet vid Forest Products Laboratory i Madison. I fältförsöket ingår fem stolpar av tio olika träslag såväl barr- som lövträ,såsom Douglas gran, hemlock, lärk, contortatall, Elliotti-tall (Pinus palustris, P elliotti), Engelmannsgran (Picea engelmannii), hickory, ek och ambraträd ("sweet gum"). Zn-Cu-Cr-As (S25) användes. Fältet reviderades 1972 utan att några svårare angrepp i det impregnerade träet påvisades. Fältet i Mississippi är känt för svårartad angreppsstatus för såväl rötsvampar som termiter (46).

Fältförsöken inspekteras regelbundet, ofta en gång varje år, och resultaten från våra prover redovisas fortlöpande från exempelvis Svenska Träskyddsinstitutet (47), Nordiska Träskyddsrådet (49) och Forest Products Laboratory i Madison (48).

1954 deltog vi i stora impregneringsförsök i South Carolina. i USA. Försöken utfördes i samverkan med ett känt företag för träimpregnering, Taylor Colquitt Corp, som har stora anläggningar i Spartanburg. 500 stolpar och 800 stavar av träslaget Pinus sylvestris (Scotch Pine) impregnerades med Bolidensalterna BIS + $ZnSO_4$, S25, BIS + $Zn/CuSO_4$ och K33. Virket utsattes samma år i fältförsök på provfält i Florida och South Carolina (Spartanburg). Fältet i Florida hör till

School of Forest Resources, University of Florida i Gainesville där professor J B Huffman hade hand om försöken. Fältet i Spartanburg sköttes av Taylor Colquitt Corp. Båda fälten är kända för hög aktivitet av rötsvampar och termiter. Resultaten synes i stort sett stämma överens med de tidigare nämnda, d v s att träskyddet blir bättre vid en successiv övergång från zink till koppar som fungicid metall. Resultaten finns redovisade i AWPA Proceedings (50). Försöken i Florida var ett exempel på att fältförsök ibland kan utsättas för oväntade träförstörare. 1972 upptäcktes att en stor del av stolparna försvunnit. Det var en villaägare och hemmabyggare i närheten, som hade tyckt att stolparna såg bra och användbara ut. De flesta kunde dock återfinnas och återbördas till sina ursprungliga platser i fältet.

En jämförelse mellan biologiska provningar på basis av resultaten på Skogshögskolan gjordes 1963 av Rennerfelt (51). Här ingick bl a Boliden K33. Jordburksprover ("soil block tests") jämfördes med fältförsök med stavar. Relativt god överensstämmelse förelåg mellan metoderna medan svampförsök med kopparresistenta svampar såsom Coniophora puteana och Poria vaporaria (nytt namn: Antrodia sinuosa) gav sämre resultat med K33 än fältförsöken.

Prov med CCA-medel, bl a K33, på Nya Zeeland, har sammanställts av McQuire i AWPA Proceedings (53). Här jämföres även jordburksprovningar med stavar i fältförsök, varvid framkommer god överensstämmelse mellan provningarna avseende påvisad skyddseffekt.

Vi fick till oss ibland återsänt en del utdömt material av stavar och stolpar från olika försöksfält runt om i världen. Detta analyserades på kvarvarande element såsom zink, koppar, krom och arsenik. Vi kunde konstatera att halterna varierade högst avsevärt i olika delar av samma föremål beroende på om provet var taget ovan, i, eller under jordbandet. Halterna kunde även variera mellan olika provfält. I fig 24 visas ett analysexempel på stavar impregnerade med S25 från fältförsöken

i Spartanburg. Stavarna var angripna av soft rot och termiter. Här anges viktsprocenten As_2O_5 i rumstorrt material i den övre delen av staven och i jordbandet. I delar med direktkontakt med jord har som synes arseniken praktiskt taget försvunnit.

Vi sökte identifiera i vilken form som elementen kunde ha avgått ur virket från provfälten men kom ej till konkreta resultat. En teori var bland annat att arseniken metylerats under inverkan av bioorganismer såsom bakterier och enzymer. Det är känt att detta kan försiggå i naturen, varvid exempelvis arseniksyragrupper överföres till metylerade arseniksyror av typ metylarsonsyra eller dimetylarsinsyra (kakodylsyra). Dessa kan vara lättrörligare som metallsalter eller i organiska bindningar än de oorganiska metallarsenaterna. Med kännedom om den tid virket stått ute på fältet, och med rimliga antaganden beträffande belastningen från nederbörd och markfuktighet, sökte vi relatera kvarvarande respektive element Zn, Cr, Cu och As till kända data från lakningsförsöken på laboratoriet. Detta gick inte bra, då de kvarvarande mängderna var avsevärt mindre än som kunde förväntas genom den "ordinarie" utlakningen. Avgången av de aktiva elementen ur virket ute på fälten styrs av mikrobiella mekanismer helt artskilda från den fysikaliska utlakningen på laboratoriet i en tämligen steril miljö. Denna ger endast ett mått på hastigheten för fixeringsprodukternas upplösning i rent vatten och diffusionen till virkets yta. Vi kom nog till - liksom många andra som arbetar med träskydd - att resultaten från lakningsförsöken ofta övervärderas vid bedömningen av träskyddsmedel. Fortfarande finns stora luckor i vetandet om träskyddets fundamentala mekanismer, om föreningars och kemiska bindningars natur i vedens cellväggar och hur de upplöses under attacker från omgivningen av både oorganiskt och organiskt slag.

Fältförsök pågår även med systemet koppar-krom-fosfor (CCP). Som nämndes tidigare gjordes rötningsförsök i växthus där

arsenik i CCA-systemet helt eller delvis bytts ut mot fosfor. Rötskyddet var bra och synbarligen oberoende av om i systemet ingår As eller P eller blandningar härav. Resultaten bedömdes intressanta och vi fortsatte med ordinarie fältförsök i Simlångsdalen från 1960 och 1973 (47), i Madison och Mississippi från 1971 (48) och i Rotorua från 1972. Fältförsöken visar att man får ett tämligen bra träskydd med CCP redan vid relativt måttliga upptagningar. De goda resultaten från växthusförsöken kan dock inte helt upprepas i fält, då fosforsaltet i fältförsöken är klart sämre än det rena arseniksaltet som Boliden K33. Resultaten växlar något beroende av försöksfält. I Madison och Mississippi synes fosforsaltet angripas hårdare än i Simlångsdalen. Saltet med officiell beteckning Boliden P50 godkändes av Nordiska Träskyddsrådet 1975.

Undersökningar gjordes även med jordburksprovningar ("soil block tests"). Resultaten blev ganska dåliga, särskilt med kopparresistenta Coniophora puteana och Poria vaporaria (Antrodia sinuosa). P50 verkade här klart sämre än K33. Dessa undersökningar gjordes vid Skogshögskolan av Rennerfelt 1958 och av prof Björn Henningsson 1969 samt även 1966 och 1972 i Berlin vid Bundesanstalt für Materialprüfung BAM (54).

Korrosion av metaller i beröring med impregnerat virke undersöktes under 1960- och 1970-talen dels i växthuset på Rönnskär och i försöksfältet i Simlångsdalen. Det var många och långa serier med olika metaller i spik och skruv etc och olika träskyddsmedel. Som jämförelse studerades korrosionen i oimpregnerat virke. En viktig fråga var om korrosionen ökar genom koppar, då denna helt eller till del ersätter zink som fungicid metall. En annan fråga var elektrolyternas betydelse, d v s jämförelsen mellan "ionic" med "nonionic" preparat, särskilt för CCA-system. Vi var även mycket intresserade av hur CCP förhåller sig till CCA i korrosionshänseende. Fosfor och fosforsyra var ju kända inhibitorer. Sammanfattningsvis kan sägas, att de senare

utvecklade Bolidenmedlen inte synes medföra några egentliga korrosionsproblem. Förhållandena är ungefär som i oimpregnerat virke och ibland är impregneringarna till och med korrosionshindrande. En sammanfattande redogörelse för våra undersökningar finns från 1978 av Torgny Wallin och Folke Berglund i Svenska Träskyddsinstitutets Meddelandeserie (55). Resultat från andra korrosionsundersökningar i Simlångsdalen och annorstädes med de allmänt förekommande träskyddsmedlen inkluderande en del av tidigare nämnda finns också avrapporterade i Träskyddsinstitutets meddelanden (56).

Marina försök började Boliden med redan på 1930-talet. De avsåg att pröva impregneringens skydd mot träförstörande organismer, framför allt skeppsmask, i havsvatten. Provningarna förlades till Kristinebergs Marinbiologiska station i Fiskebäckskil. Från början ingick Zn-Cr-As såsom Boliden BIS + $ZnSO_4$, därefter delvis utbyte av Zn mot Cu i S25 och slutligen enbart Cu i CCA-sammansättningen K33. Genom byte av Zn mot Cu synes träskyddet förbättras avsevärt. Numera görs stora marina undersökningar i Norden genom Nordiska Träskyddsrådet. I dessa ingår även CCA och CCP-systemen från Boliden genom K33 och P50. En redogörelse om detta finns av Björn Henningsson och Eva Norman vid Lantbruksuniversitetet i Uppsala (57).

I USA gjordes marina försök vid William F Clapp Laboratories, Duxbury, Massachusets. Där finns den mycket kända och uppskattade marinbiologen och försöksledaren Beatrice R Richards. Vi besökte Clapp Laboratories 1954 och talade om prov med våra då nya kopparhaltiga medel S25 och K33. De var inte särskilt intresserade, eftersom de tidigare hade prövat BIS + Zn och tyckte, att resultaten inte varit så uppmuntrande. Emellertid kom vi överens om att starta nya försök. Furustavar av splint impregnerades med S25 och K33 i olika koncentrationer i april 1954 på Rönnskär. Virket sattes ut i maj 1954 i Wrightsville Beach, North Carolina, känd för hög aktivitet av marina träförstörare. De sista proven togs upp ur havsvattnet i juni 1975, varefter Beatrice Richards formulerade följande omdöme i slutrapporten (58).

"Wood panels treated with Boliden's K33 preservative were exposed to marine borer attack at Wrightsville Beach, North Carolina from May 30, 1954 to June 18, 1975.

The three panels treated with a K33 solution containing 28 grams As_2O_5 per liter show excellent resistance to teredinids and Limnoria attack after 21 years exposure. Internal inspection of the panels showed that very few of the teredinids and pholads that entered the longitudinal surfaces of the panel survived and grew large enough to cause structural damage. There is a definite increase in protection from attack when this concentration of preservative is used. Panels with the next lower level of concentration (20 g As_2O_5/l) failed completely after 16 years exposure."

Det var sålunda ett mycket gott betyg för K33. Lösningskoncentrationen var visserligen mycket hög, och vid praktisk impregnering blir det dyrt, men knappast prohibitivt, då det gäller att effektivt skydda värdefulla träkonstruktioner i havsvatten.

Efter avslutade prov fick vi virket tillbaka till Rönnskär. Enligt analys fanns det ungefär hälften av ursprunglig mängd koppar och arsenik kvar i veden, medan av kromen endast mycket små mängder avgått ur virket. I kalkavlagringarna i gångar och kaviteter fanns koppar, krom och arsenik, som man kan anta deponerats där av de marina organismerna. Strukturen undersöktes i scanningmikroskop och (fig 25) visade att virket var förvånansvärt väl bibehållet efter alla dessa år i havet. Pormembranen och torus hade försvunnit, porerna var blinda. På insidan av cellväggarna i trakeidlumen fanns ofta beläggningar, som inte kunde identifieras på Cu, Cr och As med röntgen. Ofta kunde ses fibriller som "lossnat" från väggarna.

8. DEN OPTIMALA CCA-SAMMANSÄTTNINGEN - FINNS DEN?

I vår forskning arbetade vi mycket med problemet rörande förhållandet mellan arsenik, krom och fungicid metall. Målsättningen var att finna det optimala läget, då egenskaperna

är de bästa möjliga. Vi undersökte ett antal olika kriterier såsom träskyddsverkan, fixering och löslighet, d v s sambandet sammansättningen och upplösningen i vatten till äkta lösningar utan fällningar, materialegenskaper för det impregnerade virket såsom elektriskt ledningsmotstånd och korrosion samt kostnader för i medlet ingående kemikalier. Vi utgick från den föreställningen, att arseniken var den viktigaste komponenten för träskyddet. För att bäst utnyttja arsenikens skyddsverkan skulle denna fixeras till en viss gräns i virket, som visserligen låg ganska högt men lägre än vad som i och för sig var möjligt att uppnå. Medlen för att fixera arseniken var krom och fungici metall som zink och/eller koppar. Dessa skulle ingå till den gräns, som bestämdes av arseniken. Användes överskott av krom och metall erhålles en försämring enligt nämnda kriterier och sammansättningen blir ej optimal. Denna utredning som gjordes i början av 50-talet finns i sammanfattning publicerad i patentskriften (3) för det s k idealsaltet med molformeln på oxidbasis: $1.2\ CuO + 1.5\ CrO_3 + As_2O_5$.

Under det inledande utvecklingsskedet av CCA under 1930- och 1940-talen forskades det livligt på olika håll, och det är intressant att finna överensstämmande tankar och teorier. En omfattande redogörelse finns från Bell Telephone Co, USA, där William McMahon arbetade som forskare och kemist. Utgående från tidigare arbeten av Sonti Kamesam (5) undersökte McMahon CCA av "nonionic" typ. Det inträffade en patentkollision s k "interference" i amerikanska patentverket mellan samtidiga uppfinningar av Bror Häger och McMahon. I partsinlagan för McMahon (7) ges en detaljerad inblick i forskningens målsättningar och experiment. Senare gav Bell Telephone System en utförlig presentation (59) av träskyddsmedlen "Greensalt" i AWPA Proceedings, som dock i huvudsak behandlar "ionic" CCA med lösliga salter.

Fram emot 1960- och 1970-talen började vi få resultaten från växthus- och fältförsök. Däri ingick många olika CCA-sammansättningar. Det blev nu möjligt att relatera rötskyddet till mängderna av koppar, krom och arsenik som fanns i virket.

Det visade sig då, att skyddsverkan ofta var särskilt beroende av mängden koppar, medan mängderna av krom och arsenik och förhållandet dem emellan verkade ha jämförelsevis mindre betydelse. Vid fältförsök i varmare länder och tropikerna med höga aktiviteter av både soft rot och termiter, kan resultaten tyda på att man bör ligga högt i såväl koppar- som arsenikhalt, medan kromhalten kan vara jämförelsevis låg. Nämnda erfarenheter gäller impregnering av torr furu (Pinus sylvestris) och besläktade Pinusarter. Virke från lövträd, särskilt impregnerade med saftförträngnings- och diffusionsmetoder, synes kunna ge mycket avvikande och starkt växlande resultat jämfört med furu, men här är vårt material mera begränsat. Sannolikt ger de vanliga CCA-systemen allt för snabba reaktioner i virket, så att inträngning och fördelning inte blir så bra. Dessa kan förbättras genom kända tillsatser till CCA-systemet som verkar så att hastigheten för redoxreaktionerna mellan CCA-lösning och virket går långsammare, och även i vissa fall så att kopparjonerna i lösningen komplexbindes, varigenom kopparbindningen med pormembranens lignin och resulterande blockering av öppningarna i pormembranen minskar i omfattning. Det är emellertid alltid tidskrävande och komplicerat att modifiera etablerade CCA-system, genom att ändringarna måste prövas många år i fältförsök före ett godkännande.

Till frågan om den optimala sammansättningen för CCA-system kom vi nog under de senare åren till tron, att den ej existerar i den meningen, att en viss bestämd sammansättning generellt i alla lägen är bäst. Snarare bör nog CCA-systemen nyanseras och varieras beroende på klimat, markförhållanden och träslag, där de skall användas.

Bror Häger har studerat kopparradikalens betydelse för träskydd, som framgår av en mycket intressant uppsats utgiven genom Ingenjörsvetenskapsakademien (60). Han analyserar resultaten från många olika fältförsök, där Cu ingår i många olika sammansättningar bl a även CCA-medel. Han visar på ett starkt samband mellan kopparmängden i virket och skyddsverkan. I ett annat arbete av Häger (61) diskuteras även kopparradikalens

betydelse som avgörande, medan mängden arsenik kan minskas eller utbytas mot fosfor helt eller delvis, utan att skyddsvärdet försämras i avgörande grad. I många fall kan det med hänsyn till virkets egenskaper och användning vara en fördel att hålla en låg arsenikhalt eller helt utesluta arseniken. I början av 1950-talet fick Boliden överta Hägers patent på CCA-sammansättningen K33 (62). Med dagens perspektiv är det väl ingen tvekan om, att detta var ett lyckokast. K33 har ju visat sig vara en utomordentlig effektiv sammansättning, som numera till och med kan sägas bildat skola, då i många fältförsök K33 inkluderas som en slags standard för de andra medlen att jämföras med. K33 hade även en annan stor fördel, som vi först senare blev på det klara med. Det visade sig, att denna sammansättning mycket väl låter sig framställas i pastaform med den kemiska föreningen CCA-321 som fast fas. Sannolikt befinner sig CCA-321 i en stabil jämvikt i K33-systemet. K33-saltet blir därför hållbart och lätt att arbeta med i praktiken. Vi kunde inte samla tillräckligt med data för att konstruera ett mera fullständigt fasdiagram för det ternära systemet Cu-Cr-As vid ifrågakommande vattenhalt, men troligen är området för CCA-321 i jämvikt ganska begränsat. Man behöver inte avlägsna sig särskilt långt från K33-sammansättningen, genom att öka Cu och As och minska Cr, förrän man hamnar i ett labilt tillstånd utanför jämviktsområdet. I praktiken sker då i pastan omstruktureringar som gör, att den inte längre är tillräckligt hållbar.

I tabell 3 nedan finns sammansättningar från vanliga CCA-patent samt enligt AWPA's standarder.

Tabell 3. Sammansättning hos några vanliga patenterade CCA-medel samt AWPA's CCA-typer A, B och C

Patent/Typ		Molformel	Elementsvikts %		
			Cu	Cr	As
Sontl Kamesam	Brit Pat 404855, 1933-05-17	$3.2CuO+5.4CrO_3+As_2O_5$	32.0	44.4	23.6
" "	" " " " " "	$3.2CuO+9.0CrO_3+As_2O_5$	24.7	57.1	18.2
William McMahon	U S Pat 2438511, 1941-12-31	$3.3CuO+8.0CrO_3+As_2O_5$	26.9	53.8	19.3
Bror Häger	Sv Pat 139177, 1947-02-07	$1.3CuO+1.8CrO_3+As_2O_5$	24.7	28.9	46.4
Boliden	Sv Pat 144420, 1951-08-06	$1.2CuO+1.5CrO_3+As_2O_5$	25.1	25.6	49.3
AWPA Typ A		$3.2CuO+9.2CrO_3+As_2O_5$	24.5	57.6	17.9
AWPA Typ B		$1.3CuO+1.8CrO_3+As_2O_5$	24.7	28.9	46.4
AWPA Typ C		$1.6CuO+3.2CrO_3+As_2O_5$	24.0	40.1	35.9

En vanlig taktik hos uppfinnare är att söka inringa ett revir (fig 1), som man tar till ordentligt för att täcka ett möjligt intresseområde, och vari sedan ingår en "preferred composition", som är bäst. I tabellen ovan anges för denna, dels molformeln i oxidform och dels mängden koppar, krom och arsenik som element i viktsprocent av summamängden element. Hägers patent avser K33-sammansättningen, och denna har även intagits i AWPA standard typ B. Kamesam anger inte någon enstaka preferens utan sammansättningen i det ternära löslighetsdiagrammet enligt fig 2 för Cu-Cr-As representeras av en rät linje mellan de i tabellen angivna punkterna. Den övre kommer sannolikt utanför löslighetskurvan, varför det förefaller tveksamt om lösningar med denna höga kopparhalt kan beredas. Troligen är det undre prefererade värdet i tabellen mer representativt för Kamesam. Man finner då, att samtliga medel innehåller ungefär lika mycket koppar. Detta skulle innebära att de ger lika värden för rötskyddet vid lika upptagningar i virket räknat som summan av elementen Cu+Cr+As. Många av resultaten från våra försök i fälten och växthus tyder även på detta.

Från fältförsök i USA med tretton olika CCA-sammansättningar har resultaten undersökts (63). En sammansättning motsvarande ungefär AWPA typ C synes ge det bästa träskyddet, och det framhålles, att en ännu högre kopparhalt vid konstant Cr-As förhållande sannolikt ger ännu bättre resultat.

9. SLUTORD

Bolidens forskningar på träskydd startade i början av 1930-talet och slutade i början av 1970-talet och pågick således i gott och väl 40 år. Det började med avsikten att "finna avsättning för arseniken". Det har varit en mycket massiv forskningsinsats som kostat bolaget mycket pengar. Det finns knappast något annat verksamhetsområde inom bolaget som ägnats ett liknande koncentrerat forskningsarbete under en så lång tid. Härtill kommer det att det varit fråga om ett ganska marginellt intresseområde utanför bolagets egentliga

aktiviteter att driva gruvrörelsen och framställa icke-järnmetaller. Med dagens perspektiv och med de stränga kriterier och analyser som nu läggs på forskningsprojekts målinriktning och kostnader är det nog ganska tveksamt om ett forskningsarbete av denna 40-åriga dimension skulle ha kommit till stånd.

Har då insatserna varit motiverade? På detta kan man troligen svara både ja och nej. Ser man det rent företagsekonomiskt på utfallet av tillverkningen och försäljningen av träskyddsmedel blir nog svaret nej, då resultatet inte under någon tid synes ha varit tillräckligt för att rättfärdiga forskningsinsatsen. Å andra sidan är det nog ingen tvekan om att Bolidens forskningar haft en mycket stor betydelse för träskyddets utveckling i allmänhet och CCA-medlens i synnerhet. För folkhushåll och nationalekonomier är träskyddet viktigt. Det sparar på naturresursen trä. Det är inte minst viktigt i U-länderna. Kanske kan man hänföra Bolidens insats till avdelningen altruistisk industriforskning med inslag av något av en kulturgärning.

Med användningen av arsenikhaltiga träskyddsmedel har utvecklats mycket internationellt särskilt under senare decennier. Man räknar numera med att träskyddet är det största enskilda användningsföremålet för arsenik och som svarar för mer än 30 % av den samlade totala världsförbrukningen av arsenik. Så en viss realitet ligger däri om man säger, att det gamla fältropet att finna avsättning för arseniken har gått i uppfyllelse. Det är även klart att utvecklingen av träskyddet har påverkat priser och avsättningsmarknaden gynnsamt för arsenikråvaran som sådan. Detta har givetvis kommit producenterna av arsenik tillgodo icke blott Boliden utan även många andra producenter på olika håll i världen. Gamla sanningar blir som nya: man tar igen på gungorna vad man förlorar på karusellen- eller var det kanske tvärtom?

LITTERATUR

1. Häger, B O, Sv Pat 96138 (1935)
2. Häger, B O, Henriksson, S T: Sv Pat 119718 (1943)
3. Sandström, S G, Henriksson, S T: Sv Pat 144420 (1951)
4. Häger, B O: Sv Pat 143080 (1947)
5. Kamesam, S: Br Pat 404855 (1933)
6. McMahon, W : U S Pat 2438511 (1941)
7. McMahon, W : U S Patent Office, Interference No 80366 (1942)
8. McMahon, W , Hill, C M, Koch, F G: Greensalt - a new preservative for wood. AWPA Proc 38, 334-48 (1942)
9. Wallace, E M: The copper-chrome-arsenate preservatives and their use in modern wood preservation. AWPA Proc 64 (1968)
10. Henry, W T, Jeroski, E B: Relationship of arsenic concentration to the leachability of chromated copper arsenate formulations. AWPA Proc 63: 1-6 (1967)
11. Mas, M R: Contribution a l'étude des arseniates de cuivre. Ann de Chim 12 série, 459-504 (1949)
12. Henriksson, S T, Lindström, S Ö: Sv Pat 326433 (1967)
13. Henriksson, S T: Sv Pat 329388 (1969)
14. Henriksson, S T: Sv Pat 321337 (1963)
15. Brown, Panshin, Forsaith: Textbook of wood technology, vol I and II (1949, 1952)
16. Trendelenburg, R: Das Holz als Rohstoff (1939)
17. Wise, L E: Wood Chemistry (1944)
18. Tiemann, H O: Wood Technology (1947)
19. Bailey, I W: The structure of the pit membranes in the tracheids of conifers and their relation to the penetration of gases, liquids and finely divided solids into green and seasoned woods. For Quart Bd 11:12-20 (1913)

20. Bailey, I W: The structure of the bordered pits of conifers and its bearing upon tension hypothesis of the ascend of sap in plants. Bot Gaz Bd: 62:133-142 (1916)

21. Stamm, A J: Passage of liquids, vapors and dissolved materials through soft woods. Techn Bulletin No 929, U S Dept of Agriculture (1946)

22. Stamm, A J: The capillary structure of soft woods. Journal of Agricultural Research, vol 38:23-67 (1929)

23. Stamm, A J: The effect of changes in the equilibrium relative vapor pressure upon the capillary structure of wood. Physics 6, 334 (1935)

24. Stamm, A J: An electrical conductivity method for determining the effective capillary dimensions of wood. Journal of Physical Chem 312-324 (1932)

25. Erickson, H D, Schmitz, H, Gortner, R A: Directional Permeability of Seasoned Woods to Water and some Factors which Effect it. Journal of Agricultural Research, vol 56, 711-46 (1938),(AWPA Proc 55, 210-20 (1959), AWPA Proc 56, 156-65 (1960))

26. Phillips, E W: Movement of the pit membrane in coniferous wood with special reference to preservative treatment. Forestry 7:109 (1933)

27. Griffin, G J: Bordered pits in Douglas fir: A study of position of the torus in mountain and lowland specimens in relation to creosote penentration. Journal of Forestry 17, 813 (1919). Further notes Journal of Forestry 22, 82 (1924)

28. Hunt and Garratt: Wood Preservation (1953)

29. Mahlke-Troschel-Liese: Holzkonservierung (1950)

30. Henriksson, S T: Some experiments with oscillating pressures in wood impregnation. Rec BWPA Ann Conv 154-68 (1958)

31. Henriksson, S T: Sv Pat 175444 (1961)

32. Henriksson, S T: Holztränkung nach der Wechseldruck-Methode. Holz als Roh- und Werkstoff, Bd 12:233-41 (1954)

33. Blew, J O, Henriksson, S T, Hudson, M S: Oscillating Pressure. Treatment of 10 U S Woods, For Prod Journal: 11, 275, 275-81 (1961)

34. Hudson, M S, Henriksson, S T: The oscillating pressure method of wood impregnation. For Prod Journal, Vol VI No 10: 381-86 (1956)

35. Rennerfelt, E: Fäulnisversuche mit nach der Wechseldruck-Methode getränktem Holz. Holz als Roh- und Werkstoff: 12, 267-70 (1954)

36. Henriksson, S T, Bellman, H, Benker, J: Erfahrungen mit den Wechseldruckverfahren bei der Imprägnierung von Fichten-Masten mit Kupfer-Chrom-Arsen-haltigen Salzgemischen. Mitteilungen der deutschen Gesellschaft für Holzforschung: Heft 48, 84-88 (1961)

37. Wälchli, O: Oscillating pressure method: J Inst of wood science, vol 5(2): 42-43

38. Wälchli, O: Neue Methoden der Stangenimprägnierung. Bulletin des SEV: 54 No 22, 213-20 (1963)

39. McQuire, A J: The oscillating pressure method for the impregnation of New Zealand grown timber. Forest Res Inst, New Zealand Forest Service, Technical paper No 44, 1-30 (1964)

40. McQuire, A J: OPM treatment of green timber - Further developments. The New Zealand Timber J, Aug and Sept. New Zealand Forest Service Reprint No 241 (1966)

41. Sewell, C P B: Some Aspects of timber treatment by the oscillating pressure method. Ann Conf of the New Zealand Wood Preservers' Assoc Proceedings (1966)

42. N Z Timber Preservation Authority Timber Preservation in New Zealand. II. Specifications. Treatment specification. VIII. Oscillating Pressure Method (OPM), 107-112 (1966). Process Specification P9, OPM (1969a)

43. Dahlgren, S E: The course of fixation of Cu-Cr-As wood preservatives. Rec BWPA Ann Conv 109-128 (1972)

44. Greaves, H: Structural Distribution of chemical components in preservative-treated wood by energy dispersion of X-ray analysis. Material und Organismen 7 Bd Heft 4 (1972)

45. Greaves, H: The microdistribution of copper-chrome-arsenic in preservative-treated sap woods using X-ray microanalysis in scanning electron microscopy. Holzforschung 28:6, 193-200 (1974)

46. Blew, O, Hegge, W J: Test on posts of several species including conventional pressure and oscillating pressure treatments with copperized chromated zinc arsenate (Bolidens salt S-25) and conventional pressure treatment with coal-tar creosote. (Report of treatment of posts and installation at Harrison Experimental Forest, Saucier, Miss). Forest Products Lab, Wisconsin report Preservation 4-2 (1958)

47. Bergman, Ö, Mazur, F: Fältförsök med träskyddsmedel. 1980 års revision. Svenska Träskyddsinstitutets Meddelande nr 142 (1982)

48. Gjovik, L R, Gutzmer, D I: Comparison of wood preservatives in stake tests (1981 Progress report). For Prod Lab Madison Wisc Research, note FPL-02 (1981)

49. Borsholt, E: NWPC field test no 1 with pressure preservatives. Results during 10 years' testing. NWPC Information no 9 (1979)

50. American Wood-Preservers' Association, Proc 69, 167 (1973)

51. Rennerfelt, E: A comparison between Swedish field tests and laboratory experiments with some wood preservatives. AWPA Proc 59, 19-28 (1963)

52. Liese, W, Hartmann-Fahnenbrock, M: Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Hoftüpfel der Nadelhölzer. Biochimica et Biophysica Acta, vol 11, 190-197 (1953)

53. McQuire, A J: Ground contact retentions for copper-chrome-arsenate preservatives. AWPA Proc 68, 22-29 (1972)

54. Becker, G, Gersonde, M, Kühne, H: Prüfungszeugnis Bolidensalz P50 Aktenzeichen: 2.4/12541 (1966), Aktenzeichen 5.1/1934 (1972), Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin

55. Berglund, F, Wallin, T: Korrosion av spik och skruv i impregnerat virke. Svenska Träskyddsinstitutet, Meddelande nr 131 (1978)

56. Henningsson, B, Jermer, J: Undersökningar av korrosion på metallföremål i kontakt med impregnerat virke utomhus. Svenska Träskyddsinstitutet, Meddelande nr 144 (1982)

57. Henningsson, B, Norman, E: Description of a trial with wood preservatives against marine wood boring organisms. A marine borer test with water-borne preservatives. The International Research Group on Wood Preservation (IRG), Document no IRG/WP 412 and 452 (1980)

58. Richards, B R: Marine borer panels, Wrightsville North Carolina. Final report to Boliden AB, no 14619 (1975) William F Clapp Laboratories, Duxbury, Massachusetts

59. McMahon, W, Hill, C M, Koch, F C: Greensalt - a new preservative for wood. Bell Telephone System, Monograph B-1342. AWPA Proc 38 (1942)

60. Häger, B: Fältförsök med olika skyddande ämneskombinationer avsedda för tryckimpregnering av virke mot röta och insekter. Tekniska Forskningsrådet (TFR) ärende 2795 (1961). Ingenjörsvetenskapsakademiens Bibliotek

61. Häger, B: Improvements in or relating to wood preservative compounds. Br Pat Specification 1238469 (1971)

62. Häger, B: Sätt för framställning av medel, speciellt avsett för konservering av trä och andra organiska material, samt sålunda framställt medel. Svensk Patent nr 139177 (1953)

63. Hartford, W H, Fahlstrom, G B, Colley, R H: The effect of composition on the effectiveness of CCA preservatives. 11. Update from 1978 and application of both performance index and log-probability statistics to recent data. AWPA Proc 78, 111-119 (1982)

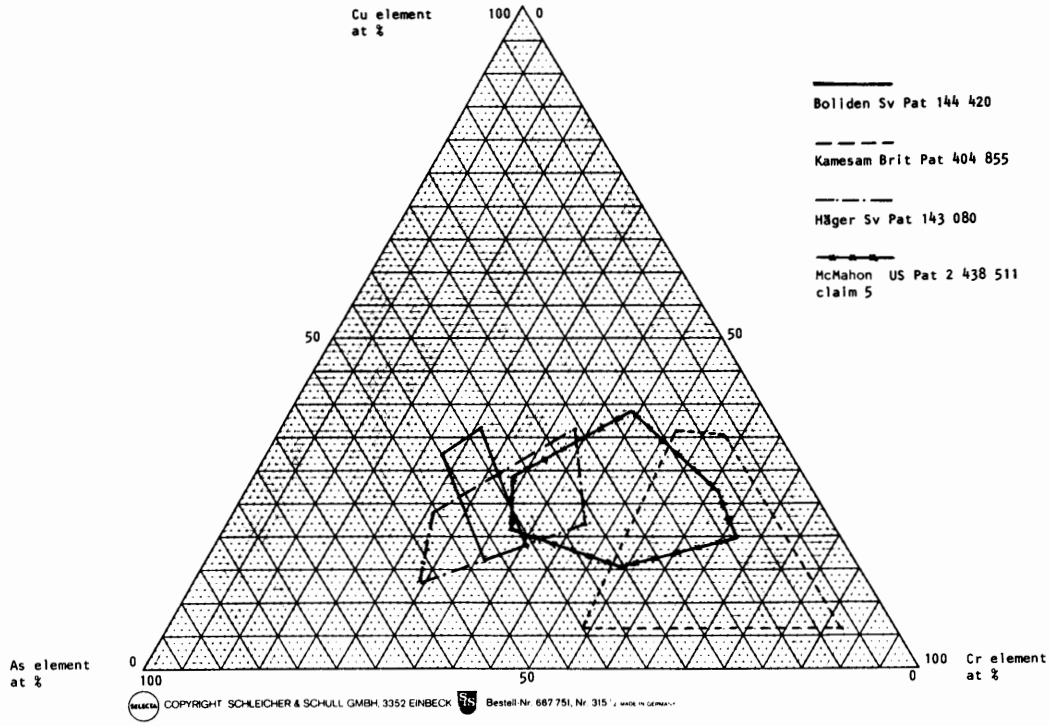


Fig 1.

Sammansättningens variationsområde för några kända, patenterade CCA-medel.

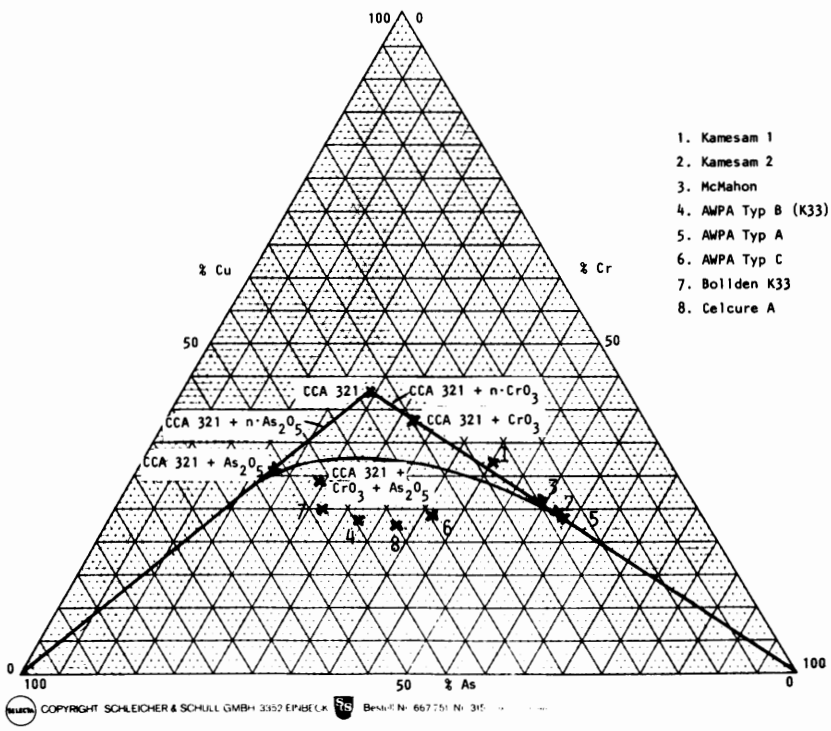


Fig 2.

Sammansättningen för några CCA-medel, samt löslighetskurvan för impregneringslösningar motsvarande ca 1 % As_2O_5.

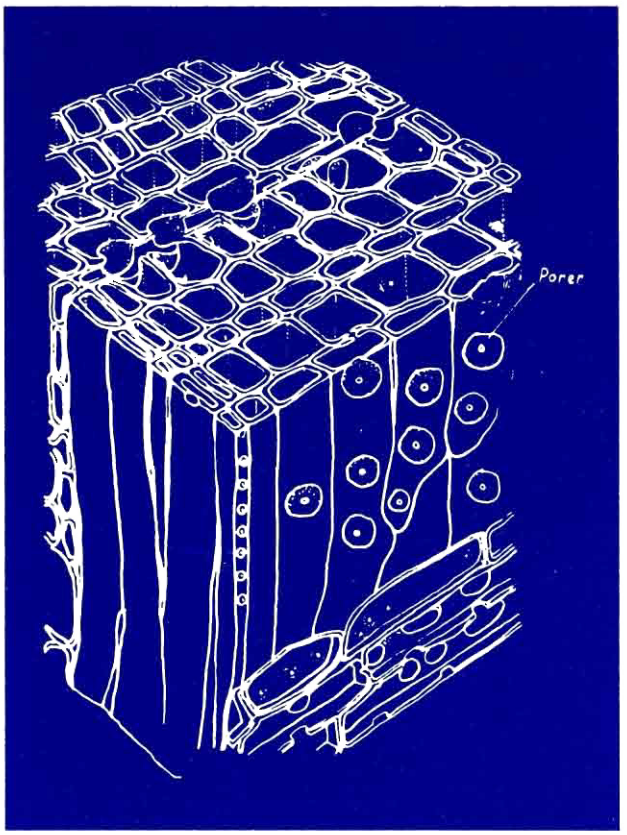


Fig 3.
Schematisk teckning av typisk barrved.

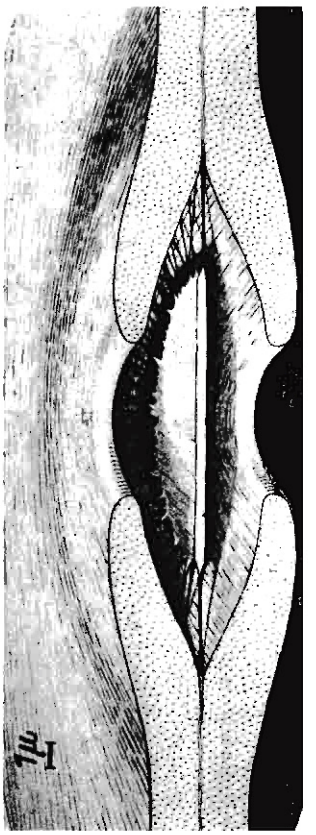


Fig 4.
Detalj av ringpor. I mitten syns torus som är upphängd i ett membran av fina trådar.



Fig 5.
Överst: Ringporens uppbyggnad.
Nederst t v: öppen ringpor.
Nederst t h: stängd ringpor.

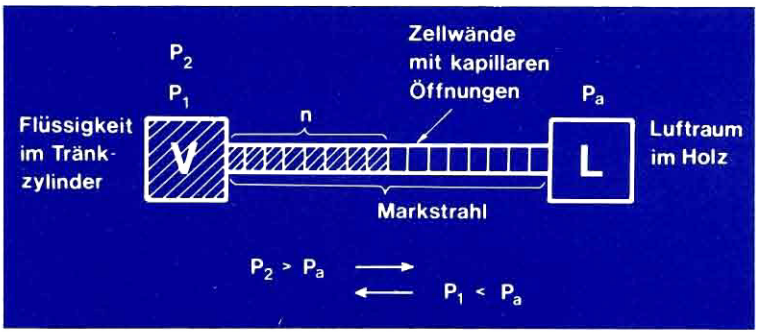


Fig 6.
Schematisk modell för vätskeinträngningen i barrved.
Då $P_2 > P_a$ gäller $P = (P_2 - P_a)/n$,
och då $P_1 < P_a$ gäller $P = (P_a - P_1)/n$.

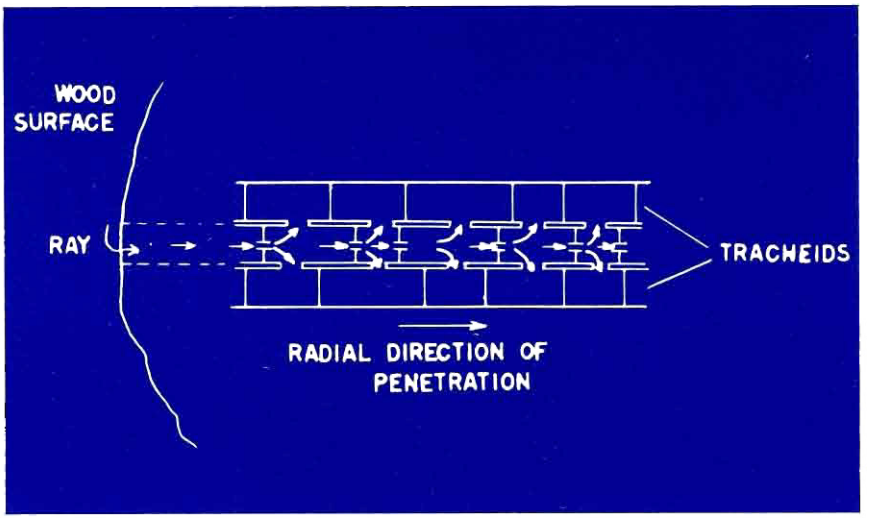


Fig 7.
Modell för radiell inträngning av impregneringslösning i barrved. Lösningen tränger in via märgstrålarna och fördelar sig sedan tangentiellt i de omkringliggande trakeidcellerna.

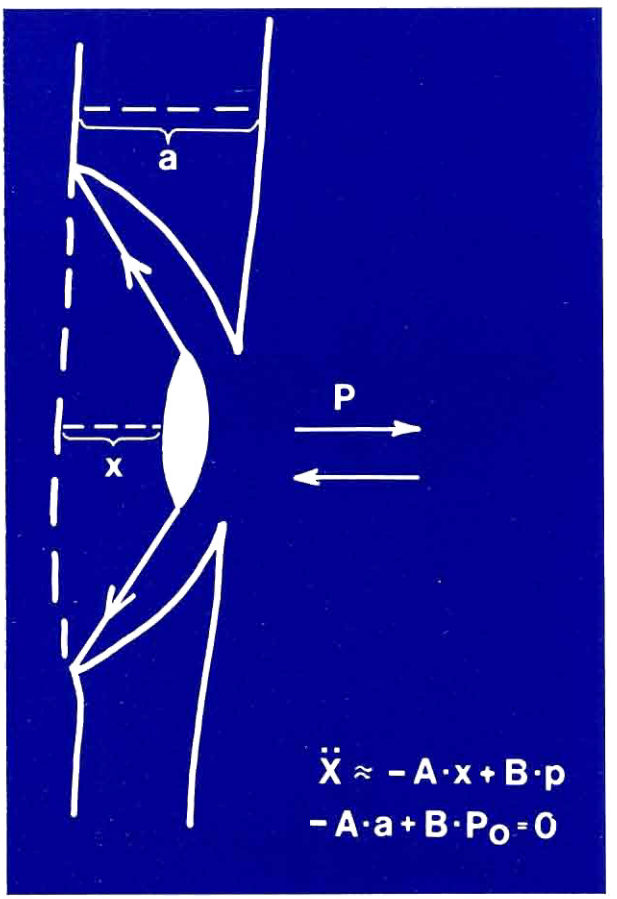


Fig 8.
Grundläggande ekvationer för torus rörelse.

$$\phi = \phi_0 \frac{1-F_0}{1-F} \sqrt{\frac{(P_a-P_1+P_0)\cdot n}{P_a-P_1+n\cdot P_0}}$$

$$c \cdot \frac{P_0}{P_a-P_1} \cdot \frac{1}{K+1} \cdot t = \frac{2F^3}{3} + \frac{F^2}{K+1} - \frac{2K\cdot F}{(K+1)^2} - \frac{2K}{(K+1)^3} \cdot \ln\left[(K+1)\cdot F-1\right] + C_1$$

$$F^2 = \frac{1}{K+1}\left(1 + \frac{n\cdot P_0}{P_a-P_1}\right)$$

$$K = \frac{P_2-P_a}{P_a-P_1}$$

$$C_1 : F = \frac{1}{\sqrt{K+1}} \quad (t = 0;\ n = 0)$$

ϕ = Periodlängd

ϕ_0 = Periodlängd i initialskedet

F = Fördelning (=förhållandet (%) mellan tiden för övertrycket och hela perioden)

F_0 = Fördelningen i initialskedet

P_a = Lufttrycket i cellerna

P_0 = Porstängningstrycket

P_1 = Undertryck

P_2 = Övertryck

n = Antal porer

C = Materialkonstant

t = Tiden

Fig 9.

Ekvation för periodlängd, fördelning och inträngning vid OPM-impregnering.

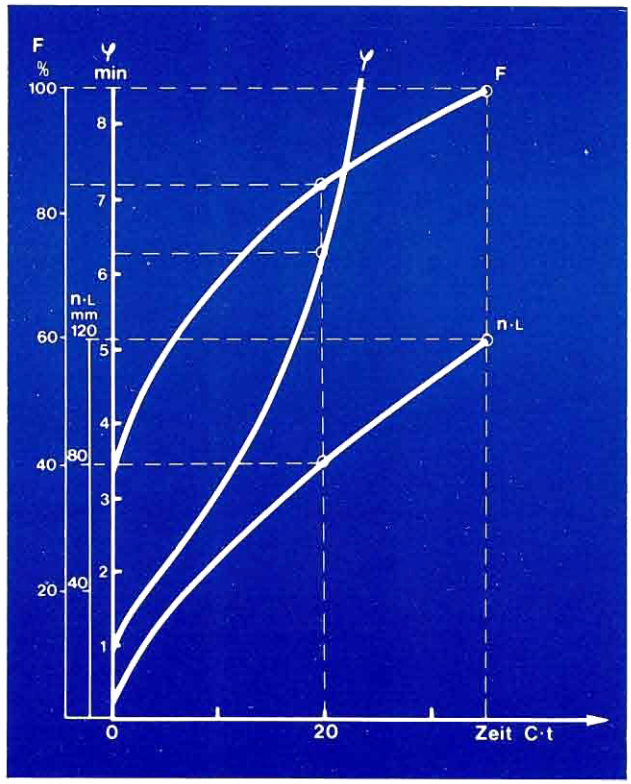


Fig 10.

Variationen i periodlängd Ø, fördelning F och inträngning n·L som funktion av tiden.

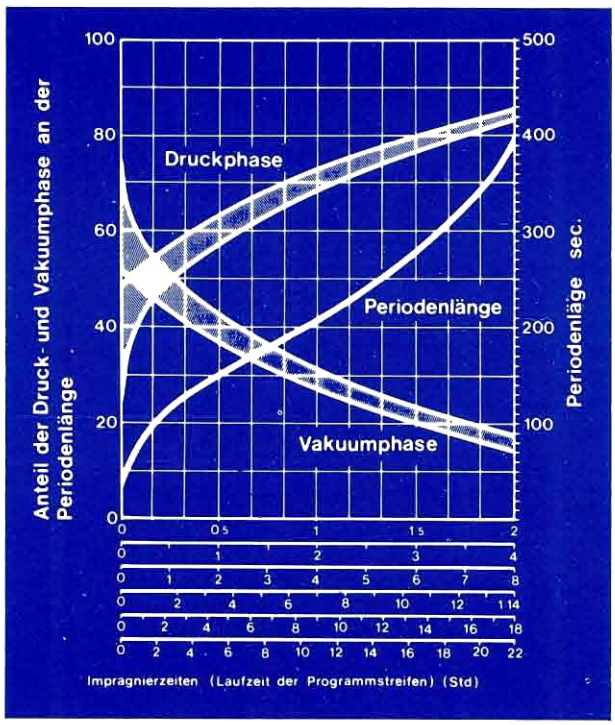


Fig 11.

Program för OPM-impregnering.

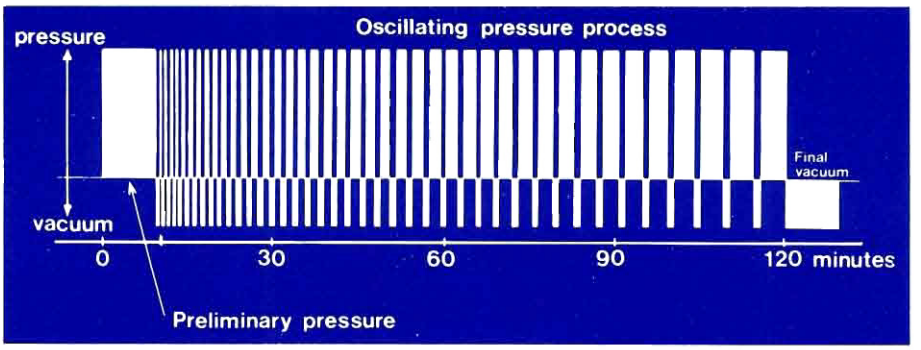
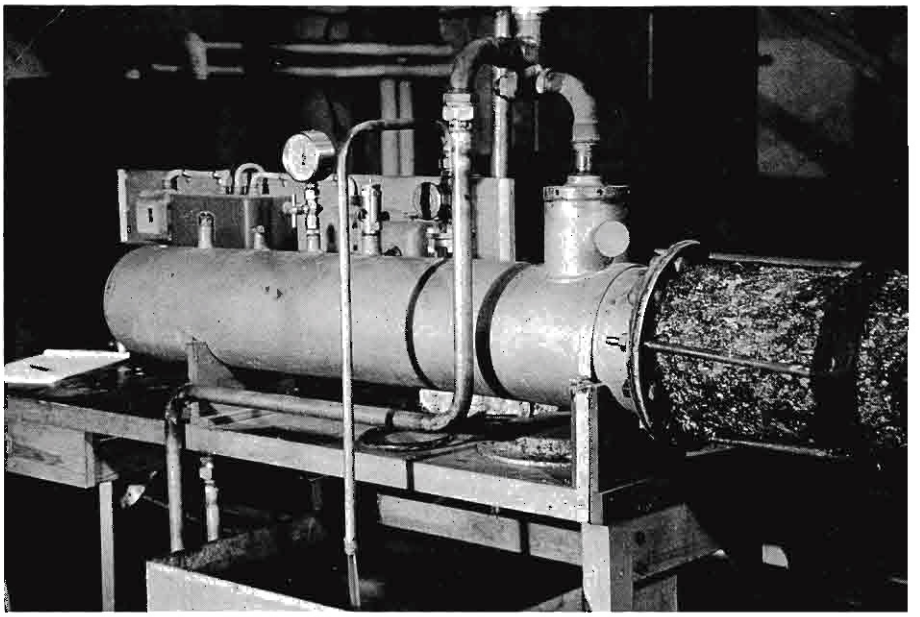


Fig 12.

Schematisk beskrivning av OPM-program upptecknat med tryckskrivare.



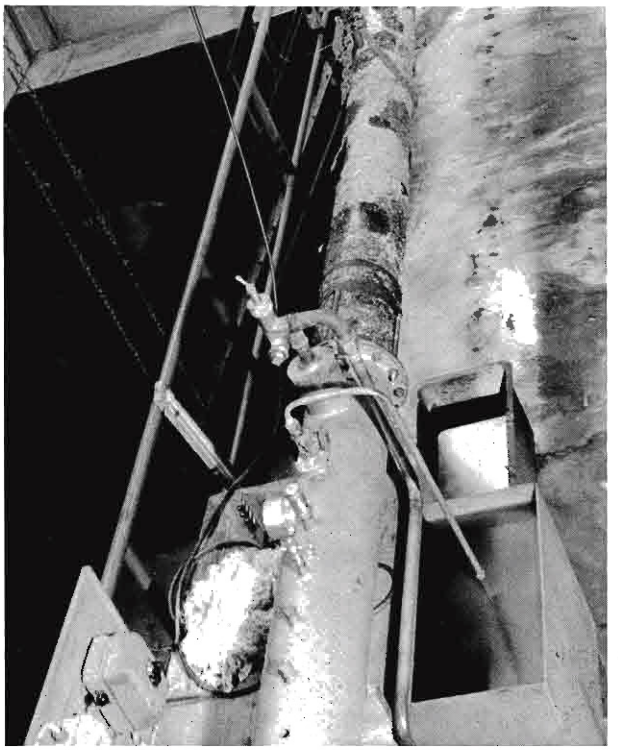


Fig 13 och 14.

Apparatur för bestämning av porstängningstrycket.

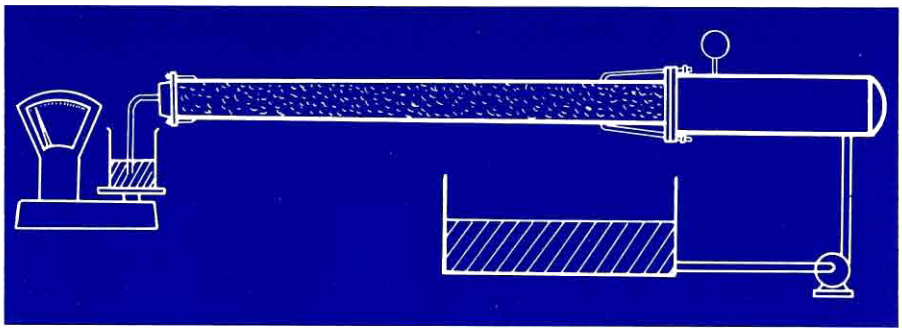


Fig 15.
Principskiss över apparaten för bestämning av porstängningstrycket.

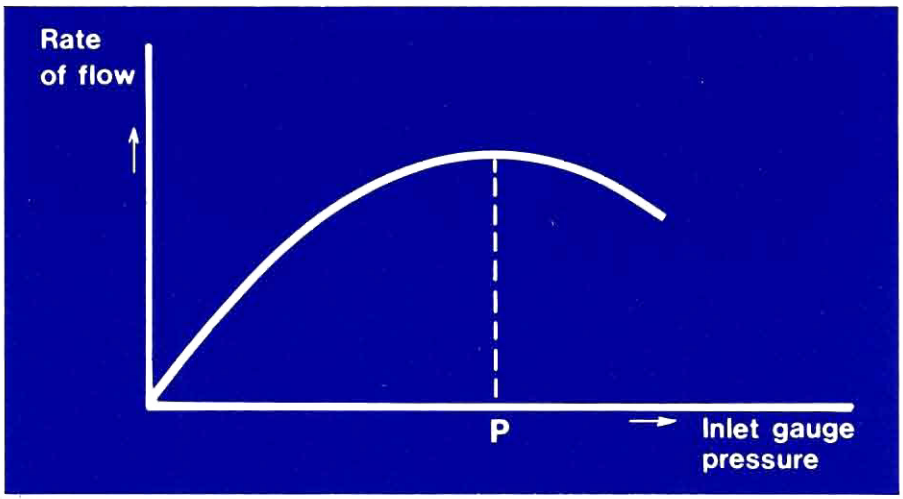


Fig 16.
Strömningshastigheten som funktion av tryckfallet. P antas motsvara porstängningstrycket.

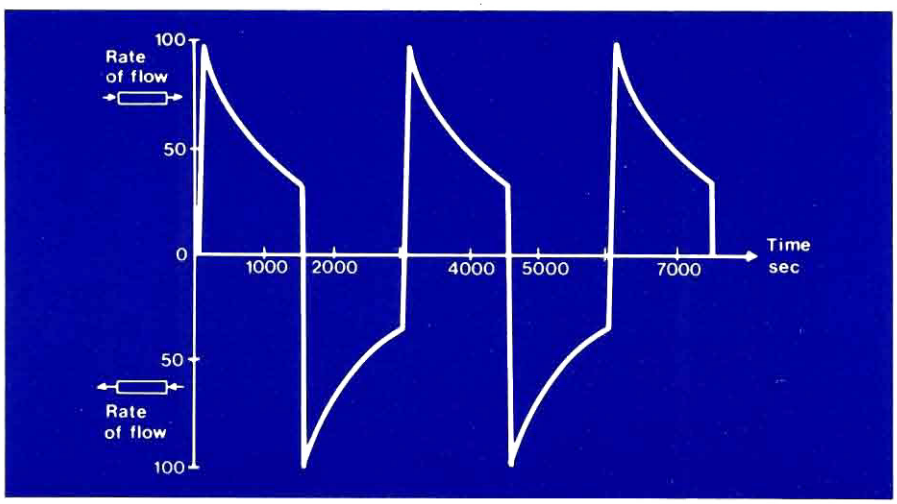


Fig 17.
Strömningshastigheten som funktion av tiden vid strömning i »normal» och reverserad riktning. Tryckfallet är betydligt över porstängningstrycket och lika i båda strömningsriktningarna.

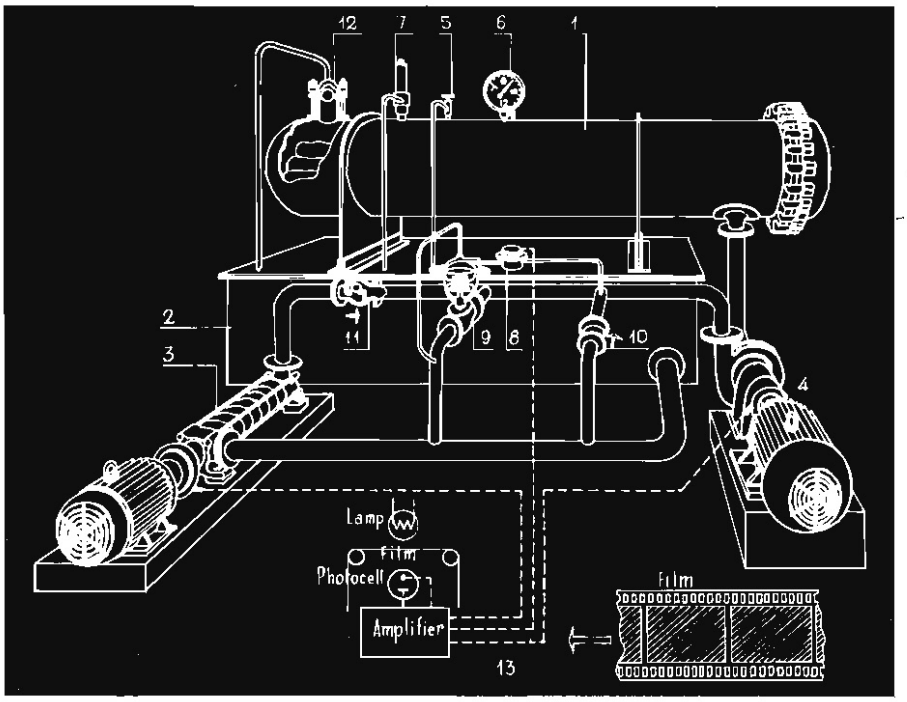


Fig 18.
Principskiss över Bolidenbolagets försöksanläggning för OPM-impregnering.

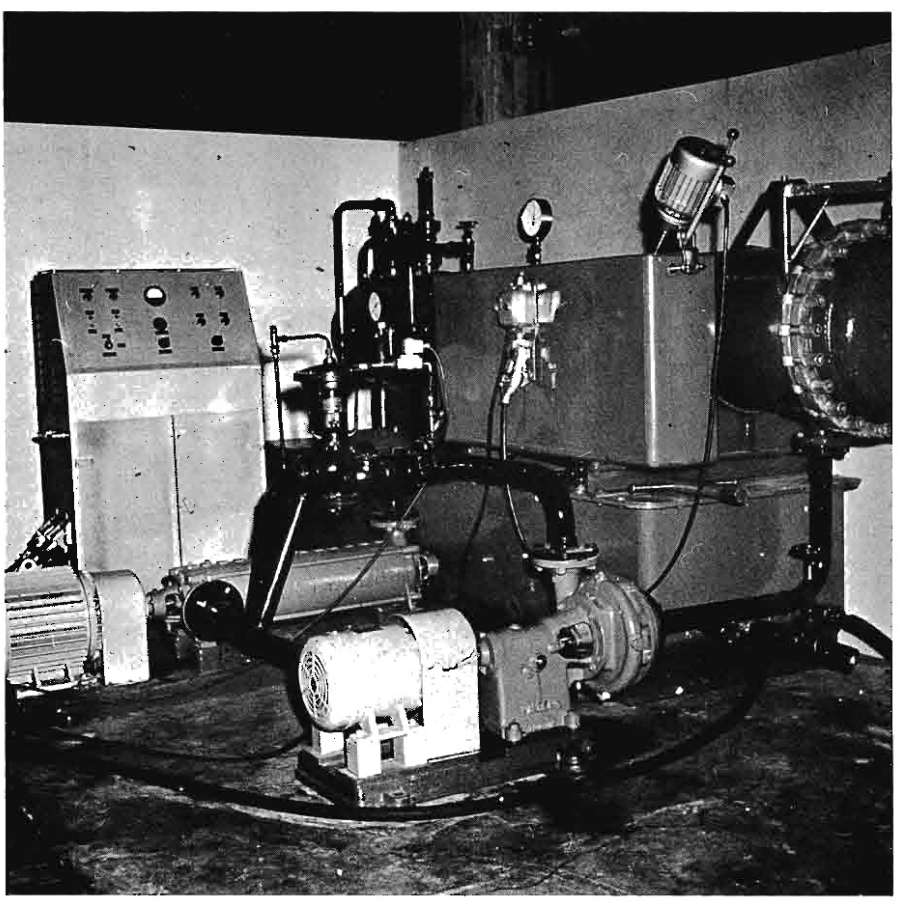


Fig 19.
Bolidenbolagets försöksanläggning för OPM-impregnering.

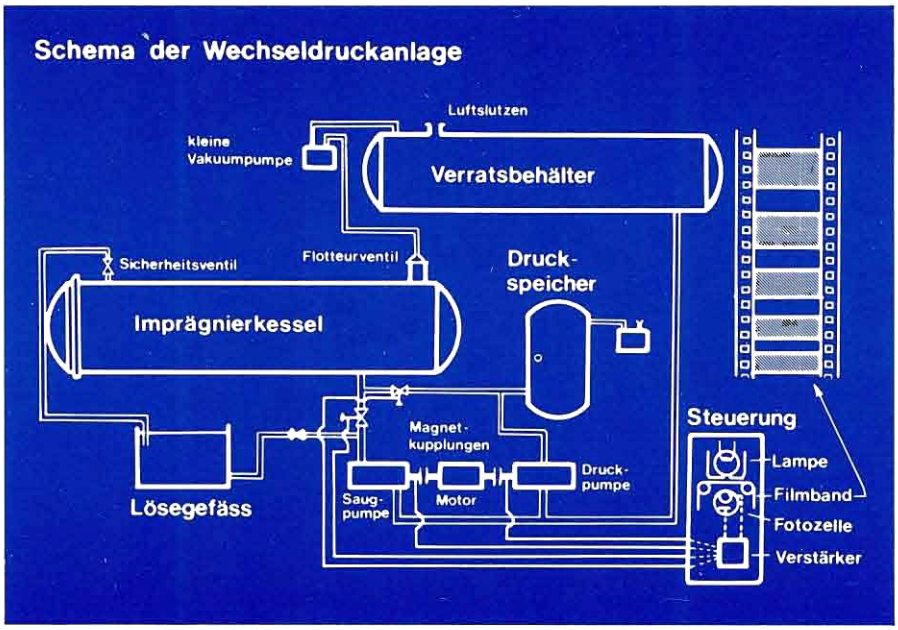


Fig 20.
Principskiss över OPM-anläggningen i Hörgertshausen i Sydtyskland.

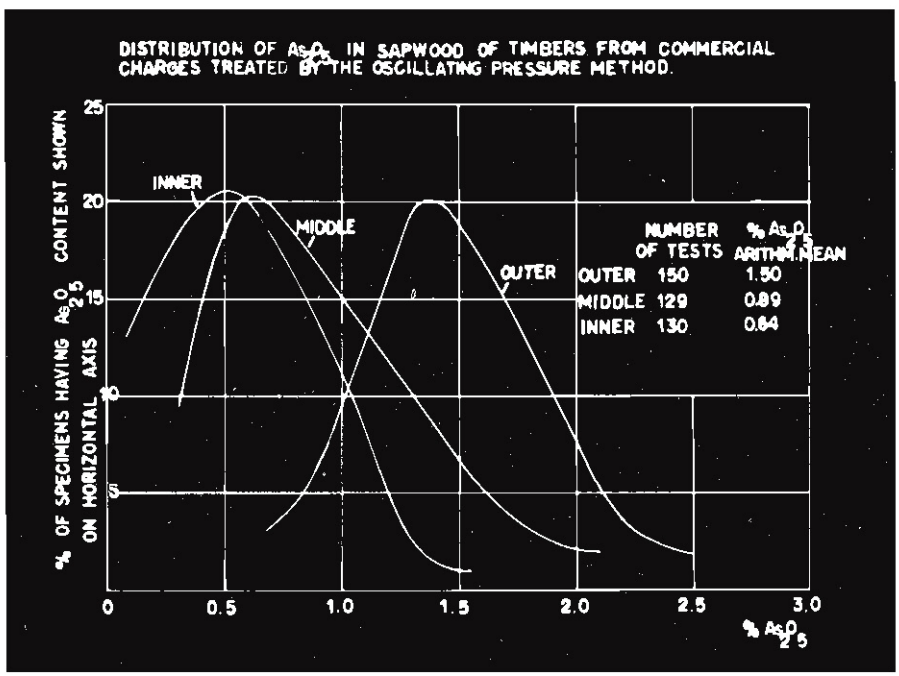


Fig 21.
Fördelning av As_2O_5 i tre splintskikt av OPM-impregnerat rått granvirke.

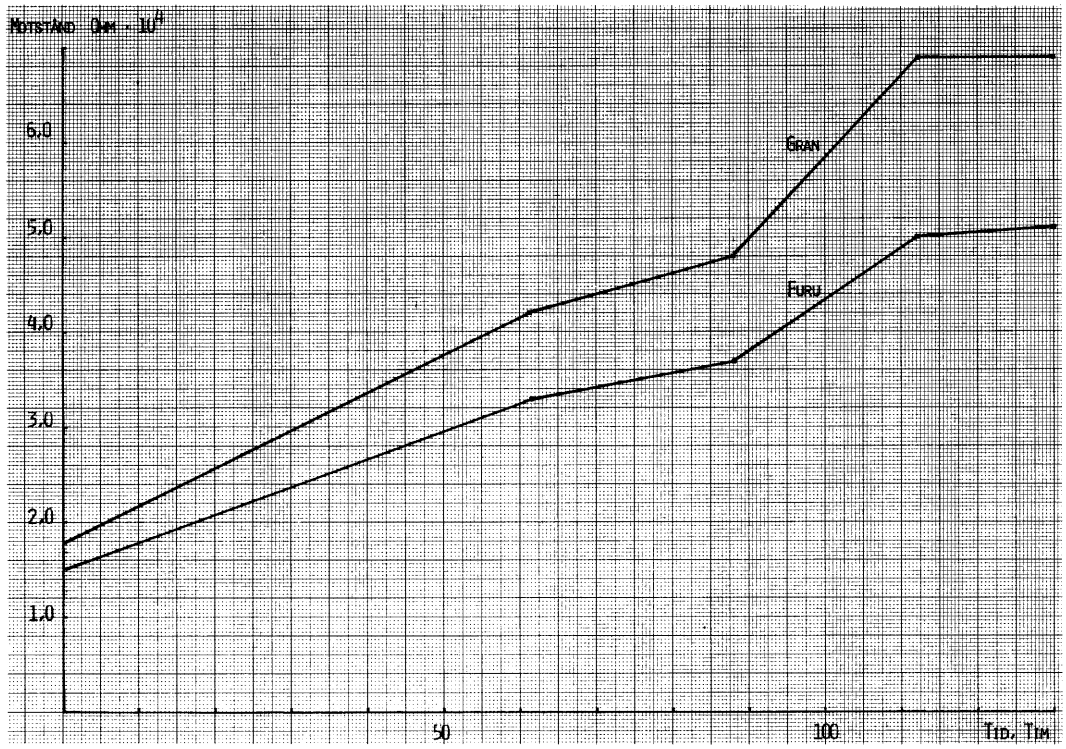


Fig 22.

Det elektriska motståndet hos OPM-impregnerade furu- och granstavar som funktion av tiden. Impregneringslösningens koncentration motsvarar ca 3,5 g As_2O_5/liter.

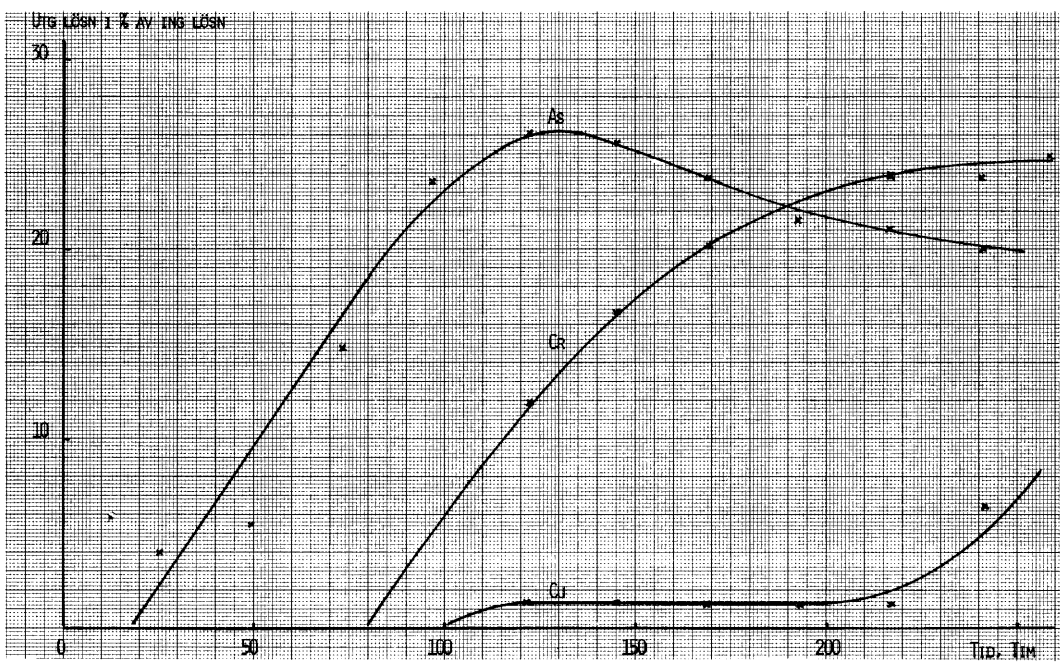


Fig 23.

Förändring med tiden av halten As, Cu och Cr i utgående lösning i förhållande (%) till halten i ingående lösning.

Träskyddsmedel: 0,6 % Boliden K33
Virke: stolpe (6,5 m) av gran
Ingångstryck: 0,65 kp/cm²

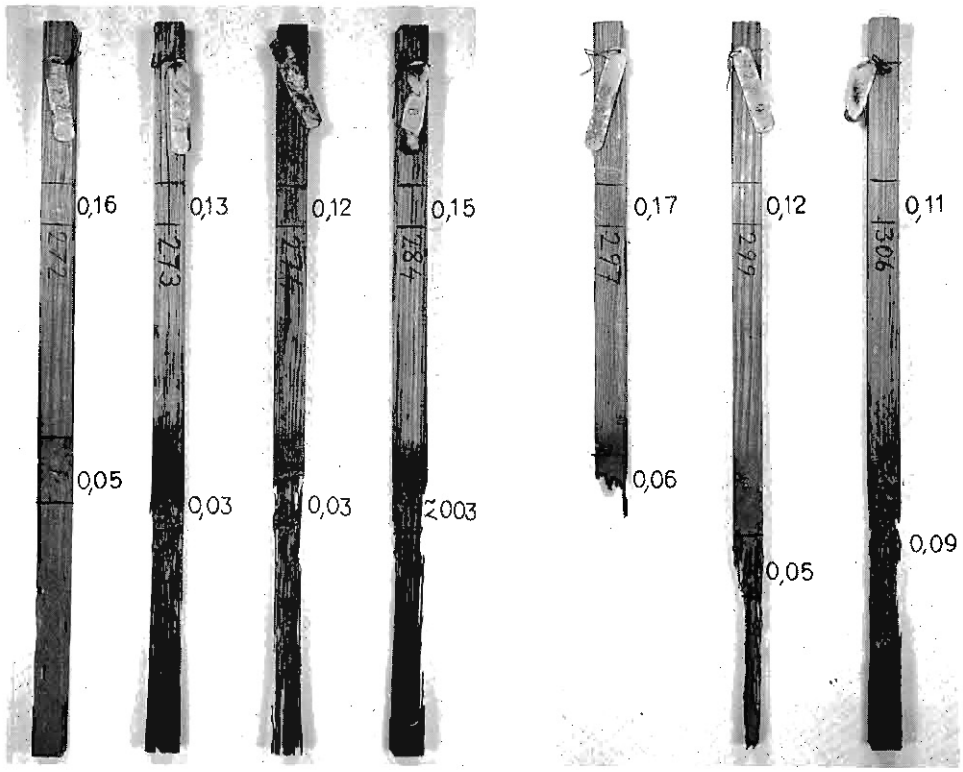
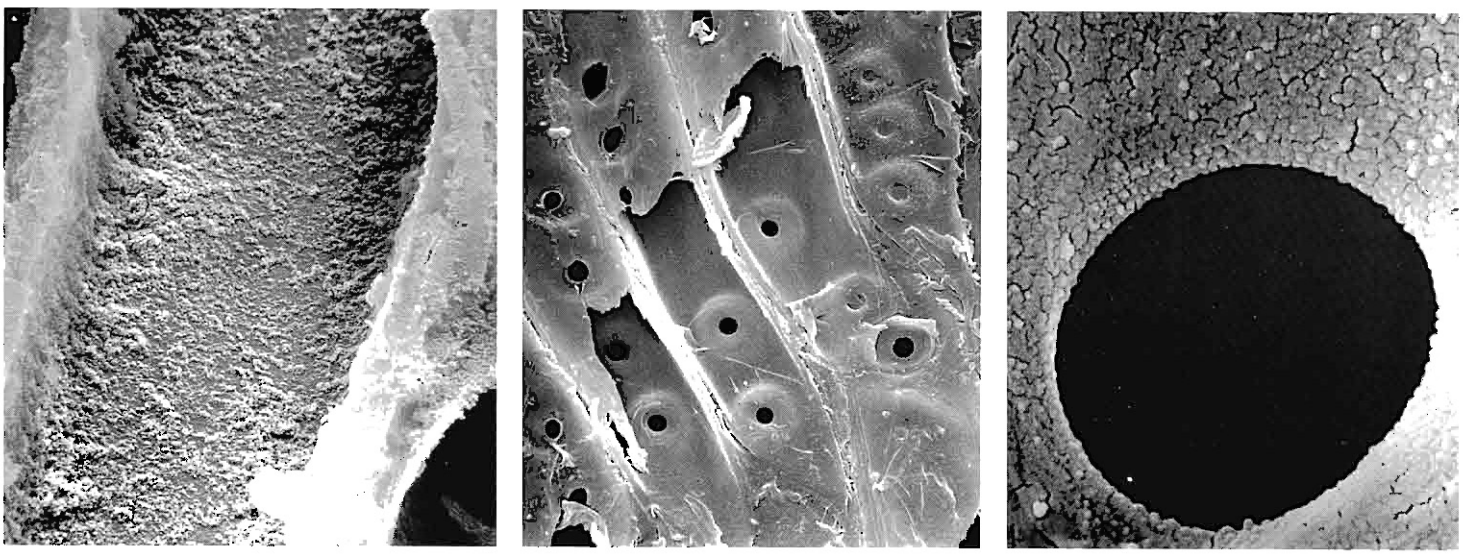


Fig 24.

Resultat från analyser av arsenikinnehållet (viktsprocent As_2O_5 i torrt material) i utrangerade fältförsöksstavar impregnerade med Boliden S25. Analys har gjorts ovan mark samt i markbandet på markerade positioner.



a b c

Fig 25.

Scanningmikroskopbilder av K33-impregnerat furuvirke som exponerats i havet på USA:s östkust i 16 år.

a) beläggning i cellumen av Cu, Cr och As (2200 x)

b och c) Pormembran och torus hade försvunnit (2200x resp 11000x).

Publikationer från Svenska Träskyddsinstitutet

Meddelanden*

1. Holmgren, H. o. Rennerfelt, E., 1952. — Jämförande laboratorieundersökningar av några träimpregneringsmedel.

2. Rennerfelt, E., 1952. — Revidering av Träskyddskommitténs provytor för fält- och rötkammarförsök sommaren 1952, omfattande försöken 1A, 1B, 2A, 3A, 4A och 4B.

3. Rennerfelt, E., 1952. — Översikt över pågående försök på Träskyddskommitténs provytor.

4. Holmgren, H., 1952. — Om impregneringens beroende av furuvirkets förbehandling med hänsyn till barkningsmetoder och vattenläggning.

5. Rennerfelt, E., 1953. — Redogörelse för fältförsöken nr 5 och 6.

6. Holmgren, H., 1953. — Orsaker till smetighet på oljeimpregnerat virke och möjligheter att förminska densamma.

7. Rennerfelt, E., 1953. — Angrepp av rötsvampar i jord från de olika provytorna.

8. Edén, J., 1953. — Redogörelse.

9. Edén, J., 1953. — Särtryck ur Era. Stolpskydd med diffusions- och osmosmetoden: Svenska erfarenheter och planerade försök.

10. Danielsson, E., 1953. — Anteckningar från en studieresa till Tyskland, som i första hand avsåg studium av metoder för s.k. efterimpregnering av sliprar.

11. Rennerfelt, E., 1953. — Revidering av Träskyddskommitténs provytor för fältförsök sommaren 1953, omfattande försöken 1A, 2A, 3A, 4A, 4B.

12. Edén, J., 1953. — Rapport från en resa i Tyskland i sept. 1953 för deltagande i en kongress angående träskydd och från besök hos firman Allgemeine Holzimprägnierung, Dr Wolman G.m.b.H.

13. Nilsson, G. o. Holmgren, H., 1954. — Fältförsök för undersökning av korrosion på metallföremål i kontakt med impregnerat virke.

14. Rennerfelt, E., 1953. — Redogörelse för fältförsöken nr 7A, 7B och 11A.

15. Edén, J., 1954. — Träskydd I och II. Något om dess betydelse ur allmän och enskild ekonomisk synpunkt.

16. Träskyddskommittén 1954. — (Se även nr 23). Virkesimpregnering. Allmänna villkor och förutsättningar, anvisningar för erhållande av en god kvalitet på virke impregnerat under tryck antingen med kreosotolja enligt Rüpings sparmetod eller med saltlösningar — även kreosotolja — vid s.k. fullimpregnering.

17. Rennerfelt, E., 1954. — Revidering av Träskyddskommitténs provytor för fältförsök sommaren 1954, omfattande försöken 1A, 1B, 2A, 4A, 4B.

18. Edén, J. o. Holmgren, H., 1954. — Betr. smetighet hos kreosotimpregnerat virke.

19. Holmgren, H., 1954. — Metoder för impregnering av virke.

20. Rennerfelt, E., 1955. — Revidering av Träskyddskommitténs fältförsök sommaren 1955, omfattande försöken 1A, 1B, 2A, 3A och 4B.

21. Holmgren, H., 1955. — Fältförsök för undersökning av korrosion på metallföremål i kontakt med impregnerat virke.

22. v. Schoenberg, W. o. Holmgren, H., 1955. — Försök med kreosotimpregnering av furustolpar.

23. Träskyddskommittén, 1955. — Allmänna villkor och förutsättningar för tryckimpregnering av virke.

24. Rennerfelt, E., 1955. — Fältförsök med Bolidensalterna S och S 25, försök 8A och 8B.

25. Rennerfelt, E., 1956. — Undersökningar över uppträdandet av lagringsskador i stolpar mellan avverkning och impregnering.

26. Rennerfelt, E., 1956. — Uppgifter över kvantiteter impregnerat virke.

27. Rennerfelt, E., 1956. — Revidering av kommunikationsverkens fältförsök med olika impregneringsmedel.

28. Rennerfelt, E., 1956. — Iakttagelser över mögelröta.

29. Rennerfelt, E., 1956. — Redogörelse för fältförsöken med Bolidensalterna K 33, S och S 25 samt försök med dubbelimpregnering och Höganäsolja.

30. Rennerfelt, E., 1957. — Undersökning av hämningsgränserna hos några olika träimpregneringsmedel.

31. Rennerfelt, E., 1957. — Rötningsförsök med vedprov uttagna ur virke impregnerat i praktisk drift.

32. Rennerfelt, E., 1957. — Revidering av stavförsök med salterna S 25, KP och Celcure och med kreosot.

33. Rennerfelt, E., 1957. — Redogörelse för försök med oimpregnerat virke från olika delar av landet, fältförsök nr 11A.

34. Rennerfelt, E., 1957. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1955.

35. Rennerfelt, E., 1957. — Revidering av fältförsök med olika impregneringsmedel.

36. Rennerfelt, E., 1957. — Revidering av stavförsök med salterna S 25, KP, Celcure och kreosotolja.

37. Holmgren, H. o. Roots, E., 1958. — Fältförsök för undersökning av korrosion på metallföremål i kontakt med impregnerat virke.

38. Holmgren, H. o. v. Schoenberg, W., 1958. — Några försök rörande eftersvettning och smetighet hos kreosotimpregnerade furustolpar.

39. Rennerfelt, E., 1958. — Revidering av fältförsöken med Bolidensalterna S och S 25 samt försöken med dubbelimpregnering och Höganäsolja.

40. Rennerfelt, E., 1958. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1956.

41. Rennerfelt, E., 1958. — Revidering av stavförsök med S 25, K 33, KP, Celcure och kreosotolja.

42. Holmgren, H., 1958. — Böjningsförsök med trästolpar.

43. Rennerfelt, E., 1958. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1957.

44. Holmgren, H. o. Rennerfelt, E., 1958. — Fältförsök med virke som doppats i eller bestrukits med träkonserveringsmedel.

45. Rennerfelt, E., 1958. — Revidering av fältförsök med olika impregneringsmedel.

46. Rennerfelt, E., 1958. — Revidering av stavförsök med S 25, K 33, KP, Celcure och kreosotolja.

47. Holmgren, H., 1959. — Försök med högfrekvensuppvärmning av furustolpar.

48. Borup, L., Holmgren, H. o. Rennerfelt, E., 1959. — Översikt över Träskyddskommitténs verksamhet 1941—1959.

49. Rennerfelt, E., 1959. — Revidering av fältförsök med olika impregneringsmedel.

* T.o.m. 1973 utgavs meddelandena i Träskyddskommitténs regi.

50. Rennerfelt, E., 1959. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1958.

51. Rennerfelt, E., 1959. — Revidering av stavförsök med Bolidensalterna S, S 25, K 33, KP, Celcure och kreosotolja.

52. Rennerfelt, E., 1959. — Fältförsök med bestrykningsmedel.

53. Rennerfelt, E., 1960. — Revidering av försök nr 12 B: S 25 — impregnerade stolpar med och utan tak.

54. Rennerfelt, E., 1960. — Revidering av stav- och stolpförsök i växthuset.

55. Rennerfelt, E., 1960. — Rapporter från internationella möten och kongresser.

56. Rennerfelt, E., 1960. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1959.

57. Borup, L., Lekander, B. o. Rennerfelt, E., 1960. — Skador på obarkade slipersämnen under lagringstiden i skogen.

58. Rennerfelt, E., 1960. — Revidering av fältförsök med olika impregneringsmedel.

59. Rennerfelt, E., 1960. — Revidering av stavförsök med Bolidensalterna S, S 25 och K 33, KP, Celcure och kreosotolja.

60. Rennerfelt, E., 1960. — Försök med impregnering av gran och furu enligt OPM-metoden (försök 14A och B).

61. Rennerfelt, E., 1960. — Fältförsök med bestrykningsmedel (försök 13A och C).

62. Rennerfelt, E., 1961. — Fältförsök med bestrykningsmedel (försök 13A, B och C), rapport nr 4.

63. Rennerfelt, E., 1961. — Revidering av fältförsök med olika impregneringsmedel.

64. Rennerfelt, E., 1962. — Revidering av stavförsök med Bolidensalterna S, S 25 och K 33, med KP, Celcure och kreosot, med Wolmanit UA Reform 67.

65. Rennerfelt, E., 1962. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1960.

66. Rennerfelt, E., 1962. — Fältförsök med bestrykningsmedel (försök 13A, B och C), rapport nr 5.

67. Holmgren, H. o. Hedqvist, T., 1963. — Revidering av fältförsök med olika impregneringsmedel.

68. Hedqvist, T., 1963. — Revidering av stavförsök med Bolidensalterna S, S 25 och K 33 med KP, Celcure och kreosot, med Wolmanit UA Reform 67.

69. Hedqvist, T. o. Möller, B., 1963. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1961.

70. Hedqvist, T. o. Möller, B., 1963. — Fältförsök med olika tryckimpregneringsmedel. 1963 års revision. Field experiments with different preservatives applied by pressure. Revised in 1963.

71. Möller, B., 1964. — Fältförsök med bestrykningsmedel. 1963 års revision. Field Tests with Brush Treatment Preservatives. Revised in 1963.

72. Möller, B., 1964. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1962. English Summary.

73. Rennerfelt, E. †, 1964. — En jämförelse mellan svenska fältförsök och laboratorieexperiment med några träkonserveringsmedel. A Comparison between Swedish Field Tests and Laboratory Experiments with Some Wood Preservatives. English Summary.

74. Möller, B., 1964. — Fältförsök med olika tryckimpregneringsmedel. 1963 års revision, nr II. Field Experiments with Different Preservatives Applied by Pressure, No II. Revised in 1963.

75. Rennerfelt, E. †, 1964. — Provning av träskyddsmedel mot svampar. Testing of Wood Preservatives against Fungi.

76. Johansson, M., 1964. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1963. English Summary.

77. Johansson, M., 1965. — Fältförsök med olika tryckimpregneringsmedel. 1964 års revision, nr I. Field Experiments with Different Preservatives Applied by Pressure, No I. Revised in 1964.

78. Johansson, M., 1965. — Fältförsök med olika tryckimpregneringsmedel. 1964 års revision, nr II. Field Experiments with Different Preservatives Applied by Pressure, No II. Revised in 1964.

79. Johansson, M., 1965. — Fältförsök med bestrykningsmedel. 1964 års revision. Field Tests with Brush Treatment Preservatives. Revised in 1964.

80. Johansson, M., 1965. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1964. English Summary.

81. Holmgren, H. o. Fjelkegård, G., 1965. — Rötundersökningar i Televerkets stolplinjer. English Summary.

82. Johansson, M., 1965. — Träskyddskommitténs fält- och rötkammarförsök med olika träimpregneringsmedel. Redogörelse nr V. The Wood Preservation Committee's Field and Rot-Chamber Experiments with Wood Preservatives. Report No V.

83. Nordiska forskarmötet i Stockholm 1965. Protokoll.

84. Nordiska träskyddsmötet i Stockholm 1965. Protokoll.

85. Johansson, M., 1966. — Fältförsök med olika tryckimpregneringsmedel. 1965 års revision, nr I. Field Experiments with Different Preservatives Applied by Pressure, No I. Revised in 1965.

86. Johansson, M., 1966. — Fältförsök med olika tryckimpregneringsmedel. 1965 års revision, nr II. Field Experiments with Different Preservatives Applied by Pressure, No II. Revised in 1965.

87. Johansson, M., 1966. — Fältförsök med bestrykningsmedel. 1965 års revision. Field Tests with Brush Treatment Preservatives. Revised in 1965.

88. Johansson, M., 1966. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1965. English Summary.

89. Johansson, M., 1967. — Internationellt fältförsök med impregnerade furustavar. 1966 års revision. International Field Test with Treated Pine Stakes. Revised in 1966.

90. Johansson, M., 1967. — Fältförsök med olika tryckimpregneringsmedel. 1966 års revision, nr I. Field Experiments with Different Preservatives Applied by Pressure, No I. Revised in 1966.

91. Johansson, M., 1967. — Fältförsök med olika tryckimpregneringsmedel. 1966 års revision, nr II. Field Experiments with Different Preservatives Applied by Pressure, No II. Revised in 1966.

92. Johansson, M., 1967. — Fältförsök med bestrykningsmedel. 1966 års revision. Field Tests with Brush Treatment Preservatives. Revised in 1966.

93. Johansson, M., 1967. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1966. English Summary.

94. Henningsson, B., 1967. — Fältförsök med olika tryckimpregneringsmedel. 1967 års revision, nr I. Field Experiments with Different Preservatives Applied by Pressure, No. I. Revised in 1967.

95. Henningsson, B., 1968. — Fältförsök med olika tryckimpregneringsmedel. 1967 års revision, nr II. Field Experiments with Different Preservatives Applied by Pressure, No. II. Revised in 1967.

96. Henningsson, B., 1968 — Internationellt fältförsök med impregnerade furustavar. 1967 års revision. International Field Test with Treated Pine Stakes. Revised in 1967.

97. Henningsson, B., 1968. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1967. English Summary.

98. Henningsson, B., 1969. — Internationellt fältförsök med impregnerade furustavar. 1968 års revision. International Field Test with Treated Pine Stakes. Revised in 1968.

99. Henningsson, B., 1969. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1968. Quantities of timber assortments treated with pressure in 1968.

100. Henningsson, B., 1969. — Fältförsök med olika tryckimpregneringsmedel. 1968 års revision, nr I. Field Experiments with Different Preservatives Applied by Pressure, No. I. Revised in 1968.

101. Lundström, H., 1970. — Epixyler på impregnerade trästolpar i Bogesund. Epixlys on treated wooden posts at Bogesund.

102. Henningsson, B., 1970. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1969. Quantities of pressure treated wood 1969.

103. Henningsson, B., 1970. — Fältförsök med virke som genom doppning eller bestrykning behandlats med träkonserveringsmedel. Field tests with wood treated by steeping or brushing.

104. Henningsson, B., 1971. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1970. Quantities of pressure treated wood 1970.

105. Henningsson, B., 1972. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1971. Quantities of pressure treated wood 1971.

106. Henningsson, B., 1973. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke år 1972. Quantities of pressure treated wood 1972.

107. Bergman, Ö., 1974. — Faktorer som påverkar barrvedens impregnerbarhet. En litteraturstudie. Factors affecting the permeability of softwood. A literature study. Särtryck från Rapport Nr R 89, 1973, från Inst. för virkeslära, Stockholm.

108. Henningsson, B., Bergman, Ö., 1974. — Internationellt fältförsök med impregnerade furustavar. 1972 års revision. International Field Test with Treated Pine Stakes. Revised in 1972.

109. Jermer, J., 1974. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke 1973. Quantities of Pressure Treated Wood 1973.

110. Bergman, Ö., Henningsson, B., 1974. — Fältförsök med olika tryckimpregneringsmedel. 1972 års revision. Field Experiments with Different Preservatives Applied by Pressure. Revised in 1972.

111. Nylinder-Norman, E., Henningsson, B., Hellström, O., Gunnarsson, L., 1974. — Provning av impregnerat virke i havet. Marine Wood Borer Tests on the West Coast of Sweden.

112. Henningsson, B., 1975. — Användning av impregnerat virke i de nordiska länderna. The Use of Impregnated Timber in the Nordic Countries.

113. Dahlgren, S-E., 1975. — Fixering av Cu-Cr-As baserade träimpregneringsmedel. Fixation of Cu-Cr-As based Wood Preservatives.

114. Bergman, Ö. o. Henningsson, B., 1975. — Efterbehandling av stolpar med kreosotemulsionspasta enligt bandagemetoden. Mätning av inträngningen. Groundline Treatment of Poles with a Creosote Emulsion Paste according to the Bandage Method. Measurement of Penetration.

115. Jermer, J., 1975. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke 1974. Quantities of Pressure Treated Wood 1974.

116. Dahlgren, S-E., 1975. — Effect of Pre-steaming on the CCA Treatment of Spruce and Redwood Grown in Southern Sweden. Inverkan av ångning på CCA-impregnering av gran och furu från södra Sverige.

117. Henningsson, B., Nilsson, T., Hoffmeyer, P., Friis-Hansen, H., Schmidt, L., Jacobsson, S., 1975. — Soft rot i saltimpregnerade ledningsstolpar från åren 1940—1954.

117 E. Henningsson, B., Nilsson, T., Hoffmeyer, P., Friis-Hansen, H., Schmidt, L., Jacobsson, S., 1976. — Soft Rot in Utility Poles Salt-treated in the Years 1940—1954.

118. Norman, E., Henningsson, B., 1975. — Description of a Trial with Wood Preservatives against Marine Wood Boring Organisms. Försök med olika impregneringsmedel som skydd mot angrepp i virke av skeppsmask och borrkräfta.

119. Bergman, Ö., Henningsson, B., Persson, E., 1975. — Vattenlagring — en metod att minska utsvettning hos kreosotimpregnerade stolpar. Waterstorage — A method to Reduce Bleeding of Creosote Treated Poles.

120. Hickin, N. E., 1976. — Termites-their Natural History and their Control. Termiter-biologi och bekämpning.

121. Boutelje, J., Jonsson, Ulla, 1976. — Effekterna av vattenlagring av timmer. I. Inverkan på impregnering av sågat virke. Effects of Water-storage of Logs. I. Effect on the Impregnation of Sawn Goods.

122. Jermer, J., 1976 — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke 1975. Quantities of Pressure Treated Wood 1975.

123. Ivansson, B-O., 1976. — Tryckimpregnering i samband med fingerskarvning av virke. Pressure impregnation of timber in conjunction with finger jointing.

124. 1976. — The Performance of Treated Wood and Untreated Durable Species. Report of Working Party S5.03.05 Biodeterioration. XVI IUFRO World-Congress, Oslo 1976.

125. Boutelje, J., Johansson, Solveig, Jonsson, Ulla, 1977. — Effekterna av vattenlagring av timmer. II Inverkan på stolpimpregnering. Effects of Water-storage of Logs. II Effect on the Impregnation of Poles.

126. Bergman, Ö., 1977. — Faktorer som påverkar lövvedens impregnerbarhet. En litteraturstudie. Factors affecting the permeability of hardwoods. A literature study.

127. Boutelje, J., Henningsson, B., Lundström, H., 1977. — Effekterna av vattenlagring av timmer. III. Inverkan på impregneringens effektivitet mot röta. Effects of Water-storage of Logs. III. Effect upon the Effectiveness of Preservative Treatment against Decay.

128. Omér, S., 1977. — Uppgifter över impregnerade kvantiteter virke 1976. Quantities of Pressure Treated Wood 1976.

129. Johansson, Solveig, 1977. — Fuktupptagning i impregnerat trä. The Absorption of Water into Preservative-Treated Wood.

130. Blümer, H., Henningsson, B., Jermer, J., 1978. — Spånskivor av CCA-impregnerat trä. Mekaniska och biologiska provningar. Particle Boards of CCA-Treated Wood. Mechanical and Biological Tests.

131. Berglund, F., Wallin, T., 1978. — Korrosion av spik och skruv i impregnerat virke. Corrosion of Nails and Screws in Preservative-Treated Wood.

132. Bergman, Ö., Martinsson, S., 1979. — Försök med vattenlagring och bevattning av stolpar för att undvika utsvettning av kreosotolja. Experiments with water-storage and water-spraying of poles to avoid bleeding of creosote.

133. Henningsson, B., Bergman, Ö., 1979. — Internationellt fältförsök med impregnerade furustavar. 1976 års revision. International field test with treated pine stakes. Revised 1976.

134. Bergman, Ö., Henningsson, B., 1979. — Fältförsök med olika tryckimpregneringsmedel. 1976 års revision. Field tests with different preservatives applied by pressure. Revised 1976.

135. Bechgaard, C., Borup, L., Henningsson, B., Jermer, J., 1979. — Försök med efterimpregnering av kreosotimpregnerade järnvägssliprar genom selektiv behandling med borsyra.

135 E. Bechgaard, C., Borup, L., Henningsson, B., Jermer, J., 1979. — Remedial treatment of creosoted railway sleepers of redwood by selective application of boric acid.
Publicerad även som IRG Document No 3134, 1980.

136. 1979. — Screening techniques for potential wood preservative chemicals. Proceedings of a special seminar held in association with the 10th annual meeting of the IRG, Peebles 1978.

137. Jermer, J., Omér, S., 1980. — Utveckling av kraftledningsstolpar av impregnerat limträ i Sverige 1975—1980. Development of glulam transmission structures of preserved wood in Sweden 1975—1980.

138. Mansikkamäki, P., Vihavainen, Tuija, 1980. — Termiter och termitskydd av träkonstruktioner.

139. Jermer, J., Nilsson, K., 1981. — Träimpregneringsindustrin i Sverige. Produktion m m 1980. The wood preserving industry in Sweden. Facts and figures 1980.

140. Qvarnström, K., 1982. — Undersökningar rörande fytotoxiska effekter av träskyddsmedel. Investigations on phytotoxic effects of wood preservatives.

141. Henningsson, B., Käärik, Aino, 1982. — Kartläggning av rötsvampar i träfönster. Survey of decay fungi in window joinery.

142. Bergman, Ö., Mazur, F., 1982. — Fältförsök med träskyddsmedel. 1980 års revision. Field tests with wood preservatives. Revised in 1980.

143. Edlund, Marie-Louise, Hintze, W., Jermer, J., Ohlsson, S., 1982. — Undersökningar av tennorganiska träskyddsmedel. Investigations of organotin based wood preservatives.

144. Henningsson, B., Jermer, J., 1982. — Undersökningar av korrosion på metallföremål i kontakt med impregnerat virke utomhus. Studies on corrosion of metallic objects in contact with preservative-treated wood in the open.

145. Jermer, J., Severin, J-E., 1982. — Försök med bevattning av stolpar för att minska utsvettningen av kreosotolja. Investigations on sprinkling of poles as a method to reduce bleeding of creosote.

146. Bergman, G., Solyom, P., Mideus, H., 1983. — Förorening av mark och grundvatten vid träimpregneringsverk. Contamination of soil and groundwater at wood preserving plants.

147. Henningsson, B., 1984. — Olika träskyddsmedels effekt mot mögel- och blånadssvampar på inbyggt virke. The effect of different wood preservatives against growth of moulds and staining fungi on timber in buildings.

Uppsatser

U1. Jermer, J. — Painekyllästetyn puun käyttö ja tulevaisuus Ruotsissa (Impregnerat virke — utveckling och användning i Sverige).
Lahontorjunta 3, 1975.

U2. Jermer, J. — Termiter — ett hot på nya exportmarknader.
Skog & Trä 1, 1976.

U3. Jermer, J., Kumlin, S. — Ny svensk standard för impregnerat trä.
Byggnadstidningen 5, 1977.
Träindustrin 2, 1977.

U4. Jermer, J. — Det nya byggnadsmaterialet — impregnerat trä.
Väg- och Vattenbyggaren 4, 1977.

U5. Jermer, J. — Impregnera det egna virket.
Lantbrukspraktika 1978.

U6. Jermer, J. — Skeppsmask, hussvamp och husbock — allvarliga skadegörare på träkonstruktioner.
Väg- och Vattenbyggaren 6—7, 1978.

U7. Jermer, J. — Tillverkningskontroll av impregnerat trä.
Standard 6/7, 1979.

U8. Omér, S. — Erfarenheter av limträstolpar i Sverige 1974—1979.
Nordiska Träskyddsmötet, 1979.

U9. Jermer, J. — Nordiska Träskyddsmötet — 200 deltagare utbytte forskningserfarenheter.
Träindustrin 12, 1979.

U10. Henningsson, B., Jermer, J. — Impregneringskontroll ökar träfönstrens konkurrenskraft.
Träindustrin 3, 1980.

U11. Jermer, J. — Träimpregnering — mål och metoder.
Kemisk Tidskrift 7, 1980.

U12. Jermer, J., Leightley, L. — The inspection and protection of poles in service.
BWPA News Sheet no 167, 1982.

U13. Jermer, J. — Försurningen och arsenikimpregnering.
Sågverken 6, 1982.

U14. Jermer, J. — Den industriella virkesimpregneringen i Sverige idag. Krav — normer — kontroll.
Trä & Teknik 82.

U15. Omér, S. — Impregnering av fönster.
Trä & Teknik 82.

U16. Jermer, J. — Träimpregneringsindustrin — fritt fram för FoU.
Svensk Papperstidning nr 6, 1983.

U17. Jermer, J. — Bifluoridbaserade träskyddsmedel.
Föredrag vid kurs i användning av bekämpningsmedel klass 1 SO, fluorider, 1983.

U18. Jermer, J., Edlund, Marie-Louise, Henningsson, B., Hintze, W., Ohlsson, S. — Chemical and biological investigations of double-vacuum treated windows after 5 years in service.
IRG Document No 3219, 1983.

U19. Jermer, J., Edlund, Marie-Louise, Hintze, W., Ohlsson, S. — Studies of the distribution and degradation of tributyltin naphthenate in double-vacuum treated wood.
IRG Document No 3230, 1983.

U20. Jermer, J., Lindquist, C. — Impregnerat trä — idealiskt material för bullerskärmar.
Byggnadskonst 3, 1983.

U21. Jermer, J. — Träskyddsinstitutets forskning om impregnerade träfönster.
Byggnadstidningen 14, 1983.

U22. Ohlsson, S., Hintze, W. — HPTLC Analysis of Organotin Compounds in Preservative Solutions and Preservative-treated Wood.
Journal of High Resolution Chromatography & Chromatography Communications Vol 6, 1983, 89—94.

U23. Hintze, W., Ohlsson, S. — Analysis of organotin fungicides in wood preservative solutions and double-vacuum treated wood.
IRG Document 3250, 1983.

U24. Jermer, J. — Träimpregneringsindustrin i Sverige.
Program och sammanfattningar av föredrag och seminarier, Arbetsmedicinska kontaktdagar i Umeå 10 och 11 oktober 1983.

U25. Jermer, J. — Nordiska Träskyddsdagar 1983.
Svensk Trävaru- och pappersmassetidning 11, 1983.

Informationer

1979:1. Jermer, J., Lekander, B. — Virkesförstörande insekter inomhus 1. Husbock.

1979:2. Jermer, J., Lekander, B. — Virkesförstörande insekter inomhus 2. Vedstekel, trägnagare, blåhjon, splintbagge, hästmyra, praktbagge.

1982:1. Jermer, J., Johannesson, C. M. — Röta — orsaker, förebyggande åtgärder, sanering.
Denna skrift är även utgiven på norska med titeln »Råteskader i bygninger — årsaker, forebyggende tilltak, utbedring». Norsk Treteknisk Institutt, Teknisk småskrift 30, 1982.

1984:1. Trivsam utemiljö med impregnerat trä.

Övriga publikationer

Levy, C. R. — Wood Preservation for Tropical Housing.
Träskyddsdag 1976-05-25, Svenska Träskyddsinstitutet och Svenska Sågverks- och Trävaruexportföreningen.

Omér, S. — Träimpregnering.
STU Information 85, 1978.

Jermer, J., Söderlind, J. — Träskydd.
AB Svensk Byggtjänst, 1979.

Omér, S. — Råd och anvisningar för intern driftkontroll vid impregneringsanläggningar (Riktad till ansvarig driftledare).
Svenska Träskyddsinstitutet, 1979.

Omér, S. — Anvisningar för intern driftkontroll vid impregneringsanläggningar (Riktad till impregneringspersonal).
Svenska Träskyddsinstitutet, 1979.

Jermer, J., Kuusamo, M. — Nordiska Träskyddsrådet 10 år 1969—1979.
Nordiska Träskyddsrådet, Information nr 10, 1979.

Cockcroft, R. — Wood preservation organisations — International cooperation in wood preservation research.
Träskyddsseminarium 1980-09-02, Svenska Träskyddsinstitutet.
Int Journal of Wood Pres, Vol 1, No 4, 1981.

Butcher, J. A. — Wood preservation in New Zealand.
Träskyddsseminarium 1980-10-29, Svenska Träskyddsinstitutet.

Rötskadebesiktning av stolpar.
Träskyddsseminarium 1981-05-06, Svenska Träskyddsinstitutet.

Omér, S. — Anvisningar för intern driftskontroll vid impregnering med oljelösliga impregneringsmedel godkända för klass B.
Svenska Träskyddsinstitutet, 1981.

Jermer, J. — Impregnerat trä i Norden.
Nordiska Träskyddsrådet, Information nr 11, 1981.
Denna skrift finns även publicerad på engelska (Preservative-treated wood from the Nordic countries), franska (Bois traités des Pays Nordique) och tyska (Imprägniertes Holz aus dem Norden).

Den synliga kvalitén och den osynliga.
Informationsblad om impregnerade trädgårdsmöbler.
Svenska Träskyddsinstitutet, 1982.

Omér, S., Samuelsson, I. — Fukt och mögel. Rutin för fältbesiktning.
Statens Institut för Byggnadsforskning, Meddelande M82:7, 1982.

Jermer, J. m. fl. — Träimpregneringsindustri och träskyddsforskning i Sverige. Bakgrund, nuläge och utvecklingsmöjligheter.
Ingenjörsvetenskapsakademien, Rapport 223, 1982.

Information om impregnerat trä

1. Vad är impregnerat trä?
2. Använd rätt impregnerat trä på rätt ställe!
3. Kvalitetskontroll av impregnerat trä.
4. Träskyddsmedel för impregnering av trä.
5. Tekniska egenskaper hos impregnerat trä.
6. Impregnerat trä i hus och trädgård.