

SVENSKA TRÄSKYDDSSINSTITUTET

SWEDISH WOOD PRESERVATION INSTITUTE

Meddelanden

Reports

Nr 135

1979

ISSN 0346-7090

Försök med efterimpregnering av
kreosotimpregnerade järnvägssliprar genom
selektiv behandling med borsyra

Carl Bechgaard

Lennart Borup
Jöran Jermer

Björn Henningsson

STOCKHOLM 1979

INNEHÅLL

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | INLEDNING | 1 |
| 2 | STUDIER ÖVER BORSYRAS DIFFUSIONSFÖRLOPP I KREOSOTIMPREGNERADE SLIPRAR | 5 |
| 2.1 | Nässjöförsöket | 5 |
| 2.2 | Kungsbackaförsöket | 15 |
| 3 | BIOLOGISKA PROVNINGAR | 22 |
| 3.1 | Inledning | 22 |
| 3.2 | Material och utförande | 24 |
| 3.3 | Resultat | 27 |
| 3.4 | Sammanfattning och diskussion | 30 |
| 4 | BORSYRAS INVERKAN PÅ DET ELEKTRISKA MOTSTÅNDET HOS EN SLIPER | 35 |
| 5 | FUKTINNEHÅLL HOS SLIPRAR I SPÅR | 39 |
| 6 | VARAKTIGHETEN FÖR SLIPRAR I TRAFIKERAT SPÅR | 44 |
| 7 | SLUTSATSER OCH DISKUSSION | 47 |
| | REFERENSER | 51 |
| | Bilaga 1. JÄMFÖRANDE STUDIER AV URLAKNINGS- OCH INASKNINGSMETODEN FÖR BORANALYS | 55 |
| | Bilaga 2. RESULTAT FRÅN KEMISKA ANALYSER - NÄSSJÖFÖRSÖKET | 57 |
| | Bilaga 3. RESULTAT FRÅN KEMISKA ANALYSER - KUNGSBACKAFÖRSÖKET | 61 |

FÖRSÖK MED EFTERIMPREGNERING AV KREOSOTIMPREGNERADE JÄRNVÄGSSLIPRAR GENOM SELEKTIV BEHANDLING MED BORSYRA

1. INLEDNING

De järnvägssliprar av trä som huvudsakligen används i Sverige tillverkas av furu (*Pinus sylvestris* L). Impregneringen görs med kreosotolja till en upptagning av 130-140 kg/m³ splintved. Kärnveden är svårimpregnerbar och tar normalt ej upp någon kreosotolja.

Medelvaraktigheten för en sådan sliper är enligt Statens Järnvägars (SJ) beräkningar ca 28 år. Spridningen kring medelvärdet är dock stor, främst på grund av stora skillnader i kvalitet beträffande såväl virke som impregnering. Redan efter 7-8 år kan rötskador ge upphov till enstaka utbyten av sliprar, vilket är en stor nackdel med hänsyn till modern underhållsteknik, som är baserad på längre underhållscykler än förr.

Den viktigaste orsaken till uppkomsten av tidiga rötskador är ofullständig impregnering, dvs all splintved har ej impregnerats eller upptagningen av kreosotolja har varit alltför låg. En kombination av dessa båda faktorer förekommer också. Detta är ofta följderna av att slipern redan vid impregneringstillfället har skador, som medför lokala fuktanhopningar. Skadorna består främst av blånad. Blånadsangripna partier är svåra att torka och har därför ofta för hög fukthalt vid impregneringstillfället.

Särskilt utsatta för rötskador är de delar av slipern, som återfinns vid rälsläget, under underläggsplattan och kring själva fästdonen. Gränsoområdet mellan impregnerad och oimpregnerad ved är därvid speciellt känsligt. Stora mekaniska påkänningar i kombination med att fuktigheten i träet under underläggsplattan oftast är högre än i slipern i övrigt bidrar starkt till detta förhållande.

Genom selektiv tilläggsimpregnering, där man till slipern efter en tid i spår tillför impregneringsmedel till oimpregnerade partier och/eller partier med otillräcklig upptagning av kreosotolja, kan påbörjade rötangrepp hejdas,

Denna rapport presenterades vid det 16:e Nordiska Träskyddsmötet i Korpi-lampi, Helsingfors, 27-28 september 1979.

och sliperns varaktighet förlängas. Som nämnts ovan är det framför allt områdena vid räslägena, som blir utslagsgivande för varaktigheten och som följaktligen är av särskilt intresse när det gäller förstärknings- eller efterimpregnering. Avgörande för hur mycket varaktigheten kan förlängas och därmed för behandlingens ekonomiska lönsamhet är, förutom att ett verksamt träskyddsmedel används, valet av tidpunkt för behandlingen.

I Sverige har efterimpregnering av impregnerade sliprar i spår hittills inte praktiserats i någon större utsträckning. Under 1950-talet genomfördes en serie orienterande försök med efterimpregnering av oimpregnerade sliprar (Rennerfelt, Nyberg 1955) Dessa resulterade i att SJ senare genomförde efterbehandling av ca en halv miljon oimpregnerade sliprar. Arbetet följdes upp noggrant, och det kunde vid utvärderingen konstateras (Borup, Rennerfelt 1961), att behandlingen gav en genomsnittlig förlängning av varaktigheten hos de behandlade sliprarna på fem år. Gränsen för att behandlingen skulle anses ekonomiskt lönsam beräknades då vara ca tre år.

Impregneringarna gjordes med patroner och pasta innehållande fluorider. Användningen av dessa preparat var emellertid förknippad med vissa nackdelar. Exempelvis kunde de inte användas för behandling av sliprar i signalsträckor i någon större utsträckning, då tillförsel av lättrörliga joner som Na^+ och F^- inverkade på sliprarnas elektriska motstånd och störde signalfunktionen. Patronerna var vidare hygroskopiska och sköra, vilket medförde besvär vid hanteringen. En annan nackdel ur hanteringssynpunkt var också fluoridernas tämligen stora akuta toxicitet. Preparatens lämplighet kom därför att ifrågasättas, och SJ började mot slutet av 1960-talet undersöka möjligheterna att få fram alternativa preparat. Följande huvudkrav ställdes:

- minst lika effektivt mot rötsvampar som fluoridpreparaten
- kunna användas på signalsträckor
- arbetsmiljövänligt

I mars 1970 inleddes ett samarbete mellan SJ och firma Kai R Spangenberg i Danmark för att finna en lämplig behandlingsmetod. Efter inledande studier kom man fram till att medel baserade på borsyra kunde vara lämpliga och därför skulle undersökas närmare.

Ett idealiskt preparat för efterimpregnering skall primärt uppfylla två krav. Det skall ha förmåga att diffundera in i och fördela sig jämnt i träet, och

det skall sedan fixeras, så att det inte lakas ut alltför snabbt. Dessa två krav står i motsatsförhållande till varandra, och valet av preparat blir därför med nödvändighet en kompromiss.

Träskyddsmedel baserade på borföreningar har dokumenterat god diffusionsförmåga, men liksom fluorsalterna fixeras de ej nämnvärt i träet. Det ansågs därför angeläget att i praktiska försök studera borsyrans diffusionsförlopp i kreosotimpregnerade sliprar. Rent praktiska problem som t ex val av impregneringsutrustning och appliceringsteknik var naturligtvis också av intresse att studera.

Försöken inleddes i september 1970 med att ca 100 kreosotimpregnerade sliprar, som legat 13 år i spår, efterimpregnerades med en borsyrapasta och lades i ett provspår på bangården i Nässjö (Nässjöförsöket). För att få en uppfattning om hur den utvecklade impregneringstekniken fungerade i praktiken och hur reimpregneringen verkade i ett spår med trafik, behandlades i april 1974 ca 1 000, 17 år gamla sliprar på Västkustbanan strax söder om Kungsbacka (Kungsbackaförsöket).

Från de båda försöksplatserna har med jämna mellanrum uttagits prover, som analyserats kemiskt för att följa borsyrans diffusion. Samtliga kemiska analyser, totalt drygt 2 000 st, har utförts av Borax Holdings Ltd i England.

För att undersöka om impregneringen med borsyra inverkar negativt på det elektriska motståndet hos en sliper, uttogs i mars 1971 elva sliprar från Nässjöförsöket för mätningar i ett försöksspår utan trafik i anslutning till SJ's bantekniska laboratorium i Stockholm.

Allteftersom försöket fortskred erhöles ett omfattande datamaterial från de kemiska analyserna, och för att kunna utvärdera borsyrans fungicida effekt i de efterimpregnerade sliprarna genomfördes en serie biologiska provningar vid institutionen för virkeslära vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala.

Svenska Träskyddsinstitutet har ansvarat för den slutliga bearbetningen av resultaten och för sammanställandet av föreliggande rapport.

För värdefulla arbetsinsatser och givande diskussioner såväl under projektets gång som vid rapportsammanställningen riktas ett varmt tack till Joseph Dulat,

Len Arthur och Barbara Kimber, Borax Holdings Ltd; Jan Lundin och Rolf Magnusson, Statens Järnvägar; Christina Lundberg, Sveriges Lantbruksuniversitet samt Kai R Spangenberg och Knud Andersen, firma Kai R Spangenberg.

2. STUDIER ÖVER BORSYRAS DIFFUSIONSFÖRLOPP I KREOSOTIMPREGNERADE SLIPRAR

2.1 Nässjöförsöket

Material och utförande

I september 1970 efterimpregnerades 105 kreosotimpregnerade sliprar av furu (*Pinus sylvestris* L) med borsyrapasta. Sliprarna var vid tillfället ca 13 år gamla och hade under denna tid varit inbyggda i ett trafikerat huvudspår vid SJ. Valet av ålder på sliprarna betingades av att man vid SJ ansåg, att en lämplig tidpunkt för efterimpregnering av kreosotimpregnerade furusliprar kunde vara efter ca 15 år.

Två olika pastor användes till en början, dels en metylcellulosabaserad pasta innehållande 60 vikts-% borsyra (H_3BO_3), dels en såpa-sprit baserad med ett innehåll av 50 vikts-% borsyra. Då den senare visade sig ge bättre upptagningar, kom denna uteslutande att användas i fortsättningen.

Pastan injicerades med en standardutrustning för Cobra-behandling av stolpar enligt mönster i fig 1 på 26 ställen runt varje underläggsplatta.

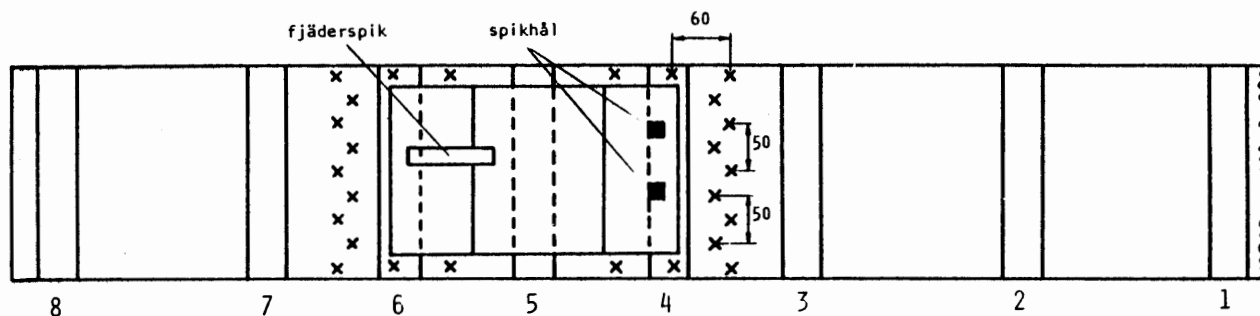


Fig 1. Injicering av borsyrapasta i Nässjöförsöket gjordes på de med kryss markerade ställena runt underläggsplattan. Några typiska mått (mm) är utsatta. Underläggsplattan (170 x 300 mm) förbands med endast en spik. De hål i slipern, som svarade mot de outnyttjade hålen i plattan, sattes igen med impregnerade träpluggar. Det skall observeras att spiken inte alltid sattes till vänster som i figuren utan lika ofta till höger.

Åtgången pasta per injektion beräknades genom att den totala åtgången pasta dividerades med antalet injektioner. Medelvärde som då erhöles var 5,75 g 50 %-ig pasta/injektion eller 2,87 g borsyra/injektion. Runt varje under-

läggsplatta tillfördes sålunda ca 75 g borsyra. Ett visst spill erhöles dock, jfr fig 10, varför den verkliga, effektiva mängden blev mindre. Efter avslutad injicering behandlades området runt underläggsplattorna genom bestrykning med stenkolstjära, varefter slivrarna inbyggdes i ett "provspår" med ballast av makadam och underballast av grus. Ballastsektionen motsvarade ett normalspår, och provspåret ansågs väl dränerat.

Underläggsplattorna var av typ fjäderspikplatta (170 x 300 mm). Normalt används tre fjäderspikar per platta för montering av rälen. Befästningen gjordes på samma sätt som tidigare, då slivrarna var inbyggda i spår, dvs spikarna kom att sitta i sina gamla lägen. Dock användes endast en spik, och de outnyttjade spikhålen sattes igen med impregnerade träpluggar, se fig 1. Några räler monterades inte.

För att kunna följa borsyrans diffusionsförlopp, hur den sprider och fördelar sig i veden, hade det idealiska naturligtvis varit, om man för en och samma sliper kunnat ta ut prover vid olika tidpunkter och analysera innehållet av borsyra. Praktiska skäl uteslöt emellertid ett sådant förfarande, och i stället har från 10 olika slivrar ena halvan uttagits och analyserats vid varje provtagningstillfälle. Analyser har utförts vid nio tillfällen, nämligen 9, 12, 15, 27, 39, 51, 63, 75 och 87 månader efter reimpregneringen. Slivrarna sektionerades på sätt som framgår av fig 2, och från varje sektion har uttagits prover för kemisk analys av borsyrainnehållet enligt mönster i fig 3. Varje sektion fotograferades efter utsågningen. Ett exempel visas i fig 4.

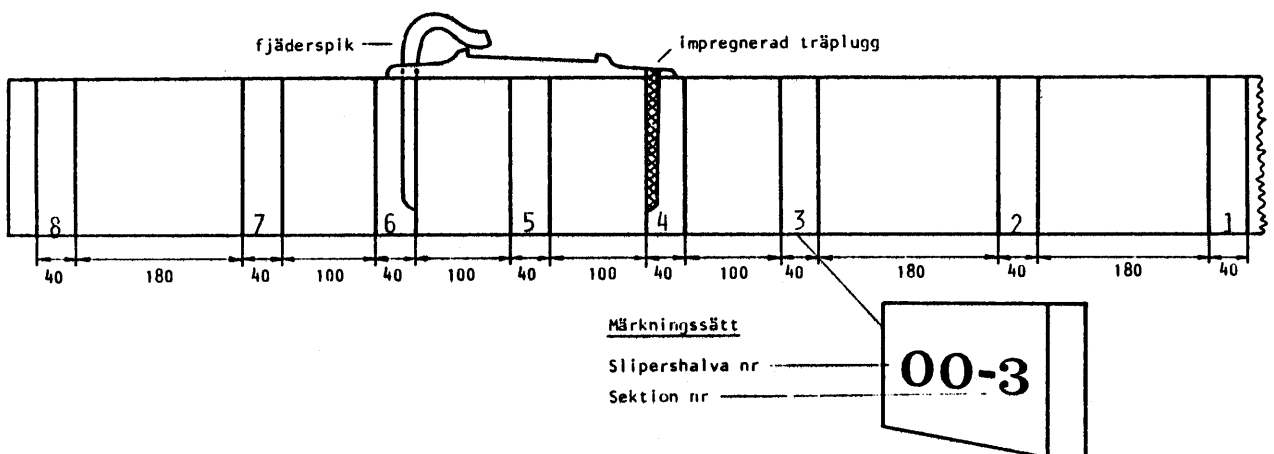


Fig 2. Modell för utsågning av sektioner i Nässjöförsöket. Mått i mm.

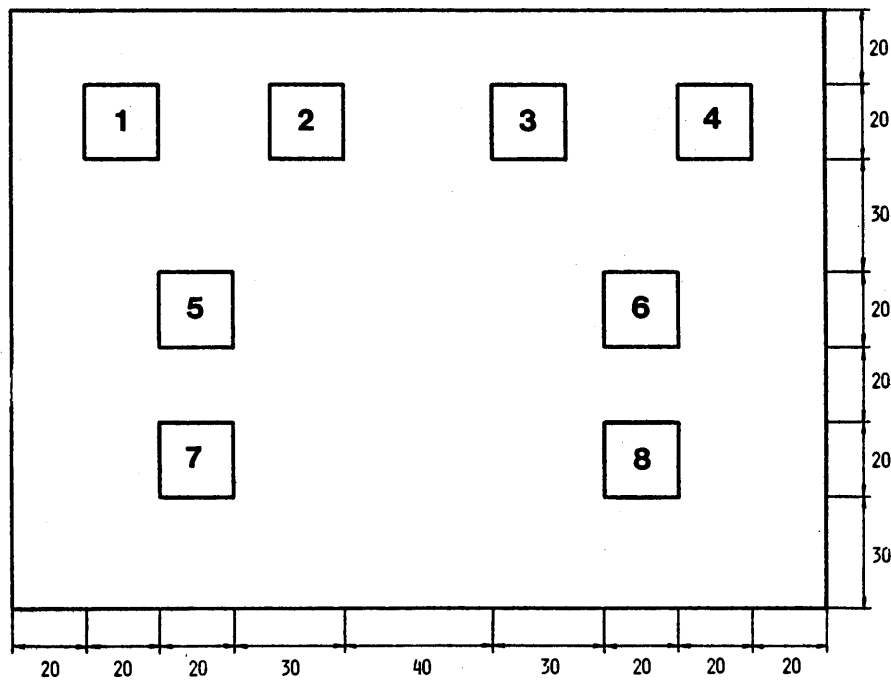


Fig 3. Mönster för uttagning av prover ur sektioner.
Mått i mm.



Fig 4. Foto av sektion nr 5 från slipershalva nr 151.

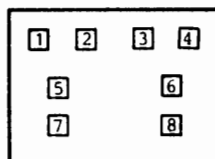
Orsaken till att sektioneringen utfördes på det i fig 2 beskrivna sättet var att mesta möjliga information då skulle kunna erhållas om borsyrans diffusionsförlopp. Sektionerna 4 och 6 utvaldes med tanke på att få upplysningar om diffusionen i de områden, där fästdonen normalt är placerade och sektion 5 för att få upplysningar om den del av slipern, som ligger dold av underläggsplattan. Sektionerna 1, 2, 3, 7 och 8 utvaldes för att ge information om borsyrans spridning utanför det behandlade området.

Beträffande provtagningen ur sektionerna avsågs proverna 1, 2, 3 och 4 representera det rötkänsliga gränsområdet mellan impregnerad och oimpregnerad ved. Proverna 5, 6, 7 och 8 togs ut, företrädesvis ur sektionerna 4 och 6, för att ge upplysningar om borsyrainnehållet i vedvolymen närmast fästdonen. Eftersom antalet uttagna prover varierat vid de olika provtagningstillfällena, redovisas i tabell 1 vilka prover som uttagits vid respektive provtagningstillfälle.

Tabell 1. Sammanställning över uttagna prover i Nässjöförsöket.

| Sektion nr | Uttagna prover vid respektive provtagningstillfälle | | | | | | | | |
|---------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------|------------|------------|
| | 9 | 12 | 15 | 27 | 39 | 51 | 63 | 75 | 87 mån |
| 1 | 2 + 3 ¹ | - | 2 + 3 ¹ | 2 + 3 ¹ | 2 + 3 ¹ | 2 + 3 ¹ | - | - | - |
| 2 | 2 + 3 ¹ | 2 + 3 ¹ | 2 + 3 ¹ | 2 + 3 ¹ | 2 + 3 ¹ | 2 + 3 ¹ | - | - | - |
| 3 | 2 + 3 ¹ | 2 + 3 ¹ | 2 + 3 ¹ | 2 + 3 ¹ | 2 + 3 ¹ | 2 + 3 ¹ | - | - | - |
| 4 | 1-8 | 2, 3, 5-8 | 2, 3, 5-8 | 2, 3, 5-8 | 2, 3, 5-8 | 2, 3, 5-8 | 2, 3, 5, 6 | 2, 3, 5, 6 | 2, 3, 5, 6 |
| 5 | 1-4 | 2, 3 | 2, 3 | 2, 3 | 2, 3 | 2, 3 | 2, 3 | 2, 3 | 2, 3 |
| 6 | 1-8 | 2, 3, 5-8 | 2, 3, 5-8 | 2, 3, 5-8 | 2, 3, 5-8 | 2, 3, 5-8 | 2, 3, 5, 6 | 2, 3, 5, 6 | 2, 3, 5, 6 |
| 7 | - | - | - | - | 2, 3, 5-8 | 2, 3, 5-8 | - | - | - |
| 8 | - | - | - | - | 2, 3, 5-8 | 2, 3, 5-8 | - | - | - |

¹Proverna har före analys slagits samman till en analysenhet.



Slipersektion

De uttagna provernas ursprungliga mått var 20 x 20 x 40 mm, men endast halva provet, dvs en kub med måtten 20 x 20 x 20 mm användes för analys. I regel togs den del av provet, som var orienterad mot den numrerade framsidan av sektionen. Om sektionens främre snittyta var skadad av rälsspikarna, togs kuben i stället från den bakre delen av provet. Förekom en större spricka

där provet skulle tas, bröts först hela sektionen itu, varefter den tejpades ihop, så att prov skulle kunna tas utan svårighet.

För att analysera borsyrainnehållet i de uttagna proverna stod valet mellan två titrimetriska metoder, urlakningsmetoden enligt Borax (Anonym 1970) och inaskningsmetoden (BWPA 1972). Med bägge metoderna kan borsyraupptagningar $\geq 0,10 \text{ kg/m}^3$ bestämmas. Efter jämförande undersökningar, som visade att metoderna gav likvärdiga resultat, se bilaga 1, valdes urlakningsmetoden, då den är såväl enklare som billigare att utföra.

Resultat

Samtliga erhållna analysvärden redovisas i tabellform i bilaga 2. För att underlätta en utvärdering av resultaten har, för de vid varje provtagningsstillfälle uttagna tio sektionerna med samma nummer, värdena för proverna 2 och 3, 5 och 6 respektive 7 och 8 i förekommande fall slagits samman, varpå medelvärdet (\bar{x}) beräknats. Medelvärdet av borsyrainnehållet (kg/m^3) i exempelvis de sammanslagna proverna 2 och 3 för de tio slipersektionerna med nummer 4 vid ett visst provtagningsstillfälle har sålunda beräknats enligt:

$$\bar{x} = \left(\frac{\Sigma(\text{borsyrainnehåll})_{\text{prov 2}} + \Sigma(\text{borsyrainnehåll})_{\text{prov 3}}}{20} \right)$$

I bilaga 2 redovisas medelvärdena med standardavvikelser. Medelvärdena har utnyttjats för grafisk presentation av diffusionsförloppet.

I fig 5 a visas medelvärdet av borsyrainnehållet i de sammanslagna proverna 2 och 3 för samtliga uttagna sektioner vid provtagningsstillfällena efter 12, 27, 39 och 87 månader. Figuren upplyser om den horisontella fördelningen av borsyra i sliperns övre del vid olika tidpunkter efter behandlingen. Inte oväntat har diffusionen skett symmetriskt från injektionsområdena. En konsekvens därav var att maximalt hälften (ca 37 g) av den injicerade borsyran verkligen kom vedvolymen under underläggsplattan till godo.

I fig 5 b åskådliggörs förändringarna av borsyrainnehållet i den övre delen av sektion 4, 5 och 6. Medelvärdet för de sammanslagna proverna 2 och 3 har avsatts som funktion av tiden. Förändringarna har antagits ske enligt en funktion av typen $y = a + b/x$, och kurvorna har anpassats till de beräknade medelvärdena genom regressionsanalys. För sektion 5 har anpassningen med

regressionsanalys gjorts mellan 27 och 87 månader, medan den första delen av kurvan uppskattats.

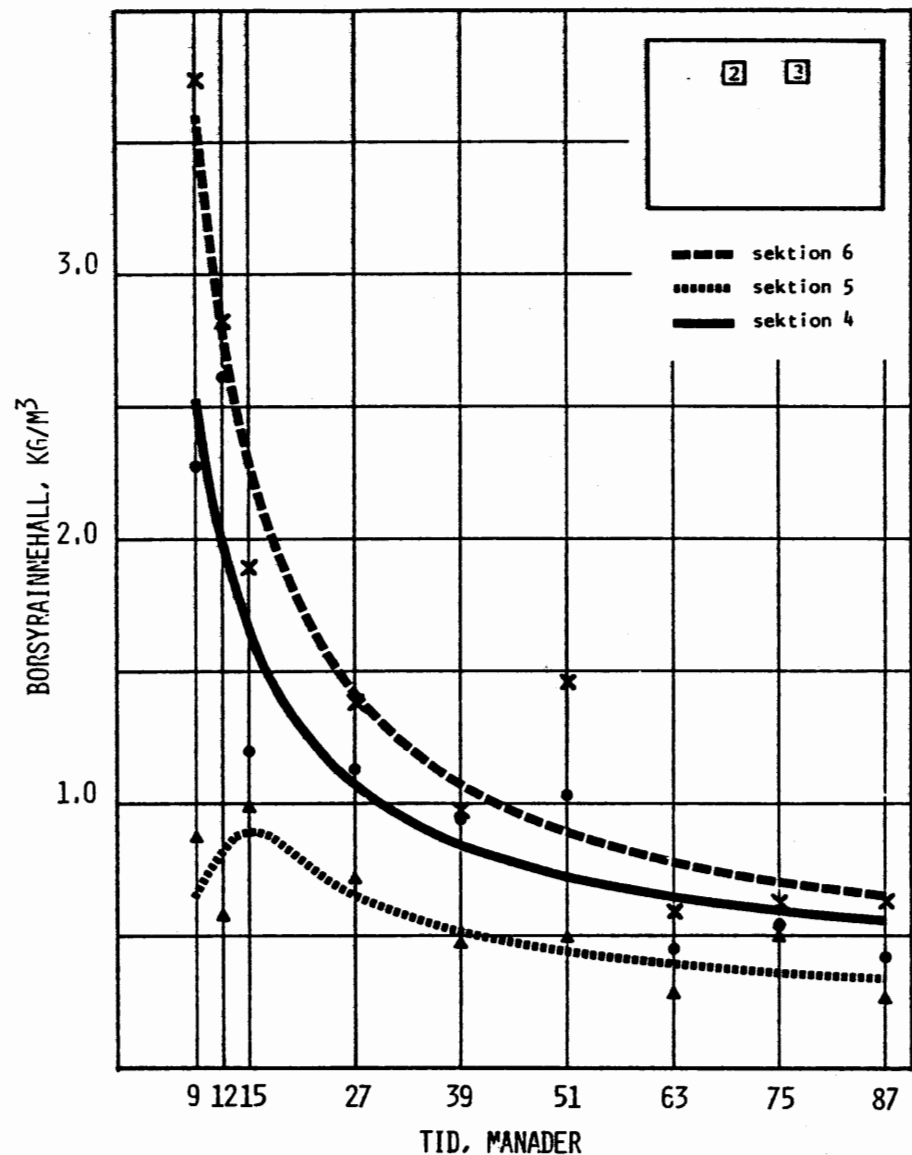
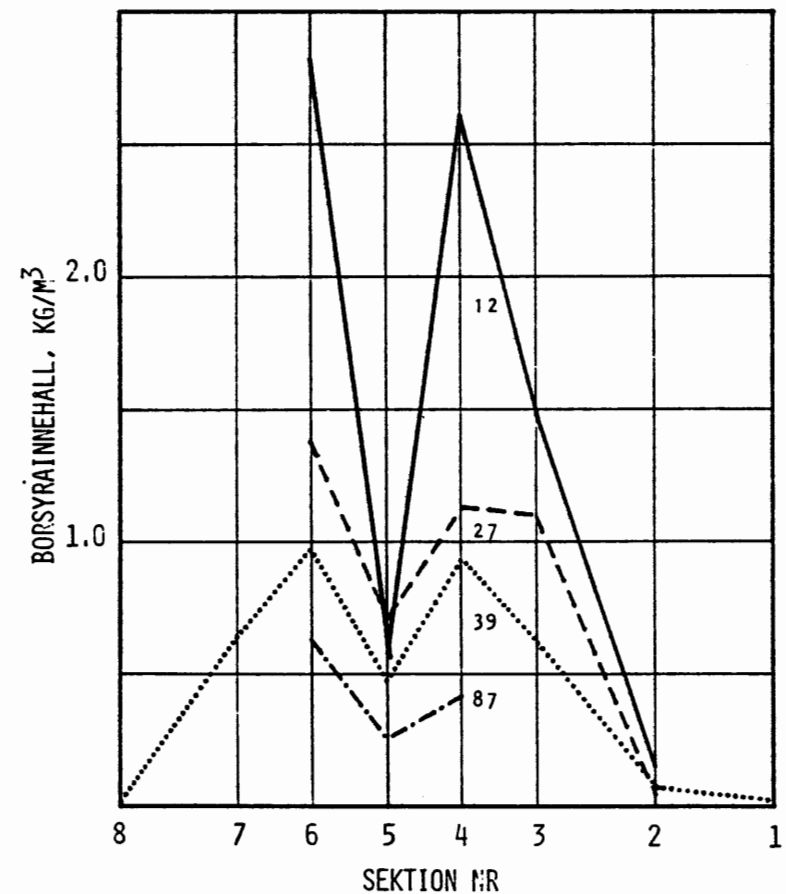
Fig 6 a visar motsvarande förändringar av borsyrainnehållet något längre ner i slipern, nämligen för de sammanslagna proverna 5 och 6 från sektionerna 4 och 6. Kurvanpassningen har även här gjorts med regressionsanalys.

Betraktar man fig 5 b kan konstateras, att under de första 25-30 månaderna efter behandlingen skedde en mycket kraftig minskning av borsyrainnehållet i de delar av slipern under underläggsplattan, som ligger närmast injektionsställena (sektion 4 och 6). Orsaken till detta är dels att en del av borsyran spridit och fördelat sig inom slipern; av fig 5 b och 6 a framgår, att borsyrainnehållet ökat längre bort från injektionsställena i såväl horisontell (sektion 5, fig 5 b) som vertikal riktning (fig 6 a), dels har en del uppenbarligen lakats ut och försvunnit. Att en icke obetydlig del av den tillförda borsyran försvunnit inses genom att betrakta fig 5 b och 6 a och samtidigt betänka, att om ungefär hälften (ca 37 g; diffusionen skedde symmetriskt från injektionsställena!) av den ursprungligt tillförda borsyran spridit sig in under plattan och där fördelat sig jämnt utan att någon urlakning skett, så skulle borsyrainnehållet i vedvolymen under plattan blivit ca $3,3 \text{ kg/m}^3$.

Troligen har emellertid de största förlusterna ej orsakats av urlakning. En betydande del av borsyran försvann sannolikt redan innan den hunnit diffundera in i träet. Vid behandlingen observerades nämligen, som tidigare nämnts, att pasta klämdes upp från injiceringsställena, då nålen drogs ut. Dessutom kan en del pasta ha injicerats i större sprickor och därmed spolats bort vid första regn efter behandlingen. Under alla förhållanden blev den 'effektiva' mängden borsyra som fick möjlighet att diffundera in under underläggsplattan väsentligt mindre än vad som avsågs från början. Förmodligen översteg den ej 25 g.

Efter ca 40 månader inträffade en stabilare fas med mycket små förändringar av borsyrahalterna. Som framgår av fig 5 b och 6 a låg borsyrainnehållet i den övre halvan (ned till ca 10 cm djup) av slipern under underläggsplattan då på nivån $0,4-1,0 \text{ kg/m}^3$.

Det är intressant att konstatera, att en sådan tydlig utjämning skett mellan det övre och mitre skiktet i slipern och att, även om proverna 5 och 6 ej uttogs för sektion 5, det förefaller som om borsyran spridit och fördelat



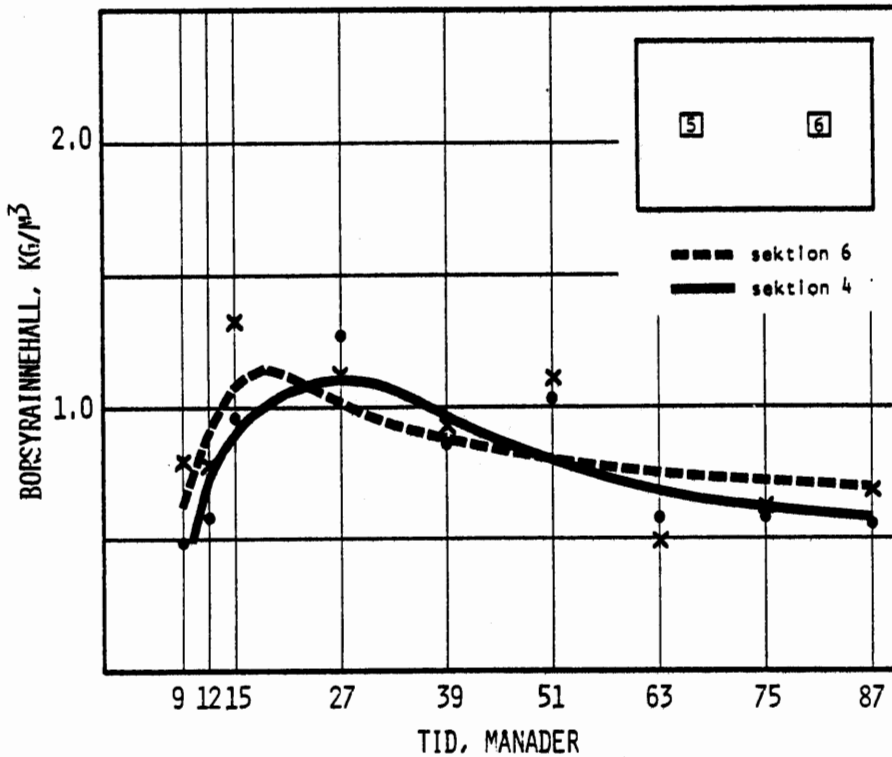


Fig 6 a. Medelvärdet av borsyrainnehållet (kg/m^3) i proverna 5+6 från sektionerna 4 och 6 vid respektive provtagningstillfälle avsett som funktion av tiden.

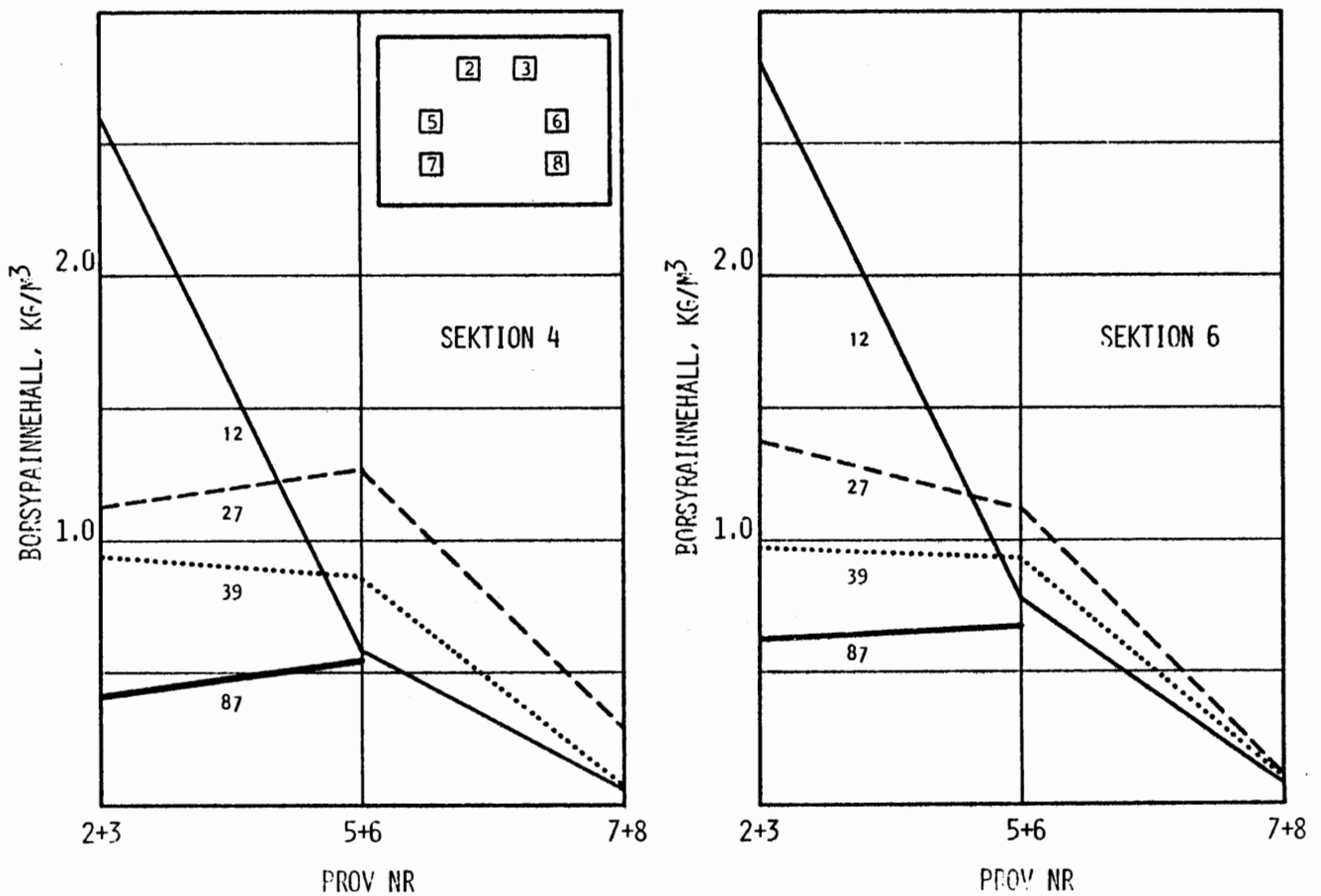


Fig 6 b. Medelvärdet av borsyrainnehållet (kg/m^3) på olika nivåer i sektionerna 4 och 6 vid provtagning efter 12, 27, 39 och 87 månader.

sig väl i området. Fig 6 b och fig 7, i den senare har medelvärdet av borsyrainnehållet för de sammanslagna proverna 5 och 6 i förhållande till motsvarande medelvärde för proverna 2 och 3 från sektionerna 4 och 6 avsatts som funktion av tiden, visar tydligt den utjämning som skett mellan det övre och mittre sliperskiktet.

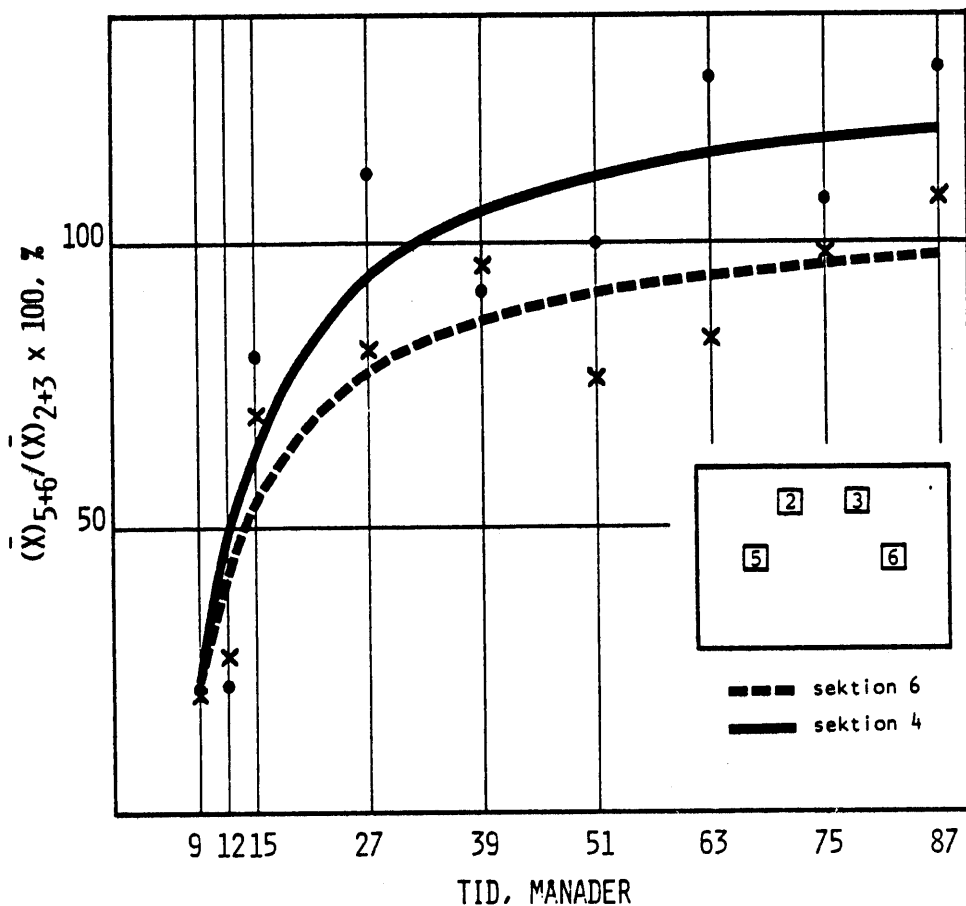


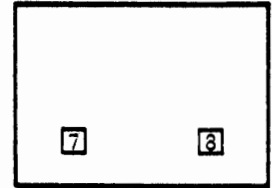
Fig 7. Utjämnings-effekten mellan övre och mittre sliperskiktet.

Medelvärdet av borsyrainnehållet i proverna 5+6 i förhållande (%) till motsvarande medelvärde för proverna 2+3 från sektionerna 4 och 6 som funktion av tiden.

Betraktar man borsyrainnehållet ännu längre ner i slipern för proverna 7 och 8, analyser gjordes för sektion 4 och 6 vid sex tillfällen, så finner man (tabell 2, fig 6 b), att värdena var mycket låga. Efter 27 månader låg nivån på 0,1-0,3 kg/m³. Någon fullständig utjämning av borsyrainnehållet skedde således inte i vertikal riktning. De låga värdena för proverna 7 och 8 torde främst kunna förklaras med att de låg långt från injektionerna, nålarna gick 5-6 cm ner i slipern, och att borsyran endast hade möjlighet att diffundera dit vertikalt. Den vertikala diffusionen förfaller vara sämre

Tabell 2. Medelvärde av borsyrainnehållet i de sammanslagna proverna 7 och 8 från sektion 4 och 6.

| Provtagningsstillfälle, mån | Borsyrainnehåll, kg/m ³ | |
|-----------------------------|------------------------------------|-----------|
| | sektion 4 | sektion 6 |
| 9 | 0,06 | 0,14 |
| 12 | 0,06 | 0,08 |
| 15 | 0,06 | 0,22 |
| 27 | 0,29 | 0,11 |
| 39 | 0,07 | - |
| 51 | 0,30 | 0,20 |



än den horisontella.

Rötrisen måste dock betraktas som något större i sliperns överdel, där sprickbildningen och återfuktningen vid nederbörd är som störst. Det lägre borsyrainnehållet i sliperns undre del får ej tillskrivas alltför stor betydelse, även om det givetvis vore önskvärt med ett högre borsyrainnehåll också i veden kring befästningarnas nedre delar.

I fig 5 b kan en intressant iakttagelse göras, nämligen att borsyrainnehållet i proverna 2 och 3 i sektion 6 hela tiden var större än motsvarande för sektion 4. Det finns sannolikt ingen enkel förklaring till detta. En tänkbar orsak kan vara, att proverna från sektion 6 alltid togs från "framsidan", dvs mycket nära injektionsställena (jfr fig 1 och 2), medan proverna från sektion 4 ömsom togs från "framsidan" och ömsom från "baksidan". I de fall då prov togs från framsidan innebar detta att provet togs på ett längre avstånd från injiceringsställena än vad som alltid gällde för sektion 6. Borsyrainnehållet borde därför i genomsnitt blivit något lägre för sektion 4. Vidare kan ett högre kreosot innehåll i slipersänden motverkat diffusionen och därmed medverkat till ett högre borsyrainnehåll i sektion 6.

Sammanfattningsvis kan konstateras, att borsyran fördelade sig tämligen väl i området under underläggsplattan. I den övre delen (ned till ca 10 cm djup) fanns under hela försöksperioden (ca 7 år) ett borsyrainnehåll på minst 0,4 kg/m³; längre ner var halten lägre. Förändringarna i borsyrahalten i försökets början var stora, men efter ca tre år erhöles en stabilisering med relativt små förändringar. Detta tyder på att förlusterna p g a urlakning efter denna tid var måttliga. Det bör emellertid påpekas i sammanhanget, att mycket stora

variationer förekom mellan sliprarna. Som framgår av bilaga 2 var spridningen i medelvärdena för de uttagna proverna mycket stor. Standardavvikelsen var i genomsnitt ca 70 % av medelvärdet under hela försöksperioden. Detta är i och för sig inte överraskande, eftersom trämaterialens egenskaper varierar inom vida gränser: fördelning splint/kärna, sprickor, kvistar, densitet, årsringsbredd, fukttinnehåll m m. Dessutom kan det varierande kreosottinnehållet tänkas ha påverkat diffusionen liksom mekaniska barriärer som rälskruvar och -spikar.

2.2 Kungsbackaförsöket

Material och utförande

För att studera den utvecklade appliceringstekniken under praktiska förhållanden och diffusionsförloppet i ett trafikerat spår, utvaldes en sträcka på Västkustbanan söder om Kungsbacka, där ca 1 000, 17 år gamla kreosotimpregnerade furusliprar efterimpregnerades i april 1974. Trafikbelastningen på den aktuella sträckan är ca 10 miljoner bruttoton per år.

Pastan injicerades med hjälp av en specialtillverkad utrustning, fig 8. Injiceringarna gjordes liksom i Nässjöförsöket kring rälsunderläggsplattan enligt mönster i fig 9. Underläggsplattorna var av Hey-Back typ, och till skillnad från fjäderspikplattorna i Nässjöförsöket monterade vid slipern med två par symmetriskt placerade rälskruvar. Hey-Back plattan är vidare 50 mm längre (170 x 350 mm) än fjäderspikplattan. Ballasten utgjordes av makadam klass I (30-60 mm) med grus som underballast. Spåret ansågs mycket väl dränerat.

För de 116 första sliprarna i försöket applicerades 22 injektioner runt varje platta, medan för återstoden gavs 26 injektioner/platta. Pastaåtgången beräknades som i Nässjöförsöket. I medeltal innehöll varje injektion 4,23 g borsyra, vilket motsvarar ca 110 g runt varje platta. I själva verket tillfördes dock inte slipern hela denna mängd, eftersom ett visst överskott erhöles på ytan vid varje injektionsställe såsom framgår av fig 10. Överskottet avlägsnades, innan området beströks med stenkolsolja. Detta för att tjäran skulle fästa ordentligt.



a

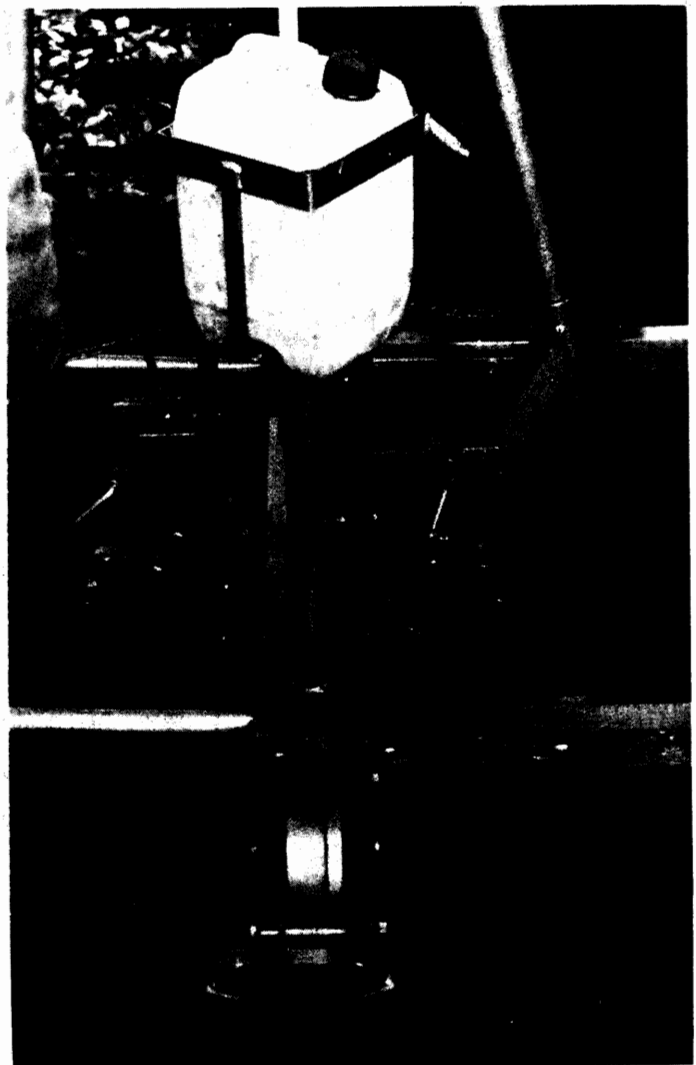


Fig 8 a. Utrustningen som användes för efterimpregnering i Kungsbackaförsöket.

b. Detalj.

b

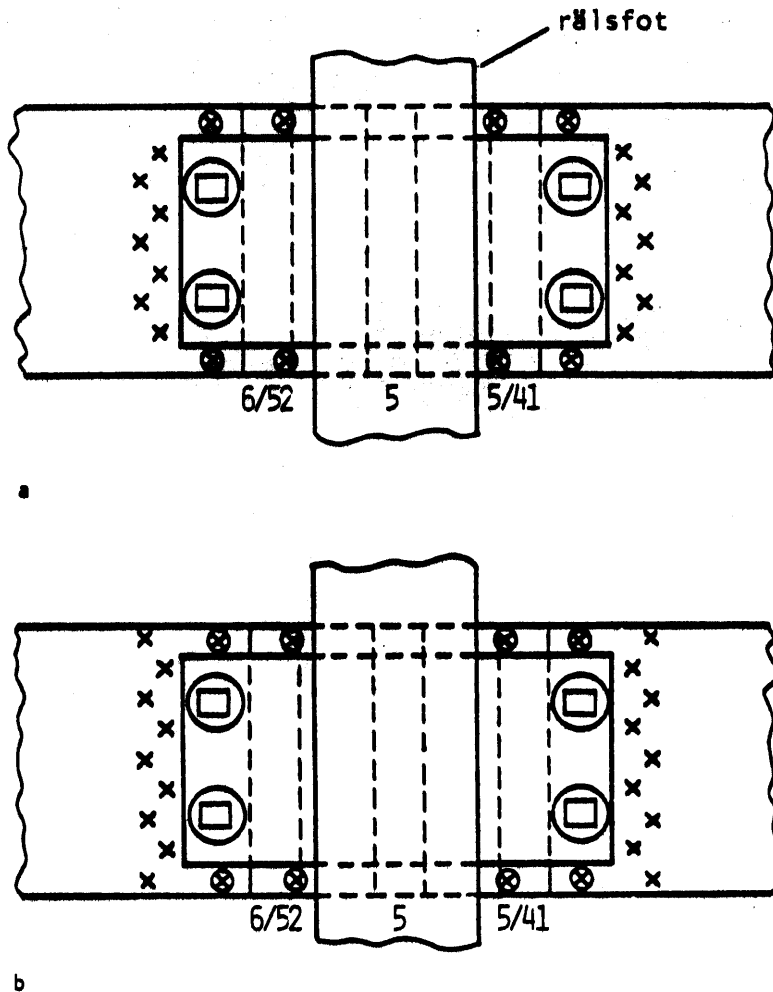


Fig 9 a. Mönster för injiceringen av borsyrapasta för de 116 först behandlade sliparna i Kungsbackaförsöket.

b. Mönster för injiceringen för resten av sliparna i Kungsbackaförsöket.

Ringade kryss betecknar, att injektionerna givits snett in (ca 60°) under plattan. Plattans mått är 170 x 350 mm.

För studier av borsyrans diffusion i horisontell och vertikal riktning uttogs prover från fem sliprar (10 slipershalvor) 21, 32 och 44 månader efter reimpregneringen. Endast sliprar som fått 26 injektioner borsyra/underläggsplatta uttogs. Eftersom sliprarna låg i ett trafikerat spår, gjordes åtskillnad mellan slipershalvor från positiv respektive negativ rällssträng för den händelse att signalströmmen skulle kunna påverka jonvandringen.

Vid det första provtagningstillfället efter 21 månader utsågades sektioner

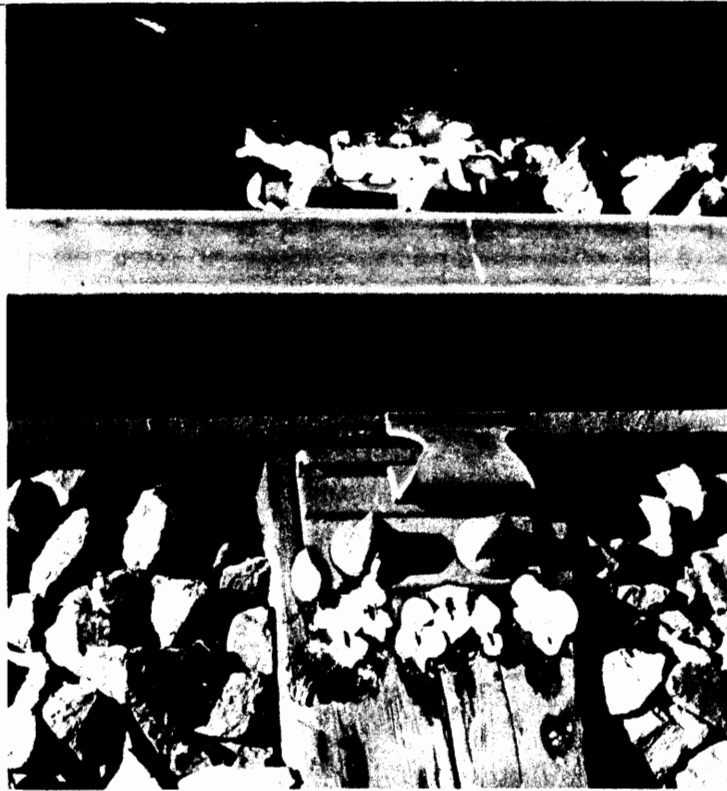


Fig 10. Nyligen efterimpregnerad sliper. Lagg märke till överskottet av pasta, som finns på ytan vid injiceringsställena.

enligt samma system som i Nässjöförsöket, fig 2. Det visade sig emellertid, att detta var olämpligt, eftersom provtagning från sektionerna 4 och 6 försvårades p g a närvaron av hål från rälsskruvarna mitt i dessa sektioner. Då underläggsplattorna i Kungsbackaförsöket hade andra dimensioner än de i Nässjöförsöket, råkade skruvarna hamna mitt i sektionerna 4 och 6. En ny plan för utsågning av sektioner gjordes upp, fig 11, och sektionerna 4 och 6 ersattes av de näraliggande sektionerna 5/41 och 6/52 vid de följande provtagningstillfällena. För att komplettera analyserna från det första provtagningstillfället uttogs senare även sektionerna 5/41 och 6/52 från de aktuella sliprarna.

Från varje sektion uttogs prover för kemisk analys enligt samma mönster som i Nässjöförsöket. I tabell 3 redovisas vilka prover ur varje sektion, som uttogs vid respektive provtagningstillfälle. Analyserna utfördes enligt urlakningsmetoden.

Resultat

I bilaga 3 redovisas samtliga resultat i tabellform från de kemiska analyserna. Medelvärden för de sammanslagna proverna 2 och 3 respektive 5 och 6 beräknades

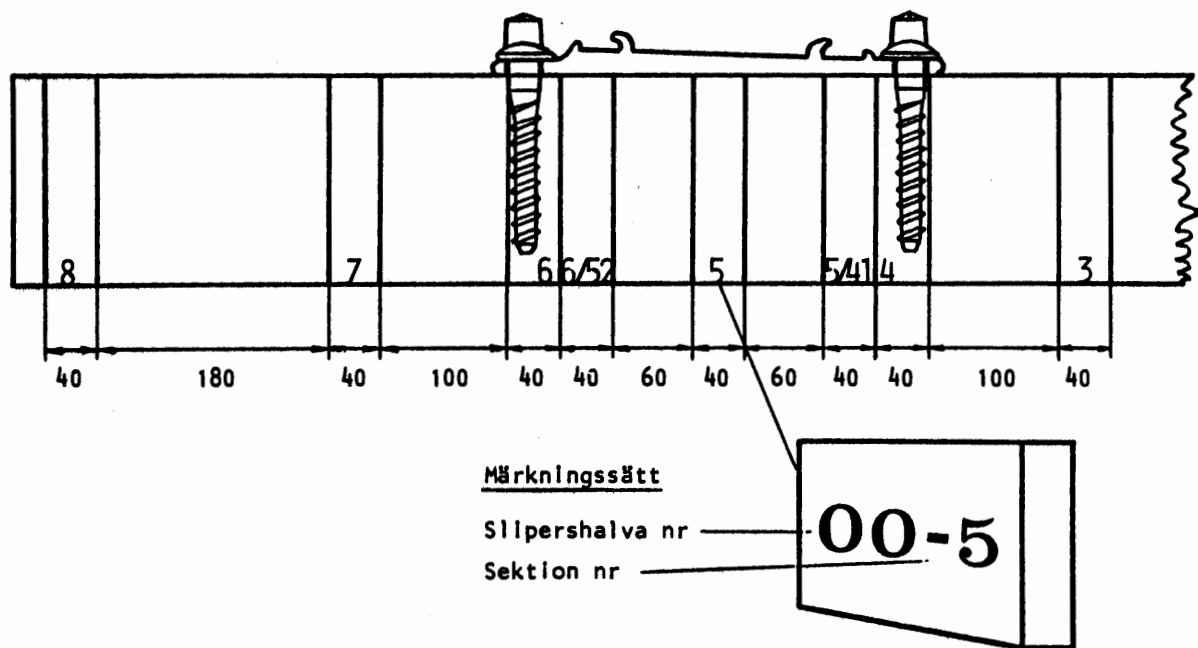


Fig 11. Modell för utsågning av sektioner i Kungsbackaförsöket. Mått i mm.

Tabell 3. Sammanställning över uttagna prover i Kungsbackaförsöket.

| Sektion nr | Uttagna prover vid respektive provtagningsstillfälle | | | |
|---------------|--|------------|------------|---------|
| | 21 | 32 | 44 | månader |
| 3 | - | 2, 3 | 2, 3 | |
| 4 | 2, 3, 5, 6 | - | - | |
| 5/41 | 2, 3, 5, 6 | 2, 3, 5, 6 | 2, 3, 5, 6 | |
| 5 | 2, 3 | 2, 3 | 2, 3 | |
| 6/52 | 2, 3, 5, 6 | 2, 3, 5, 6 | 2, 3, 5, 6 | |
| 6 | 2, 3, 5, 6 | - | - | |
| 7 | - | 2, 3, 5, 6 | 2, 3, 5, 6 | |

analogt med Nässjöförsöket.

Eftersom endast tre inspektioner gjordes, är motsvarande grafiska presentation, som gjordes för Nässjöförsöket, inte meningsfull. I fig 12 visas medelvärdena från de sammanslagna proverna 2 och 3 vid de tre provtagningsstillfällena på samma sätt som i fig 5 a, varigenom man får en uppfattning om det horisontella diffusionsförloppet. I fig 13 presenteras den vertikala

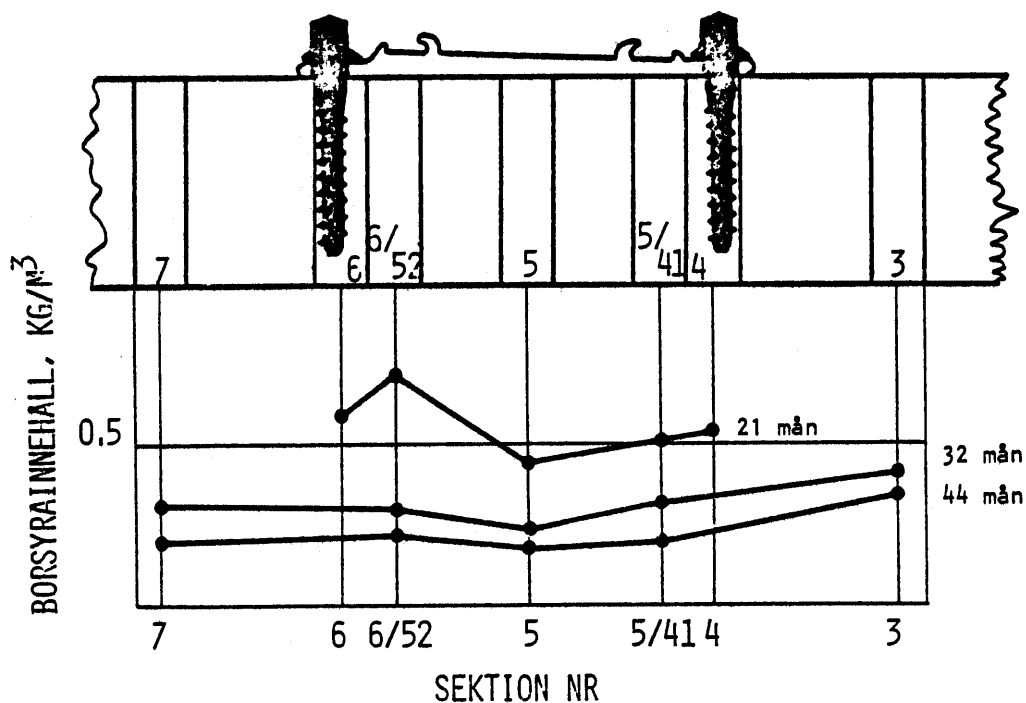


Fig 12. Horisontella diffusionsförloppet i Kungsbackaförsöket.

Medelvärde av borsyrainnehalten (kg/m^3) i proverna 2+3 för respektive sektion vid provtagningsstillfällena efter 21, 32 och 44 månader.

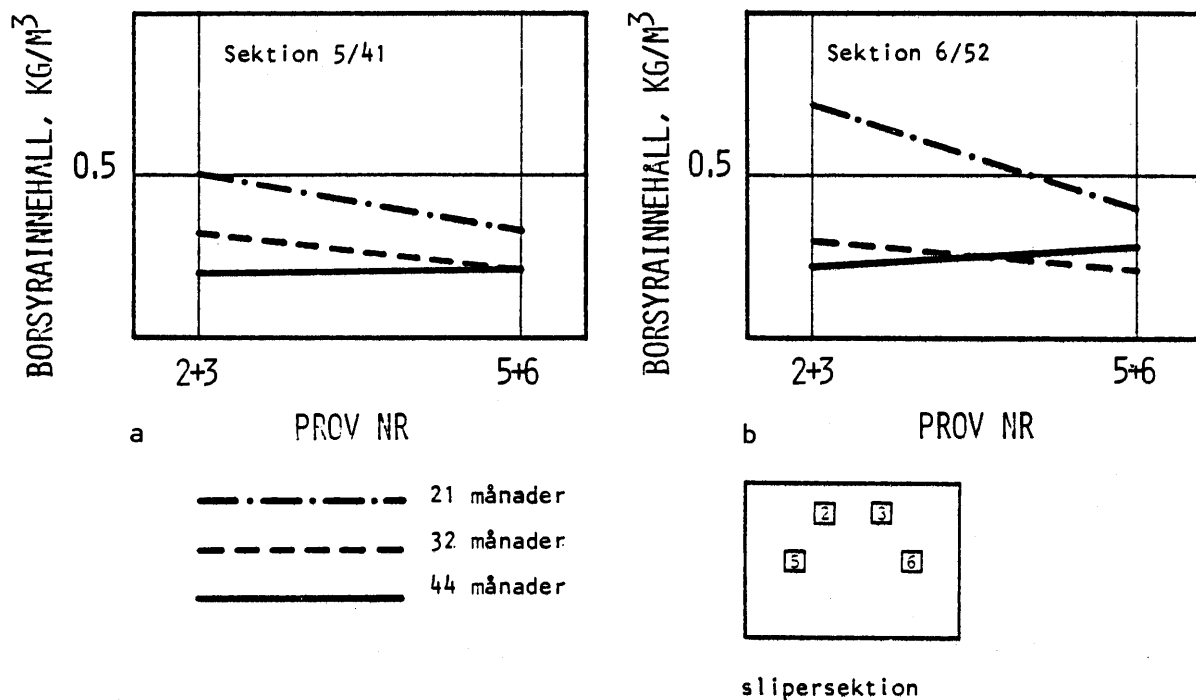


Fig 13. Medelvärde av borsyrainnehalten (kg/m^3) i övre och mitre slipersskiktet i (a) sektion 5/41 och (b) sektion 6/52 vid provtagningsstillfällena i Kungsbackaförsöket.

diffusionen grafiskt för sektionerna 5/41 och 6/52. Även om en viss skillnad förelåg i borsyrainnehållet från sektionerna vid positiv respektive negativ rälssträng - vid den negativa var borsyrainnehållet i regel något större - har denna skillnad ej ansetts spela någon väsentlig roll. I fig 12 och 13 presenteras därför medelvärden, som är beräknade för samtliga aktuella slipershalvor.

Som framgår av fig 12 och 13 var borsyrainnehållet i sliparna redan vid det första provtagningstillfället efter 21 månader mycket lågt, ca $0,5 \text{ kg/m}^3$. Det sjönk ytterligare kraftigt fram till 32 månader. Upptagningsnivåerna var avsevärt lägre än de som uppmättes i Nässjö och långt ifrån tillräckliga för att ge ett effektivt rötskydd, jfr kapitel 3. Någon säker förklaring till detta förhållande kan inte ges. Sannolikt var emellertid förlusterna redan vid injiceringstillfället betydande och större än i Nässjöförsöket, jfr fig 10. En annan tänkbar förklaring kan ha varit inverkan av trafiken, som möjligen skulle kunna orsakat en slags pumpeffekt, innebärande att pasta strax efter injiceringen pumpats ut via injiceringshålen och sprickor, innan den börjat sprida sig i veden.

Slutsatsen från försöket är att metodiken med injicering av pasta visat sig mindre lämplig för efterimpregnering av sliprar, framför allt på grund av att en tillräcklig nettomängd borsyra inte kunde tillföras sliparna och dessutom för att impregneringsproceduren var alltför arbetsintensiv.

3. BIOLOGISKA PROVNINGAR

3.1 Inledning

Om ett vattenlösligt diffusionsimpregneringsmedel som borsyra skall användas för efterimpregnering av kreosotimpregnerade furusliprar, är det bl a nödvändigt att skaffa information om mängden borsyra, som behövs för att förhindra uppkomst av röta i

- oimpregnerad splintved
- impregnerad splintved med låg upptagning av kreosotolja
- kärnved

Flera rapporter har publicerats om borföreningars effektivitet mot ett stort antal röttsvampar. Olika provningsmetoder har använts i dessa studier, t ex ASTM 1413, BS 838, DIN 52176 och NF X 41-502 (Becker 1959, Gallagher 1968, Harrow 1950, Jacquot et al 1960, Smith 1969).

Bland de röttsvampar som studerats i detta avseende är källarsvampen (*Coniophora puteana*), sylisvampen (*Lentinus lepideus*), bastusvampen (*Gloeophyllum trabeum*), mögeltickan (*Antrodia sinuosa*), knöltickan (*Antrodia serialis*) samt porsvampen *Poria xantha* av särskilt intresse som potentiella angripare av järnvägssliprar av furu. I de nämnda studierna har dessa svampar provats på vanlig nordisk furu (*Pinus sylvestris* L) samt några andra *Pinus*-arter.

Borföreningarna som provades var borsyra (H_3BO_3), borax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) och Timbor^{®1} (dinatriumoktaborat-tetrahydrat, $Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$). Gränsvärdet, uttryckt som kg borsyra/m³ vedvolym, varierade betydligt mellan undersökningarna. Variationerna kan bero på skillnader i provningsmetod, svampstam, träslag och virkets ursprung. Med några få undantag låg gränsvärdena under 1,5 kg/m³ borsyraekvivalent för de i denna undersökning aktuella svamparna.

Generellt gav ASTM 1413 högre gränsvärden än motsvarande DIN 52176 och BS 838. I undersökningen av Gallagher (1968) jämfördes splint- och kärnved av furu mot *Coniophora puteana* och *Poria xantha*. Resultaten indikerade, att gränsvärdet för kärnved var hälften eller lägre än det för splintved. Ingen av de båda

¹Inregistrerat varumärke av US Borax

svamparna är emellertid känd för att angripa kärnved, och en svamp som syllsvampen (*Lentinus lepideus*) kan förväntas ha reagerat annorlunda. Effektivitetsnivåerna som uppnåddes i de ovan nämnda undersökningarna låg till grund för valet av de koncentrationer och upptagningar, som använts i föreliggande studie.

Kreosotoljas skyddseffekt mot röta i furu har också studerats i många undersökningar. Av särskilt intresse är studier som omfattat kreosotimpregnerat virke i bruk. Becker och Hoffmann (1966) studerade rötresistensen hos kreosotimpregnerade bok- och furusliprar, som varit i bruk under olika lång tid (3-30 år). Prover från sliprarna testades enligt DIN 52176 och ASTM D 1413-61 mot tre basidiomyceter. Analyser visade, att kreosotimpregnerad furusplintved inte angreps av röta vid upptagningar över 50 kg/m³. Upptagningar under detta värde påträffades i sliprar, som varit i bruk i 14 år eller mera. Dessa sliprar var angripna av röttsvampar. Det var således god korrelation mellan laboratorieförsöken och verkligheten.

Becker och Starfinger (1967) undersökte rötresistensen hos kreosotimpregnerad furusplintved, som utsatts för accelererat åldrande. Olika fraktioner (låg- och högkokande) från olika kreosotoljor användes i försöket. Författarna drog slutsatsen, att kreosotoljas åldrande i huvudsak karakteriseras av förlusten av lågkokande fraktioner. Detta påverkar dock inte i någon högre grad varaktigheten av den fungicida effekten hos tunga och medeltunga oljor för vilken "mängden av högkokande föreningar som återfinns i virket är bestämmande".

Smith och Savory (1964) undersökte åldrad kreosotolja som extraherats från impregnerat virke efter 30 års användning. De fann, att den gamla extraherade kreosotoljan var lika effektiv som ny olja mot *Lentinus lepideus*, när träklotsar impregnerades och provades på laboratorium.

De refererade kreosotundersökningarna visar således att med undantag för lätta oljor, dvs sådana som innehåller företrädesvis lågkokande fraktioner, förblir kreosotolja verksamt mot röttsvampar under mycket lång tid i praktiskt bruk. Detta faktum försvarar användningen av färsk, icke åldrad olja i de här beskrivna försöken.

Skyddseffekten av diffusibla träskyddsmedel på kreosotimpregnerat virke med

låga upptagningar har delvis studerats av Fahlstrom (1964). Med användande av den amerikanska "soil block"-tekniken (ASTM D 1413) på prover av "Southern pine" kunde Fahlstrom påvisa att, jämfört med icke-kreosoterat virke, reducerades gränsvärdet för borax mot *Lentinus lepideus* från 0,80-1,12 kg/m³ till 0,16-0,48 kg/m³ vid kreosotupptagningar som låg på ungefär halva (32 kg/m³) den effektiva nivån (78 kg/m³). Han konstaterade alltså, att den kombinerade effekten av borax och kreosotolja var betydligt större än de enskilda träskyddsmedlens var för sig. Detta har också beaktats i föreliggande undersökning.

3.2 Material och utförande

Undersökningen genomfördes i två delar:

- provning av den kombinerade effekten av kreosotolja och borsyra mot röta i furusplintved (*Pinus sylvestris*)
- provning av borsyras skyddseffekt på kärnved (*P sylvestris*)

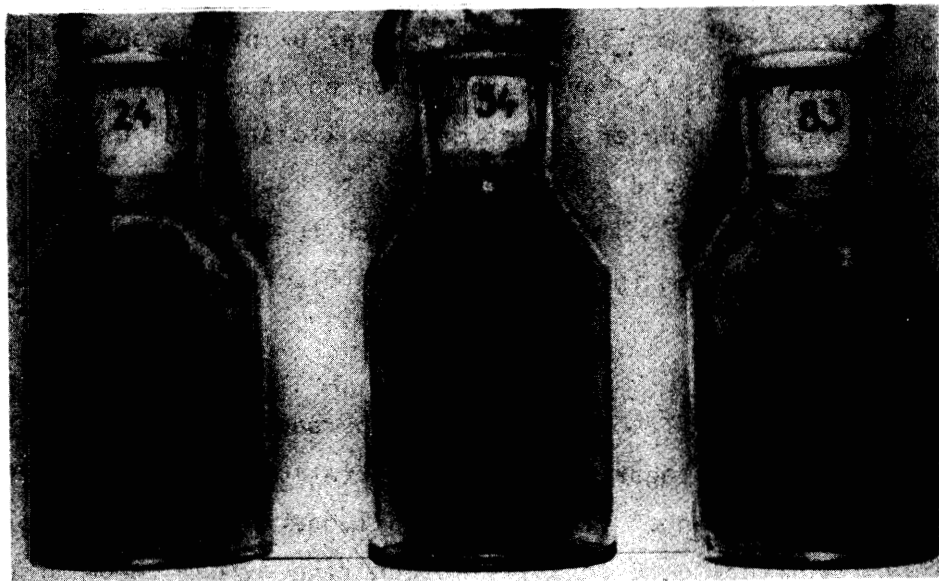
Dessutom genomfördes kemiska analyser som komplement till de biologiska provningarna.

För den första delen av provningen impregnerades splintvedsklotsar 20 x 20 x 20 mm enligt fullcellmetoden med kreosotolja löst i toluen till följande koncentrationer: 10, 6,7, 3,3, 1,7 och 0,8 %. Dessa antogs ge följande ungefärliga upptagningar: 60, 40, 20, 10 och 5 kg/m³. 100 klotsar impregnerades med varje koncentration. 100 klotsar impregnerades även med ren toluen. Kreosotoljan erhöles från SJ, och den uppfyllde den skandinaviska specifikationen från 1936.

När toluenen avdunstat, fullcellimpregnerades kreosotklotsarna med borsyralösningar i koncentrationerna 0,17, 0,08, 0,03 och 0,017 %, som avsågs ge upptagningarna 1,0, 0,5, 0,2 och 0,1 kg/m³. Tjugo klotsar av varje kreosotupptagning impregnerades med varje borsyralösning.

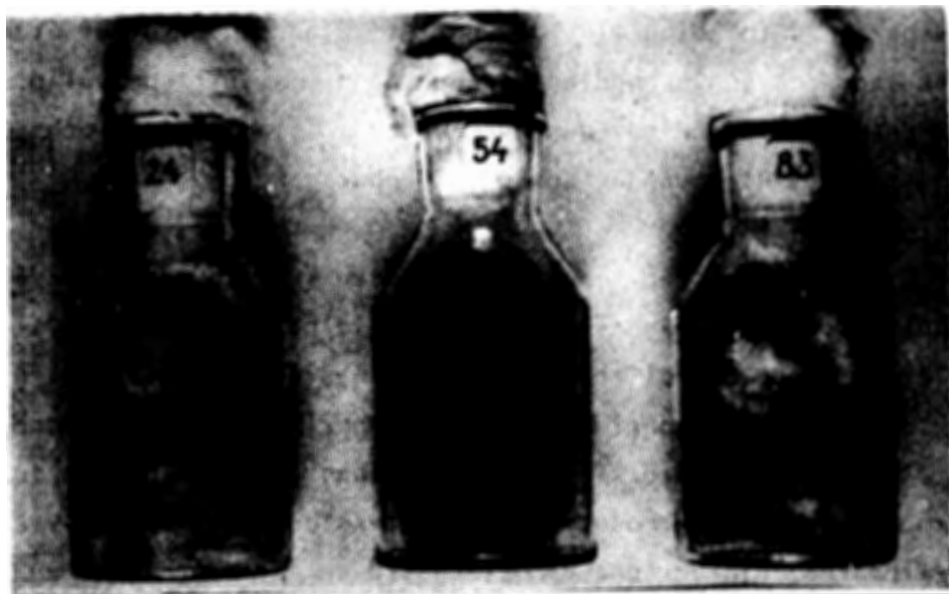
De toluenimpregnerade klotsarna representerade kreosotupptagningen 0 kg/m³. Försöksledet "olika kreosotupptagningar, borsyraupptagning 0 kg/m³" realiserades genom att impregnera 20 klotsar av varje kreosotupptagning samt 20 toluenimpregnerade klotsar med destillerat vatten. Försöksledet "olika borsyraupptagningar, kreosotupptagning 0 kg/m³" realiserades analogt genom att impregnera 20 toluenbehandlade klotsar med respektive borsyralösning. Helt oimpregnerade klotsar användes som kontrollprover.

Efter den andra impregneringen konditionerades klotsarna först i rumstemperatur och sedan vid 102 °C i ett dygn, varefter torrvikterna bestämdes. Klotsarna överfördes därefter till förvaring i sterila petriskålar. Två dagar innan rötprovningen påbörjades placerades petriskålarna i ett värmeskåp vid 50 °C. Klotsarna överfördes sedan till odlingskärlen. Dessa bestod av 500 ml glasburkar, som förslutits med bomullsproppar. Burkarna, som förvarades liggande, innehöll ca 150 ml maltagarextrakt (1,5 % agar-agar och 2,5 % maltextrakt) med ett nylonnät placerat på agarytan.



Kreosotimpregnering i kombination med borsyra

a



Kreosotimpregnering i kombination med borsyra

b

Fig 14. Rötprovningarna utfördes i odlingskärl av ovanstående typ. Bilderna visar provningar av några kreosot- och borsyraimpregnerade klotsar efter (a) en månad och (b) efter två månader. Svampväxten i kärl 24 och 83 har ökat markant under perioden.

Odlingskärnen var ympade med en av följande basidiomycetsvampar:

Lentinus lepideus, stam BK C-1

Gloeophyllum trabeum, stam A 570

Antrodia sinuosa, BK C-196

Ympningen ägde rum två veckor innan klotsarna placerades i kärnen.

Sex klotsar placerades i varje odlingskärl, se fig 14. Fem av klotsarna var impregnerade med samma kreosotkoncentration men representerade hela skalan borsyrakoncentrationer. Den sjätte klotsen var oimpregnerad kontroll. Fem klotsar för varje kreosot/borsyrakombination användes för varje svamp. Inkubationsperioden var sex månader. Därefter togs klotsarna ut ur odlingskärnen, vägdes, konditionerades vid rumstemperatur, torkades i ett dygn vid 102 °C och vägdes ånyo, varefter viktsförlusterna och fuktinnehållen beräknades. Impregnerade klotsar, som inte användes för rötprovningarna, sparades för kemiska analyser.

För den andra delen av försöket tryckimpregnerades kärnvedsklotsar 20 x 20 x 20 mm av furu med borsyralösningar i samma koncentrationer, som användes i den första delen. Efter impregneringen fick klotsarna ligga två veckor i impregneringslösningarna, varpå ytterligare en tryckimpregnering av dem genomfördes.

Upptagningen bestämdes för samtliga provklotsar genom vägning, konditionering i rumstemperatur, torkning vid 102 °C i ett dygn och därefter åter vägning. Klotsarna lagrades och behandlades sedan på samma sätt som splintvedsklotsarna i första delen av försöket. *Lentinus lepideus* (stam BK C-1) och *Gloeophyllum trabeum* (stam A 570) användes som provsvampar.

De biologiska provningarna kompletterades med kemiska analyser. Ett antal impregnerade provklotsar sändes till Borax Holdings Ltd för analys av borsyra-innehållet för att kontrollera att upptagningarna som beräknats på basis av viktsökningen vid impregneringen och impregneringslösningens koncentration var riktiga. Analyserna utfördes enligt urlakningsmetoden. För att få en uppfattning om hur stor mängd kreosotolja, som återstod i de med borsyra efterimpregnerade sliprarna, gjordes under hösten 1978 en serie analyser av prover från Nässjöförsöket. Från sektionen belägen mellan sektionerna 4 och 5 (se fig 2) uttogs i nivå med prov 2 och 3 (fig 3) borrhåll, som sändes till Borax för analys av kreosotinnehållet enligt AWPA standard A6-59.

3.3 Resultat

Rötprovningar med splintvedsprover

Resultaten från rötprovningarna med splintvedsproverna redovisas i tabell 4, 5 och 6. Det framgår tydligt från dessa, att *Lentinus lepideus* var mera resistent än de övriga två svamparna både mot kreosotolja och borsyra. *Gloeophyllum trabeum* och *Antrodia sinuosa* var så kreosotkänsliga, att viktsförlusterna hos kontrollproverna väsentligen reducerades i odlingskärl, som innehöll prover impregnerade med de högsta kreosotupptagningarna. De streckade linjerna i tabellerna antyder ungefärliga gränsvärden, dvs minsta provade upptagning som förhindrat angrepp, för olika kombinationer av kreosotolja och borsyra. För att en viss kreosot/borsyrakombination skall anses ha förhindrat angrepp tillåts en genomsnittlig viktsförlust på maximalt 2,5 %, samtidigt som viktsförlusten för enskilda prover ej får överstiga 3 %.

Varken kreosotolja eller borsyra i de provade upptagningarna kunde ensamma förhindra angrepp av *Lentinus lepideus*. Genomsnittligen fordrades kreosotupptagningar på 50 och 35 kg/m³ kombinerat med borsyraupptagningar på 0,5 respektive 1 kg/m³. Lägre kreosot- och borsyraupptagningar resulterade i mätbara angrepp, även om viktsförlusterna var relativt blygsamma i samtliga serier med den högsta borsyraupptagningen. Samtliga upptagningar är här beräknade på basis av viktsökningen vid impregneringen och impregneringslösningens koncentration. För *Gloeophyllum trabeum* och *Antrodia sinuosa* observerades inga angrepp för kreosotupptagningar större än 33 kg/m³ och borsyraupptagningar större än 0,46-0,48 kg/m³.

Rötprovningar med kärnvedsprover

Resultaten presenteras i tabell 7. Borsyraupptagningarna som beräknats från upptagning och koncentration av impregneringslösningen har här korrigerats för skillnaden mellan beräknat och analytiskt bestämt, verkligt värde, se tabell 9. *Lentinus lepideus* var klart mera resistent mot borsyra i furukärnved än *Gloeophyllum trabeum*. Upptagningar på 1,13-1,38 kg/m³ var tillräckliga för att helt förhindra rötangrepp av den senare svampen. Den verkliga hämningsgränsen för *Gloeophyllum trabeum* ligger troligen i området 0,61-0,92 kg/m³ och för *Lentinus lepideus* mellan 1,13 och 1,57 kg/m³.

Tabell 4. Procentuell viktsförlust (absolut torrt trä) för furusplintklotsar, som impregnerats till olika upptagningar med kreosotolja och borsyra, efter 6 månaders exponering för mögeltickan (*Antrodia sinuosa*).

Siffror inom parentes anger spridningen i upptagning respektive viktsförlust. K = oimpregnerade kontrollprover.

| Borsyraupptagning kg/m ³ | Kreosotupptagning, kg/m ³ | | | | | |
|--|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 49,7 (39,5 - 58,1) | 33,2 (26,7 - 38,4) | 16,0 (11,6 - 18,6) | 8,7 (5,8 - 10,5) | 4,5 (3,5 - 4,7) | 0 |
| 1,00 (0,92 - 1,10) | 0,3 (-2,9 - 1,8) | -0,5 (-1,5 - 0) | 0,3 (-0,3 - 0,8) | 0,2 (-1,5 - 0,3) | 0,6 (0 - 1,1) | 0,2 (0 - 0,43) |
| 0,48 (0,44 - 0,50) | 2,3 (1,8 - 2,9) | 0,9 (-0,3 - 2,2) | 1,2 (0,6 - 1,6) | 1,2 (0,8 - 1,6) | 0,3 (-0,9 - 0,9) | 0,7 (0 - 1,3) |
| 0,17 (0,13 - 0,19) | 2,1 (1,8 - 2,7) | 1,6 (0,7 - 2,4) | 0,9 (0,3 - 1,7) | 1,7 (-0,3 - 4,2) | 18,4 (5,6 - 23,8) | 9,8 (3,6 - 21,1) |
| 0,10 (0,08 - 0,11) | 2,3 (1,8 - 2,8) | 1,8 (1,4 - 2,1) | 8,2 (1,4 - 16,9) | 10,4 (1,9 - 18,9) | 20,4 (16,3 - 37,4) | 40,2 (31,0 - 49,8) |
| 0 | 2,3 (0,3 - 2,9) | 1,4 (0,4 - 2,0) | 14,4 (8,8 - 20,5) | 20,6 (13,3 - 29,5) | 34,6 (20,3 - 60,8) | 39,4 (32,6 - 47,8) |
| K | 5,4 (-0,3 - 12,9) | 6,0 (3,0 - 10,3) | 23,7 (0 - 49,2) | 20,9 (-6,6 - 44,5) | 24,4 (15,1 - 33,8) | 14,11 (9,9 - 22,4) |

Tabell 5. Procentuell viktsförlust (absolut torrt trä) för furusplintklotsar, som impregnerats till olika upptagningar med kreosotolja och borsyra, efter 6 månaders exponering för bastusvampen (*Gloeophyllum trabeum*).

Siffror inom parentes anger spridningen i upptagning respektive viktsförlust. K = oimpregnerade kontrollprover.

| Borsyraupptagning kg/m ³ | Kreosotupptagning, kg/m ³ | | | | | |
|--|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 50,0 (40,7 - 53,5) | 33,6 (23,3 - 39,5) | 16,7 (11,6 - 20,9) | 8,5 (5,8 - 10,5) | 4,4 (3,5 - 4,7) | 0 |
| 0,97 (0,90 - 1,00) | 1,8 (1,4 - 2,1) | 2,0 (1,5 - 2,5) | 1,1 (0,8 - 1,4) | 0,8 (0,6 - 1,1) | 0,7 (0,5 - 1,2) | 0,7 (0,5 - 0,9) |
| 0,46 (0,40 - 0,52) | 2,8 (1,7 - 3,0) | 1,5 (1,3 - 1,7) | 0,9 (-2,0 - 2,11) | 0,7 (-0,3 - 1,0) | 0,9 (0,3 - 1,2) | 1,0 (0,5 - 1,5) |
| 0,17 (0,13 - 0,19) | 2,2 (1,1 - 3,0) | 2,0 (1,7 - 2,2) | 1,4 (0,9 - 2,2) | 3,4 (1,4 - 6,3) | 6,2 (1,4 - 9,2) | 12,6 (5,6 - 24,5) |
| 0,10 (0,08 - 0,11) | 2,5 (2,0 - 3,2) | 2,1 (1,3 - 2,6) | 3,5 (1,6 - 7,8) | 8,6 (2,6 - 14,6) | 12,9 (7,9 - 16,1) | 16,0 (12,7 - 19,2) |
| 0 | 2,2 (0,5 - 3,5) | 2,0 (1,6 - 2,7) | 7,2 (2,5 - 10,2) | 16,1 (12,1 - 19,0) | 14,9 (12,2 - 17,2) | 19,8 (14,3 - 24,8) |
| K | 2,5 (-0,3 - 5,6) | 6,4 (3,6 - 10,0) | 9,6 (4,9 - 12,2) | 7,3 (5,1 - 9,2) | 9,2 (4,4 - 10,7) | 12,3 (7,6 - 15,1) |

Tabell 6. Procentuell viktsförlust (absolut torrt trä) för furusplintklotsar, som impregnerats till olika upptagningar med kreosotolja och borsyra, efter 6 månaders exponering för syllsvampen (*Lentinus lepideus*).

Siffror inom parentes anger spridningen i upptagning respektive viktsförlust. K = oimpregnerade kontrollprover.

| Borsyraupptagning kg/m ³ | Kreosotupptagning, kg/m ³ | | | | | |
|--|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 48,9 (30,2 - 59,0) | 35,0 (29,1 - 41,9) | 14,8 (11,6 - 18,6) | 8,6 (7,0 - 10,5) | 4,3 (3,5 - 4,7) | 0 |
| 0,96 (0,90 - 1,02) | 2,1 (2,0 - 2,4) | 1,8 (1,4 - 2,2) | 2,4 (1,1 - 4,5) | 2,3 (1,2 - 4,0) | 4,0 (-3,7 - 10,9) | 5,2 (0,8 - 9,4) |
| 0,46 (0,40 - 0,52) | 2,3 (1,9 - 2,8) | 3,2 (2,1 - 4,2) | 8,7 (2,4 - 17,2) | 12,6 (3,5 - 20,1) | 21,4 (12,1 - 26,9) | 26,4 (15,3 - 42,6) |
| 0,17 (0,13 - 0,20) | 2,7 (2,4 - 3,1) | 5,2 (3,0 - 10,1) | 21,4 (17,9 - 26,4) | 33,6 (29,1 - 43,9) | 26,0 (18,9 - 35,3) | 28,9 (21,8 - 32,9) |
| 0,10 (0,08 - 0,11) | 2,9 (2,2 - 5,3) | 8,3 (3,2 - 11,2) | 31,7 (30,3 - 34,4) | 37,3 (33,3 - 44,1) | 30,4 (24,2 - 42,9) | 33,1 (26,0 - 38,0) |
| 0 | 4,2 (3,6 - 6,1) | 14,4 (8,8 - 20,9) | 35,5 (30,0 - 40,8) | 38,6 (34,8 - 45,4) | 35,1 (25,5 - 40,1) | 33,9 (26,3 - 37,7) |
| K | 26,2 (20,2 - 33,5) | 31,0 (28,1 - 35,4) | 31,6 (17,6 - 42,7) | 22,9 (17,3 - 27,9) | 19,5 (11,9 - 26,4) | 20,6 (17,8 - 25,1) |

Tabell 7. Procentuell viktsförlust (absolut torrt trä) för kärnvedsprover av furu, som impregnerats till olika upptagningar med borsyra, efter 6 månaders exponering för *Lentinus lepideus* och *Gloeophyllum trabeum*.

Siffror inom parentes anger spridningen i upptagning respektive viktsförlust.

| <i>Lentinus lepideus</i> | | <i>Gloeophyllum trabeum</i> | |
|--|-----------------------|--|----------------------|
| Borsyraupptagning kg/m ³ | Viktsförlust % | Borsyraupptagning kg/m ³ | Viktsförlust % |
| 1,25 (1,13 - 1,57) | 2,7 (0 - 14,5) | 1,20 (1,13 - 1,38) | 0,3 (0 - 0,6) |
| 0,69 (0,63 - 0,75) | 14,7 (2,7 - 33,2) | 0,72 (0,61 - 0,92) | 2,2 (0,6 - 6,0) |
| 0,22 (0,19 - 0,25) | 26,1 (16,6 - 32,2) | 0,21 (0,19 - 0,24) | 3,6 (0,3 - 12,3) |
| 0,13 (0,01 - 0,15) | 31,0 (26,3 - 39,5) | 0,12 (0,09 - 0,13) | 5,4 (1,1 - 13,5) |
| 0 | 35,6 (29,2 - 44,5) | 0 | 16,7 (7,1 - 30,3) |

Borsyraanalyser

Upptagningarna bestämda genom kemiska analyser jämfördes med de som beräknats på basis av viktsökning och lösningskoncentration vid impregneringen. För splintvedsproverna stämde det beräknade värdet väl överens med det som bestämts genom kemisk analys. Se tabell 8. För kärnvedsproverna skiljde sig emellertid det beräknade borsyrainnehållet väsentligt från det analytiskt bestämda. Se tabell 9. Det kan misstänkas att de oväntat höga värdena för borsyraupptagningarna som visas i den tredje kolumnen i tabell 9 kan tillskrivas ett kumulativt fel, som uppstått vid bestämningen av borsyralösningens koncentration och vid själva analysen.

Kreosotanalyser

Resultaten från kreosotanalyserna presenteras i tabell 10. Som framgår av tabellen varierar värdena från under 10 upp till emot 70 kg/m³. Medelupptagningen är 22 kg/m³ med en spridning, uttryckt som standardavvikelse, på 17,3 kg/m³. Den stora spridningen kan ha flera orsaker, t ex olika stor upptagning från början, gradientfaktorer med hänsyn till inträngningsdjupet och om provet tagits i splint- eller kärnved. Vid provtagningen, som skedde från slipersektioner som lagrats i flera år, var det i många fall ytterst svårt att avgöra om provtagningsställena (motvarande position 2 och 3, jfr fig 3) låg i splint- eller kärnved. Snittet var ofta så mörkfärgat, antingen av själva kreosoten eller av att virket mörknat med tiden, att gränsen mellan kärna och splint ej kunde urskiljas. Flera av de analyserade proverna härrörde dock med säkerhet från kärnved, vilket delvis förklarar de låga upptagningarna. Under alla förhållanden bekräftar emellertid analyserna, att de kreosotupptagningar som användes vid de biologiska provningarna var representativa för vad som faktiskt existerar i sliprar i bruk.

3.4 Sammanfattning och diskussion

Rötprovningarna har klart visat, att sylldsvampen *Lentinus lepideus* är mera motståndskraftig mot kreosot-borsyrakombinationer än de två andra svamparna som undersökts. Därför är sylldsvampen av störst intresse vid utvärderingen av de erhållna analysresultaten.

För att få ett acceptabelt kompletterande skydd av de inre delarna av den kreosotimpregnerade splintveden hos furusliprar, krävs borsyraupptagningar på minst

Tabell 8. Borsyraanalyser. Jämförelse mellan upptagningsberäkningar för splintvedsprover.

| Impregneringslösningens konc | | Borsyrainnehåll i splintvedsklotsar ¹ | |
|------------------------------|------------|---|--------------------------------------|
| Kreosotolja, % | Borsyra, % | Beräknad på upptagning och koncentration av impregneringslösningen, vikts-% | Bestämd genom kemisk analys, vikts-% |
| 10,0 | 0,017 | 0,019 | 0,019 |
| 6,7 | " | 0,021 | 0,014 |
| 3,3 | " | 0,019 | 0,019 |
| 1,7 | " | 0,022 | 0,022 |
| 0,8 | " | 0,027 | 0,025 |
| 0 | " | 0,024 | 0,022 |
| 10,0 | 0,03 | 0,027 | 0,030 |
| 6,7 | " | 0,037 | 0,037 |
| 3,3 | " | 0,037 | 0,030 |
| 1,7 | " | 0,047 | 0,030 |
| 0,8 | " | 0,043 | 0,030 |
| 10,0 | 0,08 | 0,083 | 0,100 |
| 6,7 | " | 0,097 | 0,100 |
| 3,3 | " | 0,090 | 0,100 |
| 1,7 | " | 0,127 | 0,140 |
| 0,8 | " | 0,117 | 0,117 |
| 0 | " | 0,107 | 0,130 |
| 10,0 | 0,17 | 0,173 | 0,180 |
| 6,7 | " | 0,237 | 0,217 |
| 3,3 | " | 0,183 | 0,200 |
| 1,7 | " | 0,187 | 0,210 |
| 0,8 | " | 0,213 | 0,223 |
| 0 | " | 0,220 | 0,223 |

¹ medelvärde för tre klotsar

Tabell 9. Borsyraanalyser. Jämförelse mellan upptagningsberäkningar för kärnvedsprover.

| Borsyralösningens konc, % | Borsyrainnehåll i kärnvedsklotsar ¹ | |
|---------------------------|---|--------------------------------------|
| | Beräknad på upptagning och koncentration av impregneringslösningen, vikts-% | Bestämd genom kemisk analys, vikts-% |
| 0,017 | 0,023 | 0,031 |
| 0,03 | 0,038 | 0,047 |
| 0,08 | 0,096 | 0,147 |
| 0,17 | 0,210 | 0,252 |

¹ medelvärde för fem klotsar

Tabell 10. Kreosotanalyser. Kreosot innehåll i några undersökta sliprar från Nässjö försöket.

| Sliper nr | Prov nr | Kreosot innehåll ¹ , % | Kreosot innehåll ² , kg/m ³ |
|-----------|---------|-----------------------------------|---|
| 4 | 2 | 5,1 | 24,5 |
| 4 | 3 | 9,7 | 46,5 |
| 6 | 2 | 12,6 | 60,5 |
| 6 | 3 | 8,5 | 40,8 |
| 8 | 2 | 3,6 | 17,3 |
| 8 | 3 | 7,9 | 37,9 |
| 10 | 2 | 9,0 | 43,2 |
| 10 | 3 | 9,1 | 43,7 |
| 20 | 2 | 8,5 | 40,8 |
| 20 | 3 | 3,3 | 15,8 |
| 42 | 2 | 1,9 | 9,1 |
| 42 | 3 | 1,9 | 9,1 |
| 44 | 2 | 2,9 | 13,9 |
| 44 | 3 | 3,8 | 18,2 |
| 49 | 2 | 9,5 | 45,6 |
| 49 | 3 | 15,7 | 75,4 |
| 50 | 2 | 2,8 | 13,4 |
| 52 | 2 | 2,3 | 11,0 |
| 52 | 3 | 5,8 | 27,8 |
| 57 | 2 | 2,4 | 11,5 |
| 57 | 3 | 3,6 | 17,3 |
| 58 | 2 | 4,9 | 23,5 |
| 58 | 3 | 4,6 | 22,1 |
| 61 | 2 | 0,5 | 2,4 |
| 61 | 3 | 4,5 | 21,6 |
| 69 | 2 | 2,6 | 12,5 |
| 69 | 3 | 0 | 0 |
| 73 | 2 | 2,5 | 12,0 |
| 73 | 3 | 5,6 | 26,9 |
| 77 | 2 | 4,1 | 19,7 |
| 82 | 2 | 1,5 | 7,2 |
| 86 | 2 | 3,5 | 16,8 |
| 86 | 3 | 12,8 | 61,4 |
| 92 | 2 | 2,5 | 12,0 |
| 92 | 3 | 2,1 | 10,1 |
| 94 | 2 | 0 | 0 |
| 94 | 3 | 8,0 | 38,4 |
| 96 | 2 | 0 | 0 |
| 96 | 3 | 1,2 | 5,8 |
| 98 | 3 | 0 | 0 |
| 100 | 2 | 1,4 | 6,7 |
| 100 | 3 | 1,5 | 7,2 |
| 143 | 2 | 1,5 | 7,2 |
| 143 | 3 | 1,7 | 8,2 |
| 145 | 2 | 7,5 | 36,0 |
| 145 | 3 | 4,4 | 21,1 |
| 147 | 2 | 7,8 | 37,4 |
| 147 | 3 | 5,4 | 25,9 |
| 151 | 2 | 0 | 0 |
| 153 | 2 | 5,7 | 27,4 |
| 155 | 2 | 4,6 | 22,1 |
| 155 | 3 | 6,3 | 30,2 |

¹ Prov uttogs från sektionen mellan sektionerna 4 och 5, jmf fig 2.

Provet som insändes för analys var mycket litet, i vissa fall mindre än 1 g. För att eliminera behovet av att mäta vatteninnehållet i ett så litet prov konditionerades varje prov till 65 % RH. Efter en sådan konditionering är fuktigheten normalt 12 %, beräknad på vikten av absolut torrt trä. Detta förutsattes vid bestämningen av kreosotupptagningen enligt AWPA analysmetod A6-59.

² Vid omräkning av kreosotupptagningen till kg/m³ *splintved* har vedens densitet antagits vara 480 kg/m³.

0,5 kg/m³, se tabell 6 och 10. Därmed erhålles emellertid inte en fullständig tillväxthämning i alla partier med ett kreosot innehåll understigande 35 kg/m³, dvs 1/4 av normalupptagningen. Svampens tillväxtmöjligheter är dock så starkt reducerade, att ett angrepp endast kan utvecklas mycket långsamt, i varje fall ner till kreosotupptagningar på 8-9 kg/m³. Finns impregneringsmissar, dvs helt oimpregnerade partier i splintveden, krävs upptagningar på minst 1 kg/m³, troligen 1,5 kg/m³, för att helt stoppa tillväxten rötsvamp.

Resultaten från provningarna med furukärnved uppvisade stora variationer i viktsförlust även vid de högsta borsyraupptagningarna. Flera faktorer kan tänkas orsaka denna variation, t ex skillnad i ursprungligt innehåll av pinsylvinfenoler, skillnader i inträngning och diffusion av borsyran under impregneringen m m. Emellertid förefaller det som om upptagningar på 1-1,5 kg/m³ behövs även här för att ge ett effektivt skydd mot *Lentinus lepideus*.

Om de nämnda nivåerna ställs i relation till resultaten från kreosot- och borsyraanalyserna från Nässjöförsöket, så kan man säga att de kritiska ställena (position 2 och 3 i sektionerna 4 och 6) i den kreosotimpregnerade splintveden genom efterimpregneringen erhöill ett acceptabelt skydd under hela försöksperioden, se fig 5 a-b och 6 a-b samt tabell 10. Vad beträffar oimpregnerad splint- och kärnved uppnåddes emellertid aldrig tillräckligt högt borsyrainnehåll i sektion 5 mitt under plattan, medan däremot ett tämligen gott skydd (omkring 1 kg/m³ eller mer) erhöills 40-50 månader för sektionerna 4 och 6, se fig 5 a-b och 6 a-b.

Borsyraanalyserna från Kungsbackaförsöket (fig 13) visar, att ett någorlunda gott skydd endast erhöills i den övre delen av slipern under plattan i ca 20 månader, förutsatt att en del kreosotolja fanns i veden. Borsyrainnehållet var alltför lågt för att ge ett acceptabelt skydd i oimpregnerade delar av splintveden samt i kärnveden.

En intressant fråga är hur stor borsyramängd som behövs för att döda svampmycelet i ett redan etablerat angrepp. Med andra ord: var ligger letaldosen? I en undersökning av Roff (1969) har sådana effekter studerats på 'Western hemlock' (*Tsuga heterophylla*). Han inympade en rad olika svampar i färska rundvedsstycken. När svampangreppen var kraftigt etablerade i vedproverna

behandlades dessa med Timbor. Efter 12 månaders inkubationsperiod undersöktes om levande mycel fanns kvar i vedproverna, vilka också analyserades med avseende på borsyrainnehållet. Roff konstaterade därvid att letaldosen för de mest motståndskraftiga svamparna, bland vilka både källarsvampen (*Coniophora puteana*) och bastusvampen (*Gloeophyllum trabeum*) befann sig, låg mellan 0,40 och 1,06 % borsyraekvivalent, räknat på vedens torrsvikt. Detta skulle motsvara ungefär 2-5 kg/m³. Eftersom torrdensiteten hos "Western hemlock" och furu ligger på ungefär samma nivå kan man förmoda, att dessa siffror även skulle vara relevanta för furu.

Om de förmodade letaldoserna jämförs med uppmätta mängder av borsyra i Nässjöförsöket (fig 5 b) kan konstateras, att en steriliseringseffekt säkert uppnåddes under de första 15-20 månaderna i områdena kring provpunkterna 2 och 3 i sektion 4 och 6. Detta innebär att eventuella svampangrepp i dessa områden inte bara bromsats upp utan att i veden växande svampmycel dödats. En nykolonisation krävs för att rötprocessen skall kunna fortsätta, när borsyrahalten sjunker under gränsvärdena, se tabellerna 4-6.

4. BORSYRAS INVERKAN PÅ DET ELEKTRISKA MOTSTÅNDET HOS EN SLIPER

En träsliper kan inte betraktas som en isolator utan den leder, beroende på bl a fukttinnehåll, träslag och typ av impregnering, elektrisk ström i olika hög grad, se fig 15.

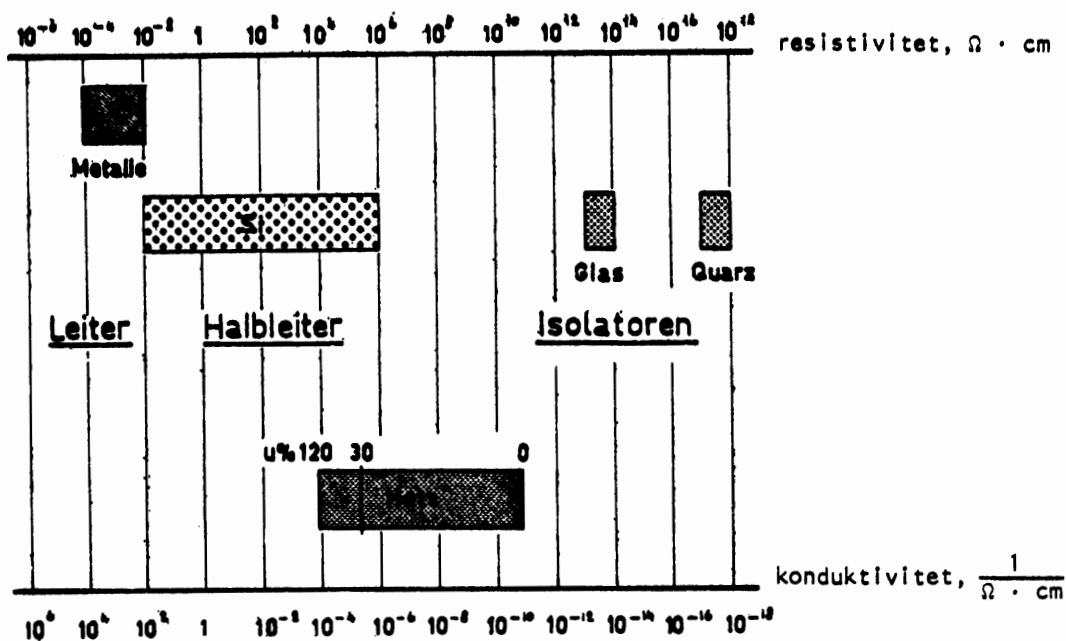


Fig 15. Schematisk illustration av resistiviteten (konduktiviteten) för trä och några andra material (Holzschwellenhandbuch, 1963).

För att störningsfritt kunna använda spårströmkretsar för signalstyrning m m fordras, att sliprarna har ett visst minsta elektriskt motstånd. I annat fall kan strömförlusterna på grund av avledning genom sliprarna bli så stora, att spårströmkretsens funktion allvarligt försämras. Vanligen brukar man ange ett gränsvärde för det minsta tillåtna motståndet per km bansträcka. Olika järnvägsförvaltningar har olika krav. De brukar variera mellan 1 och 4 ohm/km. SJ har gränsvärdet 2 ohm/km.

Genom efterimpregnering med saltlösningar kan det elektriska motståndet i sliprarna minska markant. För att undersöka hur borsyra inverkar på sliprars ledningsförmåga genomfördes ett mindre fullskaleförsök. Efter 6 månaders exponering utvaldes i mars 1971 elva sliprar från Nässjöförsöket för provning vid SJ's bantekniska laboratorium. I maj 1971 lades sliprarna i ett försöksspår med grusballast, som var starkt förorenad, och som ballast betraktad som mycket dålig. Mellan underläggsplattorna på respektive sliper applicerades en potentialskillnad på 6 volt likström, se fig 16. Spänning

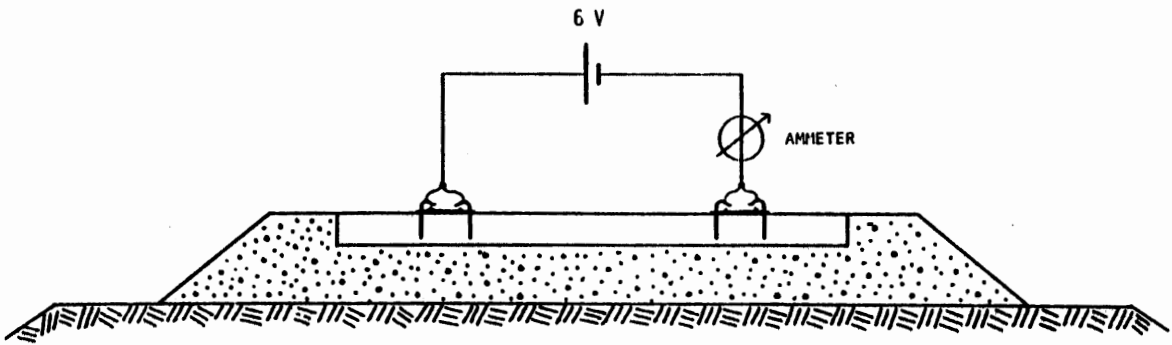


Fig 16. Mätning av det elektriska motståndet i en sliper.

och ström uppmättes för varje sliper vid olika tillfällen under ca 4 år. Mätningarna genomfördes vid olika årstider för att få med extremvärden.

Motståndet är beroende av flera faktorer. Förutom av mängden fria joner har såväl slipers fuktinnehåll som temperatur en stark inverkan på motståndet. Låga motståndsvärden erhålls då sliper och ballast är mycket fuktiga, dvs höst och vår. Extremt höga värden erhålls vid låga temperaturer under fryspunkten, då såväl sliper som ballast är frusna.

Resistansen för varje sliper har beräknats enligt Ohms lag:

$$R_i = U_i / I_i \quad i = 1-11$$

I tabell 11 och fig 17 redovisas uppmätta maximi- och minimivärden samt beräknade medelvärden vid varje provtagningstillfälle under försöksperioden. Härvid har samtliga mätvärden medtagits. De framräknade motståndsvärdena är angivna som elektriskt motstånd (ohm) per km spår, där sliprarna utgör ett antal parallellkopplade motstånd. Härvid har räknats med ett slipersavstånd av 650 mm, vilket betyder 1540 sliprar per km spår.

I fig 18 har förändringen av medelvärdet, maximi- och minimivärdena med tiden schematiskt angivits. De tre graferna i denna figur är baserade på motståndsvärden från mättillfällen, då lufttemperaturen varit över 0 °C. Extremt höga motståndsvärden har sålunda uteslutits. Som framgår av medelvärdesgrafen är spårets elektriska motstånd klart över gränsvärdet 2 ohm/km, och någon avgörande skillnad från motståndet i enbart kreosotimpregnerade sliprar av motsvarande årgång förelåg ej. Minimikurvan i fig 17 visar däremot flera låga värden. Praktiskt taget samtliga minimivärden härrörde dock från en och samma sliper, nr 11 i försöket. Troligen berodde de låga värdena på slipersindividen själv, och

den skulle säkerligen ha uppvisat låga värden även utan borsyrabehandling.

Tabell 11. Elektriskt motstånd i sliprar i provspår.

| Mätningstillfälle | Exponeringstid, mån | Motstånd, ohm/km spår | | |
|-------------------|---------------------|-----------------------|-------|--------|
| | | Min | Max | Medelv |
| 1971-05-28 | 0 | 2,0 | 27,8 | 9,60 |
| 06-10 | 0,4 | 1,9 | 20,2 | 8,28 |
| 06-21 | 0,8 | 2,5 | 18,4 | 8,66 |
| 06-28 | 1,0 | 1,5 | 18,2 | 8,93 |
| 07-15 | 1,6 | 1,5 | 20,3 | 6,79 |
| 08-13 | 2,5 | 1,2 | 29,8 | 7,99 |
| 09-06 | 3,3 | 1,4 | 27,8 | 10,25 |
| 10-29 | 5,0 | 1,58 | 48,75 | 11,97 |
| 12-31 | 7,1 | 3,03 | 60,0 | 20,66 |
| 1972-03-17 | 9,6 | 1,7 | 27,8 | 7,73 |
| 04-13 | 10,5 | 1,4 | 26,0 | 7,20 |
| 07-20 | 10,7 | 1,7 | 30,9 | 7,62 |
| 08-15 | 14,6 | 1,64 | 25,53 | 8,31 |
| 12-01 | 18,1 | 1,88 | 26,46 | 8,44 |
| 1973-04-04 | 20,2 | 1,98 | 23,97 | 7,97 |
| 06-20 | 24,7 | 2,03 | 27,50 | 8,24 |
| 08-17 | 26,6 | 1,57 | 33,09 | 8,65 |
| 09-28 | 28,0 | 3,99 | 35,10 | 11,38 |
| 11-22 | 29,8 | 1,85 | 26,93 | 7,91 |
| 1974-03-08 | 33,3 | 2,60 | 35,75 | 12,18 |
| 07-26 | 37,9 | 1,60 | 37,05 | 10,31 |
| 1975-02-28 | 45,0 | 3,01 | 31,91 | 10,89 |
| 05-30 | 48,1 | 2,30 | 33,09 | 9,39 |
| 08-28 | 51,0 | 1,27 | 37,70 | 11,08 |

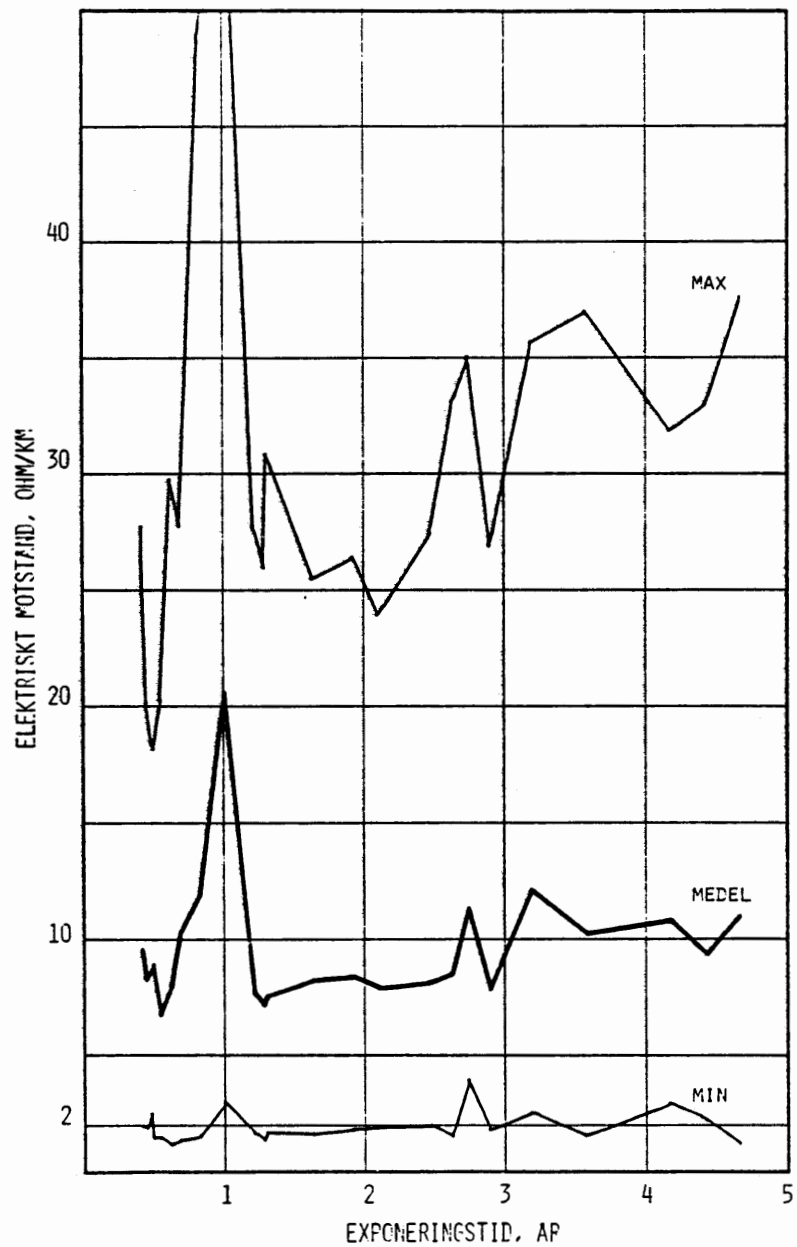


Fig 17. Elektriskt motstånd (ohm/km) i sliprar i provspår efter olika lång exponeringstid.

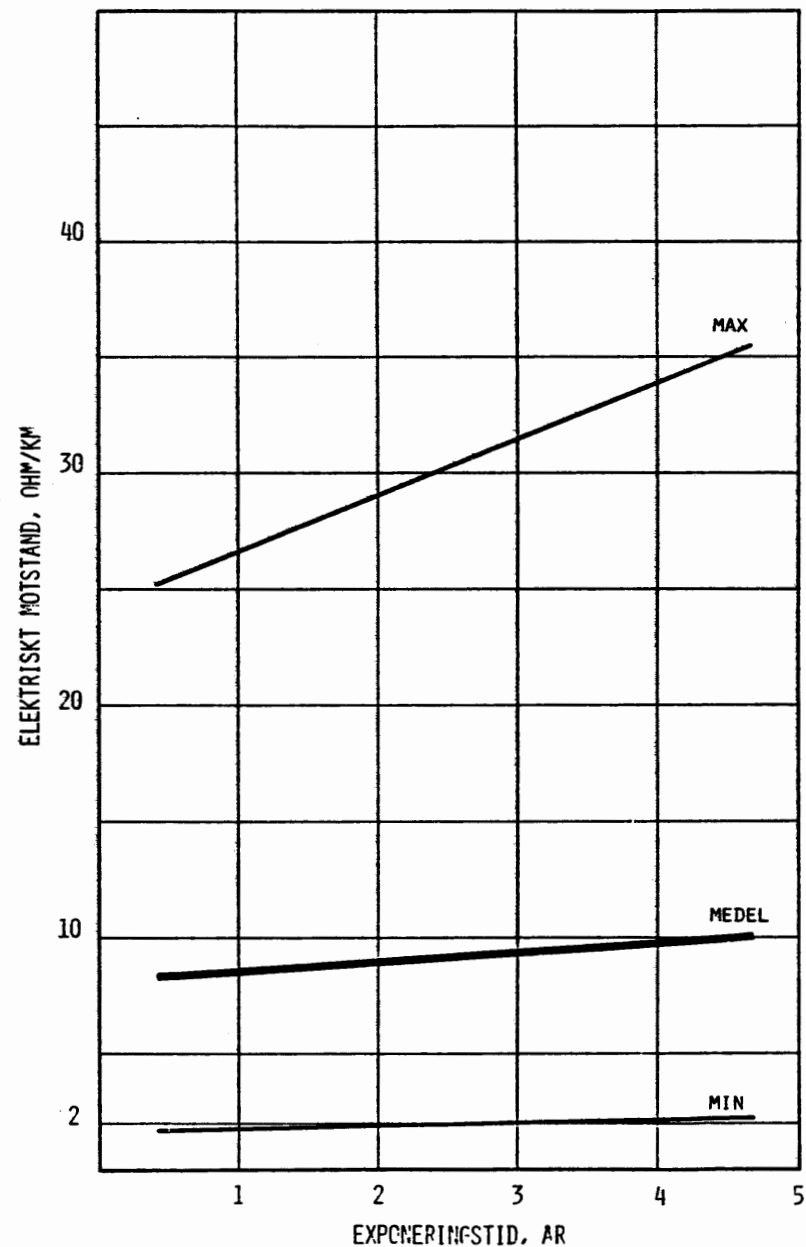


Fig 18. Elektriskt motstånd (ohm/km) i sliprar i provspår, schematiskt angivet. Endast mätvärden, då temperaturen översteg 0 °C har beaktats.

5. FUKTINNEHÅLL HOS SLIPRAR I SPÅR

Fuktkvoten¹ i såväl splint- som kärnveden i en sliper varierar inom vida gränser beroende på flera faktorer. Den förändras med tilltagande ålder hos slipern och följer de årstidsbundna variationerna i väderleken. Den är vidare beroende av spåröverbyggnadens konstruktion, ballastens dränerande förmåga samt spårets belägenhet (bank eller skärning). Då det för sliprar normalt använda impregneringsmedlet är kreosotolja, kan man emellertid bortse från variationer i fuktkvot beroende på typ av impregneringsmedel. Dock har kreosotinnehållet i slipern en viss betydelse.

Fuktkvotens storlek och variation med tiden spelar en avgörande roll för sliperens funktion och varaktighet. Med stigande fuktkvot ökar såväl det mekaniska slitaget som möjligheten för veden att brytas ned genom röttsvampar. Kortvariga växlingar mellan torrt och fuktigt tillstånd ökar sprickbildningen. Denna försämrar befästningens (spik och skruv) funktion och medverkar i kombination med åldrandet av kreosotoljan till att slipern tar upp mera fukt och blir känsligare för rötangrepp. Man får också ökad korrosion, då fukttinnehållet i slipern stiger, vilket ytterligare bidrar till att förstärka det mekaniska slitaget.

För en efterimpregnering av den typ som här diskuteras har fuktkvoten en avgörande betydelse. Metoden bygger ju på att det tillförda träskyddsmedlet får möjlighet att diffundera i slipersvirket, och för det fordras en viss mängd vatten. En fuktkvot på minst 40 % brukar anses som nödvändig för att en effektiv diffusion skall äga rum. Det är därför av vikt att känna till fuktkvotens förändring med tiden för att kunna fastlägga den lämpliga tidpunkten för en eventuell efterimpregnering.

Ett studium av fuktkvotsvariationen i sliprar har tidigare gjorts vid SJ (Borup, Magnusson). Undersökningen omfattade flera årgångar kreosotimpregnerade sliprar, och resultaten redovisas här i sammandrag. Aktuella sträckor var belägna i huvudspår på linjerna Stockholm-Göteborg och Stockholm-Malmö, se tabell 12. Samtliga provsträckor hade i princip samma spåröverbyggnad och makadamballast.

Under åren 1958, 1959 och 1960 gjordes regelbundna fuktkvotsmätningar i

¹ med fuktkvot avses här viktsprocent vatten i absolut torrt trä

Tabell 12. Aktuella sträckor för undersökning av fuktkvot i splint- och kärnved hos kreosotimpregnerade sliprar.

| Linjesträcka | Årgång |
|---------------------|--------|
| Hässleholm | 1938 |
| Huddinge-Älvsjö | 1941 |
| Mjölby-Strålsnäs | 1951 |
| Vårgårda-Remmenedal | 1954 |
| Högsjö-Kilsmo | 1956 |

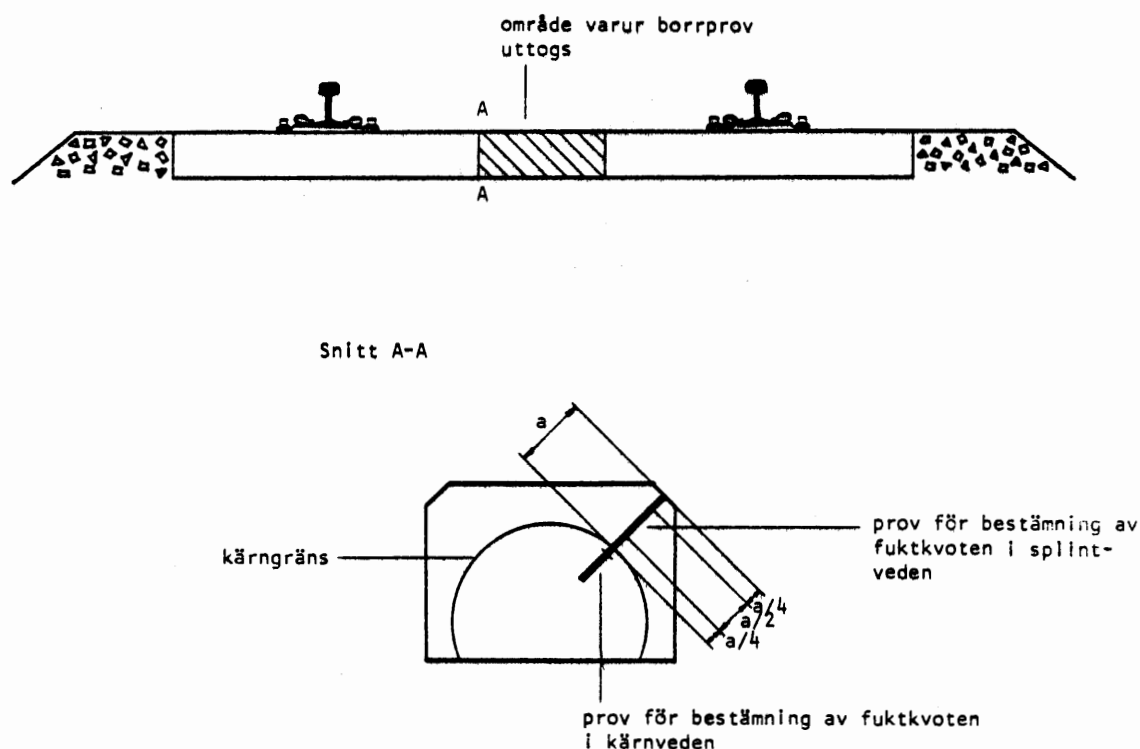


Fig 19. Uttagning av borrhprov för fuktkvotsmätning.

såväl splint- som kärnveden. Fuktkvotsbestämningarna, som gjordes vid skilda årstider med avsikt att fånga in även extremvärden, utfördes på borrhprov tagna från en överkant på slipern i dess mittre del såsom framgår av figur 19.

För att eliminera tillfälliga yttre störningar p g a växlingar i väderleken gjordes bestämningen av splintvedens fuktkvot på borrhprovets mittre splintdel, motsvarande 50 % av provets längd. Beträffande provet från kärnan avkortades

detta några millimeter närmast splinten för att säkerställa att det enbart innehöll kärnved. Proverna vägdes omedelbart sedan de uttagits. Bestämningen av torrvikten gjordes efter hemkomsten på laboratoriet, sedan proverna torkats 24 tim i ett värmeskåp vid 105 °C. För respektive årgång och mättillfälle uttogs prover från 50 slumpvis utvalda sliprar. I de redovisade resultaten ingår prover från 1350 sliprar motsvarande 2700 fuktkvotsmätningar. Provtagningsstillfällena har sträckt sig från mars till december, och med hänsyn till ålder i spår omfattar undersökningen sliprar med åldrar från knappt två år (21 månader) till drygt 21 år (261 månader). Resultaten från undersökningen återfinns i tabell 13 samt i fig 21 och 22.

Tabell 13. Fuktkvot (%) för sliprar som exponerats i spår under olika lång tid. Värdena är medelvärden för 50 sliprar vid mätningar vinter (nov-maj) och sommar (juni-aug).

| VINTER | | | | SOMMAR | | | |
|---------------|-----------------|----------------------------------|-----|-----------------|----------------------------------|----|--|
| Inbyggningsår | Tid i spår, mån | Fuktkvot, % splintved kärnved | | Tid i spår, mån | Fuktkvot, % splintved kärnved | | |
| 1956 | 21 | 24 | 25 | 24 | 23 | 23 | |
| 1956 | 26 | 29 | 27 | 25 | 30 | 28 | |
| 1956 | 32 | 35 | 28 | 35 | 19 | 24 | |
| 1956 | 32 | 39 | 31 | | | | |
| 1956 | 32 | 51 | 35 | | | | |
| 1956 | 41 | 26 | 28 | | | | |
| 1956 | 46 | 29 | 29 | | | | |
| 1954 | 48 | 49 | 36 | | | | |
| 1951 | 80 | 46 | 37 | 83 | 37 | 37 | |
| 1951 | 89 | 54 | 43 | 85 | 39 | 39 | |
| 1951 | 93 | 44 | 36 | 95 | 25 | 28 | |
| 1951 | 101 | 33 | 34 | | | | |
| 1951 | 105 | 41 | 35 | | | | |
| 1941 | 201 | 99 | 101 | 203 | 86 | 86 | |
| 1941 | 208 | 93 | 99 | 204 | 74 | 62 | |
| 1941 | 213 | 95 | 127 | | | | |
| 1938 | 257 | 43 | 102 | 251 | 42 | 80 | |
| 1938 | 261 | 56 | 84 | | | | |

I redovisningen har uppdelning gjorts på "sommar" och "vinter". Medelvärdet för fuktkvoten har ökat väsentligt med sliperens ålder. Detta gäller såväl splint- som kärnveden, och förhållandet är detsamma för vinter- och sommartid. Som framgår har variationen med tiden åskådliggjorts som ett linjärt samband. Undersökningar vid SJ indikerar emellertid, att det snarare är fråga om en trappstegsfunktion, dvs fuktkvoten ökar språngvis någonstans i intervallet 100-200 månader, möjligen beroende på förändringar i veden, som ökar den fuktupptagande förmågan.

Som redogjorts för ovan har fuktkvotsbestämningarna gjorts på prov tagna i sliperens mitt och från ett övre hörn. Fukthalten varierar dock avsevärt inom en och samma slipersindivid. En undersökning av fuktkvotens variation inom en sliper har gjorts för några normalsliprar. Resultatet presenteras i fig 20. Det är tydligt, att delar som är dolda under underläggsplattorna har högre fukthinnehåll än slipern i övrigt. Det beror på att plattorna förhindrar uttorkning. Begynnande rötangrepp har också en fukthållande inverkan.

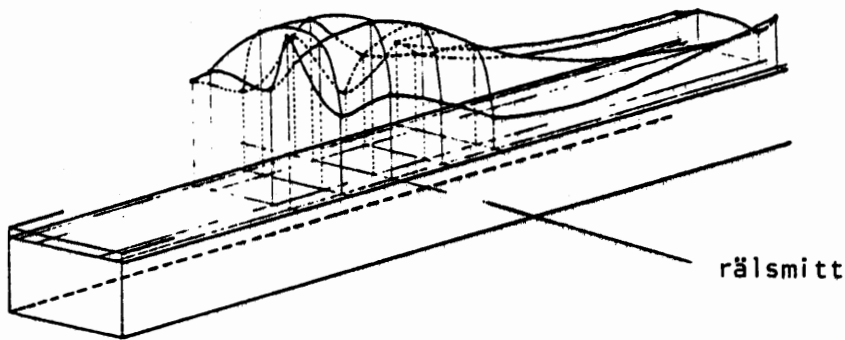


Fig 20. Fuktkvotsvariationen i en sliper grafiskt åskådliggjord för ett skikt 20 mm från sliperens översida. Observera att fuktkvoten är högst under underläggsplattan.

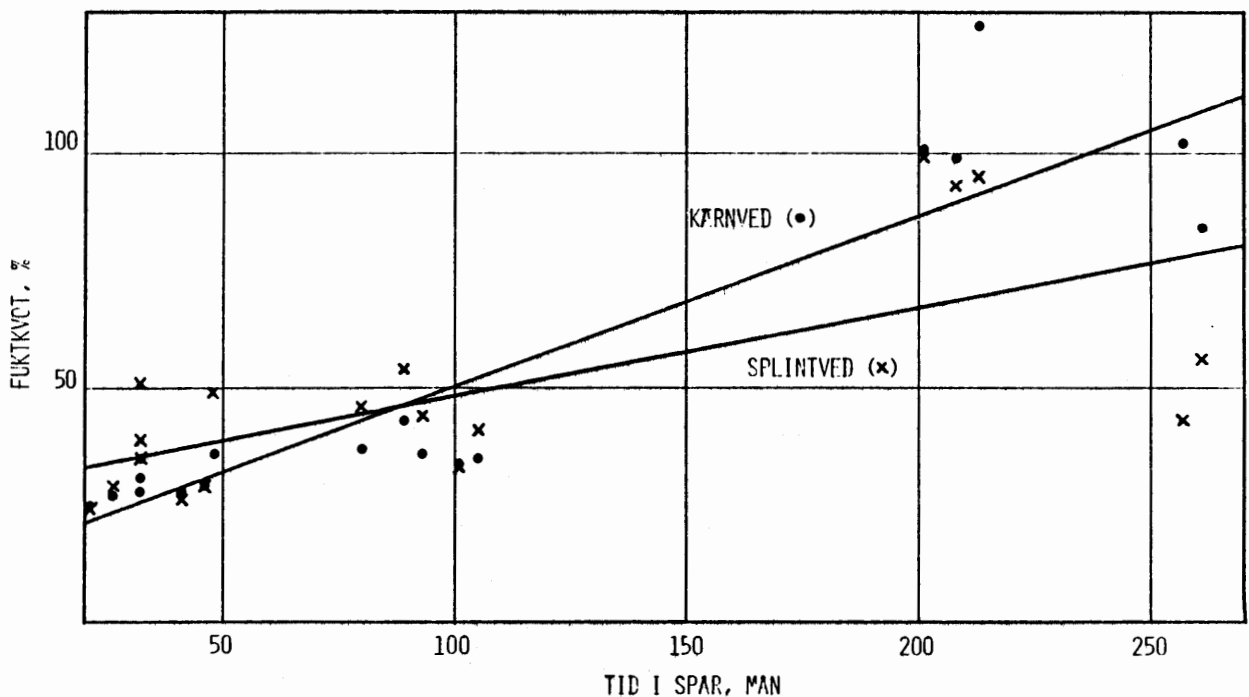


Fig 21. Fuktkvoten i splint- och kärnved som funktion av sliperens ålder. Provtagning vintertid.

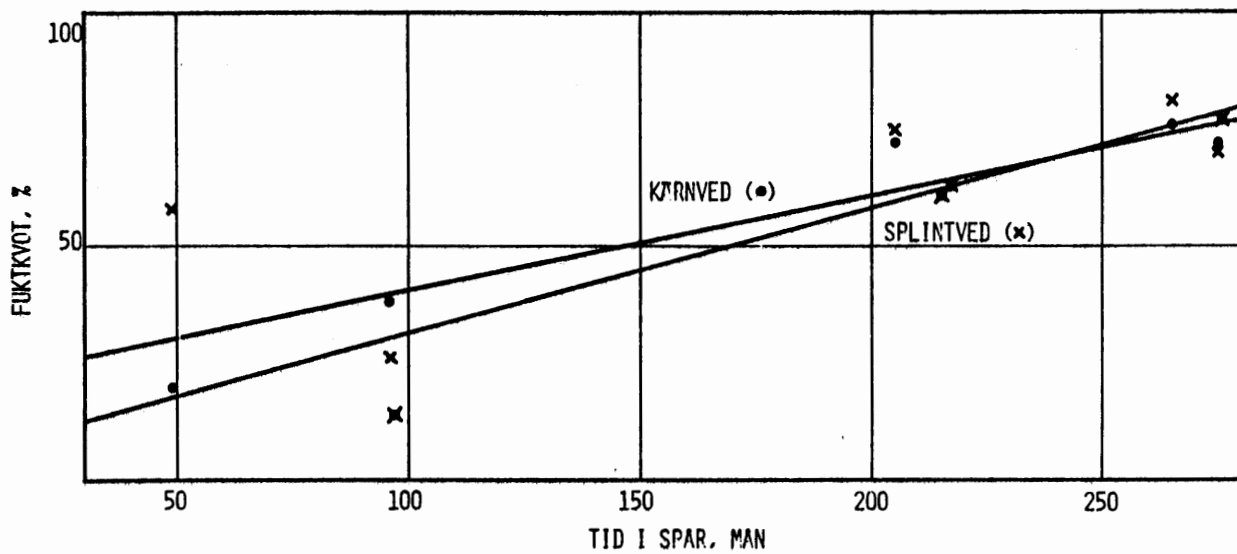


Fig 22. Fuktkvoten i splint- og kærved som funktion av sliperens ålder. Provtagningsomstendigheter sommartid.

6. VARAKTIGHETEN FÖR SLIPRAR I TRAFIKERAT SPÅR

Varaktigheten för en kreosotimpregnerad sliper i spår varierar kraftigt. Av betydelse är å ena sidan de kvalitetsegenskaper som den impregnerade slipern besitter och å andra sidan de påfrestningar, som den utsätts för i det trafikerade spåret. Spårets konstruktion och dess geometriska förhållanden i kombination med den trafik - typ av fordon, fordonsvikter, hastigheter m m-, som framförs är bestämmande för de kraftförlopp slipern utsätts för.

Av störst betydelse för varaktigheten är dock den impregnerade sliperns kvalitet. Den råa slipern skall vara fri från skador av blånad och röt-svamp. Felaktig hantering före impregneringen medför lokala angrepp, som i många fall resulterar i fuktanhopningar med åtföljande impregneringsmissar med ingen eller dålig kreosotupptagning. Torkningsförloppet måste också vara till fullo genomfört före impregneringen. År med dåliga väderleksförhållanden - rikligt med nederbörd under torkningsperioden - kan ofta spåras som dåliga årgångar i spåret.

Genom att man före år 1953 årtalsmärkte samtliga impregnerade sliprar vid SJ och registrerade utbytta sliprar är det möjligt att studera utfallskurvor för olika årgångar. Då spridningen inom en årgång är mycket stor, måste man gå långt tillbaka i tiden för att få med hela årgångar. Detta har dock den fördelen, att man då bytte ut sliprar styckvis allteftersom de bedömdes som odugliga att användas i spår. Med hänsyn till ändrade arbetsförhållanden sker utbytet idag i regel som totalutbyte på hela spåravsnitt, varefter de spårdugliga sliprarna återanvänds i mindre trafikerade spår.

Statistikuppgifter har studerats för bandelen Ängelholm-Göteborg på Väst-kustbanan (Borup, Magnusson). Som lämpliga årgångar har valts att redovisa sliprar inlagda 1907, 1908 och 1911. Samtliga sliprar var av furu och sparimpregnerade enligt Rūping med kreosotolja med en genomsnittlig upptagning på ca 135 kg/m^3 splintved.

Beräknad medelvaraktighet för de undersökta sliprarna redovisas i tabell 14. I tabell 15 och fig 23 redovisas fördelningen av andelen årligen utbytta sliprar för de tre årgångarna. Utfallskurvorna visar, att spridningen kring

medelvärde är mycket stor. Skillnaden i medelvaraktighet är också stor men kan helt förklaras med de orsaker som tidigare nämnts. Fram till början av femtiotalet räknade SJ med en medelvaraktighet på ca 22 år för en kreosotimpregnerad furuslipper. Idag är motsvarande siffra ca 28 år. Detta är främst att hänföra till en högre kvalitet hos den impregnerade slipern, beroende på en bättre hantering av den råa slipern, strängare kvalitetskrav och en effektivare kvalitetskontroll vid impregneringen, men även på bättre befästningar och spårunderhåll.

Ett intressant förhållande beträffande utfallskurvorna är att de samtliga har tre utpräglade maxima. Detta indikerar, att kurvorna i själva verket består av tre överlagrade normalfördelningar kring tre olika medelvärden för varaktigheten, beroende på skilda kvalitetsegenskaper. Enligt SJ's erfarenheter representerar den första toppen (A) de sliprar som först utbytts på grund av rötskador, främst orsakade av ofullständig impregnering. Denna i sin tur kan hänföras till otillräcklig torkning före impregneringen och begynnande rötskador i den råa slipern. Någon så enkel förklaring kan sannolikt ej ges för de båda övriga topparna (B, C), men även för dessa är rötskador den väsentligaste orsaken.

Tabell 14. Medelvaraktighet för tre undersökta årgångar av kreosotimpregnerade furusliprar.

| Årgång | Antal undersökta sliprar | Beräknad medelvaraktighet, år |
|--------|--------------------------|-------------------------------|
| 1907 | 10 919 | 19,5 |
| 1908 | 9 616 | 16,5 |
| 1911 | 18 059 | 22,0 |

Tabell 15. Andel (%) årligen utbytta sliprar för tre kreosot-impregnerade årgångar furusliprar på sträckan Ängelholm-Göteborg.

| Sliperns ålder i spår, år | Andel årligen utbytta sliprar, % | | | |
|------------------------------|----------------------------------|-------|-------|------|
| | Årgång | 1907 | 1908 | 1911 |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | 0,01 | | |
| 6 | | - | 0,05 | |
| 7 | | 0,32 | 0,06 | |
| 8 | | 0,47 | 0,63 | 0,64 |
| 9 | | 0,71 | 1,73 | - |
| 10 | | 1,91 | 4,44 | - |
| 11 | | 1,10 | 7,79 | 2,89 |
| 12 | | 3,73 | 1,70 | 3,02 |
| 13 | | 8,37 | 3,07 | 1,95 |
| 14 | | 1,22 | 4,58 | 6,24 |
| 15 | | 2,86 | 6,01 | 3,43 |
| 16 | | 2,39 | 16,56 | 2,57 |
| 17 | | 3,82 | 8,79 | 4,18 |
| 18 | | 7,48 | 8,25 | 9,17 |
| 19 | | 10,18 | 5,05 | 3,67 |
| 20 | | 10,52 | 3,92 | 3,90 |
| 21 | | 6,17 | 3,71 | 3,69 |
| 22 | | 4,85 | 3,66 | 5,07 |
| 23 | | 4,95 | 3,30 | 4,10 |
| 24 | | 4,23 | 2,68 | 3,52 |
| 25 | | 3,61 | 2,53 | 5,88 |
| 26 | | 3,25 | 6,52 | 8,01 |
| 27 | | 3,06 | 2,63 | 4,33 |
| 28 | | 4,57 | 0,93 | 4,21 |
| 29 | | 4,90 | 0,56 | 3,67 |
| 30 | | 1,98 | 0 | 2,98 |
| 31 | | 0,41 | 0,17 | 3,08 |
| 32 | | 0,27 | 0,20 | 2,79 |
| 33 | | 0,65 | 0 | 1,12 |
| 34 | | 0,16 | 0,16 | 1,55 |
| 35 | | 0,13 | 0,19 | 1,33 |
| 36 | | 0,20 | 0,04 | 1,12 |
| 37 | | 0,86 | 0,03 | 1,40 |
| 38 | | 0,23 | 0,04 | 0,35 |
| 39 | | 0,29 | 0,02 | 0,11 |
| 40 | | 0,14 | | 0,02 |
| 41 | | | | 0,01 |

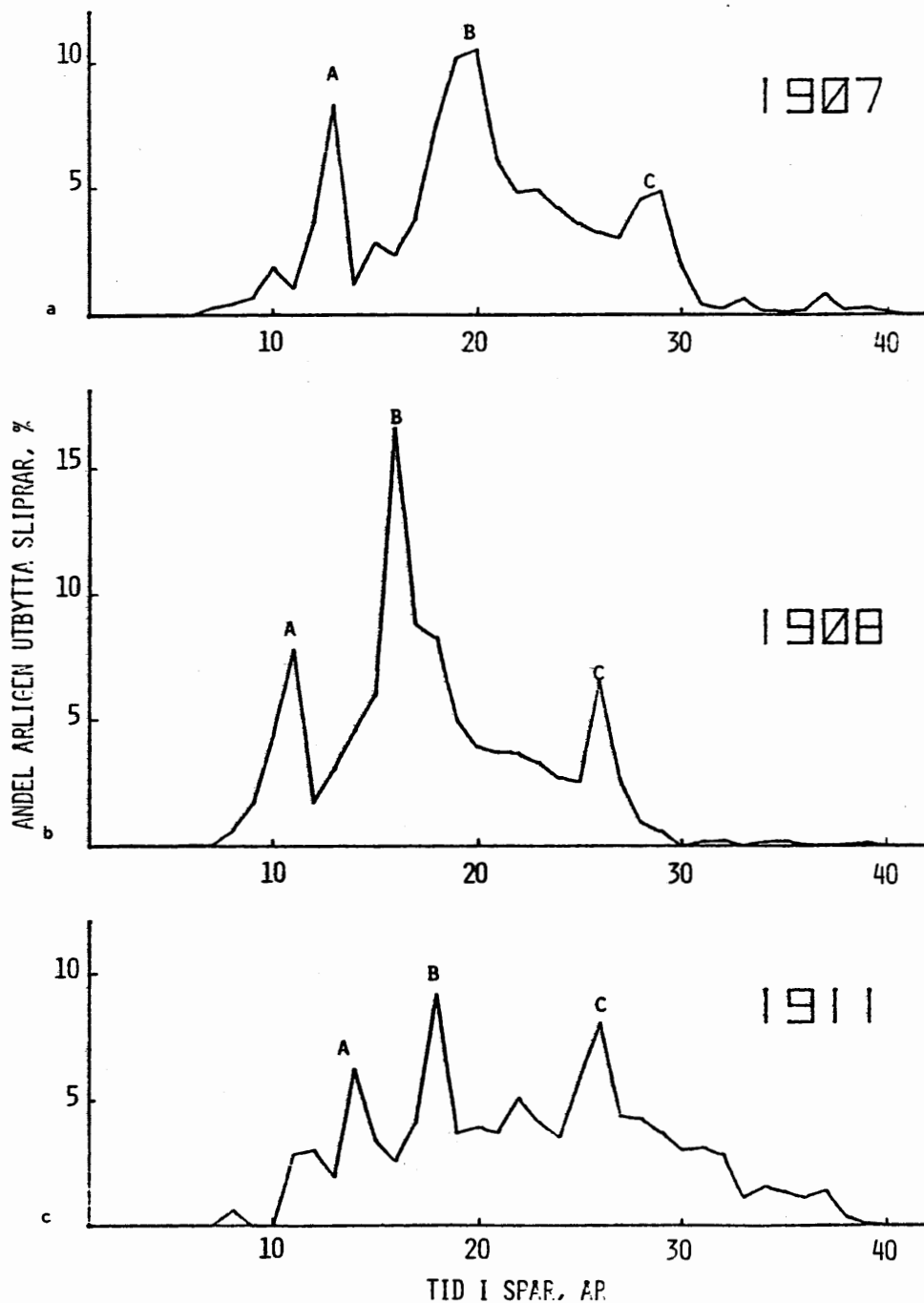


Fig 23. Fördelning av utbytta sliprar för tre årgångar på sträckan Ängelholm-Göteborg.

7. SLUTSATSER OCH DISKUSSION

Som framgår av fig 23 a-c fördelar sig varaktigheten för sliprar i spår i tre huvudgrupper. Den första gruppen, som främst orsakas av rötskador p g a dålig impregnering, ligger i intervallet 8-15 år och omfattar för de undersökta årgångarna 1907, 1908 och 1911 15-20 % av samtliga sliprar. Beaktar man, att senare årgångar är av högre kvalitet, är det troligt att andelen numera är lägre men ändock av en sådan storleksordning, att det finns ett stort ekonomiskt intresse att få den väsentligt reducerad.

Två principiella vägar att åstadkomma detta är möjliga. Dels kan kraven skärpas ytterligare vad gäller kvalitet på råvara, lagring, torkning, impregnering och kvalitetskontroll, och dels kan en efterimpregnering av sliprarna utföras efter ett antal år i spår.

Sett ur ekonomisk synpunkt är en efterimpregnering intressant, dels om kostnaderna för att vidta de ovan nämnda förbättringarna av sliperns ursprungliga kvalitet blir så höga, att de klart överstiger kostnaderna för en efterimpregnering, som ger motsvarande förlängning av sliperns varaktighet, dels om ytterligare förbättringar av den ursprungliga kvaliteten ej kan åstadkommas och efterimpregneringen medför en markant förlängning av sliperns varaktighet. Det har dock inte ingått i det här rapporterade projektet att göra några ekonomiska bedömningar.

Bortses från att vissa förbättringar av den impregnerade sliperns ursprungliga kvalitet förmodligen kan erhållas genom de ovan nämnda åtgärderna och endast alternativet med efterimpregnering beaktas, så kan man av utfallskurvorna i fig 23 a-c dra slutsatsen, att om den första toppen väsentligen skall kunna reduceras, måste efterimpregneringen sättas in senast efter ca 8 år och vara effektiv i minst 5 år, helst längre. Sannolikt skall behandlingen göras tidigare, eftersom rötangreppen måste ha pågått en tid innan en sliper utdöms.

Är det då möjligt att uppnå önskat resultat genom selektiv efterimpregnering med borsyra? Frågan kan inte besvaras med ett obetingat "ja". Emellertid indikerar de utförda försöken, i kombination med senare utveckling av tekniken, att det med en hög grad av sannolikhet är möjligt. Det måste i sammanhanget påpekas, att bedömningen av de erhållna resultaten skall ses

mot bakgrund att man vid de utförda impregneringarna med borsyra i pastaform erhöi så stora förluster vid och omedelbart efter behandlingen, att den mängd borsyra man räknat med att tillföra slipern kom att underskridas mer än väntat. Två viktiga förutsättningar för metodens användbarhet är dock uppfyllda. För det första visar studierna av fuktkvotens variation med sliperns ålder och inom slipern, att man redan efter ca 5 år har en genomsnittlig fuktkvot på minst 30 % året om, vilket är tillräckligt för att borsyran skall kunna diffundera. För det andra försämrar ej det elektriska motståndet hos sliprar, som efterimpregnerats med borsyra.

Resultaten från Nässjö- och Kungsbackaförsöken visar, att borsyra förmår sprida och fördela sig förhållandevis väl under underläggsplattan och att borsyrainnehållet i detta område, efter kraftiga förändringar tiden närmast efter impregneringen, förefaller stabilisera sig efter 25-30 månader. I Nässjöförsöket inträffade relativt små förändringar av borsyrainnehållet i det aktuella området från denna tidpunkt och till försökets avslutande efter ca 7 år. Nivån låg då mellan 0,4 och 0,8 kg/m³ i den övre delen av slipern (ned till ca 10 cm djup). Längre ner var nivån lägre, 0,1-0,3 kg/m³. I Kungsbackaförsöket fanns en liknande tendens, men på grund av att stora borsyraförluster gjordes redan vid impregneringstillfället och kort tid därefter, låg borsyrainnehåll betydligt lägre, efter fyra år kring 0,2 kg/m³.

Rötprovningarna visar, att för att uppnå ett fullt effektivt skydd i oimpregnerad splint- och kärnved och i splintved med låga kreosotupptagningar (< 30 kg/m³), krävs en borsyraupptagning på 1,2-1,5 kg/m³ ved. Med hänsyn till diskussionen ovan om varaktigheten för efterimpregneringens effektivitet i praktiken är det önskvärt att en nivå på ca 1,5 kg/m³ ej underskrids under en period av minst 5 år efter behandlingen. Visserligen ger ett lägre borsyrainnehåll av avsevärd hämning av röttsvamparnas tillväxt, men för att ge ett bra skydd mot den viktigaste röttsvampen *Lentinus lepideus* och för att gardera sig mot en ojämn fördelning av borsyran i virket, bör upptagningen vara minst 1,5 kg/m³. Vare sig i Kungsbacka- eller Nässjöförsöket hade denna nivå upprätthållits under hela försökstiden i området under underläggsplattan.

Den observerade stabiliseringseffekten tyder emellertid på att om en tillräckligt stor mängd borsyra tillfördes från början, skulle nivån troligen kunna upprätthållas över 1,5 kg/m³ under önskad tid. Då man också kan räkna med att borsyrainnehållet i veden närmast borsyradepåerna under åtminstone

de första 20-25 månaderna ligger väl över eller i området för letaldosen för de aktuella rötsvamparna, betyder detta att i veden växande svampmycel dödas, och en nykolonisation krävs för att rötprocessen skall kunna fortsätta.

Vad beträffar själva impregneringsprocessen förefaller injicering av pasta ej vara den lämpligaste metoden för införsel av borsyra i virket, utan tillförsel i en mera koncentrerad form, som dessutom inte medför så stora förluster vid och direkt efter impregneringen, är nödvändig. En lösning på detta problem kan vara att tillföra borsyran i fast form, antingen som ren borsyra eller i form av boroxid B_2O_3 . Den sistnämnda föreningen löses till borsyra i vatten och motsvarar 1,78 delar ren borsyra.

Genom att använda gjutna stavar av boroxid och placera dem i borrhål runt underläggsplattan kan en väsentlig ökning av den tillförda borsyramängden jämfört med pastainjiceringen uppnås. Koncentreras placeringen av stavar na innanför rälsbefästningarna, se fig 24, kan ytterligare fördelar erhållas.

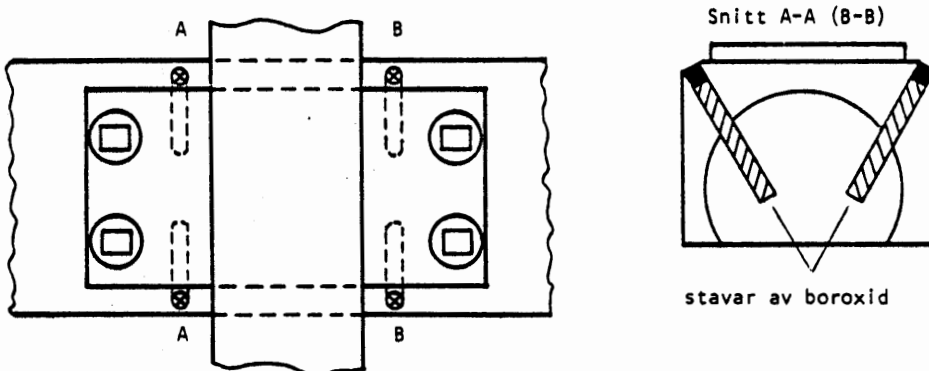


Fig 24. Exempel på placering av stavar av boroxid för efterimpregnering av sliprar. Hålen förslutes med ett avtagbart lock el dyl.

Då kommer nämligen all borsyra i initialskedet att tillgodogöras i området under underläggsplattan. Diffusionsavståndet från depåerna till området mitt under rälen (motsvarande sektion 5 i Nässjö- och Kungsbackaförsöket) blir avsevärt mindre utan att avståndet till rälsbefästningarna ökas.

De mått på stavarna som diskuterats som realistiska med hänsyn till SJ's

hållfasthetskrav är: längd 100-120 mm, diameter 10-12 mm. Genom att exempelvis placera fyra sådana stavar (längd 100 mm, diameter 12 mm) enligt fig 24, tillförs området under underläggsplattan teoretiskt 144 g ren borsyra, dvs betydligt mer än vad som tillfördes i både Nässjö- och Kungsbackaförsöket, där maximalt ca 37 respektive 55 g tillfördes.

Det kan på goda grunder antas, att urlakningen i hög grad kan reduceras genom att stavar används i stället för pasta. Placeringen under plattan, som verkar tryckfördelande och sprickreducerande, bidrar ytterligare till detta. Den jämfört med Nässjöförsöket nästan fyrfaldigt tillförda mängden borsyra i kombination med den ändrade depåplaceringen ökar sannolikheten för att man i den mest utsatta delen av slipern under underläggsplattan får ett borsyra-innehåll, som ligger över den önskade miniminivån $1,5 \text{ kg/m}^3$ i minst fem år. Naturligtvis bör praktiska försök, som klarlägger dessa förhållanden, utföras.

Då man diskuterar användningen av stavar av boroxid kommer man osökt in på en fråga, som vore intressant att studera närmare: Vilken betydelse ur röt-skyddssynpunkt (och ekonomisk synpunkt) skulle det ha, om man redan vid sliperns inbyggnad i spår applicerade en omgång stavar under underläggsplattorna och sedan vid en senare tidpunkt eventuellt förnyade behandlingen? Med hänsyn till den vid spårunderhållet alltmer använda totalutbytesprincipen av spåröverbyggnaden anses det nämligen vara av stort värde att få en så lång skadefri period som möjligt. Man skulle kunna tänka sig att vid det första tillfället applicera stavarna i förborrade hål i samband med monteringen av underläggsplattorna, sätta igen hålen med en utdragbar plugg el dyl, och sedan utnyttja samma hål vid nästa impregneringstillfälle.

Vad beträffar de arbetsmiljömässiga aspekterna är hanteringen av stavar att föredra framför pasta och har hittills ej givit anledning att befara några hälsorisker (Noyes 1977). Generellt sett är preparat baserade på borsyra mindre giftiga för människor än preparat baserade på fluorider. Den akuta toxiciteten, som brukar anges i s k LD_{50} -värden, är för natriumfluorid 200 mg/kg (råtta) och för borsyra 3000-5000 mg/kg (råtta).

Metoden synes, under förutsättning att den kan mekaniseras i nödvändig omfattning, uppfylla ställda krav på en effektiv efterimpregneringsmetod för järnvägssliprar. Dessutom kan tekniken tänkas kunna utnyttjas på en rad andra områden. Praktiska försök pågår i ett flertal länder, förutom med sliprar, även med stolpar och fönster (Dickinson 1979), och de hittills rapporterade resultaten är positiva.

REFERENSER

- American Society for Testing Materials: Standard method of testing wood preservatives by laboratory soil-block cultures. ASTM D 1413, 1961.
- American Wood Preservers' Association: Method for the determination of water and oil-type preservatives in wood. AWP Standard A6-59, 1959.
- Anonym: Analysis of wood. Determination of boron in Timborised timber by the leaching method. Borax Consolidated Ltd, 1970.
- Association Française de Normalisation: Protection du bois. Méthodes d'essais des produits fongicides pour la protection des bois des régions boréales utilisés dans ce mêmes régions. NF X 41-502, 1955.
- Becker, G: Beitrag zur Kenntnis der Wirksamkeit von Borverbindungen als Holzschutzmittel gegen Insekten und Pilze. Holz als Roh- und Werkstoff Bd 17, 1959.
- Becker, G, Hoffmann, J: Wiederstandfähigkeit gegen holzerstörende Pilze einiger mit Steinkohlenteeröl getränkter, verschiedenen lange benutzter Rotbuchen- und Kiefernswellen. Holztechnologie 7 (1966) 4.
- Becker, G, Starfinger, K: Laboratoriumsversuche über die Wirksamkeit von Steinkohlenteerölen gegen holzerstörende Basidiomyceten nach Alterung in behandeltem Holz. Holzforschung 21:6, 1967.
- Becker, G, Hof, T, Jacquot, M C, Lohwag, K, Rennerfelt, E, Wälchli, O: Vergleichsversuche zur Laboratoriumsprüfung der pilzwidrigen Wirksamkeit von Holzschutzmitteln. Holz als Roh- und Werkstoff Bd 24, 1966.
- Bezemer, L, Da Costa, E W B, Gay, F J: Laboratory Evaluations of Wood Preservatives. IX. Effectiveness of Low and High Temperature Creosotes Against Wood-Rotting Fungi and Subterranean Termites. Holzforschung 38:1, 1974.
- Borup, L, Magnusson, R: Fuktkvotsundersökningar i kreosotimpregnerade järnvägssliprar. Opublicerad rapport. Statens Järnvägar.

- Borup, L, Magnusson, R: Undersökning av varaktigheten för sliprar i trafikerat spår. Opublicerad rapport. Statens Järnvägar.
- Borup, L, Rennerfelt, E: Nachpflege von Schwellen im Gleis. Erfahrungen bei der Schwedischen Eisenbahnen. Eisenbahntechnische Rundschau ETR Heft 1/2, 1961.
- British Standards Institution: Methods of test for toxicity of wood preservatives to fungi. BS 838, 1961.
- British Wood Preserving Association: Standard for the preservation of softwood timbers by means of 'Timbor'. BWPA Standard 105, 1972.
- Continental Committee on Creosote oil Propaganda: Scandinavian Specification and Methods of Test for Coal Tar Creosote Oil as used for the Impregnation of Wood. 1936.
- Deutsches Institut für Normung: Prüfung von Holzschutzmitteln. Mykologische Kurzprüfung (Klötzchen-Verfahren). DIN 52176, Blatt 1, 1939.
- Dickinson, D J: Personlig rapportering, 1979.
- Europäischer Ausschuss für die Holzschwelle et al: Holzschwellenhandbuch, 1. Auflage Westeuropäisches Institut für Holzimprägnierung, 1963.
- Fahlstrom, G B: Threshold values for wood preservatives. Forest Prod J, Nov 1964.
- Findlay, W P K: The toxicity of borax to wood-rotting fungi. Timber Technology and Machine Woodworking, June 1953.
- Findlay, W P K: The toxicity of Boron to wood-rotting fungi. Timber Technology and Machine Woodworking, June 1956.
- Gallagher, L U: Test of combined toxicity of "Timbor" and decay resistance of redwood heartwood. Opublicerad rapport. Princes Risborough Laboratory, 1968.
- Harrow, K M: Toxicity of water-soluble wood preservatives to wood-destroying fungi. New Zealand J Sci & Techn Vol B 31, 1950.

- Jacquot, M C, Brenzard, M, Guillemain, J, La Petite, D: Sur les possibilités d'emploi de l'acide borique et des borates pour la protection des bois. Revue de Pathologie Végétale et d'Entomologie Agricole de France, T XXXIX - No 4, 1960.
- Noyes, L A: Potential toxicity of boric oxide in the form of a lump (rod). Opublicerad rapport. Borax Consolidated Ltd, 1977.
- Rennerfelt, E; Nyberg, J: Efterimpregnering av sliprar. Järnvägsteknik nr 1, 1955.
- Roff, J W: A sub-surface inoculation technique for study of boron diffusion treatment to arrest incipient decay in wood. Bi-Monthly Research Notes 25 No 2, 1969.
- Smith, R S: Wood preservative toxicity evaluation using wood weight loss and fungal respiration methods. Wood Science Vol 2 No 1, 1969.
- Smith, D N, Cockcroft, R: The loss and movement of creosote in pressure-treated timber during service. Examination of two creosoted posts after 30 years. Wood 24, 1959.
- Smith, R S, Savory, J G: The toxicity of aged creosote to *Lentinus lepideus*. J Inst Wood Sci 13, 1964
- Smith, D N, Williams, A I: Wood preservation by the boron diffusion process - the effect of moisture content and diffusion time. J Inst Wood Sci 4, 1969.

BILAGA 1

JÄMFÖRANDE STUDIER AV URLAKNINGS- OCH INASKNINGSMETODEN FÖR BORANALYS

Två olika metoder, urlaknings- och inaskningsmetoden (Anonym 1970, BWPA 1972), båda baserade på titrimetriska bestämningar av borinnehållet, ansågs tänkbara för de aktuella analyserna. Med bägge metoderna kan en borsyrahalt i lösning på 1 mg bestämmas. För ett prov som väger 5 g, motsvarande en provvolym på 10 cm^3 , är detta ekvivalent med en upptagning på $0,10 \text{ kg/m}^3$.

För att jämföra metodernas användbarhet för med borsyra efterimpregnerat kreosoterat virke utfördes under våren 1971 analyser av prover från tre sektioner (4, 5 och 6) från en sliper, som tagits från provbädden i Nössjö efter sex månaders exponering.

Fem prover från varje sektion uttogs enligt fig 1. Ena halvan av provet analyserades enligt urlakningsmetoden och den andra enligt inaskningsmetoden. Resultaten visas i tabell 1.

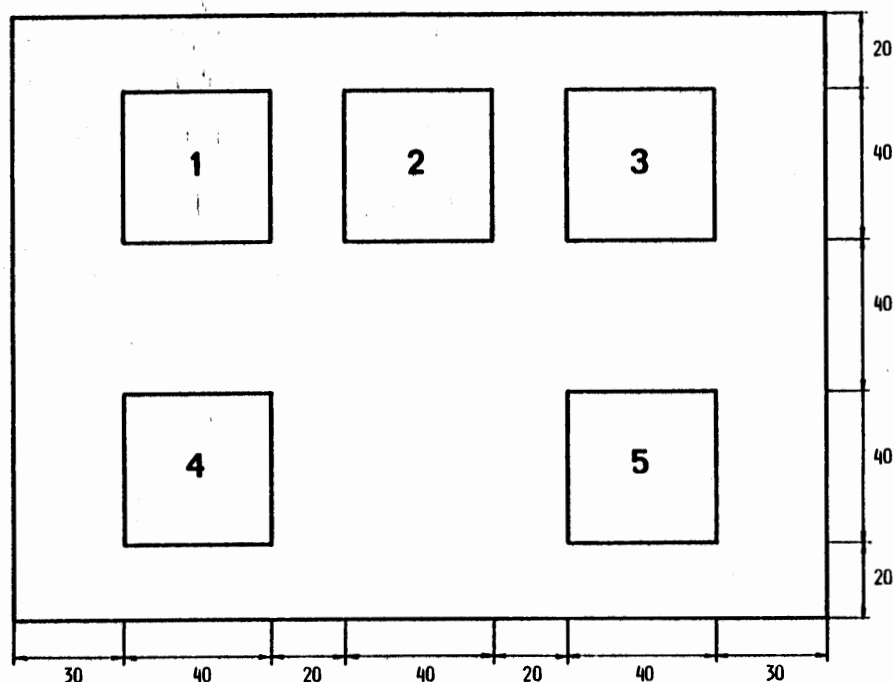


Fig 1. Mönster för uttagning av prover. Mått i mm.

Tabell 1. Jämförelse mellan urlaknings- och inaskningsmetoden.

| Slipersektion, nr | Prov, nr | Borsyrainnehåll, kg/m ³ | |
|-------------------|----------|------------------------------------|------------------------|
| | | Inasknings- metoden | Urlaknings- metoden |
| 15-4 | 1 | 2,58 | 2,10 |
| | 2 | 1,33 | 1,26 |
| | 3 | 5,60 | 5,65 |
| | 4 | 0,16 | 0,19 |
| | 5 | 0,11 | 0,13 |
| 15-5 | 1 | 0,18 | 0,20 |
| | 2 | 0,17 | 0,21 |
| | 3 | 0,20 | 0,30 |
| | 4 | 0,10 | 0,10 |
| | 5 | 0,16 | 0,14 |
| 15-6 | 1 | 6,73 | 6,75 |
| | 2 | < 0,10 | < 0,10 |
| | 3 | 0,98 | 0,94 |
| | 4 | < 0,10 | < 0,10 |
| | 5 | < 0,10 | < 0,10 |

Med hänsyn till att fördelningen av kreosotolja var ojämn i sektionerna och detta inverkade på provernas vikt, var det inte möjligt att uttrycka upptagningen av borsyra i % av absolut torrt trä. Provernas volym mättes i stället med en kvicksilvervolumeter, varför borsyrainnehållet kunde uttryckas på vikt-volymbasis, dvs i kg/m³.

Som framgår av tabellen överensstämmer resultaten från de båda metoderna mycket väl med varandra. Då urlakningsmetoden är billigare att utföra, valdes den för de fortsatta analyserna.

BILAGA 2

RESULTAT FRÅN KEMISKA ANALYSER - NÄSSJÖFÖRSÖKET

Tabell 1. Resultat efter 9 månaders exponering.

| Sektion nr | Prov nr | Borsyrainnehåll, kg/m ³ i sliper nr | | | | | | | | | | Medelvärde kg/m ³ | Standard- avvikelse kg/m ³ | | |
|---------------|------------|--|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------------------|---------------------------------|---|------|------|
| | | 21 | 23 | 25 | 27 | 29 | 31 | 33 | 35 | 37 | 39 | | | | |
| 1 | 2 + 3 | 0,12 ¹ | 0 | 0 | 0 | 0 ¹ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 2 | 2 + 3 | 0,22 ¹ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 3 | 2 + 3 | 1,68 | 0,85 | 3,01 ¹ | 0,42 ¹ | 0,66 | 0,18 | 0,85 | 0,94 | 1,14 | 0,93 | 1,07 | 0,79 | | |
| 4 | 1 | 1,09 | 8,18 | 3,70 | 1,92 | 8,32 | 2,92 | 18,61 | 20,04 | 14,97 | 4,06 | 2,27 | 1,25 | | |
| | 2 | 2,04 | 2,17 | 2,34 | 0 ¹ | 5,24 | 1,39 | 1,22 | 3,75 | 1,61 | 3,74 | | | | |
| | 3 | 1,66 | 2,66 | 1,90 ¹ | 1,47 ¹ | 1,35 | 2,36 | 2,33 | 3,89 | 3,57 | 0,68 | | | | |
| | 4 | 8,90 | 1,69 | 7,82 | 5,79 ¹ | 8,33 | 16,82 | 35,28 | 31,77 | 2,35 | 4,31 | | | | |
| | 5 | 1,16 | 0,83 | 0,97 | 0 ¹ | 0,12 | 0,74 | 0,26 | 0,35 | 0 | 0,13 | | | 0,49 | 0,56 |
| | 6 | 0,56 | 0 | 2,33 | 0,86 ¹ | 0 | 0,30 | 0,42 | 0,53 | 0,10 | 0,18 | | | | |
| | 7 | 0 | 0,26 | 0,56 | 0 ¹ | 0 | 0,11 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0,06 | 0,14 |
| | 8 | 0,22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| 5 | 1 | 5,09 | 0,65 | 2,69 | 3,21 | 2,97 | 2,42 | 0,95 | 0,18 | 2,25 | 0,89 | 0,87 | 0,98 | | |
| | 2 | 0,59 | 0,88 | 0,56 | 0,31 | 0,30 | 1,28 | 0,63 | 0,27 | 0,35 | 0,61 | | | | |
| | 3 | 1,34 | 0,41 | 0,83 | 0,54 | 4,80 | 1,11 | 0,64 | 0,39 | 0,86 | 0,78 | | | | |
| | 4 | 2,37 | 0,17 | 1,93 | 1,43 | 2,42 | 1,79 | 1,00 | 2,90 | 3,06 | 1,57 | | | | |
| 6 | 1 | 29,98 | 9,42 | 11,71 | 2,72 | 44,92 | 6,67 | 14,10 | 11,08 | 18,99 | 7,57 | 3,74 | 2,54 | | |
| | 2 | 1,52 | 0,71 | 4,77 | 5,93 | 1,31 ¹ | 3,00 | 5,60 | 1,80 | 1,12 | 2,51 | | | | |
| | 3 | 4,05 | 2,54 | 3,45 | 1,55 | 4,61 | 2,67 | 4,49 | 10,86 | 8,31 | 3,99 | | | | |
| | 4 | 4,93 | 26,26 | 13,17 | 8,52 | 14,89 | 17,78 | 36,84 | 27,27 | 4,57 | 12,86 | | | | |
| | 5 | 0,62 | 0,63 | 3,08 | 1,36 | 0,49 | 0,47 | 0,53 | 0,82 | 0,28 | 0,49 | | | 0,79 | 0,76 |
| | 6 | 0,44 | 0,10 | 0,78 | 0,66 | 0,29 | 0,46 | 0,19 | 2,60 | 0,98 | 0,50 ¹ | | | | |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,66 ¹ | 0 | 0 | | | 0,14 | 0,28 |
| | 8 | 0,28 | 0 | 0 | 0,94 | 0 | 0 | 0 | 0,33 | 0,62 | 0 | | | | |

0 = upptagning < 0,10 kg/m³¹ spricka eller kvist i provet

Tabell 2. Resultat efter 12 månaders exponering.

| Sektion nr | Prov nr | Borsyrainnehåll, kg/m ³ , i sliper nr | | | | | | | | | | Medelvärde kg/m ³ | Standard- avvikelse kg/m ³ | |
|---------------|------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|---------------------------------|---|------|
| | | 41 | 43 | 45 | 47 | 49 | 51 | 53 | 55 | 57 | 59 | | | |
| 2 | 2 + 3 | 0,21 | 0 ¹ | 1,18 | 0 | 0 ¹ | 0 | 0 ¹ | 0 | 0,10 | 0 ¹ | 0,15 | 0,37 | |
| 3 | 2 + 3 | 1,79 ¹ | 1,15 ¹ | 1,53 | 1,14 | 1,34 | 1,45 | 0 | 0,51 | 2,84 | 3,05 | 1,48 | 0,93 | |
| 4 | 2 | 5,61 | 1,80 | 1,70 ¹ | 2,06 | 3,29 | 0,77 ¹ | 3,65 ¹ | 3,48 | 2,94 | 1,35 ¹ | 2,61 | 1,78 | |
| | 3 | 8,18 | 1,52 | 3,14 | 2,92 | 0,65 | 2,25 | 1,97 | 2,13 ¹ | 0,47 | 2,33 ¹ | | | |
| | 5 | 0,51 | 0,22 | 0,94 ¹ | 0,65 | 0,53 | 0,97 | 0 | 0 | 0,88 | 0,65 | 0,58 | 0,50 | |
| | 6 | 1,11 | 0 | 2,16 | 0,69 | 0,59 | 0 | 0,26 | 0,36 | 0,56 | 0,43 | | | |
| | 7 | 0 | 0,99 | 0 | 0 | 0,11 | 0,18 | 0 | 0 | 0 | 0 ¹ | 0,06 | 0,22 | |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| | 5 | 2 | 0,46 ¹ | 0,79 | 0,77 | 0,34 | 0,61 | 0,18 | 0,10 ¹ | 0,45 | 1,37 | 0,27 | 0,58 | 0,46 |
| | | 3 | 0,61 | 1,37 | 1,12 ¹ | 0 | 0,56 | 0 ¹ | 0 | 0,92 | 1,42 ¹ | 0,32 | | |
| 6 | 2 | 0,35 ¹ | 2,05 | 1,33 ¹ | 2,16 ¹ | 0,35 | 3,91 ¹ | 4,33 | 4,77 | 1,43 | 0,68 ¹ | 2,82 | 2,14 | |
| | 3 | 3,47 | 1,86 | 2,93 | 1,87 | 3,70 | 10,01 | 3,60 | 3,56 | 1,60 | 2,48 | | | |
| | 5 | 0,36 | 0 | 0,92 ¹ | 1,15 | 0,89 | 0,71 | 0 | 0,13 | 1,15 | 0,74 | 0,78 | 0,67 | |
| | 6 | 0,45 | 1,04 | 2,18 | 0,43 | 0,43 | 0,52 | 0,45 | 0,47 | 2,71 | 0,77 ¹ | | | |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 ¹ | 0,08 | 0,25 | |
| | 8 | 0 | 0 | 1,00 | 0 | 0 ¹ | 0 | 0 | 0 | 0,59 | 0 | | | |

0 = upptagning < 0,10 kg/m³¹ spricka eller kvist i provet

Tabell 3. Resultat efter 15 månaders exponering.

| Sektion nr | Prov nr | Borsyrainnehåll, kg/m ³ , i sliper nr | | | | | | | | | | Medelvärde kg/m ³ | Standard- avvikelse kg/m ³ |
|---------------|----------------|--|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|-------------------|----------------|------|---------------------------------|---|
| | | 61 | 63 | 65 | 67 | 69 | 71 | 73 | 75 | 77 | 79 | | |
| 1 | 2 + 3 | 0 | 0 ¹ | 0 | 0 | 0 ¹ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 2 | 2 + 3 | 0,18 | 0,35 | 0,13 | 0 | 0,10 ¹ | 0 | 0,10 | 0 | 0 ¹ | 0 | 0,09 | 0,11 |
| 3 | 2 + 3 | 2,69 | 0,96 ¹ | 2,05 | 0 ¹ | 1,73 ¹ | 1,17 | 1,27 ¹ | 0,10 ¹ | 1,20 | 0,31 | 1,15 | 0,86 |
| 4 | 2 | 2,30 | 1,27 | 1,32 | 2,21 | 0,51 ¹ | 1,04 | 1,79 | 0,44 | 1,02 | 4,13 | 1,20 | 0,89 |
| | 3 | 1,51 | 0,62 | 0,74 | 1,12 | 0,89 | 0,48 | 0,93 | 0,40 | 0,43 | 0,84 | | |
| | 5 ¹ | 1,84 | 0,18 | 1,29 | 0,12 ¹ | 1,05 | 0,62 | 0,79 | 0 | 0,97 | 1,38 | 0,96 | 0,77 |
| | 6 ¹ | 1,11 | 0,74 | 1,14 | 0,36 ¹ | 2,26 | 0,78 | 3,09 | 0 | 0,79 | 0,70 | | |
| 7 | 0 | 0 | 0,12 | 0 ¹ | 0,12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,06 | 0,14 |
| 8 | 0 | 0 | 0,30 | 0 ¹ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,57 | 0 | | |
| 5 | 2 | 0,66 | 1,00 | 0,70 | 0,18 | 0,34 ¹ | 0,51 | 0,90 | 2,66 | 0,97 | 0,72 | 0,99 | 0,70 |
| | 3 | 0,65 | 0,74 | 0,83 | 0,65 | 1,09 | 0,62 | 1,45 | 2,97 | 0,64 | 1,46 | | |
| 6 | 2 | 1,79 | 1,63 ¹ | 0,56 | 1,67 | 1,21 | 1,58 | 0,53 | 3,31 | 0,89 | 1,95 | 1,89 | 1,15 |
| | 3 | 1,38 | 1,10 ¹ | 0,70 | 1,86 | 4,01 | 1,56 | 2,91 | 4,57 | 1,19 | 3,32 | | |
| | 5 | 1,53 | 0,48 | 0,87 | 0,51 | 0,99 | 1,35 | 1,88 | 1,25 | 1,01 | 0,65 | 1,32 | 0,80 |
| | 6 | 0,53 | 0,89 | 1,39 | 0,77 | 1,48 | 3,41 | 2,94 | 2,23 | 0,60 | 1,72 | | |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,14 | 0 | 0,22 | 0,48 | |
| 8 | 0,12 | 0,13 | 0,18 | 0,43 | 0 | 0,68 | 2,05 | 0 | 0,58 | 0 | | | |

0 = upptagning < 0,10 kg/m³¹ spricka eller kvist i provet

Tabell 4. Resultat efter 27 månaders exponering.

| Sektion nr | Prov nr | Borsyrainnehåll, kg/m ³ , i sliper nr | | | | | | | | | | Medelvärde kg/m ³ | Standard- avvikelse kg/m ³ |
|---------------|------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|---|
| | | 101 | 103 | 105 | 107 | 109 | 111 | 113 | 115 | 117 | 119 | | |
| 1 | 2 + 3 | 0 | 0 ¹ | 0 | 0,17 | 0 ¹ | 0 ¹ | 0 | 0 ¹ | 0 | 0 | | |
| 2 | 2 + 3 | 0 | 0 | 0,18 | 0,19 ¹ | 0 ¹ | 0 ¹ | 0 | 0 | 0 | 0 ¹ | 0,04 | 0,08 |
| 3 | 2 + 3 | 2,38 | 1,24 ¹ | 0,41 | 0,83 | 1,25 | 0,89 | 0,83 ¹ | 1,62 | 0,97 | 0,53 ¹ | 1,10 | 0,57 |
| 4 | 2 | 1,62 | 1,39 | 1,72 | 0,85 | 1,85 ¹ | 0,35 | 2,22 ¹ | 0,86 | 0,98 ¹ | 0,27 ¹ | 1,13 | 0,69 |
| | 3 | 1,38 | 0,85 | 0,35 | 2,57 | 2,02 | 0,38 | 1,06 | 1,09 | 0,59 | 0,23 ¹ | | |
| | 5 | 1,32 | 1,64 | 0,82 | 1,08 | 0,84 | 2,83 | 0,69 | 0,33 | 0,38 | 2,21 | 1,27 | 1,20 |
| | 6 | 0,93 | 4,84 | 1,14 | 0,90 | 0,17 | 3,44 | 0,49 | 0,20 | 0,68 ¹ | 0,56 | | |
| 7 | 0,83 | 0,11 | 0,12 | 0,31 | 0,24 | 0,15 | 0,40 | 0,23 | 0,21 ¹ | 0,28 ¹ | 0,29 | 0,36 | |
| 8 | 0,10 | 0,26 | 0,33 | 0 | 0 | 1,60 | 0,19 | 0,12 | 0,13 ¹ | 0,18 | | | |
| 5 | 2 | 1,41 | 0,73 | 0,43 | 1,00 | 0,75 ¹ | 0,64 | 0,76 | 0,76 | 0,46 | 0,35 | 0,71 | 0,31 |
| | 3 | 1,11 | 0,78 | 0,18 ¹ | 0,69 | 0,54 | 1,14 | 0,82 | 0,84 | 0,27 | 0,50 | | |
| 6 | 2 | 2,42 | 0,89 | 0,61 | 1,69 ¹ | 0,71 ¹ | 1,05 ¹ | 0,58 | 0,86 | 0,90 | 0,58 ¹ | 1,38 | 0,85 |
| | 3 | 1,41 | 0,59 | 1,16 | 3,13 ¹ | 3,17 | 2,47 | 1,95 | 1,78 | 0,53 | 1,16 | | |
| | 5 | 0,89 | 1,39 | 1,62 | 1,21 | 0,98 | 2,50 | 0,38 | 0,19 | 0,56 | 1,19 | 1,12 | 0,73 |
| | 6 | 2,21 | 2,17 | 0,54 | 1,83 | 0,74 | 2,14 | 0,41 | 0,36 | 0,48 | 0,70 | | |
| 7 | 0,10 | 0,16 | 0,15 | 0,24 | 0,10 | 0,11 | 0,20 | 0 | 0 | 0 | 0,11 | 0,09 | |
| 8 | 0,20 | 1,11 | 0,35 | 0,13 | 0 | 0 | 0,13 | 0,10 | 0,10 | 0 | | | |

0 = upptagning < 0,10 kg/m³¹ spricka eller kvist i provet

Tabell 5. Resultat efter 39 månaders exponering.

| Sektion nr | Prov nr | Borsyrainnehåll, kg/m ³ , i sliper nr | | | | | | | | | Medelvärde kg/m ³ | Standard- avvikelse kg/m ³ | |
|---------------|------------|--|------|------|------|------|------|-------------------|-------------------|------|---------------------------------|---|------|
| | | 141 | 143 | 145 | 147 | 149 | 151 | 153 | 155 | 157 | | | 159 |
| 1 | 2 + 3 | 0 | 0 | 0 | 0,12 | 0 | 0 | 0,11 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,05 |
| 2 | 2 + 3 | 0 | 0 | 0 | 0,29 | 0 | 0,16 | 0,29 ¹ | 0 ¹ | 0 | 0 | 0,07 | 0,12 |
| 3 | 2 + 3 | 0,45 | 1,03 | 0,81 | 0,64 | 0,15 | 0,53 | 0,34 | 0,73 | 0,84 | 0,72 | 0,62 | 0,26 |
| 4 | 2 | 0,51 | 0,81 | 0,79 | 0,43 | 0,17 | 0,43 | 0,33 | 1,08 | 1,77 | 1,40 | 0,94 | 0,66 |
| | 3 | 0,91 | 2,60 | 1,26 | 0,29 | 2,10 | 0,49 | 0,24 | 1,56 | 0,95 | 0,77 | | |
| 5 | 5 | 0,72 | 0,98 | 0,80 | 1,12 | 1,80 | 0,13 | 0,67 | 0,63 | 0,80 | 1,30 | 0,86 | 0,40 |
| | 6 | 0,64 | 0,60 | 0,73 | 0,85 | 1,10 | 1,12 | 0,50 | 0,81 | 1,59 | 0,35 | | |
| 7 | 7 | 0,15 | 0,17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,13 | 0 | 0,12 | 0 | 0,07 | 0,10 |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0,22 | 0 | 0 | 0,37 | 0 | 0,12 | 0,12 | | |
| 5 | 2 | 0,40 | 0,51 | 0,85 | 0,31 | 0,27 | 0,43 | 0,34 | 0,55 | 0,41 | 0,71 | 0,47 | 0,22 |
| | 3 | 0,32 | 0,94 | 0,28 | 0,40 | 0,72 | 0,46 | 0,38 | 0,19 | 0,78 | 0,16 | | |
| 6 | 2 | 0,98 | 0,58 | 0,70 | 0,16 | 1,25 | 1,21 | 0,15 | 1,68 | 1,93 | 1,17 | 0,97 | 0,54 |
| | 3 | 0,30 | 0,96 | 0,98 | 1,83 | 1,70 | 0,70 | 0,30 | 0,93 | 0,94 | 0,96 | | |
| 5 | 5 | 0,79 | 1,35 | 0,62 | 0,79 | 1,08 | 1,30 | 0,42 | 0,90 | 2,52 | 1,35 | 0,93 | 0,52 |
| | 6 | 0,11 | 0,71 | 0,54 | 0,85 | 0,99 | 1,65 | 0,63 | 0,59 | 0,72 | 0,63 | | |
| 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,16 | 0 | 0,78 | 0 | 0,10 | 0,18 |
| | 8 | 0 | 0 | 0,12 | 0 | 0,19 | 0 | 0,13 | 0,18 | 0,11 | 0,26 | | |
| 7 | 2 | 0,37 | 2,27 | 2,18 | 0,45 | 0 | 1,43 | 0,10 | 0,16 | 0,26 | 0,70 | 0,64 | 0,68 |
| | 3 | 0,18 | 1,46 | 0,65 | 0 | 0,43 | 0,79 | 0,13 ¹ | 0,39 | 0,75 | 0,10 | | |
| 5 | 5 | 0,14 | 0,88 | 0,19 | 0,63 | 0 | 0,13 | 0,19 | 0 | 0,46 | 0 | 0,26 | 0,31 |
| | 6 | 0,10 ¹ | 0,29 | 0 | 0 | 0,31 | 1,14 | 0,21 | 0,22 ¹ | 0,10 | 0,30 | | |
| 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,13 | 0 | 0 | 0 | 0,10 | 0,18 |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0,19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,01 | 0,04 |
| | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0,12 | 0 | 0 | 0,12 | 0 | 0 | 0 | 0,01 | 0,04 |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,01 | 0,04 |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

0 = upptagning < 0,10 kg/m³¹ spricka eller kvist i provet

Tabell 6. Resultat efter 51 månaders exponering.

| Sektion nr | Prov nr | Borsyrainnehåll, kg/m ³ , i sliper nr | | | | | | | | | | Medelvärde kg/m ³ | Standard- avvikelse kg/m ³ |
|---------------|------------|--|-------------------|------|------|-------------------|------|------|----------------|------|-------------------|---------------------------------|---|
| | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | | |
| 1 | 2 + 3 | 0 | 0 | 0 | 0,16 | 0 | 0,10 | 0 | 0 | 0 | 0,18 | 0,04 | 0,07 |
| 2 | 2 + 3 | 0 | 0,12 | 0 | 0,24 | 0,36 ¹ | 0,11 | 0 | 0 | 0,18 | 0,37 | 0,14 | 0,15 |
| 3 | 2 + 3 | 0,34 | 0,37 | 0,93 | 0,47 | 0,42 | 1,37 | 0,26 | 0,63 | 0,22 | 1,19 | 0,62 | 0,41 |
| 4 | 2 | 1,09 | 0,34 ¹ | 0,54 | 0,40 | 0,43 | 1,36 | 0 | 2,02 | 2,39 | 0,68 | 1,03 | 0,74 |
| | 3 | 1,93 | 0,26 | 1,66 | 0,28 | 0,71 | 2,14 | 0,27 | 1,54 | 1,57 | 0,92 | | |
| 5 | 5 | 1,27 | 0 | 0,26 | 1,33 | 1,26 | 1,24 | 0,86 | 1,00 | 1,49 | 1,35 | 1,03 | 0,62 |
| | 6 | 1,36 | 1,15 | 1,84 | 0,43 | 2,47 | 0,16 | 0,24 | 0,81 | 0,61 | 1,44 | | |
| 7 | 7 | 0,10 | 0,10 | 0 | 0,77 | 0,37 | 0,42 | 1,33 | 0 | 0,20 | 0,41 | 0,30 | 0,46 |
| | 8 | 0 | 0,11 | 1,67 | 0 | 0 | 0,14 | 0,30 | 0 | 0 | 0 | | |
| 5 | 2 | 0,37 | 0,33 | 1,14 | 0,53 | 0,40 | 0,72 | 0,50 | 0,27 | 0 | 0,28 | 0,49 | 0,37 |
| | 3 | 0,50 | 0,47 | 0,36 | 0,31 | 1,16 | 1,36 | 0,69 | 0,12 | 0 | 0,33 | | |
| 6 | 2 | 0,14 | 1,63 | 2,04 | 0,53 | 0,70 | 0,92 | 0,14 | 3,76 | 1,98 | 1,38 | 1,46 | 1,21 |
| | 3 | 0,94 | 0,55 | 1,53 | 0,56 | 1,82 | 2,76 | 0,29 | 3,56 | 3,84 | 0,20 | | |
| 5 | 5 | 0,26 | 1,20 | 1,06 | 1,38 | 2,71 | 1,28 | 1,42 | 0,92 | 3,10 | 0,83 | 1,11 | 0,80 |
| | 6 | 0,47 | 1,63 | 0,14 | 0,91 | 2,08 | 0,27 | 1,12 | 0,17 | 0,84 | 0,48 | | |
| 7 | 7 | 0 | 0,13 | 0 | 0 | 0,11 | 1,14 | 0,68 | 0 | 0,66 | 0,22 | 0,20 | 0,31 |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,13 | 0,33 | 0 | 0,40 | 0,14 | | |
| 7 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,43 | 1,46 | 0,79 | 0 | 0,10 | 1,00 | 0,48 | 0,60 |
| | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,11 | 1,58 | 1,08 | 0,14 | 0,12 | 0,86 ¹ | | |
| 5 | 5 | 0 | 0,37 | 0 | 0 | 0,14 | 0,51 | 0,42 | 0 | 0 | 0,95 ¹ | 0,23 | 0,32 |
| | 6 | 0 | 0,14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,70 | 0 | 0,68 | 0,70 ¹ | | |
| 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0,77 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,12 | 0,70 | 0,13 | 0,24 |
| | 8 | 0 | 0,14 | 0 | 0,50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,13 | 0,19 | | |
| 8 | 2 | 0 | 0,59 | 0 | 0,22 | 0 | 1,04 | 0 | 0 ¹ | 0,15 | 0,20 | 0,12 | 0,26 |
| | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,16 | 0 | 0 | 0,13 | 0 | 0 | | |
| 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,16 | 0,05 | 0,18 |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,82 | 0 | 0 | 0 | | |
| 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 ¹ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

0 = upptagning < 0,10 kg/m³¹ spricka eller kvist i provet

Tabell 7. Resultat efter 63 månaders exponering.

| Sektion nr | Prov nr | Borsyrainnehåll, kg/m ³ , i sliper nr | | | | | | | | | | Medelvärde kg/m ³ | Standard- avvikelse kg/m ³ |
|---------------|------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|---|
| | | 42 | 44 | 46 | 48 | 50 | 52 | 54 | 56 | 58 | 60 | | |
| 4 | 2 | 0,45 | 0,15 | 0,65 | 0,35 | 0,11 | 0,94 | 0,27 | 0,45 | 0 | 0,56 ² | 0,45 | 0,32 |
| | 3 | 1,32 | 0,22 | 0,28 ² | 0,54 ² | 0,12 | 0,83 ² | 0,44 | 0,36 ² | 0,27 ² | 0,59 | | |
| | 5 | 1,24 | 0,13 ² | 1,27 | 0,23 | 0,67 | 0,48 | 0,27 | 1,31 | 0,56 | 0,52 | 0,58 | |
| | 6 | 0,50 | 0,13 | 0,98 | 0,18 | 0,37 | 0,66 | 0,33 ¹ | 0,92 | 0,38 ² | 0,52 | | |
| 5 | 2 | 0,33 | 0 | 0,63 | 0,28 | 0,18 | 0,16 | 0,20 | 0,28 | 0 | 0,35 ² | 0,28 | 0,23 |
| | 3 | 0,94 | 0,19 | 0,41 | 0,19 | 0,14 | 0,21 | 0,22 | 0,36 | 0 | 0,59 ¹ | | |
| 6 | 2 | 0,80 | 0,16 ² | 0,10 ² | 0,39 ² | 0,24 | 2,35 ² | 0,10 ² | 0,33 | 0,20 | 0,83 | 0,59 | 0,67 |
| | 3 | 0,32 | 0,47 | 0,51 ² | 0,58 | 0,22 ² | 2,52 | 0,24 ² | 0,42 | 0,37 | 0,64 | | |
| | 5 | 0,49 | 0,60 | 1,62 | 0,32 | 0,42 | 0,41 | 0,32 | 0,65 | 0,33 | 0,47 | 0,49 | |
| | 6 | 0,52 | 0,57 | 0 | 0,25 | 0,55 | 0,79 | 0,40 | 0,76 | 0 | 0,37 | | |

0 = upptagning < 0,10 kg/m³¹ spricka eller kvist i provet² spikhål sammanföll med provet

Tabell 8. Resultat efter 75 månaders exponering.

| Sektion nr | Prov nr | Borsyrainnehåll, kg/m ³ , i sliper nr | | | | | | | | | | Medelvärde kg/m ³ | Standard- avvikelse kg/m ³ |
|---------------|------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------------------|---|
| | | 82 | 84 | 86 | 88 | 90 | 92 | 92 | 96 | 98 | 100 | | |
| 4 | 2 | 0,81 | 0,95 | 0,60 | 0,65 | 0,24 | 0,57 | 0,67 | 0,42 | 0,29 | 0,49 | 0,54 | 0,20 |
| | 3 | 0,30 | 0,85 | x | 0,61 | 0,25 | x | x | x | 0,32 | x | | |
| | 5 | 0,21 | 0,41 | 0,59 | 0,65 | 0,31 | 0,29 | 0,33 | 0,82 | 0,82 | 0,50 | 0,58 | |
| | 6 | 0,21 | 0,48 | 0,46 | 1,06 | 0,63 | 0,87 | 0,86 | 0,91 | 0,45 | 0,73 | | |
| 5 | 2 | 0,43 | 0,72 | 0,24 | 0,45 | 0,43 | 1,06 | 1,05 | 0,62 | 0,66 | 0,32 | 0,50 | 0,30 |
| | 3 | 0,25 | 0,71 | 0,23 | 0,18 | 0,19 | x | 0,27 | 0,16 | 0,59 | 0,44 | | |
| 6 | 2 | 0,22 | 0,47 | 0,27 | 0,60 | 0,51 | 0,34 | 0,20 | 0,40 | 1,86 | 0,31 | 0,63 | 0,47 |
| | 3 | x | 0,85 | 1,70 | 1,05 | 0,61 | 0,73 | 0,78 | 0,36 | 0,85 | 0,17 | | |
| | 5 | 0,34 | 0,31 | 1,16 | 0,44 | 0,44 | 0,74 | 1,09 | 1,30 | 0,80 | 0,19 | 0,62 | |
| | 6 | 0,14 | 0,48 | 0,62 | 0,59 | 0,75 | 0,96 | 0,78 | 0,28 | 0,70 | 0,26 | | |

x = defekt i sektionen; prov ej uttaget. Vid beräkning av medelvärdet har provet åsatts samma värde som grannprovet.

Tabell 9. Resultat efter 87 månaders exponering.

| Sektion nr | Prov nr | Borsyrainnehåll, kg/m ³ , i sliper nr | | | | | | | | | | Medelvärde kg/m ³ | Standard- avvikelse kg/m ³ |
|---------------|------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------------------|---|
| | | 122 | 124 | 126 | 128 | 130 | 132 | 134 | 136 | 138 | 140 | | |
| 4 | 2 | 1,18 | 0,11 | 0,30 | 0,29 | 0,72 | 0,27 | 0,22 | 0,58 | 0,17 | 1,56 | 0,42 | 0,39 |
| | 3 | 0,42 | 0,13 | 0,18 | 0,18 | 0,32 | 0,75 | x | 0 | 0,15 | 0,55 | | |
| | 5 | 1,04 | 0,18 | 0,43 | 0,34 | 0,41 | 0,37 | 0,63 | 1,25 | 0,58 | 1,05 | 0,55 | |
| | 6 | 0,67 | 0,31 | 0,45 | 0,30 | 0,18 | 0,53 | 0,14 | 0,32 | 0,58 | 1,15 | | |
| 5 | 2 | 0,41 | 0,10 | 0,27 | 0,10 | 0,55 | 0,24 | 0 | 0,39 | 0,19 | 0,74 | 0,26 | 0,19 |
| | 3 | 0,25 | 0,28 | 0,17 | 0,32 | 0,23 | 0,40 | 0 | 0 | 0,15 | 0,31 | | |
| 6 | 2 | 2,77 | x | 1,04 | 0,17 | 0,58 | 0,57 | 0,33 | 0,32 | 0,33 | 0,41 | 0,63 | 0,63 |
| | 3 | 1,22 | 0,50 | 1,05 | 0,26 | 0,17 | 1,45 | 0 | 0,12 | 0,32 | 0,54 | | |
| | 5 | 0,91 | 0,32 | 0,62 | 0,20 | 0,22 | 2,29 | 0,29 | 1,27 | 0,76 | 1,22 | 0,68 | |
| | 6 | 0,58 | 0,34 | 0,31 | 0,36 | 0,70 | 1,19 | 0 | 0,40 | 0,39 | 1,22 | | |

0 = upptagning < 0,10 kg/m³

x = defekt i sektionen; prov ej uttaget. Vid beräkning av medelvärdet har provet åsatts samma värde som grannprovet.

BILAGA 3

RESULTAT FRÅN KEMISKA ANALYSER - KUNGSBACKAFÖRSÖKET

Fem sliprar, som delades på mitten, uttogs vid varje provtagningstillfälle. Ena halvan hade legat vid positiv räil och den andra vid negativ vad avser signalströmmens poler. Detta har markerats med plus- respektive minustecken efter sliperhalvans nummer. Ex. Halvorna 201+ och 202- härrörde från samma sliper.

Tabell 1. Resultat efter 21 månaders exponering.

| Sektion nr | Prov nr | Borsyrainnehåll, kg/m ³ , i sliper nr | | | | | | | | | | Medelvärde kg/m ³ | Standard- avvikelse kg/m ³ |
|---------------|------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|---|
| | | 201+ | 202- | 203+ | 204- | 205+ | 206- | 207+ | 208- | 209+ | 210- | | |
| 4 | 2 | 0,36 | 0,68 ¹ | 0,54 ¹ | 0,54 ¹ | 0,37 | 0,98 ¹ | 0,53 ¹ | 0,31 ¹ | 0 ¹ | 0,62 | 0,54 | 0,24 |
| | 3 | 0,57 ¹ | 0,54 | 0,29 ¹ | 0,98 ¹ | 0,74 ¹ | 0,70 | 0,58 ¹ | 0,33 ¹ | 0,32 ¹ | 0,73 | | |
| | 5 | 0,18 ¹ | 0,46 ¹ | 0,45 ¹ | 0,28 | 0,33 ¹ | 0,28 ¹ | 0,18 ¹ | 0,30 ¹ | 0,41 | 0,41 | | |
| | 6 | 0,16 ¹ | 0,38 ¹ | 0,28 ¹ | 0,89 | 0,51 ¹ | 0,13 ¹ | 0,11 ¹ | 0,30 | 0,66 ¹ | 0,40 | | |
| 5/41 | 2 | 0,41 | 0,93 | 0,43 | 0,35 | 0,88 | 0,31 | 0,45 | 0,75 | 0,42 | 0,59 | 0,51 | 0,19 |
| | 3 | 0,39 | 0,87 | 0,35 | 0,57 | 0,41 | 0,43 | 0,41 | 0,39 | 0,38 | 0,52 | | |
| | 5 | 0,24 | 0,38 | 0,36 | 0,20 | 0,46 | 0,27 | 0 | 0,13 | 0,15 | 0,30 | | |
| | 6 | 0,25 | 0,54 | 0,61 | 0,36 | 0,54 | 0,21 | 0,35 | 0,39 | 0,44 | 0,34 | | |
| 5 | 2 | 0,21 | 0,62 | 0,36 | 0,46 | 0,40 | 0,21 | 0,41 | 0,30 | 0,63 | 0,70 | 0,44 | 0,17 |
| | 3 | 0,66 | 0,14 | 0,28 | 0,42 | 0,59 | 0,70 | 0,54 | 0,30 ¹ | 0,47 | 0,32 ¹ | | |
| 6/52 | 2 | 0,46 | 1,68 | 0,42 | 0,60 | 0,41 | 0,58 | 0,59 | 0,46 | 0,93 | 0,79 | 0,72 | 0,36 |
| | 3 | 0,61 | 1,18 | 0,46 | 1,16 | 0,62 | 1,34 | 0,50 | 0,52 | 0,41 | 0,65 | | |
| | 5 | 0,43 | 0,51 | 0,34 | 1,10 | 0,31 | 0,60 | 0,33 | 0,18 | 0,33 | 0,48 | | |
| | 6 | 0 | 0,94 | 0,33 | 0,47 | 0,54 | 0,16 | 0,40 | 0,37 | 0,10 | 0,15 | | |
| 6 | 2 | 0 ¹ | 1,17 ¹ | 0,87 ¹ | 0,68 ¹ | 0,78 | 1,29 ¹ | 0,72 ¹ | 0 ¹ | 0,53 | 0,92 ¹ | 0,59 | 0,37 |
| | 3 | 0,32 ¹ | 1,04 ¹ | 0,33 ¹ | 0,58 ¹ | 0,36 ¹ | 0,78 ¹ | 0,59 ¹ | 0 ¹ | 0,47 ¹ | 0,44 | | |
| | 5 | 0,28 ¹ | 1,35 ¹ | 0,37 | 0,37 ¹ | 0,27 ¹ | 0,32 ¹ | 0,47 ¹ | 0,24 ¹ | 0,32 | 0,81 ¹ | | |
| | 6 | 0,18 ¹ | 0,68 ¹ | 0,35 ¹ | 0,81 ¹ | 0,29 ¹ | 0,52 ¹ | 0,34 ¹ | 0,21 ¹ | 0,44 ¹ | 0,18 ¹ | | |

0 = upptagning < 0,10 kg/m³¹ skruvhål sammanföll med provet

+ = sliperhalva från positiv räil (signalström)

- = sliperhalva från negativ räil (signalström)

Tabell 2. Resultat efter 32 månaders exponering.

| Sektion nr | Prov nr | Borsyrainnehåll, kg/m ³ , i sliper nr | | | | | | | | | | Medelvärde kg/m ³ | Standard- avvikelse kg/m ³ |
|---------------|------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------------------|---|
| | | 211+ | 212- | 213+ | 214- | 215+ | 216- | 217+ | 218- | 219+ | 220- | | |
| 3 | 2 | 0,50 | 0,27 | 0,46 | 0 | 0,64 | 0,86 | 0,18 | 0,12 | 0,37 | 1,08 | 0,41 | 0,32 |
| | 3 | 1,19 | 0,16 | 0,47 | 0,37 | 0,17 | 0,30 | 0,21 | 0 | 0,39 | 0,48 | | |
| 5/41 | 2 | 0,44 | 0,37 | 0,19 | 0,62 | 0,16 | 0,35 | 0,20 | 0,15 | 0,31 | 0,70 | 0,32 | 0,17 |
| | 3 | 0,31 | 0,39 | 0,36 | 0,37 | 0 | 0,31 | 0,26 | 0,13 | 0,25 | 0,49 | | |
| | 5 | 0,19 | 0,11 | 0 | 0,12 | 0,27 | 0,33 | 0,33 | 0,13 | 0,31 | 0,19 | | |
| | 6 | 0 | 0,48 | 0 | 0,17 | 0,36 | 0,30 | 0,23 | 0,33 | 0,20 | 0,19 | | |
| 5 | 2 | 0,28 | 0,35 | 0,38 | 0 | 0,24 | 0,31 | 0,26 | 0 | 0,31 | 0,36 | 0,24 | 0,15 |
| | 3 | 0,51 | 0,19 | 0 | 0 | 0,15 | 0,32 | 0,19 | 0,21 | 0,32 | 0,42 | | |
| 6/52 | 2 | 0,52 | 0,60 | 0,10 | 0 | 0,34 | 0,29 | 0,30 | 0,23 | 0,40 | 0,47 | 0,30 | 0,16 |
| | 3 | 0,22 | 0,28 | 0 | 0,41 | 0,11 | 0,29 | 0,32 | 0,26 | 0,47 | 0,44 | | |
| | 5 | 0,12 | 0,13 | 0 | 0,19 | 0,27 | 0,40 | 0,47 | 0,14 | 0,26 | 0,18 | | |
| | 6 | 0 | 0,14 | 0 | 0,21 | 0,33 | 0,17 | 0,20 | 0,64 | 0,27 | 0,16 | | |
| 7 | 2 | 0 | 0,21 | 0 | 0 | 0,54 | 1,24 | 0,36 | 0,23 | 0,69 | 0,64 | 0,31 | 0,31 |
| | 3 | 0 | 0,17 | 0 | 0 | 0,33 | 0,43 | 0,18 | 0,44 | 0,40 | 0,38 | | |
| | 5 | 0 | 0,10 | 0 | 0 | 0,20 | 0,14 | 0,22 | 0 | 0,90 | 0 | | |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,27 | 0,16 | 0,16 | 0,27 | 0,29 | 0,26 | | |

0 = upptagning < 0,10 kg/m³

+ = slipershalva från positiv räl

- = slipershalva från negativ räl

Tabell 3. Resultat efter 44 månaders exponering.

| Sektion nr | Prov nr | Borsyrainnehåll, kg/m ³ , i sliper nr | | | | | | | | | | Medelvärde kg/m ³ | Standard- avvikelse kg/m ³ |
|---------------|------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------------------|---|
| | | 221+ | 222- | 223+ | 224- | 225+ | 226- | 227+ | 228- | 229+ | 230- | | |
| 3 | 2 | 0,51 | 0,15 | 0,32 | 0,92 | 0,41 | 0,12 | 0,19 | 0 | 0,18 | 0,17 | 0,34 | 0,42 |
| | 3 | 0,26 | 0,37 | 1,90 | 0,10 | 0,14 | 0,47 | 0 | 0,18 | 0,13 | 0,26 | | |
| 5/41 | 2 | 0,28 | 0 | 0,12 | 0,49 | 0,11 | 0,17 | 0,19 | 0,29 | 0,13 | 0,12 | 0,20 | 0,14 |
| | 3 | 0,48 | 0,22 | 0,36 | 0,18 | 0 | 0,15 | 0,17 | 0,36 | 0,11 | 0 | | |
| | 5 | 0,19 | 0,26 | 0,13 | 0,19 | 0 | 0,20 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,20 | | |
| | 6 | 0,23 | 0 | 0,34 | 0,40 | 0,10 | 0,57 | 0,35 | 0,19 | 0,15 | 0,17 | | |
| 5 | 2 | 0,29 | 0,48 | 0,20 | 0,24 | 0 | 0,48 | 0,31 | 0 | 0,14 | 0 | 0,18 | 0,15 |
| | 3 | 0 | 0,27 | 0,25 | 0,17 | 0,10 | 0,13 | 0,19 | 0,28 | 0 | 0 | | |
| 6/52 | 2 | 0,10 | 0,15 | 0,15 | 0,32 | 0,14 | 0 | 0,75 | 0,53 | 0 | 0 | 0,22 | 0,19 |
| | 3 | 0,22 | 0,22 | 0,29 | 0,15 | 0,11 | 0,25 | 0,16 | 0,45 | 0,11 | 0,20 | | |
| | 5 | 0,16 | 0,10 | 0,13 | 0,20 | 0,26 | 0,15 | 0,44 | 0,31 | 0,19 | 0,14 | | |
| | 6 | 0,17 | 0,23 | 0 | 0,39 | 0,11 | 0,45 | 1,15 | 0,30 | 0,31 | 0,32 | | |
| 7 | 2 | 0,30 | 0 | 0,30 | 0,32 | 0,13 | 0,10 | 0,18 | 0 | 0,41 | 0,15 | 0,20 | 0,23 |
| | 3 | 0 | 0 | 0,10 | 0,13 | 0 | 1,01 | 0,22 | 0,12 | 0,31 | 0,28 | | |
| | 5 | 0,13 | 0,12 | 0,10 | 0,29 | 0 | 0,32 | 0,16 | 0,13 | 0,42 | 0,13 | | |
| | 6 | 0,16 | 0,18 | 0 | 0,26 | 0,15 | 0,12 | 0 | 0,18 | 0,25 | 0,24 | | |

0 = upptagning 0,10 kg/m³

+ = slipershalva från positiv räl

- = slipershalva från negativ räl