

SVENSKA TRÄSKYDDSIINSTITUTET

THE SWEDISH WOOD PRESERVATION INSTITUTE

Meddelanden

Reports

Nr 111

1974

Provning av impregnerat virke i havet

Impregneringsmedel av typ Zn-Cr-As, Zn-Cu-Cr-As och Cu-Cr-As

Marine Wood Borer Tests on the West Coast of Sweden

The Effectiveness of Zn-Cr-As, Zn-Cu-Cr-As and Cu-Cr-As

Types of Wood Preservatives

av

E. Nylinder-Norman, B. Henningsson, L. Gunnarsson och O. Hellström

STOCKHOLM 1974

PROVNING AV IMPREGNERAT VIRKE I HAVET

Impregneringsmedel av typ Zn-Cr-As,
Zn-Cu-Cr-As och Cu-Cr-As.

av

Eva Nylinder-Norman¹⁾, Björn Henningsson¹⁾, Lennart Gunnarsson²⁾
och Olle Hellström³⁾.

INTRODUKTION

Obehandlat trä som sätts ut i vattnet på svenska västkusten blir mycket snabbt angripet av skeppsmask och borrhärfä. Träkonstruktioner bör därför impregneras mot angrepp av skadegörarna om inte mycket motståndskraftigt trä används, såsom jarrah eller azobé (Träskyddskommittén 1968).

Sedan länge har trä för marint bruk tryckimpregnerats med kreosotolja. Från andra världskrigets utbrott och till 1946 var emellertid importen av kreosotolja och motståndskraftigt trä begränsad eller omöjliggjord. Det blev då nödvändigt att utarbeta impregneringsmedel, som helt och hållet kunde framställas i Sverige och passa för de inhemska träslagen. Furu (*Pinus silvestris*), det inhemska träslag som bäst passar för tryckimpregnering, har följaktligen sedan slutet av 1930-talet använts i försök både mot svampar på land och skadegörare i vatten (Henningsson 1971). I de flesta marina försök har olika Bolidensalter undersökts (Häger, B. 1941, Hultman, B. 1949, Sandström, S. 1951). Resultaten från undersök-

1) Skogshögskolan, Inst för virkeslära, Fack, 104 05 Stockholm 50.

2) Boliden AB, Kemi Divisionen, Fack, 251 00 Helsingborg 1.

3) Rentokil Svenska AB, Box 11016, 250 11 Helsingborg 11.

ningar som påbörjades 1940, 1947, 1950 och 1954 har följts upp och presenteras i denna publikation.

Undersökningar rörande skeppsmaskarnas ekologi och skadegörelse pågår vid Kristinebergs marinbiologiska station sedan 1970 av forskare vid Skogshögskolans institution för virkeslära. Några resultat, som är medtagna i denna publikation, är hämtade från de pågående undersökningarna.

BIOLOGISKA OCH GEOGRAFISKA DATA

Försök med impregnering av virke mot marina skadegörare påbörjades 1940 och var förlagda till Kristinebergs marinbiologiska station. 1947, 1950 och 1954 startades nya försök.

Kristinebergs marinbiologiska station, latitud $58^{\circ} 15'$ och longitud $11^{\circ} 27'$ ligger vid Gullmarsfjorden (Fig 1). Temperatur och salthalt mäts kontinuerligt vid stationen. Fig 2 visar månadernas medel-, maximum- och minimumvärde för ytvattnets salthalt och temperatur år 1971. Av figuren framgår att salthalten i de flesta fall ligger mellan 20 och $30^{\circ}/\text{oo}$. Vid ett par tillfällen har dock salthalter på $33^{\circ}/\text{oo}$ och $18^{\circ}/\text{oo}$ uppmätts. Vattnet är varmest under juli och augusti och kallast från januari till mars.

På grundare vatten, 1-3 m djup, vid Kristineberg har två arter skeppsmask och en art borrhärla påträffats. Den vanligaste skeppsmaskarten är *Teredo navalis* medan *Psiloteredo megotara* är mer sparsamt förekommande. Båda arterna tillhör familjen *Teredinidae*, klassen *Bivalvia*. Borrhärlan *Limnora lignorum*, som tillhör klassen, *Crustacea* är även mycket vanlig.

Livscykeln hos de två skeppsmaskarterna är något olika. Äggen befruktas i epibrankialhålan hos *Teredo navalis* medan *Psiloteredo megotara* har yttre befruktning, d v s äggen befruktas i vattnet. Hos *Teredo navalis* utvecklas äggen i gälhålan till ett tidigt larvstadium (veligerlarv). Larverna lämnar sedan moderdjuret och svävar fritt omkring i vattnet en tid innan de sätter sig fast på lämpligt underlag.

Deras frisimmande tid är ungefär lika lång som hos veligerlarver hos arter med yttre befruktning (Jones och Eltringham 1971). Efter fastsättningen omvandlas (metamorfoserar) larven till en liten skeppsmask. I kulturer med *Teredo navalis* metamorfoserar de första larverna 20 dagar efter svärmning ägt rum (Loosanoff och Davis, 1963). Under lämpligare förhållanden kan den frisimmande larvperioden förkortas eftersom den varierar med temperatur, salthalt, tillgång på föda m m.

Larvernas fastsättning på virket startar ett par veckor tidigare hos *Psiloteredo megotara* än hos *Teredo navalis*. Vid Kristinebergs marinbiologiska station pågår fastsättningsperioden mellan juni och september hos båda arterna. Som vuxen är skeppsmasken helt bunden till ett liv i trä. Vartefter den tillväxer borrar den sig allt längre in i virket. Hos *Teredo navalis* och *Psiloteredo megotara* förkalkas gångarnas väggar. I den bakre ändan har skeppsmasken två sifoner, som normalt sticker ut genom ingångshålet. Genom den ena sifonen sugas vatten in, innehållande näringsämnen och syre, hos honan av *Teredo navalis* även spermier. Genom den andra sifonen avsöndras exkretionsprodukter, spermier hos hanen och ägg eller larver hos honan. Under ogynnsamma förhållanden dras sifonen in och ingångshålet stängs igen med två kalkplattor, så kallade paletter. Instängd i sin gång kan skeppsmasken leva en längre tid om vattnet exempelvis blir förorenat eller om träbiten placeras i luften eller sött vatten.

För att ge en uppfattning om skeppsmaskens populationstäthet vid Kristineberg visas på Fig 3 en röntgenbild av en obehandlad provbit av furu som legat i vattnet mellan 1973-05-09 och 1973-11-14.

Limnoria lignorum borrar sina gångar alldeles under träts yta. Arten blir 5 mm lång. Vid Flødevigen på norska Skagerackskusten angrips trä av *Limnoria lignorum* från januari till maj med en angreppstopp i april. Svärmningstidens start är korrelerad med en månadsmedeltemperatur av 9.6°C (Sømme, 1940).

MATERIAL OCH METODER

Tabell 1 visar sammansättningen hos de impregneringsmedel som ingick i de olika försöksserierna. Därav framgår att Zn-Cr-As medel av salt- och oxidtyp samt Zn-Cu-Cr-As medel och Cu-Cr-As medel av oxidtyp provats. Fig 4 visar en försöksställning för prover som utsattes 1940. Ett hål borrades vid vardera änden av varje vedprov före impregneringen. Genom hålen drogs sedan en 6 mm tjock koppartråd. Mellan proven placerades 40 mm höga porslinsisolatorer för att hålla isär proverna. Försöksserierna som startades 1947, 1950 och 1954 arrangerades i princip som ovan beskrivna steganordning. Proven var av splintved. Av tabellerna 2, 3 och 4 framgår provstorlek och träslag. Försöksställningarna placerades hängande ner i vattnet från en brygga. Under vintern lades försöksställningarna på botten på c:a 3 m djup två till tre månader för att undvika skador, som kan förorsakas av isen.

Bedömningen av angrepp förorsakade av skeppsmask och borrhärd, har gjorts genom visuell undersökning av proverna, efter det att påväxten avlägsnats. För att bedöma noggrannheten av den visuella undersökningsmetoden röntgenfotograferades proverna som sattes ut 1954. På grund av tekniska skäl kunde endast den mittersta sektionen (24 cm) av varje prov röntgenfotograferas.

Vid röntgenfotograferingen användes en Philips Macrotank K 100/Be. Strömstyrkan var 3mA, spänningen 60 kV och exponeringstiden 1 minut. Skeppsmaskens skal, paletter och de förkalkade gångarna ger god kontrast på röntgenfilmen och en bild av skadegörelsen inne i provet erhålles. Skadegörelse orsakad av *Limnoria* måste undersökas visuellt eftersom gångarna hos denna art ej är förkalkade och därför ej ger bild på röntgenfoto.

Proverna har undersökts visuellt vart tredje år med undantag för de första försöksåren. En gradering av angreppen gjordes i en skala från 0 till 6, där 0 innebär fri från angrepp och 6 betyder mycket stor skadegörelse. Vid angreppsgraden 6 utdöms proverna. När alla prover i en grupp dömts ut beräknades medelvaraktigheten för proverna.

RESULTAT

Försöksserierna från 1940 och 1947 startade innan de moderna typerna av impregneringsmedel fanns. Salterna som undersöktes i dessa serier finns inte längre på marknaden och är därför av mindre praktisk betydelse. Av stort principiellt intresse är emellertid resultaten från de serier där impregnerade och oimpregnerade prover spikats samman.

1940 års serie

Resultatet från försöket, som igångsattes 1940 finns i tabell 2. I denna försöksserie har nu alla prover blivit utdömda. Medelvaraktigheten var 27 år för prover behandlade med BIS lösning innehållande 9.5 % salt. BIS lösning innehållande 6.8 % salt gav i stort sett samma resultat, en medelvaraktighet på 26 år. De obehandlade proverna hade en medelvaraktighet på 2.5 år. FeAsO_4 har lägre löslighet hos fixeringsprodukten än BIS men vid samma As-koncentration är BIS överlägsen FeAsO_4 , som skydd i marin miljö. Är den totala saltkoncentrationen lika hos FeAsO_4 och BIS, är impregneringsmedlen lika effektiva. Vid mycket höga saltkoncentrationer ger däremot BIS ett bättre skydd.

Av stort intresse var upptäckten att medelvaraktigheten var betydligt mindre hos BIS-impregnerade prover, som var spikade på oimpregnerade prover, än hos prover, som saknade kontakt med oimpregnerat trä. I de mest extrema fallen minskade varaktigheten till en tredjedel. Samma tendens fanns hos de FeAsO_4 behandlade proverna. Angreppen har säkerligen startat i det obehandlade virket, varefter skeppsmasken borrar sig in i det impregnerade virket. Skeppsmasken var då vuxen individ när den kom i kontakt med det impregnerade virket. Vuxna individer är mer resistent mot toxiska ämnen än larver. I praktiken innebär ovanstående resultat att impregnerat trä i havsvatten inte bör stå i direkt kontakt med oimpregnerat trä.

1947 års serie

I tabell 3 återfinns resultaten från försöket som startade år 1947. En jämförelse gjordes mellan fyra amerikanska träsorter impregnerade

med BIS salt. Samtliga prover i serien har nu dömts ut. Kortaste medelvaraktigheten hade Douglasgranen. Detta träslag är emellertid svårimpregnerbart varför saltupptagningen blev lägre än hos träslag som amerikansk rödtall, gultall och vanlig tall där impregneringsmedlet går lätt in i virket. Medelvaraktigheten hos dessa tre sist nämnda arter var ungefär densamma vid jämförbara upptagningar av impregneringsmedel. De oimpregnerade referensproven utdömdes redan efter 1 års exponering i havet.

1950 års serie

I försöksserien som startades 1950, tabell 4, har ännu ej alla prover dömts ut. Kommentarer gällande denna serie kommer att göras i en senare slutlig rapport.

1954 års serie

Endast de obehandlade referensproverna har dömts ut i 1954 års serie (tabell 5). Vid 1973 års inspektion bedömdes angreppsgraden först genom visuell undersökning och därefter med röntgenfotografering. Appendix 1-5 visar röntgenbilder av proverna, använda impregneringsmedel och koncentrationer samt angreppsgrad enligt skalan 0-6 bedömd vid den visuella undersökningen. Röntgenbilden överensstämmer inte alltid med angreppsgraden bedömd vid den visuella undersökningen. Prov 56 i appendix 2 har bedömts vara utan angrepp, d v s angreppsgrad 0 medan röntgenbilden visar kraftiga angrepp inne i provet. I detta fall måste larvernans ingångshål ha undgått observation vid den visuella undersökningen. På prov 42, 46 (appendix 1) och prov 82 (appendix 4) noterades angrepp vid visuell undersökning medan röntgenbilderna visar att proverna saknade angrepp.

Skillnaden i resultat mellan de två metoderna kan ha flera förklaringar. Endast mittendelen av provet röntgenfotograferades. Eventuella angrepp i provets ändar blev således ej registrerade. Angrepp förorsakade av *Limnoria* syns ej på röntgenbilden men registreras däremot vid den visuella undersökningen. Om skeppsmasken dött kort tid efter det att den trängt in i virket, är den för liten och kalkbildningen alltför ringa för att den skall

synas på röntgenbilden. Ingångshålen syns däremot vid den visuella undersökningen.

Skeppsmaskar, som väl lyckats etablera sig i virket, är ganska resistent mot impregneringsmedlet, att döma av längden på skeppsmasken på röntgenbilden av prov 87 (appendix 4).

Impregneringsmedlen K33 och S25 provades i 1954 års serie. De mjuka hörnen och kanterna i de S25-behandlade proverna tyder på att de angripits av soft rot svampar. Prover behandlade med Boliden K33 saknade soft rot angrepp. Undersökningsresultaten visar att prover behandlade med Boliden K33 ger ett bättre skydd än de prover, som behandlats med S25. Den största skillnaden i den kemiska sammansättningen mellan de två impregneringsmedlen är att kopparinnehållet i Boliden K33 är omkring fyra gånger högre än i S25. Den större skyddande effekten som erhålles av Boliden K33 beror med all säkerhet på det höga kopparinnehållet.

DISKUSSION

Det var nödvändigt att lägga försöksstegarna på botten under vintern, för att isen ej skulle förstöra dem. Detta betyder, att de skeppsmaskar som hade sina ingångshål på den del som låg mot botten kan ha dött på grund av syrebrist, då ingångshålet blockerades. Det är ändå inte troligt att medelvaraktigheten förändrades p g a att en del skeppsmaskar dog, då populations-tätheten är mycket hög och tillväxten stor vid Kristineberg, Fig 3.

Skillnaden i medelvaraktighet mellan de obehandlade proverna i 1940 års serie och övriga testserier, medellivslängd 2.5 respektive 1 år, kan bero på att 1940 års serie sattes ut på hösten medan övriga serier startade på sommaren. Prover, som sätts ut på sommaren blir omedelbart angripna eftersom skeppsmaskens larver svärmar och sätter sig fast under denna tid. Vid årets slut är längden hos *Teredo navalis* några centimeter och så fort vattentemperaturen stiger igen följande vår fortsätter skeppsmasken att växa. Virke som sätts ut på hösten blir delvis övertäckt av djur och växter. Denna påväxt minskar den tillgängliga ytan för larverna att slå sig ner på under

påföljande sommar (Nagabhushanam, R. 1960). En annan förklaring till skillnaden i de obehandlade provernas medelvaraktighet skulle kunna vara extrem låg populationstäthet sommaren 1941. Det stämmer dock inte i detta fall, då obehandlade prover som sattes ut i juli 1941 vid Kristinebergs marinbiologiska station hade en medellivslängd av 1 år (Sandström, S. 1951).

1973 års röntgenundersökning av 1954 års serie visade att det kan vara svårt att med visuell undersökning bedöma skadegörelse av ringa omfattning. Vid enbart observation av antalet ingångshål blir skadegörelsen lätt överskattad om djur har dött på ett tidigt stadium, eftersom det är svårt att avgöra om djuren lever eller ej, eller att få en uppfattning om djurens längd. Ju mer angripet ett prov är desto mindre är chansen till felbedömning. Vid angreppsgrad 6 är det inte sannolikt att skadans omfattning felbedöms. Medelvaraktigheten i de olika serierna är därför riktiga eftersom den beräknas då varje prov i en serie nått angreppsgraden 6.

För all hjälp och vänligt bemötande på Kristinebergs marinbiologiska station tackas Dr Gunnar Gustafsson, Lysekil och professor Bertil Swedmark, Kristinebergs marinbiologiska station.

MARINE WOOD BORER TESTS ON THE WEST COAST OF SWEDEN

*The effectiveness of Zn-Cr-As, Zn-Cu-Cr-As and Cu-Cr-As
type wood preservatives*

by

*Eva Nylinder-Norman¹⁾, Björn Henningsson¹⁾, Lennart Gunnarsson²⁾
and Olle Hellström³⁾.*

INTRODUCTION

Untreated wood submerged in the sea along the western coast of Sweden is invariably rapidly destroyed by marine borers. Wooden constructions in these waters therefore have to be preserved against this type of biological attack, unless very durable timber is used, e.g. jarrah or azobé (Träskyddskommittén 1968).

For many years timber has been pressure impregnated with creosote as a preservative for marine purposes. However, after the outbreak of World War II and until 1946, the importation of creosote and durable timber species to Sweden was restricted. Since Sweden has no indigenous sources of creosote or durable timbers, it was necessary to develop preservatives which could be entirely manufactured within the country, and which were effective in protecting home grown timbers. Pine (Pinus sylvestris) is the most suitable native timber for pressure preservation and was consequently widely used in both terrestrial and marine exposure trials since the late 1930s (Henningsson 1971). In most of the marine trials various Boliden salts were tested (Häger, B. 1941, Hultman, B. 1949,

1) Department of Forest Products, Royal College of Forestry, Fack, S-104 05 Stockholm 50, Sweden

2) Boliden AB, Chemicals Division, Research & Development, Fack, S-251 00 Helsingborg 1, Sweden

3) Rentokil Svenska AB, Box 11016, S-250 11 Helsingborg 11, Sweden

Sandström, S. 1951). The results from tests started in 1940, 1947, 1950 and 1954 are discussed in the present publication.

Investigations relating to the ecology of the shipworms and destruction caused by shipworms have been conducted at Kristineberg Marine Biology Station since 1970 by researchers from the Department of Forest Products, Royal College of Forestry. Some of the results presented in this paper were taken from these continuing investigations.

GOEGRAPHICAL AND BIOLOGICAL BACKGROUND

At Kristineberg Marine Biology Station marine borer tests with treated wood commenced in 1940. Further tests followed in 1947, 1950 and 1954.

Kristineberg Marine Biology Station, latitude $58^{\circ} 15'$ and longitude $11^{\circ} 27'$, is situated at the Gullmarsfiord on the Swedish west coast (Fig. 1). Temperature and salinity of the water is continuously measured at the station. Fig. 2 presents the monthly mean, maximum and minimum salinity and temperature readings of the surface water in the year 1971. As can be seen the salinity approximately varies between 20 and $30^{\circ}/\text{oo}$. However, occasionally salinities of $33^{\circ}/\text{oo}$ and $18^{\circ}/\text{oo}$ were noted. The water temperature was at its highest during July and August and at its lowest from January to March.

In the coastal waters at Kristineberg, three species of marine borers have been observed on panels submerged at depths of 1-3 m. Molluscan borers of the family Teredinidae include the predominant species, Teredo navalis, and the less frequently occurring species, Psiloteredo megotara. In addition the crustacean borer Limnora lignorum is very common.

The life cycle of the two species of the family Teredinidae differ in their mechanism of fertilization. Fertilization takes place in the epibranchial chamber in Teredo navalis while in Psiloteredo megotara

fertilization occurs in the sea. Teredo navalis retain their young in their gills until the straight-hinge veliger larvae stage. Larvae released in the straight-hinge stage have a long free-swimming period about equivalent to that of the veligers of species which do not protect their young (Jones and Eltringham, 1971).

In T. navalis cultures grown at room temperature, the first metamorphosing larvae are observed 20 days after swarming (Loosanoff and Davis, 1963). If better growth conditions were provided the free swimming period could undoubtedly be shortened because it varies with the temperature, salinity, food supply, etc.

The settling period for Psiloteredo megotara starts some weeks earlier than that for Teredo navalis. At Kristineberg Marine Biology Station the duration of the settling period for the two species is between June and September. Once settled the borer does not move during its lifetime. As the elongated adult shipworm grows, it bores its way inside the wood. In Psiloteredo megotara and Teredo navalis the interior tunnel walls are covered with a calcareous layer. At the posterior end the shipworm has two siphons which normally extrude through the small entrance hole. The incurrent siphone takes in water with oxygen and nutrients, and also sperms in the female of Teredo navalis. Through the excurrent siphone pass excretion products, sperms in the male and eggs or larvae in the female. During unfavourable conditions the shipworm withdraws the siphons and plugs the bore hole by means of two pallets. In this position, the shipworm can survive for some time if the water is contaminated or if the wood is taken out of the water.

To indicate the frequency of the Teredinidae population in the Kristineberg area, Fig. 3 presents an X-ray picture of an untreated test block submerged on the 1973-05-09 and X-rayed on the 1973-11-14.

Limnoria lignorum bores long tunnels just below the surface of the wood. The maximum length of the gribble is 5 mm. At Flødevigen on the Norwegian Skager Rack coast, attack by gribble occurs in definite periods. The infestation begins in January or February, culminating in April and expires during the first half of May. In Flødevigen the commencement of the breeding season is correlated with a monthly average water temperature of 9.6°C (Sømme, 1940).

MATERIALS AND METHODS

The formulations of the preservatives included in the different test series are given in Table 1. The tests included Zn-Cr-As-preservatives of the salt type as well as the oxide type and Zn-Cu-Cr-As and Cu-Cr-As-preservatives of the oxide type. The arrangement of the test blocks submerged in 1940 is shown in Fig. 4.

A hole was drilled near each end of the panels before impregnation. Through the holes a 6 mm copper thread was drawn. To keep the panels apart 40 mm high china insulators were inserted between the panels. The test series started in 1947, 1950 and 1954 were principally arranged in the same ladder-like manner. Only sapwood was used for the panels. The size of the specimens included in the individual series is given in the tables concerned.

The test ladders were secured to a bridge and submerged in the water. During two to three months, in the wintertime the ladders were laid on the sea-bed, at a depth of about 3 m, to avoid damage caused by ice.

Evaluation of the borer attack was conducted periodically by visual examination of each panel after fouling organisms had been removed. In order to assess the accuracy of the visual examination the panels submerged in 1954 were X-rayed in October 1973. For technical reasons, only the middle section (24 cm long) could be X-rayed.

A Philips Macrotank K 100/Be operated at 3mA and 60 kV for a 1 minute exposure was used. The calcareous tunnels, shells and paletts of the shipworms give a contrast effect on the X-ray film and a picture of the damage inside the panel is obtained which would be difficult to asses from a purely visual examination of the entrance holes. The damage caused by Limnoria, however, must be evaluated by visual examination as their tunnels are not calcareous. These inspections were carried out within two hours of the panels withdrawal from water.

Except from the initial years of exposure, the panels were inspected every three years. The degree of attack is indicated in a scale from 0 to 6, where 0 means no attack and 6 very heavy attack. When a panel had reached the degree 6, it was rejected. When all the specimens in the group had been rejected (average degree of attack = 6) the service life was calculated.

RESULTS

The tests of 1940 and 1947 were started before the so called modern types of preservative had been developed. The salts tested have been withdrawn from the market for several years and are therefore of less practical interest. However, these results are of importance when considering the contact phenomena between untreated and treated wood, and in evaluating the effectiveness of various chemicals in wood preservation.

1940 Series

The results from the test that commenced in 1940 are given in Table 2. All the panels of this test series have now been rejected. The last panels were rejected between 1967 and 1970 due to heavy attack by shipworms. Panels treated with BIS solution containing 9.5 % salt had an average service life up to 27 years. The 6.8 % salt gave approximately the same result, 26 years. This should be compared with a service life of only 2 1/2 years for the untreated panels. Compared to FeAsO_4 , with fixation products of a lower solubility than BIS, the BIS salt at equal As-retentions is the superior one. At similar total salt retentions, FeAsO_4 and the BIS salt are about equally effective. At very high salt retentions however, the BIS salt seems to give better protection.

Of great interest is the finding that by nailing untreated wood to BIS treated panels the service life of the treated panels was very markedly reduced; in the most extreme cases to nearly one third of that of treated panels not in contact with untreated wood. The

tendency was the same for FeAsO_4 treated panels, but not so pronounced as with the BIS panels. The infestation of the treated panels had undoubtedly started from the untreated wood. When colonising the preserved wood the shipworms were then adult animals rather than settling larvae. Adult animals are known to be more resistant to toxic chemicals than the larvae. In practice this means that preservative treated wood installed in the sea must never be brought into direct contact with untreated wood.

1947 Series

The results from the series of the tests started in 1947 are shown in Table 3.

Four species of American timber treated with the BIS salt were compared. All the panels in this series are now destroyed. The shortest service life was noted for Douglas Fir. This is, however, a refractory species and therefore the salt retention was lower than in Yellow Pine, Red Pine and Pinus sylvestris which are easily treatable. The service life time for those latter three species was approximately the same at comparable preservative retentions. The untreated reference panels were rejected after 1 year's exposure.

1950 Series

In the series of tests of 1950 (Table 4), some of the panels are still in service. Comments will be given in a later final report.

1954 Series

All panels in the 1954 series (Table 5), are still in service except for the untreated references. The condition of the panels at the 1973 inspection was first evaluated by an ordinary visual examination and then by X-ray techniques. The X-ray pictures together with preservative retentions and degree of visual attack noted, are given for all the panels in appendices 1 - 5. The visual evaluation of the attack does not always agree with the X-ray evaluation. For example, for panel 56 in appendix 2, a visual attack of 0 was obtained, while the

X-ray picture showed a serious internal deterioration of the panel. In this case the entrance holes of the larvae were not recognised at the visual examination. On panels 42, 46 (Appendix 1) and 82 (Appendix 4), visual attacks were noted, but according to the X-ray picture these panels were sound.

The difference in the evaluation results between the two methods may have several explanations. As only the middle parts of the panels were X-rayed, bore holes near the ends of the panels were not registered. On the X-ray picture it is not possible to discern attack by Limmoria. This type of attack however, would be included in the visual evaluations. The shipworms may have died shortly after their establishment in the wood, when they were still too small or too weakly calcified to be distinguished on the X-ray film. In such a case, however, the entrance hole would be observed at the visual examination.

Panel 87 showed that once established, shipworms may be rather resistant to the preservative judging from the length of the shipworm on the X-ray picture.

In the 1954 series Boliden K33 and S25 were tested. Softening of the edges and corners on the S25 treated panels indicated soft rot attack. Panels treated with Boliden K33 did not show signs of soft rot attack. It may be concluded from the various inspections that the Boliden K33 treated panels, are superior to those treated with S25. The most significant difference between the two preservatives, as regards their chemical composition, is that the Cu-content of Boliden K33 is about four times that of S25. The superior preserving effect obtained with Boliden K33 is most certainly due to its high copper content.

DISCUSSION OF THE RESULTS

In the way the reported tests were arranged, it was necessary to lay the panel ladders on the bottom in winter time. This means that shipworms with their entrance holes facing the mud layers on the bottom may have died due to lack of oxygen when the holes were blocked.

However, knowing the frequency of the shipworm population in these waters and the annual growth of the animals, it is not likely that the average service life of the panels should be affected by the death of even a large number of animals.

The difference in service life of untreated panels from 1940 compared to those from 1947, 1950 and 1954 - service life 2,5 and 1 years respectively - might be explained, as the panels from 1940 were installed in the autumn whereas the others were installed in the summer. Panels submerged in the summer will be immediately attacked, since this is the settling period of the shipworms. Before the end of the year, the established shipworms would reach a size of a few centimeters and start to grow immediately the water temperature increases the following spring. Panels submerged in the autumn will be partially covered by various fouling organisms when the shipworms settle in the following summer. This fouling will decrease the area available for the shipworm larvae to settle (Nagabhushanam, R. 1960). Another possible explanation could be that the population frequency was extremely low in the summer of 1941. This was however, not the case, since untreated blocks submerged in July 1941 at Kristineberg Marine Biology Station gave an average life of 1 year (Sandström, S. 1951).

As was evident from the 1973 inspection of the test panels submerged in 1954, it is sometimes difficult, by means of visual examination, to observe less extensive attack by shipworms. The importance of insignificant attack, where the animals have died at an early stage may be over-estimated, since it is difficult to discern from the entrance holes if the animal is alive or not, or the size of the animal. However, the more advanced the attack the less the chance of evaluating incorrectly by visual examination. When the degree of attack 6 has been reached this chance is non-existent. The average service life for a series is therefore a reliable figure because it is calculated when the degree of attack 6 has been reached by each individual panel.

ACKNOWLEDGEMENTS

Many thanks are due to Dr Gunnar Gustafsson, Lysekil and Professor Bertil Swedmark, Kristineberg Marine Biology Station for all the assistance from the station.

LITTERATUR

- Hellström, O och Ringby A, 1940: Iordningställande av prover till försök mot skeppsmasken. Boliden AB Report No 197, dated 1940-10-23.
- Henningsson, B. 1971: Developments in wood preservation in Sweden. Department of Forest Products, Royal College of Forestry Research Notes Nr U 28.
- Hultman, B. 1949: Impregnering av virke för hamnbyggnadsändamål. Sv. Kommunal-tekn. Fören. Handlingar Nr 21.
- Häger, B. 1941: Arsenikföreningar som skydd mot skeppsmask. Tekn. Tidskr. 71, 116-117.
- Jones, E.B.G. and Eltringham, S.K. 1971: Marine borers, fungi and fouling organisms of wood. OECD Paris 1971.
- Karlsson, S.M. 1954: Impregnering av provstavar för skeppsmaskförsök till Fiskebäckskil 1954. Boliden AB Investigation certificate No K24/54 dated 1954-06-14.
- Loosanoff, V.L. and Davis, H.C. 1963: Rearing of bivalve molluscs. In "Advances of Marine Biology". Vol. 1. (F.S. Russel Ed.) pp. 1-136, Academic Press, London and New York.
- Nagabhusanam, R. 1960: A note on the inhibition of marine wood-boring Molluscs by heavy fouling accumulation. Science and Culture Vol. 26 No 3.
- Näslund, M. 1950: Impregnering av provstycken för skeppsmaskundersökning vid Fiskebäckskil. Boliden AB Report No 60-1950, dated 1950-09-18.
- Provstycken utsatta i Fiskebäckskil den 3 juni 1947. Boliden AB.
- Sandström, S. 1951: Impregnering av virke mot skeppsmask 1951. Tekn. Tidskr. 81 (32), 693-4.
- Sømme, O.M. 1940: A study of the life-history of the gribble *Limnoria lignorum* (Rathke) in Norway. Nytt Mag. Naturvidenskapene 81, 1945-205.
- Träskyddskommittén, 1968: Skadegörelse på virkeskonstruktioner i saltvatten. Information om Träskydd 1968:1.



Fig. 1. Geografiska läget på Kristinebergs marinbiologiska station.
The geographical location of the Kristineberg Marine Biology Station.

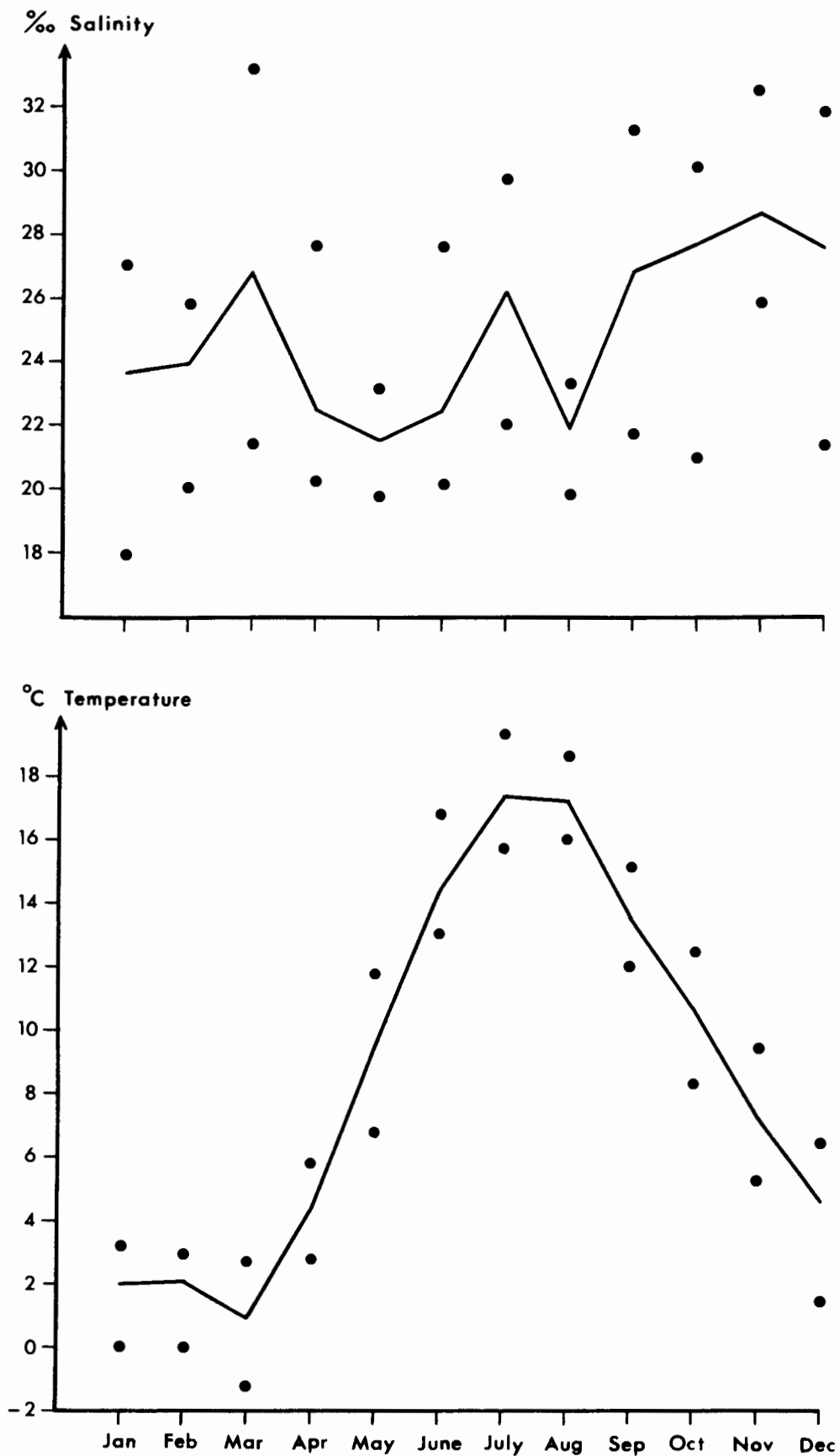


Fig. 2. Månadernas medel- samt maximum- och minimumvärde för ytvattnets salthalt och temperatur år 1971 vid Kristinebergs marinbiologiska station.

The monthly mean, maximum and minimum salinity and temperature readings of the surface water at Kristineberg Marine Biology Station in 1971.

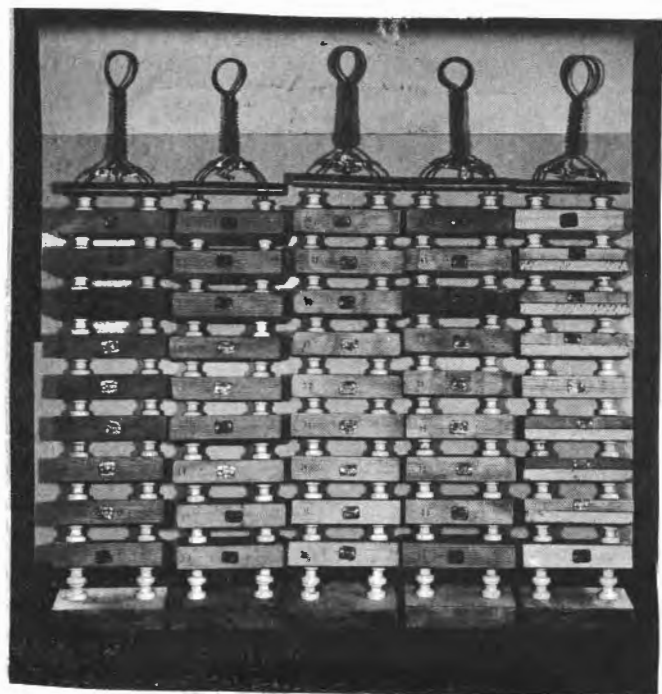


Fig. 4. Försöksställning för proverna som utsattes 1940.

The arrangement of the test blocks submerged in 1940.

Fig. 3. Röntgenbild av en obehandlad provbit av furu som legat i vattnet mellan 1973-05-09 och 1973-11-14. Naturlig storlek.

X-ray picture of an untreated test block of pine submerged on the 1973-05-09 and 1973-11-14. Natural size.

Tabell 1. Kemisk sammansättning hos de provade impregneringsmedlen
Chemical composition of the preservative salts tested

Nominell sammansättning <i>Nominal composition</i>	Aktiva element <i>Active elements</i>	
<u>BIS</u> (BIS + ZnSO ₄)		
H ₃ AsO	20.6 %	As 10.9 %
NaHAsO ₄	17.8 %	As 7.2 %
Na ₂ Cr ₂ O ₇ ·2H ₂ O	15.7 %	Cr 5.5 %
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	42.9 %	Zn 9.8 %
H ₂ O	<u>3.0 %</u>	_____
Summa <i>Sum</i>	100.0 %	33.4 %
<u>FeAsO₄·2H₂O</u>		Fe 24.2 %
		As <u>32.5 %</u>
		56.7 %
<u>S25</u>		
ZnO	11.4 %	Zn 9.2 %
CuO	3.9 %	Cu 3.1 %
CrO ₃	23.3 %	Cr 12.1 %
As ₂ O ₅	36.0 %	As 23.5 %
H ₂ O	<u>25.4 %</u>	_____
Summa <i>Sum</i>	100 %	47.9 %
<u>S</u>		
ZnO	15.7 %	Zn 12.6 %
CrO ₃	24.1 %	Cr 12.5 %
As ₂ O ₅	37.0 %	As 24.2 %
H ₂ O	<u>23.2 %</u>	_____
Summa <i>Sum</i>	100 %	49.3 %
<u>S-spec</u>	Samma sammansättning som S-saltet, men en annan framställningsprocess <i>The same composition as the S-salt but a different manufacturing process</i>	

Tabell 1. (forts.)

Nominell sammansättning <i>Nominal composition</i>	Aktiva element <i>Active elements</i>	
<u>Boliden K33</u>		
CuO	14.8 %	Cu 11.82 %
CrO ₃	26.6 %	Cr 13.83 %
As ₂ O ₅	34.0 %	As 22.17 %
H ₂ O	<u>24.6 %</u>	<u> </u>
Summa <i>Sum</i>	100.0 %	47.82 %

Tabell 2. Resultat av 1940 års serie. Furu, splintved 50 x 98 x 250 mm.

Test results of the 1940 series. Pine sapwood 50 x 98 x 250 mm.

Impregnerings- medel <i>Preservative</i>	Lösnings- koncentra- tion % salt <i>Soln conc % salt</i>	Upptagning av salt kg/m ³ <i>Ave salt reten- tion kg/m³</i>	Antal prover <i>Number of panels</i>	Medel- varaktig- het år <i>Ave service life years</i>	Anm. <i>Notes</i>
BIS	9.5	66	3	27	
"	6.8	49	3	26	
"	5.0	36	3	12	
"	3.1	22	3	9	
"	1.9	13	3	6	
"	1.0	6.8	3	4	
BIS	9.5	61	1	10	Proverna var spi- kade på oimpreg- nerade prover <i>The panels were nailed to untrea- ted crossbars</i>
"	6.8	54	1	10	
"	5.0	36	1	7	
"	3.1	23	1	6	
"	1.9	13.5	1	5	
"	1.0	7.0	1	4	
FeAsO ₄	6.3	47	3	15	
"	3.9	27	3	12	
"	3.0	22	3	10	
"	2.0	13.7	3	7	
"	1.3	8.9	3	6	
"	0.54	3.8	3	4	
FeAsO ₄	6.3	29	1	12	Proverna spikade på oimpregnerade prover <i>Panels nailed to untreated crossbars</i>
"	3.9	27	1	8	
"	3.0	21	1	6	
"	2.0	9.9	1	5	
"	1.3	8.4	1	5	
"	0.54	3.6	1	4	
Oimpregnerade <i>Untreated</i>	-	-	3	2.5	

Tabell 3. Resultat av 1947 års serie. Splintved 50 x 100 x 500 mm.

Test results of the 1947 series. Sapwood 50 x 100 x 500 mm.

Impregnerings- medel <i>Preservative</i>	Lösnings- koncentra- tion % <i>Soln conc % salt</i>	Upptag- ning av salt kg/m^3 <i>Ave salt retention kg/m^3</i>	Träslag <i>Wood species</i>	Antal prover <i>Number of panels</i>	Medelvar- aktighet år <i>Ave service life years</i>
BIS	3.28	19.2	<i>Pinus palustris</i>	3	13
"	4.83	28.8	Söders gultall	3	19
"	6.70	45.6	<i>Southern yellow pine (USA)</i>	3	17
Oimpregnerade <i>Untreated</i>	-	-		3	1
BIS	3.28	7.6	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	3	9
"	4.83	8.9	Douglasgran	3	8
"	6.70	10.4	<i>Douglas fir (USA)</i>	3	8
Oimpregnerade <i>Untreated</i>	-	-		3	1
BIS	3.23	20.2	<i>Pinus resinosa</i>	3	13
"	4.83	24.7	Amerikansk rödtall	3	13
"	6.70	38.2	<i>Red pine (USA)</i>	3	18
Oimpregnerade <i>Untreated</i>	-	-		3	1
BIS	3.23	18.0	<i>Pinus sylvestris</i>	3	11
"	4.83	27.9	Vanlig tall	3	15
"	6.70	32.4	<i>Scots pine (USA)</i>	3	16
S-spec	4.20			3	12
FeAsO ₄	3.15			3	11
Oimpregnerade <i>Untreated</i>	-	-		3	1

Tabell 4. Resultat av 1950 års serie. Furu splintved 50 x 100 x 300 mm

Test results of the 1950 series. Pine sapwood 50 x 100 x 300 mm

Prov nr <i>Panel no</i>	Impreg- nerings- medel <i>Preserva- tive</i>	Lösnings- koncentra- tion % salt <i>Soln conc % salt</i>	Upptag- ning av salt kg/m ³ <i>Reten- tion kg/m³ salt</i>	Angreppsstyrka <i>Degree of attack</i>			Varaktig- het år <i>Years in service</i>	Medel- var- aktig- het år <i>Ave service life years</i>	Anm. <i>Notes</i>
				1967	1970	1973			
1	S25	5.62	37	0	0	2			
2			38	0	0	1			
3			39	0	0	2			
4	S25	3.75	26	-	-	-		Prov förlorat (1970) ^{xx}	
5			25	0	-	-		" " (")	
6			25	1	-	-		" " (")	
7	BIS	7.20	49	6	-	-	11	14 (1961) ^x	
8			51	6	-	-	17		
9			49	6	-	-	15		
10	BIS	4.85	29	-	-	-		10 Prov förlorat	
11			31	6	-	-	9		
12			28	6	-	-	11		
13	S	5.25	35	1	2	4			
14			36	3	4	6	23		
15			35	2	3	5			
16	S	3.56	25	-	-	-		14 Prov förlorat	
17			25	6	-	-	17		
18			25	6	-	-	11		
19	Oimpreg- nerade	-	-	6	-	-	1	1 (1951)	
20				6	-	-	1		
21	Untreated			6	-	-	1		

x Årtal inom parentes anger tidpunkt då provet erhö11 angreppsstyrka 6
Date within brackets shows the year when the 6th degree of attack was reached

xx *Panel lost*

Tabell 5. Resultat av 1954 års serie. Furu splintved 38 x 75 x 400 mm

Test results of the 1954 series. Pine sapwood 38 x 75 x 400 mm

Prov nr <i>Panel no</i>	Impreg- nerings- medel <i>Preserva- tive</i>	Lösnings- koncentra- tion % salt <i>Soln conc %</i> salt	Upptag- ning av salt kg/m ³ <i>Reten- tion kg/m³ salt</i>	Angreppsstyrka <i>Degree of attack</i>		Varaktig- het år <i>Years in service</i>	Medel- varaktig- het år <i>Ave service life years</i>	Anm. <i>Notes</i>	
				1970	1973				
42	K33	8.25	53	0	1				
46			53	0	2				
48			52	0	0				
51	K33	5.88	37	0	0				
52			38	0	0				
56			36	0	0				
62	K33	4.42	30	0	0				
67			33	0	0				
68			33	0	0				
82	S25	5.56	33	0	1				
86			30	0	0				
87			33	0	3				
94	S25	4.17	31	0	1				
95			30	0	2				
97			33	0	2				
0	0impreg- nerade <i>Untreated</i>	-	-	6	-	1	1	(1955) ^x (") (")	
0				6	-				1
0				6	-				1

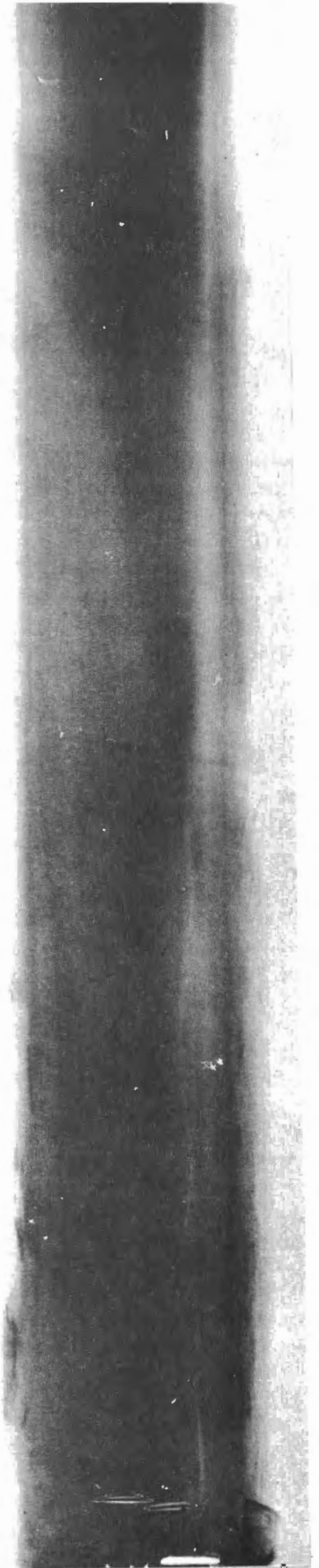
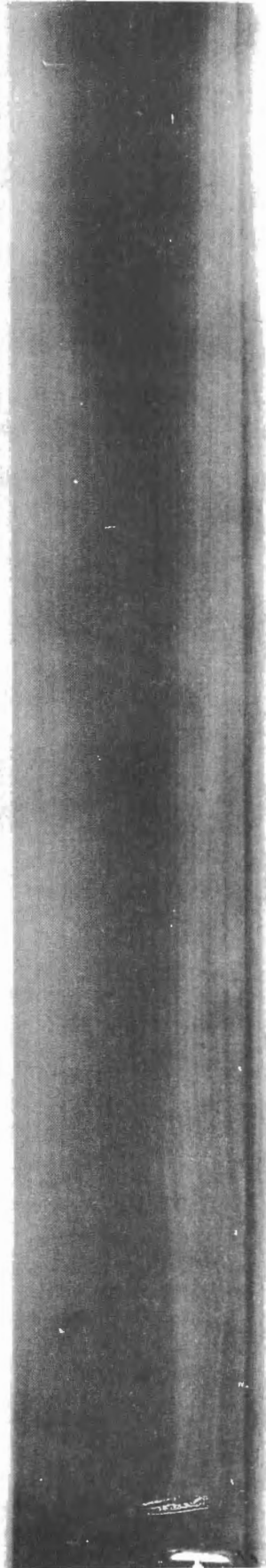
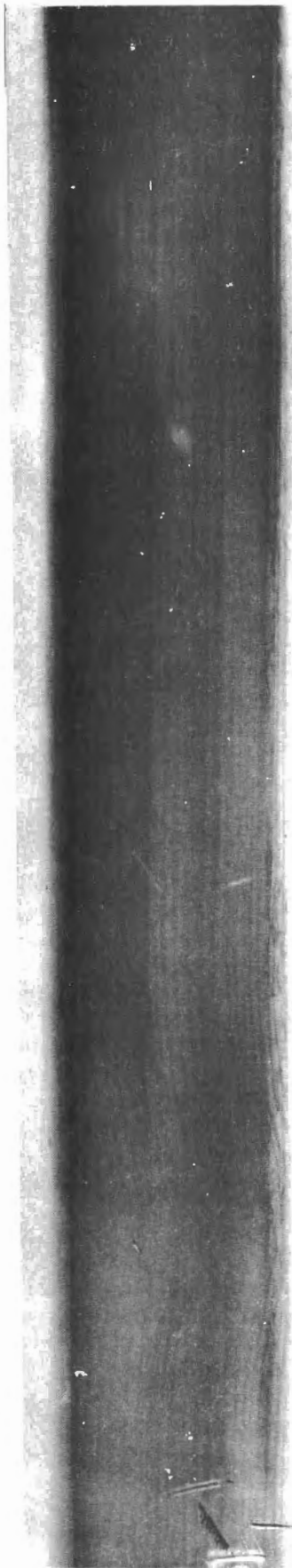
x Årtal inom parentes anger tidpunkt då provet erhöill angreppsstyrkan 6

Date within brackets shows the year when the 6th degree of attack was reached

Installed 1954
Inspected 1973
Panel 42
8.2 % Boliden K33
Visual attack 1

Installed 1954
Inspected 1973
Panel 46
8.2 % Boliden K33
Visual attack 2

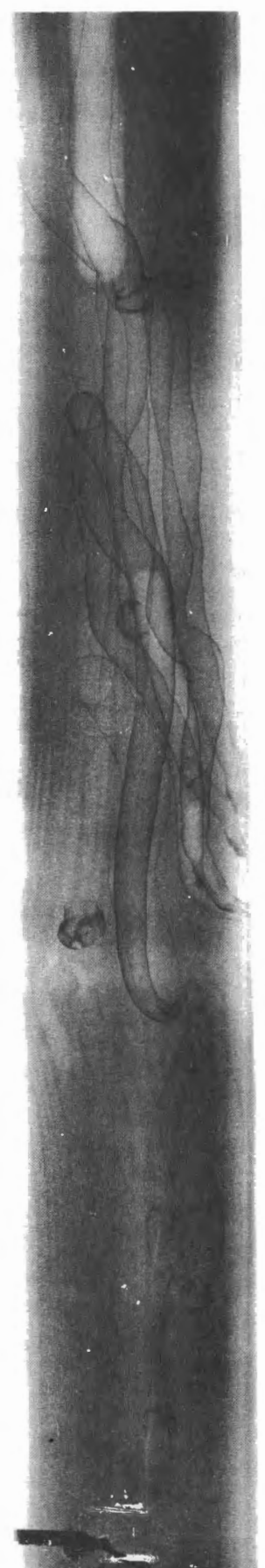
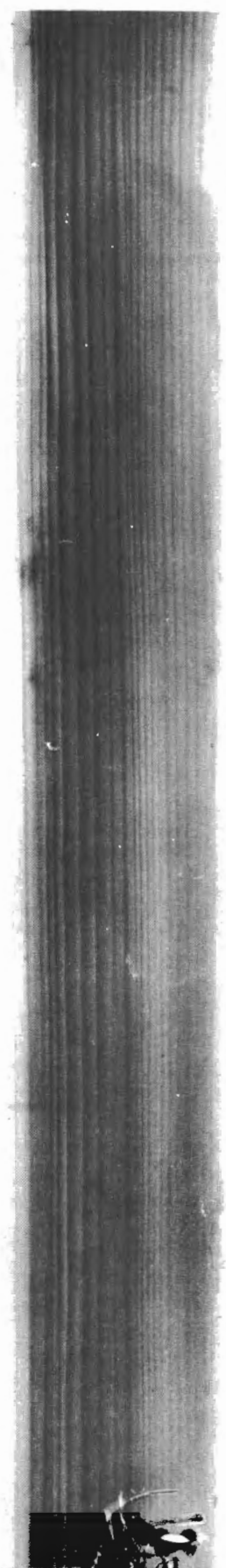
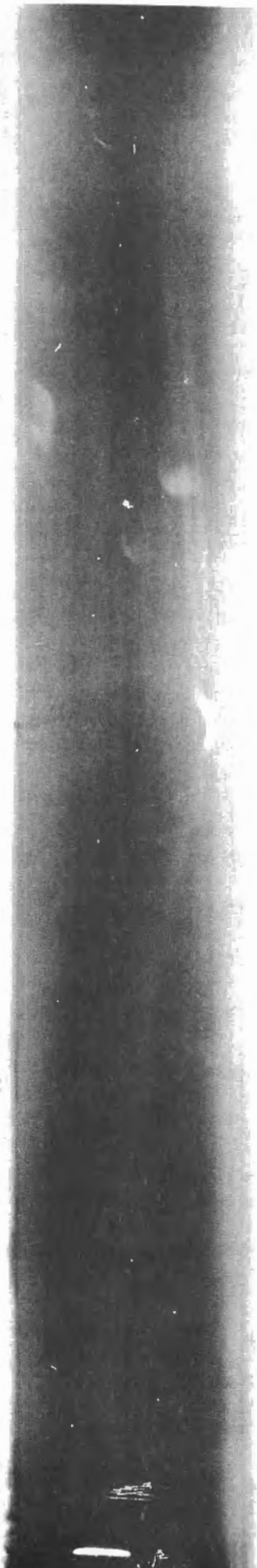
Installed 1954
Inspected 1973
Panel 48
8.2 % Boliden K33
Visual attack 0



Installed 1954
Inspected 1973
Panel 51
5.9 % Boliden K33
Visual attack 0

Installed 1954
Inspected 1973
Panel 52
5.9 % Boliden K33
Visual attack 0

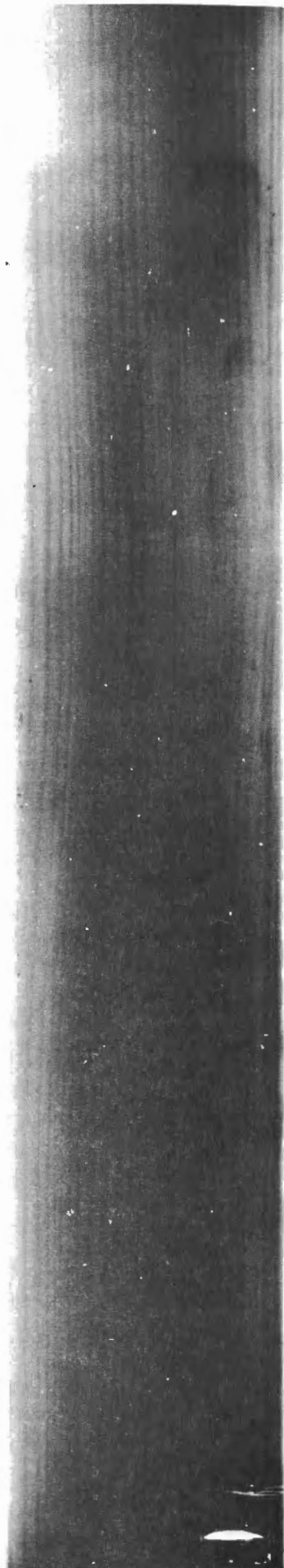
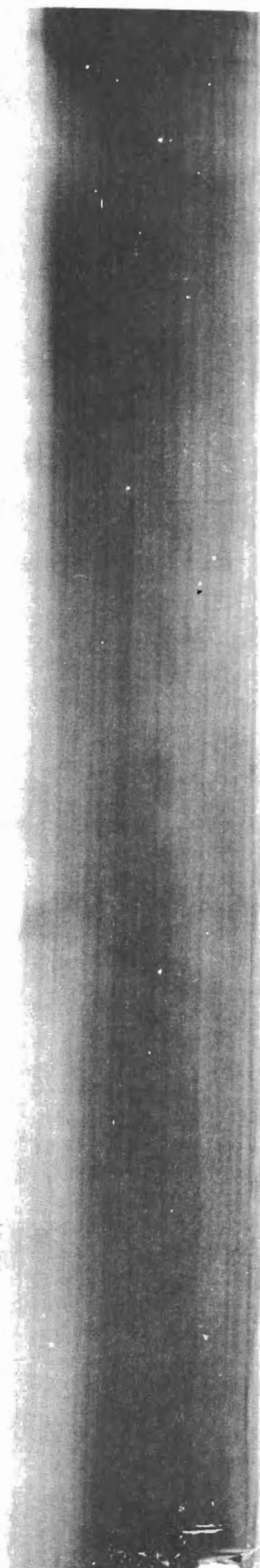
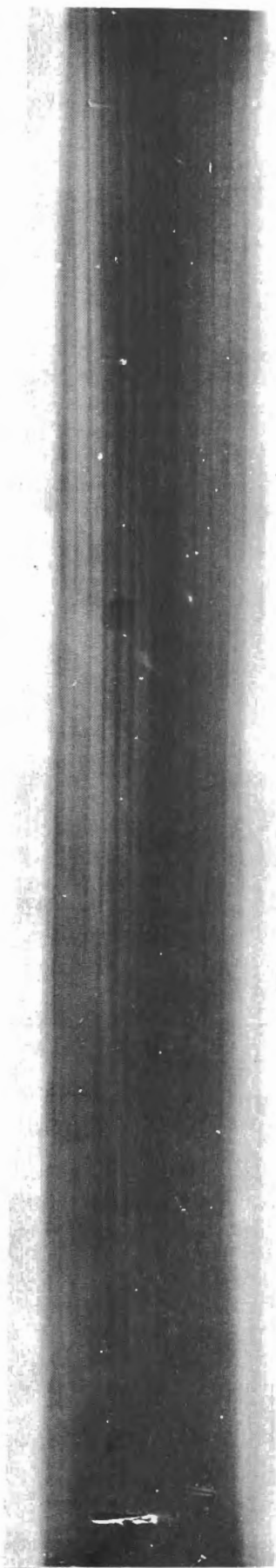
Installed 1954
Inspected 1973
Panel 56
5.9 % Boliden K33
Visual attack 0



Installed 1954
Inspected 1973
Panel 62
4.4 % Boliden K33
Visual attack 0

Installed 1954
Inspected 1973
Panel 67
4.4 % Boliden K33
Visual attack 0

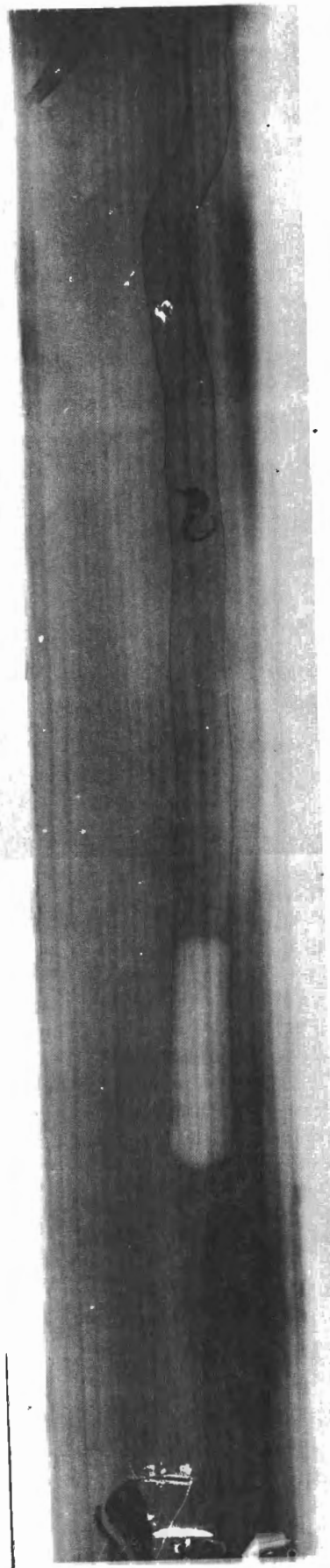
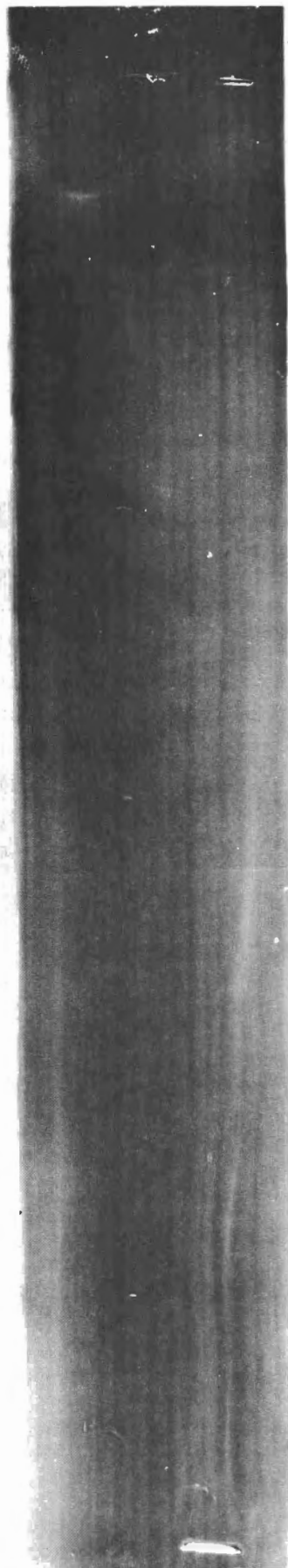
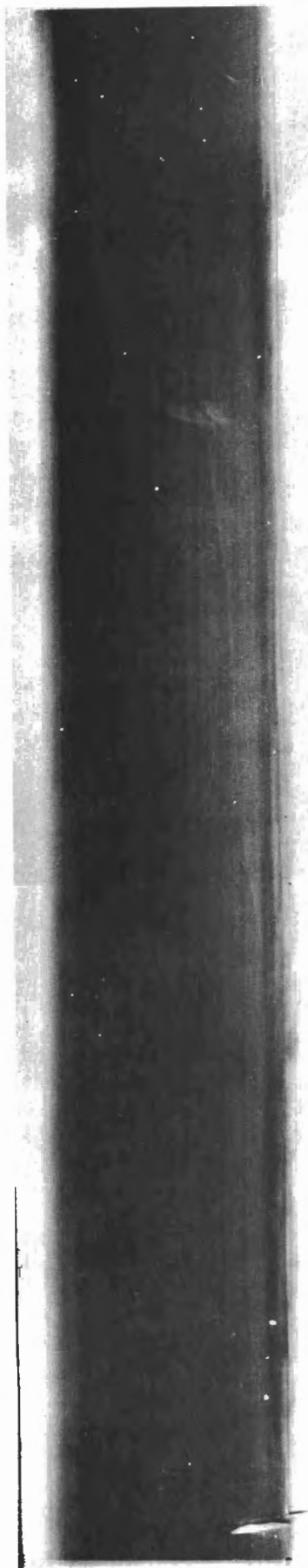
Installed 1954
Inspected 1973
Panel 68
4.4 % Boliden K33
Visual attack 0



Installed 1954
Inspected 1973
Panel 82
5.6 % Boliden S25
Visual attack 1

Installed 1954
Inspected 1973
Panel 86
5.6 % Boliden S25
Visual attack 0

Installed 1954
Inspected 1973
Panel 87
5.6 % Boliden S25
Visual attack 3



Installed 1954
Inspected 1973
Panel 94
4.2 % Boliden S25
Visual attack 1

Installed 1954
Inspected 1973
Panel 95
4.2 % Boliden S25
Visual attack 2

Installed 1954
Inspected 1973
Panel 97
4.2 % Boliden S25
Visual attack 2

