

Försök med högfrekvensuppvärmning av furustolpar.

Kreosotimpregnerade stolpar visar ibland benägenhet att bli smetiga, vilket innebär vissa olägenheter vid linjearbetet. Smetigheten kan minskas eller elimineras genom lagring av virket före eller efter impregneringen eller genom basning (uppvärmning) av smetiga stolpar ev. kombinerat med vakuum. Dessa metoder användas i viss utsträckning i Åsbro impregneringsanläggning. Trä är en dålig värmeledare, och därför blir en uppvärmning av grovt virke med ånga eller varmluft ganska tidsödande, eftersom värmen då måste ledas från virkets yta till dess inre. Vid uppvärmning i ett högfrekvent elektriskt fält utvecklas värmen direkt inuti virket, varför en sådan uppvärmning kan göras snabbare, då den är oberoende av virkets värmeledningsförmåga. Det har föreslagits att undersöka om högfrekvensuppvärmning vore en lämplig metod för att förebygga eller eliminera smetighet hos kreosotimpregnerade stolpar, och med anledning därav har några försök utförts med en 6 kW högfrekvensgenerator.

I ett högfrekvent fält med fältstyrkan E volt/cm och frekvensen f utvecklas i en kropp med dielektricitetskonstanten ϵ och förlustfaktorn $\text{tg } \delta$ värme motsvarande en effekt av P watt/cm³ enligt följande formel.

$$P = E^2 \cdot f \cdot \frac{\epsilon \cdot \text{tg } \delta}{1 + \text{tg}^2 \delta} \cdot 5,5 \cdot 10^{-13} \quad (1)$$

Vid uppvärmning av trä i HF-fält bör E enligt erfarenheten icke hållas högre än 500 V/cm. Frekvensen f beräknas därav att elektroder med ur praktisk synpunkt lämplig storlek icke fungerar tillfredsställande över en viss frekvens. Sambandet mellan elektrodslängd och användbar maximal frekvens framgår av fig. 1.

Parametrarna ϵ och $\text{tg } \delta$ är beroende av virkets struktur och framför allt av dess fukthalt. De är dessutom beroende av frekvensen och temperaturen. Över ovannämnda

samband finns undersökningar publicerade bl.a. i Holzforschung, nov. 1956, sid 144-150. Där framgår att ϵ starkt stiger med ökande fukthalt, något stiger med temperaturen samt något sjunker med stigande frekvens. Förlustfaktorns ($\text{tg } \delta$) variation är mer komplicerad. Bl.a. har förlustfaktorn som funktion av frekvensen både ett maximum och ett minimum. Som ett exempel på hur ϵ och $\text{tg } \delta$ varierar med fukthalten kan anföras följande värden ur ovanstående publikation avseende granvirke.

Temperatur 20°C.

Frekvens 10^7 Hz.

Fuktkvoten anger virkets innehåll av vatten räknat i % av absolut torrt virke.

Fuktkvot, %	ϵ	$\text{tg } \delta$	$\epsilon \cdot \text{tg } \delta$	Värmekapacitet cal/°C·cm ³
0	1,8	0,03	0,05	ca 0,15
9	2,8	0,05	0,14	approximativt
20	3,6	0,08	0,29	linjärt sam-
40	-	0,17	-	band
65	11	0,30	3,3	
95	20	0,60	12	ca 0,30

Av ovanstående tabell och formel (1) framgår, att temperaturhöjningen vid konstant fältstyrka och frekvens blir väsentligt högre i fuktigt virke än i torrt, eftersom den utvecklade effekten blir proportionell mot uttrycket $\frac{\epsilon \cdot \text{tg } \delta}{1 + \text{tg}^2 \delta}$, vars värde stiger väsentligt starkare med ökande fuktkvot än vad fallet är med värmekapaciteten. En jämförelse av exempelvis virke av 20 % resp. 65 % fuktkvot visar, att den dielektriska värmeutvecklingen blir omkring 10 gånger större i det senare fallet, vilket motsvarar en temperaturhöjning per tidsenhet som är 7 á 8 gånger större i det senare fallet (icke 10 gånger eftersom värmekapaciteten är olika i de båda fallen).

Ovanstående beräkningar gäller endast i de fall då den uppvärmda träbiten i alla delar har samma fukthalt. Detta förekommer emellertid sällan i praktiken, då virket ofta har hög

fukthalt i blånadsangripna delar och i uppåtvända och eventuellt igensvällda sprickor. Vid högfrekvensuppvärmning av virke med ojämn fuktfördelning blir värmeutvecklingen icke lika stor i verkets olika delar. Detta belyses av följande exempel, som jämför värmeutvecklingen i två trästycken av samma storlek men av olika fukthalt i de fall då styckena är kopplade i serie resp. parallellt mellan två elektroder.

Trästyckena A och B (fig. 2) har olika fukthalt och därmed olika dielektricitetskonstant ϵ_A resp. ϵ_B och förlustfaktor $\operatorname{tg} \delta_A$ och $\operatorname{tg} \delta_B$. Då trästyckena är parallellkopplade (fig. 2 a) blir den elektriska fältstyrkan lika i båda och energiutvecklingen per volymsenhet blir då enligt formel (1) proportionell mot $\epsilon_A \cdot \operatorname{tg} \delta_A$ resp. $\epsilon_B \cdot \operatorname{tg} \delta_B$. I det seriekopplade fallet (fig. 2 b) blir fältstyrkan i de två trästyckena proportionell mot $1/\epsilon_A$ resp. $1/\epsilon_B$ och den utvecklade värmeeffekten blir enligt formeln (1) då proportionell mot $\frac{\operatorname{tg} \delta_A}{\epsilon_A}$ resp. $\frac{\operatorname{tg} \delta_B}{\epsilon_B}$.

Vid parallellkoppling blir således värmen i högre grad koncentrerad i de fuktigare delarna av virket än vid seriekoppling.

Förberedande försök.

Vid högfrekvensuppvärmning av stolpar är utformningen av elektroderna ett väsentligt problem. Vid dessa försök valdes två slag av praktiskt möjliga typer, nämligen dels plana elektroder orienterade i stolpens längdriktning och dels ringformiga elektroder. Se fig. 3. Materialet i elektroderna utgjordes av kopparplåt. Vid praktisk användning av plana elektroder måste stolpen kunna rotera kring sin längdaxel och vid användning av ringar skall stolpen kunna flyttas i längdled åtminstone halva avståndet mellan två elektroder.

Stolparna som användes i de förberedande försöken var c:a 1 m långa och 15 cm i diameter. De plana elektroderna var 10 x 80 cm och de ringformiga c:a 5 cm breda. Spänningen kunde regleras upp till c:a 3000 volt och frekvensen kunde regleras inom intervallet $10-13 \cdot 10^6$ Hz. Maximal värmeeffekt var c:a 6 kW.

Vid försöken mättes temperaturen med kvicksilvertermometrar i små borrhål i stolpen för att undersöka temperaturför-

delningen under uppvärmningen. Försöken utfördes till en början med plana elektroder, men avbröts snart på grund av svårigheter att uppnå en någorlunda jämn temperaturfördelning. Vid elektrodernas längst från polklämmorna belägna delar inträffade ofta förkolning samtidigt som temperaturhöjningen var obetydlig vid ledningsanslutningarna.

Uppvärmning med ringformiga elektroder var mera lovande. Genom att välja lämpliga elektrodavstånd, i detta fall c:a 30 cm, kunde man tillföra effekter, som medförde en snabb uppvärmning av splintveden. Temperaturfördelningen i virket mellan elektroderna längs ett plan i stolpens längdriktning var jämn men temperaturfördelningen i plan vinkelrätt mot stolpens längdaxel var ojämn. Detta visade sig bero på att fukten i virket var lokaliserad i längsgående strängar i splintveden, förmodligen beroende på att tidigare uppkomna sprickor sedan vattenfylldts och svällt igen. Som exempel på temperaturfördelningen kan anföras följande serie mätningar av temperaturen längs en linje i stolpens längdriktning mellan elektroderna på c:a 4 cm djup i virket.

Uppvärmningstid minuter	Temp. °C			
0	0	1	1	1
0,5	7	9	9	10
1,5	27	29	30	29
2,25	61	75	82	77

En temperaturserie mätt längs en cirkel mitt mellan elektroderna på c:a 4 cm djup i virket gav följande resultat: 50, 69, 56, 53, 61, 35 °C. Temperaturen i centrum av stolpen var samtidigt 15 °C. Uppvärmningstiden var 2,5 minuter och effekten 5,6 - 5,8 kW. Temperaturvariationerna är här större än i föregående serie. Dessa båda exempel visar en ovanligt snabb uppvärmning. I andra delar av virket kan uppvärmningen gå betydligt långsammare.

Försök i samband med impregnering.

Högfrekvensgeneratoren transporterades till impregneringsanläggningen i Åsbro. Där utfördes två serier av försök för undersökning av hur högfrekvensuppvärmning inverkar på stolparnas sme-

tighet.

Till den första serien uttogs 2 m långa stolpdelar, som kapades på mitten. Den ena halvan värmdes med ringelektroder till en temperatur i splintveden av 60-80°C, varefter den tillsammans med den andra halvan genast impregnerades med kreosotolja. Energiförbrukningen vid uppvärmningen var c:a 1 kWh. Fem försök utfördes. Avsikten var att genom uppvärmning av virket få en bättre inträngning av oljan vid impregneringen, vilket brukar medföra minskad smetighet.

I den andra serien ingick fem 1 m långa kreosotimpregnerade stolpdelar, som var mycket smetiga. Två av dessa stolpdelar värmdes med ringelektroder för att därmed söka avlägsna överskottet av olja i virket. Detta lyckades väl i de delar av virket som var fuktiga, men smetigheten kvarstod på de torrare delarna av virket trots att så mycket som 4 kWh tillfördes. Stolparna var efter behandlingen randiga av olja. De tre övriga stolpdelarna behandlades med ånga och vakuum i impregneringscylindern för att avlägsna överskottsolja.

Samtliga provbitar placerades sedan utomhus under våren och sommaren och inspekterades regelbundet med avseende på smetighet. I första serien erhöles ingen avgjord skillnad i smetighet mellan högfrekvensförvärmda och icke förvärmda bitar. I andra serien befanns de ångbehandlade delarna vara väsentligt bättre än de högfrekvensuppvärmda. Skillnaden i smetighet mellan de olika proven utjämnades efterhand under lagringstiden efter impregneringen. Vid slutet av sommaren var samtliga provstolpar i stort sett fria från smetighet. Samma erfarenhet har tidigare gjorts beträffande kreosotimpregnerade stolpar som lagrats under en vår- och sommarsäsong.

Slutord.

Högfrekvensuppvärmning har fått stor användning inom träförädlingsindustrin, då man arbetar med virke av jämn kvalitet, d.v.s. struktur och fukthalt varierar inom förhållandevis snäva gränser. I fråga om kraftledningsstolpar gäller icke sistnämnda förhållande; framförallt är fukthalten synnerligen varierande för olika stolpar, och uppvisar stora variationer även i olika

delar av en och samma stolpe.

Detta är en av orsakerna till att de utförda försöken givit otillfredsställande resultat med avseende på möjligheterna att genom högfrequensuppvärmning undvika smetighet hos kreosotimpregnerade furustolpar. Metoden kan möjligen förbättras, men även om så är fallet blir en anläggning i stor skala mycket dyrbar såväl i anskaffning som i drift. Eftersom billigare och ganska goda metoder att minska förekomsten av smetighet finnes, kan metoden med högfrequensuppvärmning av furustolpar f.n. icke rekommenderas.

Hans Holmgren

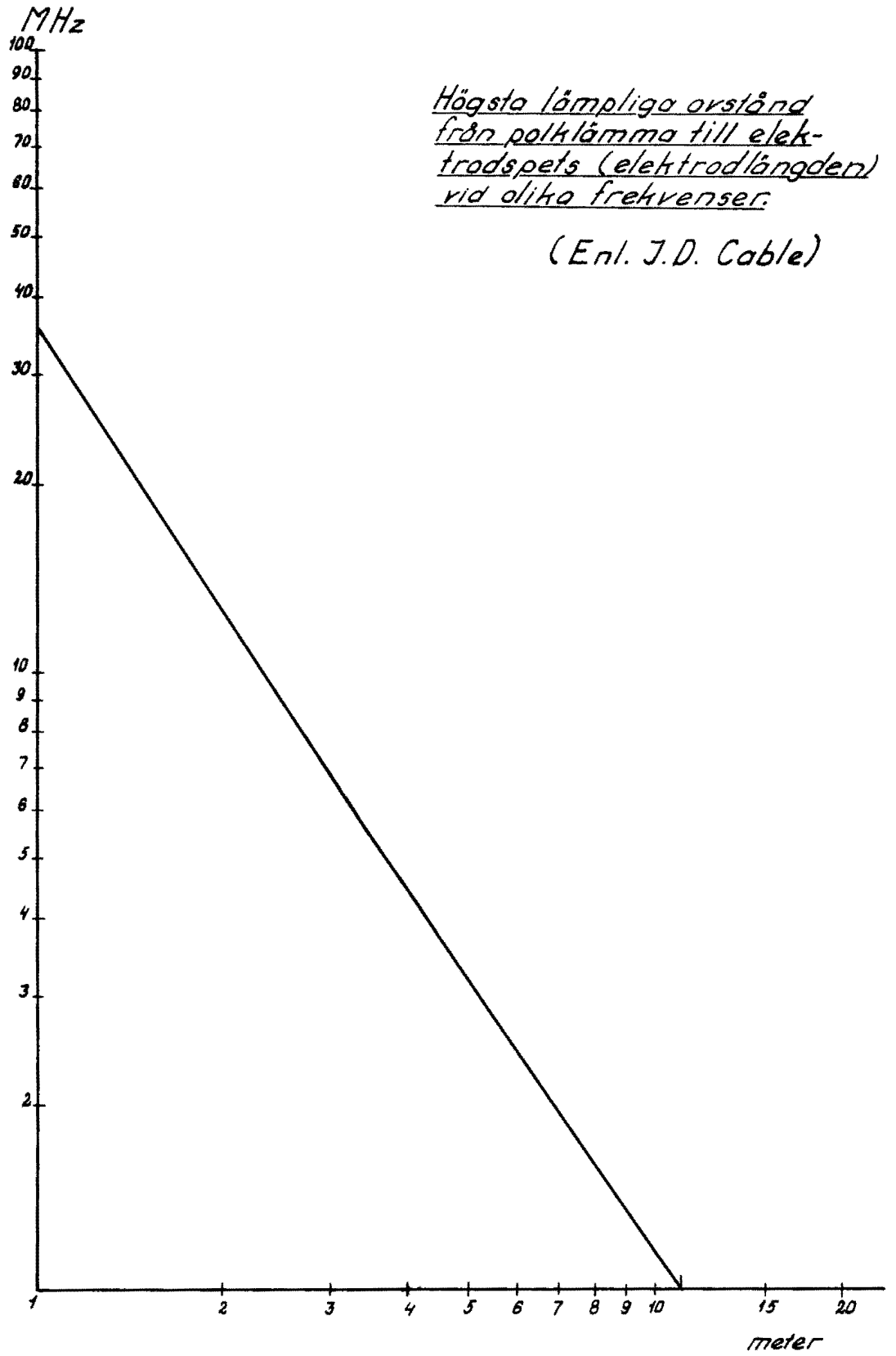


Fig. 1

Fig. 2

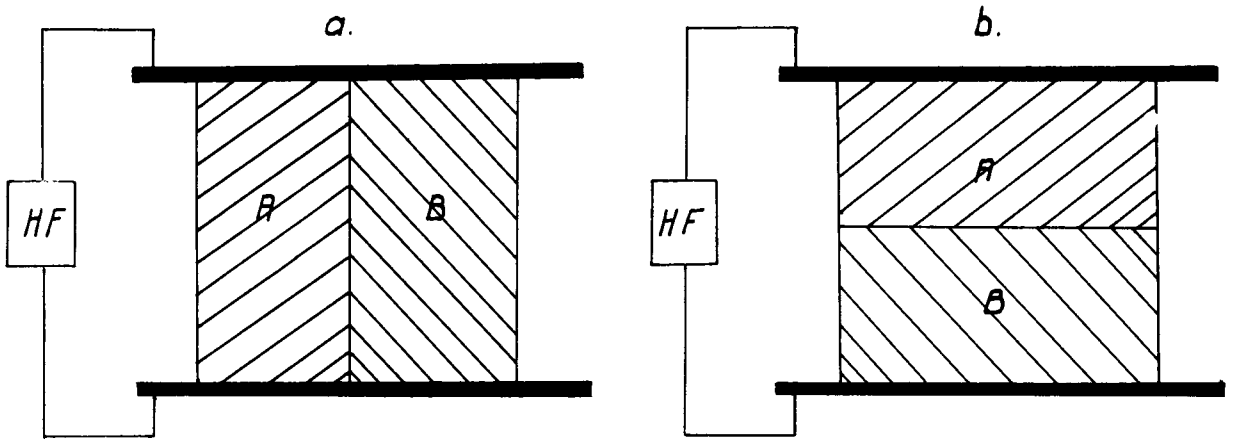
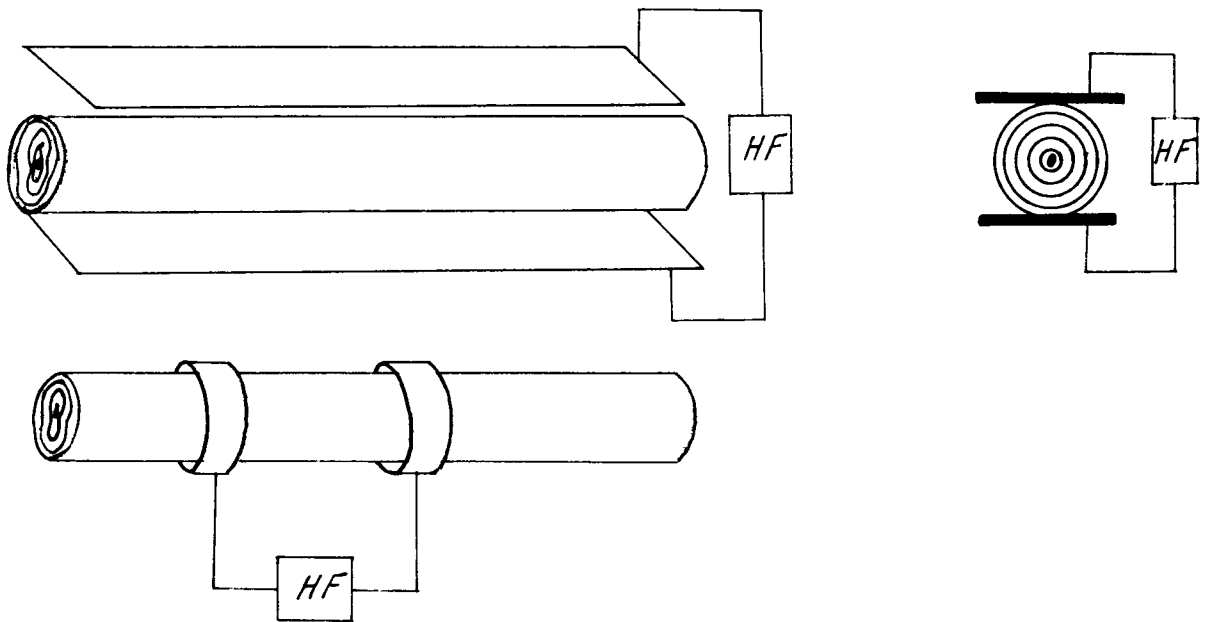


Fig. 3



A 1027 4.59

HF= högfrekvensgenerator