

INSTITUT ZA GOZDNO IN LESNO GOSPODARSTVO  
SLOVENIJE

JERMAN - PERME

ELEKTROUPOROVNO  
LEPLJENJE IN UPOGIBANJE  
LESA

LJUBLJANA 1962



oxf. 824.7 / 8

Elaborat izdelan v Inštitutu za gozdno in lesno gospodarstvo Slovenije v Ljubljani in v Laboratoriju za elektrotermijo Univerze v Ljubljani po pogodbenem naročilu Sklada Borisa Kidriča, Ljubljana, z dne 10. julija 1959

Avtorske pravice pridržane

T e m a

LEPLJENJE IN PLASTIFICIRANJE LESA  
S POMOČJO ELEKTROUPOROVNEGA OGREVANJA

Nosilec: Ing. Janez Jerman - Inštitut za gozdno in  
lesno gospodarstvo Slovenije v Ljubljani

Avtorja: Ing. Lojze Perme - Fakulteta za elektro-  
tehniko in strojništvo Univerze v Ljubljani

Ing. Janez Jerman - Inštitut za gozdno in  
lesno gospodarstvo Slovenije v Ljubljani

LJUBLJANA, v maju 1960

1957. 11. 15.  
Katedra zoologie a fyziologie



V S E B I N A

UVOD	7
FORMULACIJA NALOGE	10
- Program dela	10
- Metoda dela	11
1 OSNOVNA TEHNIČNA IN EKONOMSKA RAZISKOVANJA TOPLOTNE OBDELAVE LESA S POMOČJO ELEKTRIKE IN UPORABE ELEKTRO- OGREVANJA NA PODROČJU LEPLJENJA LESA	14
1.1 Splošne misli	14
1.2 Lepljenje z elektroporovnim ogrevanjem	17
2 RAZISKOVANJE OSNOV ZA ELEKTROPOROVNO OGREVANJE	19
2.1 Spreminjanje električne energije v toplotno s po- močjo kovinskih prevodnikov	19
2.1.1 Električna upornost grel in dovodov	20
2.1.2 Moč grel in izgube v dovodih	22
2.1.3 Specifična moč električnega grela	23
2.1.4 Problem izbire obratne napetosti	25
2.1.5 Serijska in paralelna vezava grel	27
2.1.6 Izračun grel	28
2.1.6.1 - Pojem površinske upornosti	28
2.1.6.2 - Nomogram za izračun grel	30
2.1.6.3 - Ekvivalentna debelina perforiranih pločevin	34
2.2 Toplotna prevodnost raznih vrst lesa in njegovih presekov	35
2.3 Ugotavljanje časa, ki je potreben za ogrevanje pri raznih debelinah lesa v odvisnosti od specifične moči in temperature grel	40
2.3.1 Razdelitev grel glede na toplotno kapaciteto	40
2.3.1.1 - Grela z veliko toplotno kapaciteto	40
2.3.1.2 - Grela z majhno toplotno kapaciteto	43
2.3.1.3 - Grela s srednjo toplotno kapaciteto	43
2.3.2 Določevanje časa, potrebnega za strjevanje lepila	44
2.3.2.1 - Določevanje časa strjevanja lepila pri stalni temperaturi	44
2.3.2.2 - Določevanje časa strjevanja lepila pri enakomerno dvi- gajoči se temperaturi	45
2.3.2.3 - Določevanje časa strjevanja lepila pri spreminjajoči se temperaturi	48

2.3.3	Račun širjenja toplote skozi lesni presek	49
2.3.3.1	- Račun širjenja toplote skozi lesni presek pri termostatsko krmiljenih grelih in grelih z veliko toplotno kapaciteto	49
2.3.3.2	- Širjenje toplote skozi lesni presek pri grelih s srednjo in grelih z majhno toplotno kapaciteto	55
2.3.4	Električne meritve temperature v tehniki uporabnega lepljenja lesa	56
2.3.4.1	- Instrumenti z vrtljivo tuljavico	58
2.3.4.2	- Kompenzatorji	59
2.3.4.3	- Umerjanje termoelementov	61
2.3.4.4	- Merjenje temperatur	61
2.3.5	Segrevalni časi - izkustveni podatki in napotila. Aproximativni računi	63
3	DOLOČEVANJE SPECIFIČNIH MOČI GREL ( $W/m^2$ ), POTREBNIH ZA DOSEGO ZAHTEVANIH TEMPERATUR PRI RAZLIČNIH VRSTAH GREL	67
3.1	Določanje specifičnih moči grel z veliko toplotno kapaciteto	69
3.2	Specifične moči grel z nizko toplotno kapaciteto	71
3.3	Specifične moči grel s srednjo toplotno kapaciteto	73
4	POSKUSI Z UPORABO RAZNIH VRST GREL	79
4.1	Konstrukcija in izdelava grel	79
4.1.1	Gola ploskovna grela (tračna grela)	79
4.1.2	Izolirana ploskovna grela	93
4.1.2.1	- Grela iz pločevin in mrež velikih površin	97
4.1.2.2	- Izdelava kalupov za širokoploskovna grela	101
4.1.2.3	- Naviti grelni vložki	103
4.1.2.4	- Gumijaste grelne prevleke	107
4.1.2.5	- Utorna grela	109
4.1.2.6	- Grelni element v plasti lepila	110
4.1.3	Elektrode in kontakti	111
4.1.3.1	- Dimenzioniranje elektrod	112
4.1.3.2	- Sekcionirane elektrode	114
4.1.4	Dovodi	116
4.1.4.1	- Dimenzioniranje dovodov	116
4.1.4.2	- Položitev vodov in izbor kablov	117
4.1.4.3	- Vodno hlajenje dovodov	119
4.1.5	Transformatorji	120

4.1.5.1	- Določevanje transformatorjevih karakteristik in napotki za obratovanje	121
4.2	Poraba električne energije za uporovno ogrevanje. Najbolj ekonomični način obratovanja	127
5	RAZISKOVANJE EKONOMIČNE UPORABE ELEKTROUPOROVNEGA OGREVANJA V FINALNI OBDELAVI LESA	130
5.1	Razvoj	130
5.2	Uporaba	131
5.3	Uporabnost elektrouporovnega ogrevanja	132
5.4	Ekonomske prednosti elektrouporovnega ogrevanja	133
5.5	Primerjava kalkulacije proizvodnih stroškov med parnim in uporovnim ogrevanjem	134
5.5.1	Elektrouporovno ogrevanje	134
5.5.2	Parno ogrevanje	136
6	SEDANJE STANJE ELEKTROUPOROVNEGA LEPLJENJA V FINALNI PREDDELAVI LESA PRI NAS IN DRUGOD	140
6.1	Razvoj uporovnega ogrevanja pri nas in drugod	140
6.2	Obratovalne izkušnje in primeri	143
6.2.1	A	143
6.2.2	B	144
6.2.3	C	145
6.2.4	Č	146
6.2.5	D	147
6.3	Zaključki	147
7	OSNOVNA TEHNIČNA PRIPOROČILA ZA OPERATIVO	149
7.1	Stiskalnice in stiskalne naprave	149
7.2	Modeli, šablone, kalupi	152
7.3	Lepljenje robnih letvic in robov	157
7.4	Lepljenje ravnih površin	161
7.5	Lepljenje krivih površin in predmetov	163



7.6	Ostale možnosti uporabe uporovnega ogrevanja	164
7.7	Elektrotermalna gumijasta grela	165
7.8	Mreže in žice kot grelo	167
7.9	Grelo v plasti lepila	167
7.10	Lepila in njihov čas strjevanja	168
7.11	Pritiski	170
8	ZAKLJUČKI O EKONOMIKI UPOROVNEGA OGREVANJA	175
	LITERATURA	177

## U V C D

Že več let si naši strokovnjaki lesne, zlasti še pohištvene industrije prizadevajo najti primeren postopek, da bi poenostavili ogrevanje lesa pri lepljenju in krivljenju. Namesto dosedanjega pohištva ravnih, pravokotnih oblik zahtevajo potrošniki vse pogosteje oblikovane ali profilirane kose ali posamezne dele kosov pohištva. Taki pohištveni kosi so bili do nedavnega domena ročnega obrtnega dela in so jih izdelovali le posamezno ali v manjših garniturah po individualnih naročilih potrošnikov. Ti kosi ali garniture so bili razmeroma dragi, saj so bili plod specialnega dela.

Odkar pa se vse bolj uporno pojavljajo zahteve po večjem številu teh oblikovanih lesnih proizvodov, je narasla potreba po serijski izdelavi oblikovanih lesnih izdelkov v lesno-industrijskih podjetjih. Poleg tega je iz lesnih - zlasti pohištvenih izdelkov začelo masivni les vedno v večji meri izpodrivati lesno tvorivo, kot so lesovinske plošče, panelke, iverne in vezane plošče, umetne mase in podobno. To lesno tvorivo pa mora biti obloženo in prekrito z lesom, ki ga lepimo nanj v raznih oblikah in dimenzijah, od ozkih, ravnih trakov in robov pa do valovitih, zamotano upognjenih ter drugače oblikovanih površin.

Seveda zahteva oblikovanje lesnih proizvodov in oblaganje lesnih tvoriv povsem nov tehnološki proizvodni postopek in tudi nove naprave. Dosedanji tradicionalni strojni park in delovni postopki v ta namen niso več uporabni, ker pade njih zmogljivost daleč pod mejo rentabilnosti. Stari postopek je zahteval na manjših obratih zamudno ročno delo in obsežne delovne prostore, večji obrati pa so morali vlagati občutne devizne in dinarske investicije za nabavo velikih stiskalnic, parnih kotlov, instalacij in napeljav, kurilnih ter drugih naprav. - Kot na številnih mestih, tako tudi v lesni industriji elek-

trika izpodriva paro na mnogih delovnih mestih. Stare stiskalnice na parno ogrevanje so se jele unikati električnim, ker so le-te hitrejše, čistejše, varnejše, cenejše, preprostejše itd.

Postopek lepljenja in plastificiranja lesa s pomočjo elektroporovnega ogrevanja je nova metoda, ki se je začela prav sedaj zaradi svojih številnih prednosti uveljavljati in zavzemati važno mesto v lesni industriji finalnih izdelkov.

Za novi postopek električnega ogrevanja in lepljenja, ki ga obravnava ta elaborat, ni treba večjih investicij ali drugih naprav, omejen je na majhen prostor, uporaben za sleherni obrat, najsi gre za majhno obrtniško delavnico ali pa za največjo tovarno, vsak obrat si lahko sam izdelava skoraj vse potrebne pripomočke ali pa si jih za skromna denarna sredstva nabavi iz domače proizvodnje, mogoča je serijska izdelava številnih, različno oblikovanih profilov pohištva in podobnih lesnih proizvodov.

Odbor Sklada Borisa Kidriča je omogočil obdelavo znanstveno raziskovalne teme pod naslovom "Lepljenje in plastificiranje lesa s pomočjo elektroporovnega ogrevanja", katere jedro tvorijo vprav elektrotermični problemi, ki jih obravnava pričujoče delo. Delo je opravil Laboratorij za elektrotermijo Fakultete za elektrotehniko in strojništvo v Ljubljani.

Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo LRS v Ljubljani in Tovarna pohištva v Novi Gorici, ki je kot prva pri nas uvedla elektroporovno lepljenje in s tem opravila pionirsko delo na tem področju, sta obdelala ekonomske in ostale tehnološke probleme. S praktičnimi izkušnjami, nekaterimi skicami in prispevkom sta prispevala k delu tovariša Tine Ravnika, direktor Tovarne pohištva v Novi Gorici in Boris Ferlat, vodja obrata iste tovarne.

Okvir dela je bil določen vnaprej, snov pa prilagojena potrebam

lesnih obratov. Zaradi tega je bilo na začetku nujno na kratko poseči v osnove elektrotehnike, kar naj nam bralec oprostí. Tudi pri posameznih obrazcih so na videz po nepotrebnem navedeni termini in enote, ki jih je treba vstavljati v enačbe - vse z namenom, da bi bilo delo za vsakogar čimbolj praktično uporabno. Prav tako je razčlenitev snovi takšna, da sodi v naprej določeni okvir.

Pri našem delu na tem elaboratu nas je vodilo načelo, vsa raziskovanja, teoretične poskuse in podatke o praktičnih izkušnjah o tem postopku čimbolj poenostaviti in jih približati proizvodnim pogojem, tako da bi bili pristopni tudi nižjim strokovnim kadrom in da bi s pomočjo tega elaborata in napotkov v njen sleherni obrat lahko uvedel ta sodobni postopek v svojo proizvodnjo. Upamo in želimo, da bo to delo prispevalo k čimprejšnji uvedbi opisanega postopka električnega ogrevanja in lepljenja lesa v našo proizvodnjo, s čimer se bo ne samo povečala proizvodnja in izboljšala kakovost proizvodov ob istočasnem znatnem zmanjšanju proizvodnih stroškov, marveč bo mogoče uvesti tudi serijsko proizvodnjo profiliranih lesnih proizvodov ter tako premostiti težave, ki so se doslej pojavljale ob prevzemanju inozemskih naročil za tovrstne proizvode in zaradi katerih je bilo treba taka naročila pogosto odklanjati.

## FORMULACIJA NALOGE

### Program dela

Raziskovalno delo po temi "Lepljenje in plastificiranje lesa s pomočjo elektrouporovnega ogrevanja" bo opravljeno v sodelovanju Inštituta za gozdno in lesno gospodarstvo s Fakulteto za elektrotehniko in strojništvo in s Tovarno pohištva v Novi Gorici. Delo bo potekalo v laboratorijih inštituta, fakultete in v tovarnah. Metodika in program dela bi bila naslednja:

- (1) Osnovna tehnična in ekonomska raziskovanja toplotne obdelave lesa s pomočjo elektrike in uporaba elektroogrevanja na področju lepljenja lesa.
- (2) Raziskovanje osnov za elektrouporovno ogrevanje.
  - (2.1) Spreminjanje električne energije v toplotno s pomočjo metalnih prevodnikov.
  - (2.2) Toplotna prevodnost raznih vrst lesa in njegovih presekov.
  - (2.3) Ugotavljanje časa, potrebnega za ogrevanje pri raznih debelinah lesa, v odvisnosti od specifičnega učinka ogrevanja.
- (3) Ugotavljanje količine energije, potrebne za dosego zahtevane temperature na točkah ogrevanja (za surov les, vezan les, plošče itd.)
- (4) Poskusi z uporabo raznih vrst grelcev.
  - (4.1) Konstrukcija in izdelava grelcev.
  - (4.2) Odvzen električnega toka iz mreže ob uporabi za uporno ogrevanje.
- (5) Raziskovanje ekonomične uporabe elektrouporovnega ogrevanja v finalni obdelavi lesa.

- (6) Sedanje stanje elektrouporovnega lepljenja v finalni predelavi lesa pri nas in drugod.
- (7) Osnovna tehnična priporočila za operativo.

## M e t o d a d e l a

Brezuspešno iščemo po literaturi kake študije, ki bi bile podobne naši temi in bi vsebovale napotke za uvajanje postopka elektrouporovnega ogrevanja v lesno proizvodnjo. V nekaterih naprednih državah je sicer postopek v praksi uveden, ni pa strokovno in tehnično obdelan v literaturi, razen tu pa tam v nepopolnih drobcih. Zlasti ni nikjer obdelana ekonomska stran tega postopka; manjkajo tudi primerjalne kalkulacije z dosedanjimi postopki, ki bi prikazale prihranke v proizvodnih stroških. Postopek se je razvijal le po posameznih podjetjih izkustveno, z namenom, da bi se znižali stroški in da bi se osvojila proizvodnja novih proizvodov.

O tovrstnih izkušnjah so nam na voljo le skopi podatki v inozemskih revijah lesne stroke. Žal so ti zelo različni in si neredko celo nasprotujejo. Elektrotehnični in termodinamični problemi niso razčiščeni, čestokrat so tudi napačno tolmačeni. Tako na primer ugotovimo, da na Češkem na splošno uporabljajo (bržda na podlagi takšnih priporočil) za napajanje grel varilne transformatorje. Zaradi tega je pri nekaterih obratovalnih režimih pričakovati samo pri transformaciji tudi do 80% energijskih izgub itd. Spričo uvajanja in uspešnega izvajanja tega postopka je bilo torej nujno obdelati to temo.

V pripravljalen študiju za elaborat smo proučevali novejšo izsledke elektrotermije v Laboratoriju za elektrotermijo Univerze v Ljubljani in iz publikacij nekaterih raziskovalnih zavodov doma in v tujini. Pritegnili smo nekaj tehničnega osebja iz proizvodnje, obdelali problematiko finalne - v prvi vrsti pohištvene - obdelave lesa in sedanjih ter perspektivnih možnosti za izvoz. Proučili smo še ustrezno opremo v pod-

jetjih in možnosti nabave ali izdelave naprav za elektroporovno ogrevanje v tuzemstvu. Opravili smo meritve in izračune ter ugotavljali delovni učinek tega postopka v serijski proizvodnji in preverjali produktivnost dela. Proučevali smo še činitelje, ki vplivajo na povečanje zmogljivosti in uvedbo mehanizacije v fazi lepljenja lesa ter ovire, ki zadržujejo smelejšo uvedbo tega postopka v večino naših podjetij in obratov.

Tehnika elektroporovnega lepljenja z električne in ekonomske strani je bila tako rekoč neobdelana, zato je bilo potrebno iz osnov raziskati vrsto problemov. Tako je bilo rešeno vprašanje izbire obratovalne napetosti (2.1.4) in je bila zasnovana teorija določanja strjevalnih časov pri grelih različnih toplotnih kapacitet (2.3). Te smo razdelili v grela z veliko, srednjo in majhno toplotno kapaciteto.

Zaradi razmeroma kratkih obratovalnih časov imamo opraviti zgolj z nestacionarnimi stanji in je zato nujno upoštevati toplotno kapaciteto udeleženi teles in grel. Dosedanji empirični podatki in navodila za obratovanje so veljali le za posamezne primere, njih posploševanje pa je vnašalo le medo in škodo.

Spričo velikega števila tipov in izvedb grel, zaradi razmeroma širokega intervala uporabljenih specifičnih moči grel in zavoljo precejšnjega števila možnih sestav plasti izdelka nastane toliko kombinacij, da kakšna navodila nimajo posebnega smisla. Treba je poseči po računu, ki med drugim vsebuje tudi račun širjenja toplotnih valov skozi sestavo lesnih plasti pri različnih pogojih.

Širjenje toplotnih valov se z najmanjšim trdom zasleduje z Beukenovim modelom, s katerim pa žal ne razpolagamo. Račun je težji, pa smo zato navedli funkcije v tabeli. Da bi delo olajšali, smo izdelali segrevalne krivulje (slika 21) za hrastov les različnih debelin. Le-te smo uporabili tudi pri novi metodi določanja specifičnih moči grel z veliko toplotno kapaciteto s pomočjo segrevalnih krivulj in numeričnega integriranja

toplotnih množin v lesnem preseku.

Za praktičen izračun grel smo izračunali in konstruirali univerzalni monogram za izračun površinskih grel v obliki pločevine in mreže (slika 3). Ta nam zelo skrajša računski postopek pri računu grel in je posebno primeren za iskanje optimalnih rešitev za dani primer. Pri tem smo osvojili nov termin - površinska upornost ploskovnih grel ( $r$ -ohmov/enoto ploščine).

Zaradi zahteve po veliki enakomernosti segrevanja po vsej grelni ploški je nastala metoda za dimenzioniranje elektrod ploščinskih grel in sekcioniranih elektrod (4.1.3), pri določanju obremenjivosti izolirnih vodnikov za dovode glede na temperaturno mejo (4.1.4.1) pa smo naleteli na "temperaturni paradoks izoliranih vodnikov". Leta nam tolmači, da v nekaterih primerih povzroči izolacija okrog vodnika celo znižanje njegove temperature namesto pričakovanega zvišanja.

V pogledu tehnologije smo skušali pustiti čim manj vprašanj odprtih. Izvedli smo precej poizkusov impregnacije za kompaundirana grela z domačimi laki in dosegli dober uspeh, za merjenje temperature v plasti lepila pa smo uvedli nov način merjenja temperatur z "neskončnim" termoelementom.

Vprašanje materiala za električna grela smo reševali po konsultaciji s Tovarno lahkih kovin "Boris Kidrič", Šibenik in ekspertom tovarne Kanthal iz Švedske, ing.Thomanderjem, ki se jim za pojasnila najlepše zahvaljujemo.



# 1 OSNOVNA TEHNIČNA IN EKONOMSKA RAZISKOVANJA TOPLOTNE OBDELAVE LESA S POMOČJO ELEKTRIKE IN UPORABE ELEKTRO-OGREVANJA NA PODROČ- JU LEPLJENJA LESA

## 1.1 S p l o š n e m i s l i

Izredno povečanje in močan razvoj proizvodnje v industriji pohlštva v zadnjih letih ter načrtovanje še večjega porasta te proizvodnje sili k uvajanju novih tehnoloških postopkov in novih naprav v posameznih delovnih fazah. Tudi vedno naraščajoče možnosti izvoza zahtevajo modernizacijo naše pohlštvene proizvodnje. Z izgradnjo velikih tovarn in v zadnjem času še z združevanjem obratov v večje proizvodne enote so nastali mnogo ugodnejši pogoji za uvedbo sodobnejših tehnoloških postopkov in racionalnejših naprav.

Posamezni obrati, ki so si pričeli sami graditi naprave za elektro-uporovni postopek, so probleme več ali manj uspešno rešili, vsi pa so imeli s temprecejšnje težave. Veliko je tudi obratov, ki si žele urediti naprave za elektrouporovno lepljenje in furniranje, pa tega ne morejo, ker jim manjka tehničnih informacij. Projektiranje naprave za elektrouporovno ogrevanje posega v elektrotehnično, toplotno-tehnično, strojniško in lesno stroko, zahteva pa tudi precej izkušenj.

Tako so marsikje po obratih ali posameznih delovnih mestih delovne skupine in posamezniki pokazali smisel za povečanje proizvodnje, izboljšanje kakovosti proizvodnje, poenostavljenje postopkov, zniževanje stroškov in podobno ter so dajali iniciative ali pa so celo sami izdelali potrebne pripomočke in naprave. Tudi lepljenje z elektrouporovnim ogrevanjem, ki ga tu obravnavamo, sodi med novosti, ki so se rodile iz delovnega kolektiva brez posebnih vplivov iz tujine, kjer je ta postopek že splošno v rabi. Seveda so te novosti, ki so nastale po obratih bolj izkustvenega

značaja ter so strokovno in ekonomsko manj temeljito obdelane, zato pa tudi ne nudijo takih koristi kot bi jih sicer mogle. Zato smo v tem elaboratu temeljito obdelali problematiko lepljenja z uporovnim ogrevanjem, tako da bodo mogli obrati izpopolniti že obstoječe elektroporovne naprave in postopke in bodo s tem dosegli njih večjo rentabilnost, pri instalaciji novih elektroporovnih naprav ter pri uvajanju tega postopka pa bodo odpadle začetne težave in izgube na rentabilnosti.

Povečano produktivnost na račun racionalnejših proizvodnih postopkov v lesni industriji je pripisati ukrepom, ki jih je morala izvesti brez odlaganja, da bi zadostila zahtevam kupcev-predvsem izvoza - brez revolucionarnih posegov v dosedanjo proizvodnjo in tehniko, ki bi utegnila zavreti njeno kontinuiteto. Tako nas okoliščine silijo k uvajanju novih postopkov in naprav v proizvodnjo pohištva, ki ne le zagotavljajo kvalitetnejšo proizvodnjo, marveč jo tudi pospešujejo in pocenjujejo.

Furniranje oblikovanih profilov v dosedanjih masivnih, s paro segrevanih stiskalnicah in lepljenje s sintetičnimi lepili ima številne pomanjkljivosti. Naprave so kovinske ali betonske - torej zelo drage in občutljive pri upravljanju, zahtevajo napeljavo parnih in kondenzacijskih cevi po proizvodnem traku v obratih, so počasne, toplote jim ne moremo u ravnavati, ni mogoče istočasno lepiti kosov različne debeline in podobno. Zato se vedno ostreje kaže potreba po preprostejših in drugačnih, električno segrevanih lepilnih pripravah, ki bi bile cenejše, a izdatnejše po učinku.

V naših obratih so tu in tam že prej poskušali ogrevati zalepljene oblikovane kose lesa z električnim tokom. Tovarna pohištva v Novi Gorici, ki se je uporneje lotila teh poskusov, ki so na posled uspeli, je prva uvedla lepljenje z električno ogrevanimi pripravami z nizko napetostjo v serijski izdelavi spalnic. Re-

zultati so bili tako dobri, da so se začela zanimati za ta postopek tudi nekatera druga podjetja in ga poskušala uvajati.

Namesto starega parnega ogrevanja in lepljenja z nizkotlačno ali visokotlačno paro v neokretnih stiskalnicah se poleg uporabnega električnega ogrevanja uveljavlja tudi visokofrekvenčno dielektrično segrevanje - vendar ima to čisto drugo področje uporabe kot pa uporabno. Visokofrekvenčno ogrevanje je globinsko, pri čemer se les segreva po vsem prerezu enakomerno. Tako segrevanje je hitro in gospodarno ter primerno za serijsko proizvodnjo in lepljenje masivnejših lesnih proizvodov (stolov, smuči, upognjenega pohištva ipd.).

Poznamo še segrevanje z infrardečimi žarki, ki je bolj primerno za površinsko ogrevanje.

Vsak izmed naštetih postopkov ima za konkretni primer svoje prednosti, pa tudi pomanjkljivosti. Da bi se lahko pravilno odločili za enega izmed njih, moramo torej obvladati lastnosti vseh.

Če smo torej pred odločitvijo, katerega izmed znanih in že omenjenih načinov ogrevanja naj bi izbrali za segrevanje naprav pri oblaganju in stiskanju furniranih ali oblikovanih površin, pretehtamo vse faktorje, s katerimi moramo računati v industrijski proizvodnji. Poleg individualnih pogojev, ki so odvisno od posebnih okoliščin vsakega obrata, moramo pri izbiri upoštevati predvsem tele važnejše faktorje:

- (1) pri globinskem ogrevanju se bomo odločili za visokofrekvenčno, pri bolj površinskem pa za elektrouporovno ogrevanje;
- (2) za univerzalne naprave, s katerimi opravljamo razne operacije (lepljenje letvic ali robov raznih velikosti in oblik) ima prednost elektrouporovno ogrevanje, medtem ko je za specialne namene in naprave za eno samo trajno vrsto operacije treba premisleka;

- (3) Tudi številne različne operacije oblaganja z lepljenjem, ki jih je treba opraviti v kratkem času, to je v eni izmeni ali celo v eni uri, govore za uporabo elektrouporovnega ogrevanja;
- (4) važno je, katero temperaturo zahteva tista vrsta lepila, ki jo uporabljamo;
- (5) način ogrevanja je odvisen tudi od oblike in velikosti površine, obložene s furnirjem;
- (6) upoštevati je treba, s kakšnimi viri energije razpolagamo in kakšni so stroški za potrošeno energijo ali njeno instalacijo;
- (7) naposled je odločilne važnosti ekonomska in tehnična analiza tehnološkega postopka.

## 1.2 L e p l j e n j e z e l e k t r o u p o r o v n i m o g r e - v a n j e m

Pri vedno večji uporabi lepil iz sintetičnih smol ima toplota mnogo važnejšo vlogo pri lepljenju lesa kot kdaj koli prej pri organskih lepilih. Vprav lepila iz sintetičnih smol se odlikujejo s hitrim, pospešenim vezanjem pri povišani temperaturi. Temperaturo lepila zvišamo bodisi z razvijanjem toplote v lesu ali lepilu samem, ali pa, če prislonimo zalepljeni spoj ob toplo telo ali površino, ki prevaja toploto skozi les do sloja lepila. Toploto v lesu ali sloju lepila razvijamo z visokofrekvenčnim segrevanjem, ki mu pravimo "notranje segrevanje"; to razvija visoke temperature v sloju lepila, v tem ko ostanejo površine lesa hladneč Z "zunanjim segrevanjem" pa prevajamo toploto od grelnega telesa (na primer z vročo stiskalnico) skozi les do sloja lepila. Zunanje ogrevanjem imamo tudi, če spojimo sloj lepila s tankim kovinskim trakom ali žico, skozi katero prehaja električni tok in se zaradi tega zviša temperatura.

Med najpomembnejše dosežke v razvoju tehnologije izdelave pohištva v zadnjih letih štejemo uvajanje sintetičnih smol termodinamičnega tipa za proizvodnjo lepil. Ta lepila se izredno naglo uveljavljajo in izpodrivajo tradicionalna živalska lepila. Sintetična lepila ima-

jo v primerjavi z živalskimi več pomembnih prednosti: odporna so proti vlagi in proti mikrobiološkim napadom, čas strjevanja je izredno kratek, sloj lepila je dosti bolj čvrst, trden in drugo.

Živalska lepila se strjujejo z ohlajevanjem in z izgubo vlage. Že strjeno tako lepilo lahko z vročo vodo spet raztopimo. Proces pri živalskih lepilih je torej reversibilen. Pri strjevanju sintetičnih termotrtilnih lepil pa nastopi kemična reakcija, ki poteka s histrostjo, odvisno predvsem od dovajanja toplote. S toploto lahko zaviramo ali pospešujemo strjevanje. Trdega lepila ne moremo več omeščati - postopek torej ni reversibilen. Sintetične smole so tako občutljive za toploto, da utegne že razlika med toplo in hladno delavnico znatno vplivati na čas strjevanja.

Poskusi z ureaformaldehidnim lepilom so pokazali, da mora biti za-lepljeni izdelek v stiskalnici 6,5 ure pri temperaturi 18°C, da se lepilo strdi. Pri temperaturi 27°C zadostuje že približno 2,5-urno stiskanje, pri 66° le 6 minutno, vtem ko je pri temperaturi 88°C dovolj le 2,2 minuti, da se lepilo primerno strdi. Sicer izdelujejo danes tudi že živalska lepila, katerih strjevanje lahko pospešimo z dovajanjem toplote in bi torej bila do neke mere konkurenčna sintetičnim lepilom, ko bi bila odporna proti vlagi.

V tem delu se omejujemo samo na prikaz metod, pri katerih se razvija toplota zaradi upornosti električnega toka v prevodniku, Pri tem bi mogle biti zajete tudi stiskalnice z električno ogrevanimi ploščami, vendar so njihove značilnosti znane, glede učinka pa so povsem enake stiskalnicam, ogrevanim s paro. Vsi načini elektrouporovnega ogrevanja, ki jih obravnavamo v tem delu, pa imajo veliko prednost v tem, da omogočajo proizvodnjo z visokimi temperaturami v navadnih hladnih stiskalnicah (glej slike 87 in 88!). Razen tega so ti načini uporabni za ukrivljene in drugače oblikovane izdelke, ne da bi pri tem potrebovali drage jeklene kalube in modele. Namesto teh posežemo po šablonah iz masivnega, lameliranega ali vezanega lesa.

## 2 RAZISKOVANJE OSNOV ZA ELEKTROUPOROVNO OGREVANJE

### 2.1 Spreminjanje električne energije v toplotno s pomočjo kovinskih prevodnikov

Za načrtovanje naprav za elektrouporovno segrevanje za strjevanje lepil je vsekakor treba poznati fizikalne osnove spreminjanja električne energije v toplotno in vsaj glavne zakone, ki prihajajo tu v poštev.

Poznavanje osnov elektrotehnike bi morali šteti ob današnjem splošnem tehničnem napredku, kjer si življenje brez elektrike ne moremo več misliti, med predmete splošne človekove izobrazbe, tako kot na primer znanje tujih jezikov, poznavanje literature itd. Ker pa žal ni tako in ker bo pričujoče delo prišlo v roke tudi neelektrotehnikom - in to v večini primerov, saj je pisano za potrebe lesnih obratov - moramo pričeti s precej elementarnimi ugotovitvami.

Znano je, da se pri prehodu električnega toka skozi električni upor poraja toplota. Vsako telo, skozi katero teče električni tok, se več ali manj segreje. Greje se tem bolj, čim večja je upornost telesa, skozi katerega teče, in čim večji tok teče skozenj. Toplota se poraja v dovodnih vodnikih, skozi katere teče električni tok, prav tako kot v grelih. Razlika je le ta, da nam toplota v vodnikih ni zaželena, ker predstavlja energijske izgube in jo skušamo zmanjšati s tem, da volimo vodnike s čim manjšo upornostjo (debeli vodniki iz bakra), medtem ko si želimo v grelih proizvesti čim več toplote ter se trudimo, da tam koncentriramo relativno več upornosti.

Ta naša prizadevanja se nikoli ne uresničijo stoddstotno, Vedno se nekaj toplote proizvaja v dovodih. Relativno gledano se v dovodih proizvede toliko odstotkov toplote, kolikor odstotkov od celotne ohmske upornosti tokokroga vsebujejo dovodi.

Izgube v dovodih lahko še omejimo s tem, da povečujemo debelino dovodnih žil, vendar je to zvezano z velikimi stroški za baker. Če pa narobe, da bi zmanjšali stroške za baker, zmanjšamo dimenzije dovodnih žil, naletimo prvič na nesorazmerno visoke toplotne izgube in naposled na toplotno mejo, kjer se vodnik že toliko segreva, da izolacija ne zdrži več. V tem primeru je možen še en izhod - umetno hlajenje dovodov, največkrat z vodo. K tej meri se zatekamo le, kadar so izčrpane vse ostale možnosti.

Problem izgub v dovodih, in še posebej v nestrokovno izvedenih kontaktih, je posebno pereč ravno v našem primeru naprav malih napetosti za uporovno ogrevanje, in to v dosti večji meri kot pri napravah, ki se jih priključi direktno na omrežno napetost.

### 2.1.1 Električna upornost grel in dovodov

Električno upornost nekega vodnika (dovodne žile ali grela) lahko izračunamo po naslednjem obrazcu:

$$R = \frac{l \cdot \rho}{S} \quad [\Omega] \quad (1)$$

kjer je:

R - upornost vodnika v ohmih,

l - dolžina vodnika v m,

S - prerez vodnika v mm<sup>2</sup>,

$\rho$  - specifična upornost v  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$  (materialna konstanta, ki velja za temperaturo 20°C).

Ker pa se specifična upornost materialov spreminja s temperaturo, moramo podati tudi to odvisnost:

$$\rho_1 = \rho \left[ 1 + \alpha (t_1 - 20) \right] \quad (2)$$

kjer je:

- $\rho_1$  - specifična upornost pri temperaturi  $t_1$ ,
- $\rho$  - specifična upornost pri 20°C (dobimo iz tabel),
- $T_1$  - temperatura vodnika,
- $\alpha$  - temperaturni količnik upornosti (dobimo iz tabel za posamezne materiale)

V spodnji tabeli navajamo podatke za specifično upornost pri 20°C, pri 150°C in temperaturni količnik upornosti  $\alpha$  za nekatere materiale, ki prihajajo v poštev pri napravah za elektrouporovno ogrevanje.

Material	$\rho_{20} [\Omega \text{mm}^2/\text{m}]$	$\alpha$	$\rho_{150} [\Omega \text{mm}^2/\text{m}]$
Aluminij	0,029	0,004 09	0,044
Baker	0,017 8	0,003 92	0,026 9
Železo	0,10	0,006	0,178
Jeklo	0,10...0,25	0,005	0,165...0,41
Legirana dinamska in transformatorska pločevina	0,27...0,67		
Cink	0,06	0,004 1	0,092
Konstantan	0,50	-0,000 05	0,50
Kromnikelj	1,1	0,000 053	1,1
K <sub>a</sub> nthal DS	1,35	0,000 063	1,35

Večkrat uporabljamo tudi pocinkano železno žico ali pocinkano železno pločevino, Pri računu upornosti vzamemo kar specifično upornost za osnovni material, mogoče povečano za nekaj odstotkov, ker je plast cinka sorazmerno tanka glede na debelino traku ali žice.

Kot je razvidno iz tabele, ima legirana dinamika ali transformatorska pločevina precej visoko specifično upornost ter jo zato s pridom uporabljamo za gretje s širokimi pasovi. Specifične upornosti za te pločevine so zelo različne, vrednosti za  $\alpha$  pa niti ne navajajo. Specifično upornost je za vsak primer treba izmeriti (izračunamo jo iz enačbe na strani 14), ali pa računamo z neko srednjo vrednostjo specifične upornosti in napako nato korigiramo s spreminjanjem napetosti transformatorja.



Primer. Železen trak za segrevanje robov miz ima dimenzije: dolžina  $l = 2,57$  m, širina  $s = 0,2$  m, debelina  $d = 0,31$  mm. V obratu teče skozenj tok  $I = 360$  A, izmerjena napetost med obema koncema traku je  $U = 3,1$  V. Specifično upornost dobimo iz obrazca na strani 14:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}$$

Ker je  $R = U/I$ , pri čemer je

$U$  = napetost v V,

$I$  = tok v A,

$R$  = upornost v ohmih,

dobimo

$$\rho = \frac{U \cdot S}{I \cdot l} = \frac{3,1 \cdot 200 \cdot 0,31}{360 \cdot 2,57} = 0,208 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

S to vrednostjo za  $\rho$  nato pri projektiranju bodočih grel iz tega materiala tudi računamo.

### 1.1.2 Moč grel iz izgube v dovodih

Množina toplote, ki jo neko telo razvija v časovni enoti, je enaka električni moči grela in jo merimo ter navajamo v wattih (W). Izračunamo jo s pomočjo enačbe:

$$P = U \cdot I = I^2 R \quad (3)$$

kjer je:

$P$  - moč v W,

$U$  - napetost v V,

$I$  - tok v A,

$R$  - upornost v ohmih.

Primer. Za grelo iz primera v prejšnjem odstavku (2.1.1) izračunamo električno moč ( $U = 3,1$  V,  $I = 360$  A) :

$$P = 3,1 \cdot 360 = 1\,116 \text{ W}$$

Vsota moči vseh grel plus izgube v dovodih, ki jih izračunamo prav tako s pomočjo enačbe (3), nam površno določa velikost potrebnega transformatorja.

Primer. Izračun izgub v dovodih za grelo iz prejšnjega primera; dovodi so iz bakra ( $\rho = 0,022 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  pri temperaturi  $80^\circ\text{C}$ ) in imajo

prerez  $S = 50 \text{ mm}^2$  ter dolžino  $= 5 \text{ m}$ . Tok, ki teče skozi grelo in do-  
vode, je, kot že omenjeno,  $I = 360 \text{ A}$ .

$$P = I^2 R = I^2 \frac{l \cdot \rho}{S} = 360^2 \frac{5 \cdot 0,022}{50} = 284 \text{ W}$$

Celokupna moč, ki jo mora dajati transformator, je torej:

$$P_{\text{sk}} = 1116 + 284 = 1400 \text{ W}$$

Poleg energijskih izgub v dovodih in z njimi zvezanih ohmskih padcev napetosti se pri izmeničnem toku pojavljajo tudi induktivni napetostni padci, ki direktno ne pomenijo energijskih izgub, pač pa napetostne. Induktivni napetostni padci so pri nizkonapetostnih napravah in pri velikih tokih znatni. Pri normalnih konstrukcijah naprav za elektrouporovno ogrevanje, kjer imamo opravka z več sto amperi toka v dovodih, so induktivni napetostni padci približno istega velikostnega reda kakor ohmski napetostni padci.

Ker so induktivni napetostni padci zelo odvisni od tega, kako je polo-  
žen vodnik in od okolice, jih je težko računati. Račun prepustimo stro-  
kovnjaku, mi pa jih aproksimirajmo v višini ohmskih padcev napetosti!  
Za naš zadnji primer velja: nazivno moč transformatorja bomo povišali za  
približno 20 % in bo:

$$P = 1700 \text{ VA}$$

Nazivno moč transformatorja navajamo vedno v voltamperih (VA).

### 2.1.3 Specifična moč električnega grela

Iz samega podatka o moči grela, kakor smo jo izračunali v prejšnjem od-  
seku, še ne moremo sklepati, kakšno temperaturo bo dosegla temperatura  
grela, ker ne vemo, na kakšni površini se ta moč porabi. Vidimo, da je  
izredno važen podatek o specifični moči električnega grela "p", ki nam  
pove, koliko wattov električne moči je koncentriranih na  $1 \text{ m}^2$  površine  
grela:

$$p = \frac{P}{S} \quad (4)$$

kjer je:

$P$  = specifična moč grela v  $W/m^2$ ,

$P$  = moč grela v wattih ( $W$ ),

$S$  = površina grela v  $m^2$ . Pri ploščinskih grelih vselej merimo le eno stran grela, ker je običajno druga stran toplotno izolirana in od-  
daja grelo pretežno toploto v eno smer. Izjema je pri lamelnih gre-  
lih, ki jih vlagamo med dva kosa in se toplota koristno odvaja v  
obe smeri.)

Veličina "p" - specifična moč grela - nam torej da predstavo o inten-  
zivnosti gretja, oziroma o temperaturi, ki jo bo grelo po nekem času do-  
seglo. Specifična moč je najbolj karakterističen in najbolj uporaben po-  
datek vsakega grela.

Kakor bomo videli iz naslednjih izvajanj, je čas, ki je potreben za sto-  
odstotno strjevanje lepil, odvisen od temperature in tudi od časa, v ka-  
terem se to temperaturo doseže. Čim večji je torej "p", tem hitreje se  
lepilo strdi in tem preje je proces lepljenja končan. Seveda ima stopnje-  
vanje specifične moči tudi svoje meje.

Specifične moči grel za uporovno lepljenje se gibljejo med naslednjimi  
vrednostmi:

$$p = 1\ 000 \text{ do } 9\ 000 \text{ W/m}^2$$

kar je zelo odvisno od vrste in izvedbe grela, pa tudi od zaželene hi-  
trosti postopka. Vidimo, da so razlike lahko zelo velike. S stališča  
obratovanja bi bilo skoraj vedno bolje posegati po največjih specifič-  
nih močeh. So pa še ekonomski razlogi, ki nam tega vedno ne dovoljujejo.  
Velike priključne moči nam zelo zvišajo mesečno konico pri obračunu  
tokovine. O tem kasneje.

V poglavju 3 je nekaj napotkov za izbiro primerne površinske obremenit-  
ve ob preojektiranju grel, spodaj pa navajamo dva primera, kako na iz-  
delani napravi določimo specifično moč grel in nato, kako ta podatek

uporabimo pri izračunu nove naprave.

**P r i m e r .** Za grelo iz prejšnjih odsekov tega poglavja je določiti specifično moč, če je celotna moč  $P = 1\ 116\ \text{W}$  in površina  $S = 2,57 \cdot 0,2 = 0,514\ \text{m}^2$ :

$$p = \frac{P}{S} = \frac{1\ 116}{0,514} = 2\ 170\ \text{W/m}^2$$

**P r i m e r .** Izračunaj upornost štirih grel stiskalnice za furniranje vrat omar! Celotna površina grelnih ploskev je  $4 \cdot 1,5 = 6\ \text{m}^2$ . Določi tudi potrebni tok skozi grela, če naj bo napetost, ki se porabi na grelih,  $35\ \text{V}$ , specifična moč pa enaka kot v prejšnjem primeru ( $p = 2\ 170\ \text{W/m}^2$ )! Določi potrebno električno moč (izgub v dovodih ne upoštevamo)!

$$P = S \cdot p = 6 \cdot 2\ 170 = 13\ 020\ \text{W} \text{ ali } \underline{13,02\ \text{kW}}$$

$$I = P : U = 13\ 020 : 35 = \underline{372\ \text{A}}$$

$$R = U : I = 35 : 372 = \underline{0,094}$$

Eno grelo bo torej imelo upornost  $0,0235$  ohma. Na podlagi teh rezultatov nato določimo grelo (dimenzije grelna pločevine, meandrov, mrež, itd. - glej poglavje 4!).

#### 2.1.4 Problem izbire obratne napetosti

Grela, ki jih uporabljamo pri elektroporovnem lepljenju, so lahko grajena za priklop direktno na omrežno napetost (na primer na  $220\ \text{V}/380\ \text{V}$ ), ali pa za priklop na poseben transformator za znižanje napetosti.

Skoraj izključno se uporabljajo grela za nizko napetost in le redko grela za priklop na omrežno napetost. Navajamo nekaj važnih ugotovitev, ki vplivajo na izbiro obratovalne napetosti.

Grela, grajena za priklop direktno na omrežje, imajo to dobro lastnost, da ne zahtevajo posebnega transformatorja, ki sicer dvigne celotne stroške, pa tudi naprava je bolj zapletena. Grela na omrežno napetost tudi nimajo težav s kon'akti, ki postanejo pri grelih za zelo nizke napetosti že problem. Velika pomanjkljivost te vrste grel:

pa je v tem, da jih je težko - posebno še glede na možnosti tovarniških delavnic - izdelati tako, da ne bi bila spričo višine obratovalne napetosti življenjsko nevarna, ali pa da ne bi sčasoma postala. Hidravlične ali podobne stiskalnice so večidel težke železne konstrukcije, ki z okoljem in načinom dela na tem delovnem mestu še večajo nevarnost. Le najskrbnejša izdelava grel, ob upoštevanju vseh varnostnih mer in predpisov ter zelo pogoste kontrole med obratovanjem lahko jamčijo za varnost in upravičenost izbire te vrste grel. Izdelave grel na omrežno napetost ne bi mogli priporočati posameznim delavnicam, marveč edinole elektrotehničnim tovarnam in strokovnjakom.

Prednost uporabe nizke napetosti je v naslednjem: Izdelava grel je preprosta in ji je dorasla malodane vsaka delavnica, grela so robustna in se ne uničijo zlepa, so zelo poceni, ni nikake življenjske nevarnosti zaradi tokovega udara. - Slabe strani pa so: Dodatno h grelom je potreben transformator, ki zniža omrežno napetost na nevarno vrednost, potrebne žile za dovod toka so zelo debele in zato nerodne in drage, nestrokovno izvedeni kontakti predstavljajo večkrat težave, nepravilno položene dovodne žile imajo lahko velike induktivne napetostne padce, ki slabžajo  $\cos \phi$ . Kot bomo videli, se da s spretnostjo premostiti večino težav.

Razen v nekih posebnih primerih in dokler nimamo tovarniško izdelanih grelcev za omrežno napetost, priporočamo le grela na nizko napetost.

Da bi se izognili navedenim težavam, ki spremljajo naprave z malo napetostjo, moramo o višini male napetosti še posebej razpravljati.

Po veljavnih predpisih (JUS, VDE itd.) sme doseči mala napetost 42 V. Do te višine napetosti še niso potrebne nikake varnostne mere.

Če si vnovič ogledamo enačbo (3),  $P = U \cdot I$ , vidimo, da mora biti pri isti moči  $P$  tok zelo velik, če je napetost majhna. Ker veliki toki povzročajo velike napetosti padcev in zato zahtevajo zelo debele in drage dovodne žile, prav tako pa povzročajo težave pri izvedbi kontaktov, stremimo za tem, da so tokovi čim manjši. To dosežemo s tem, da volimo čim višjo napetost, torej 42 V. To upoštevamo, kjer je le mogoče, če le tehnologija ne zahteva drugače.

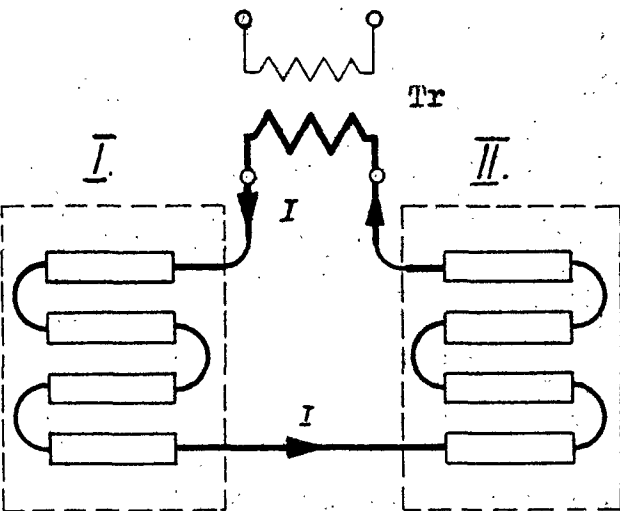
Pri majhnih napravah, kjer je moč grel le nekaj kilovatov, in posebno tam, kjer uporabljamo za grela široke pločevinaste trakove, bomo lahko uporabili znatno nižjo napetost, da bodo grela robustnejša. Problem dovodov še ne bo nastopil. Na splošno velja pravilo: Čim večja je priključna moč naprave, tem višja mora biti obratna napetost, da bi tok grel obdržali že v znosnih mejah in prištedili na bakru dovodov.

K problemu izbire obratne napetosti bi bilo omeniti tudi češke izkušnje. Čehi namreč na splošno uporabljajo varilne transformatorje za znižanje omrežne napetosti. Varilni transformatorji za obločno varjenje imajo napetost v praznem teku okrog 70 V, vendar jim pri obratovanju z nazivnim tokom pade na okrog 35 V. S tem, da so se odločili za varilni transformator, so pridobili veliko prednost - kontinuirno regulacijo v zelo širokih mejah. Slaba stran uporabe varilnih transformatorjev je zelo slab  $\cos \phi$ , prav tako tudi slab izkoristek, posebno, če se dela s prenizkimi napetostmi. Več o tem v poglavju (4.1.5).

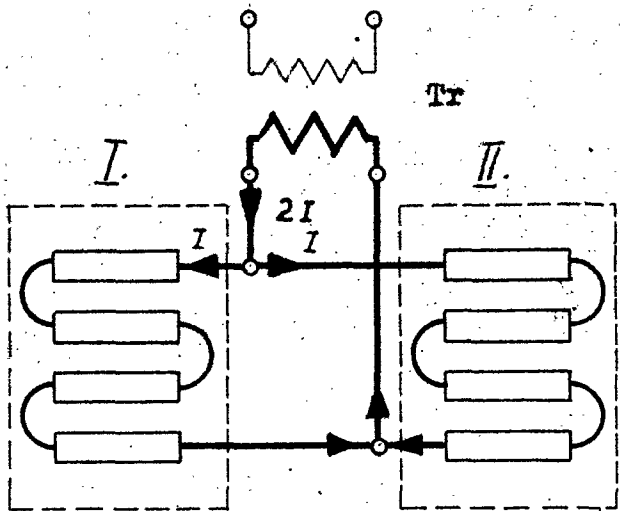
#### 2.1.5 Serijska in paralelna vezava grel

V napravah za nizkonapetostno uporovno segrevanje za strjevanje lepil je vgrajenih običajno več grel, ki morajo biti po nekem sistemu električno vezana med seboj in priključena na transformator.

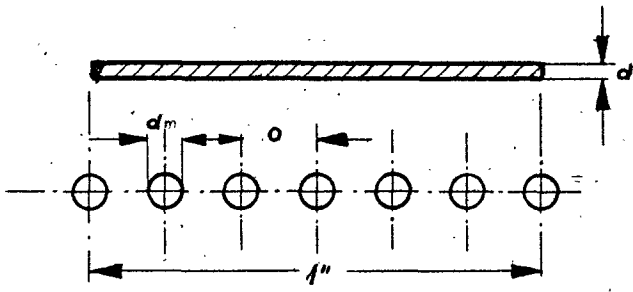
Običajno so vsa grela vezana v serijo. Slika 1 kaže shematično serijsko (zaporedno) vezavo štirih grel stiskalnice I in stiskalnice II.



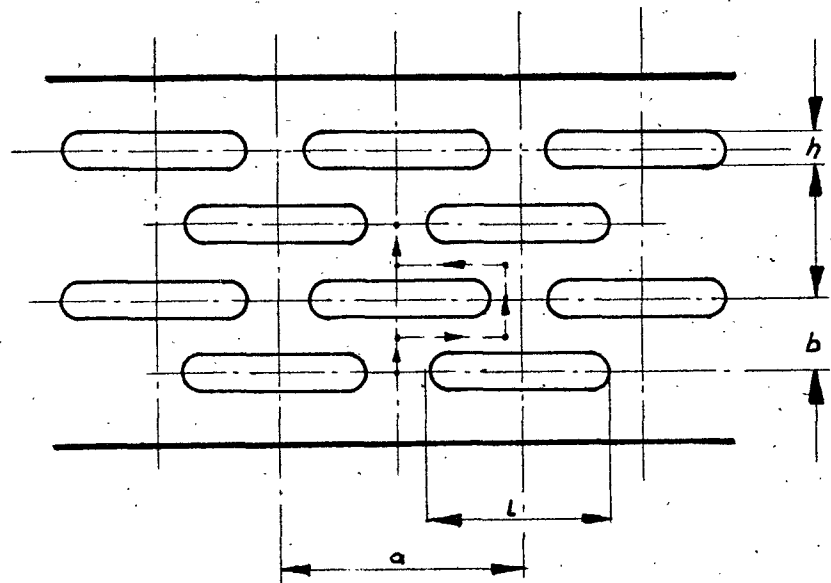
Sl. 1 Serijska vezava grelnih stiskalnic I in II



Sl. 2 Kombinirana vezava grelnih stiskalnic I in II



Sl. 4 K pojmu "mreži ekvivalentna debelina pločevine"



Sl. 5 K računu ekvivalentne debeline perforiranih pločevin

Oba sistema grel (obe stiskalnici, I in II) sta nato zopet vezana v serijo, tako da so prav vsa grela vezana v serijo. Potrebna napetost za to kombinacijo je največja, zato pa je tok najmanjši. Skozi vsa grela teče isti tok, morebitni slabi kontakti pri vezavi grel nimajo vpliva na tokovno razdelitev, enakomernost segrevanja vseh grel je pri serijski vezavi največja.

Če bi s serijsko vezavo grel bila potrebna napetost prevelika (večja kot 42 V), potem se moramo poslužiti paralelne vezave, ali pa kombinirane vezave grel. Takšno vezavo vidimo na sliki 2.

Tu so grela obeh stiskalnic, I in II, še vedno vezana v serijo, oba sistema pa sta nato priključena paralelno na transformator Tr. Če imata oba sistema grel enako upornost, se tok transformatorja razdeli na obe veji. Pri zelo majhnih upornostih grel pa imajo prehodne upornosti na kontaktih veliko vlogo in utegnejo zelo vplivati na razdelitev tokov po paralelnih vejah. S tem je enakomernost segrevanja grel porušena. Že z različno silo pritegnjeni vijaki sponk, ali pa drugače položeni vodniki (druga induktivna upornost), lahko vplivajo na razdelitev tokov. Zatorej naj velja pravilo: Če obratujejo posamezne veje samo z nekaj volti napetosti, jih pod nobenim pogojem ne stikamo paralelno. Paralelno stikajmo veje, če le-te obratujejo z višjimi napetostmi, na primer od 10 V naprej, in če je to nujno.

## 2.1.6 Izračun grel

2.1.6.1 Pojem površinske upornosti. - Pri računu ploskovnih grel si zelo pomagamo s površinsko upornostjo "r", to je z upornostjo med dvema nasprotnima stranicama površinskega grela, ki ima obliko kvadrata. Pri tem ni važno, kako velik je kvadrat, njegove stranice so lahko poljubno velike. Upornost med dvema nasprotnima stranicama bo v vsakem primeru ista, če imamo opraviti z isto debelino



pločevine iz istega materiala. Ker velja za kvadrat, da je dolžina enaka širina  $\delta$ , je po Ohmovem zakonu:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{\rho \cdot l}{d \cdot \delta} = \frac{\rho}{d} = r$$

$$r = \frac{\rho}{d} [\Omega], (\text{ohmov na enoto ploščine})$$

Če vstavljamo vrednosti za  $\rho$  v  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$  in  $d$  v mm, se glasi ta enačba:

$$r = \rho / d \cdot 10^{-3} [\Omega]$$

Navajamo nekaj površinskih upornosti za Al pločevino, za železno pločevino, transformatorsko pločevino in kanthal.

Material	Dobbelina	r pri 20°C [ $\Omega$ ]	r pri 120°C [ $\Omega$ ]
Al-folija	d = 0,10 mm	0,29 · 10 <sup>-3</sup>	0,41 · 10 <sup>-3</sup>
	0,20 mm	0,145 · 10 <sup>-3</sup>	0,205 · 10 <sup>-3</sup>
	0,50 mm	0,058 · 10 <sup>-3</sup>	0,082 · 10 <sup>-3</sup>
	0,80 mm	0,036 · 10 <sup>-3</sup>	0,051 · 10 <sup>-3</sup>
Železna pločevina	d = 0,35 mm	0,285 · 10 <sup>-3</sup>	0,46 · 10 <sup>-3</sup>
	0,50 mm	0,20 · 10 <sup>-3</sup>	0,32 · 10 <sup>-3</sup>
	0,60 mm	0,17 · 10 <sup>-3</sup>	0,27 · 10 <sup>-3</sup>
	0,80 mm	0,12 · 10 <sup>-3</sup>	0,20 · 10 <sup>-3</sup>
Transformatorska pločevina	d = 0,35 mm	0,78... 1,9 · 10 <sup>-3</sup>	
	0,50 mm	0,54... 1,2 · 10 <sup>-3</sup>	
Kanthal DS	d = 0,30 mm	4,5 · 10 <sup>-3</sup>	4,5 · 10 <sup>-3</sup>

Analogno dobimo površinsko upornost mrež s pomočjo naslednjega obrazca:

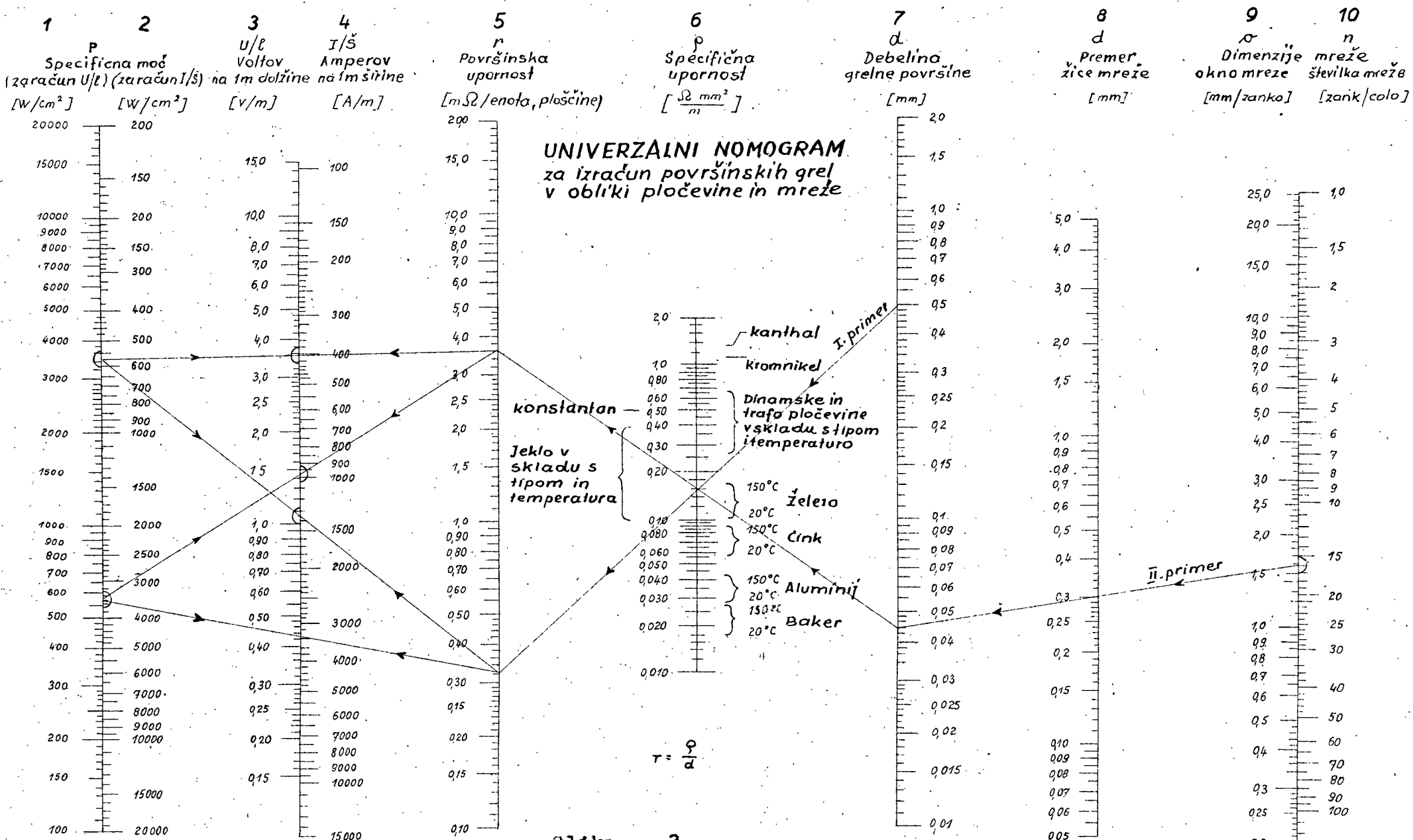
$$r = \frac{\rho \cdot 0,0254}{n \cdot S} \quad \Omega/\text{enoto ploščine (za mreže)}$$

če je: -

$\rho$  - v  $\text{mm}^2/\text{m}$

n - številka mreže (število zank na colo)

S - prerez žice, iz katere je pletena mreža, v  $\text{mm}^2$



**UNIVERZALNI NOMOGRAM**  
za izračun površinskih grel  
v obliki pločevine in mreže

Slika 3.

$$\frac{u}{l} = \sqrt{p \cdot r} \quad \text{in} \quad \frac{I}{s} = \sqrt{\frac{p}{r}}$$

$$d = \frac{\pi d_m^2}{40} \quad \text{ali} \quad d = \frac{\pi d_m^2 n}{4.7''}$$

Celotno upornost grela izračunamo po obrazcu:

$$R = r \frac{\ell}{\check{s}}$$

P r i m e r . Kolikšna bo upornost grelnega traku iz železne pločevine, dolgega 2 m, širokega 10 cm, debeline 0,6 mm, pri temperaturi 120°C?

$$R = 0,27 \cdot 10^{-3} \frac{2,0}{0,1} = 5,4 \cdot 10^{-3} \Omega$$

2.1.6.2 Nomogram za izračun grel. - Mnogo hitreje kot z računom dobimo potrebne podatke za dimenzioniranje grel s pomočjo nomogramov. Za grela v obliki pločevine ali mreže smo sestavili monogram, ki ga kaže slika 3.

Monogram sestavlja 10 skal v logaritmičnem merilu, od katerih po 3 na sosednjih vertikalah predstavljajo eno računsko operacijo. Skupaj je torej 5 računskih operacij. Pripadajoče matematične oblike teh operacij so pri vsaki trojici vertikal pripisane, da bi lahko rezultat tudi izračunali, če bi želeli večjo točnost.

Prva trojica. Napetost na enoto dolžine grela kot funkcija specifične moči in površinske upornosti:

$$p = \frac{P}{S} = \frac{U^2}{RS} \quad \text{in kar je}$$

$$R = r \frac{\ell}{\check{s}} \quad \text{in } S = \ell \cdot \check{s}, \text{ velja:}$$

$$\frac{U}{\ell} = \sqrt{p \cdot r} \quad (\text{za sestavo nomograma je važna logaritmična oblika enačbe})$$

$$\log p + \log r = 2 \log (U/\ell)$$

Ker je  $k = 1$ , pomeni, da je logaritemska enota za vse tri skale enako velika, vse tri skale napredujejo v pozitivno smer.

Druga trojica. Tok na enoto širine grela kot funkcija specifične moči in površinske upornosti:

$$p = \frac{P}{S} = \frac{I^2 R}{S} \quad R = r \frac{\ell}{\check{s}}, S = \ell \cdot \check{s}$$

$$\frac{I}{\check{s}} = \frac{p}{r}$$

$$\log r - \log p = -2 \log (I/\dot{s})$$

Vse tri logaritemske enote so enako velike, skala p in skala  $I/\dot{s}$  napredujeta v negativno smer.

Tretja trojica. Površinska upornost kot funkcija specifične upornosti materiala in debeline pločevine:

$$r = \frac{\rho}{d}$$

$$\log r + \log d = \log \rho$$

Logaritemska enota za  $\rho$  je polovična, vse tri skale napredujejo v pozitivno smer.

Četrta in peta trojica. Izračun h grelni mreži, ekvivalentni debelini pločevine (slika 4):

Če naj ima ekvivalentna pločevina isti prerez kot je prerez vzdolžnih niti grelne mreže, lahko pišemo:

$$l'' \cdot d = n \cdot \frac{\tau}{4} d_m^2 \quad \text{ker je}$$

n = število zank na colo in:

$$n \cdot o = l'', \quad \text{je}$$

$$d = \frac{\tau}{4 \cdot o} \cdot d_m^2 \quad \text{in} \quad d = \frac{\tau \cdot n}{4 \cdot l''} \cdot d_m^2$$

$$\log d + \left( \log o - \log \frac{\tau}{4} \right) = 2 \log d_m$$

Vse logaritemske enote so enako velike in razen skale n napredujejo v pozitivno smer. Skala o je za  $\tau/4$  pomaknjena v pozitivno smer.

Uporabo nomograma naj tolmači kar naslednji primer:

**P r i m e r .** Za neko večjo stiskalnico je treba izračunati grela. Stiskalnica mora imeti šest grelnih ploščin dimenzij 1,80 m. o,80 m. Glede na vrsto artikla, ki ga bodo tu izdelovali, smo se odločili za specifično moč 3 500 W/m<sup>2</sup> (glej priporočila v poglavju 3!)

Sedaj lahko takoj kontroliramo, če je razpoložljivi transformator dovolj močan, da lahko prenese to breme. Zato najprej izračunamo potrebno moč.

$$S = 6 \cdot 1,80 \cdot 0,80 = 8,64 \text{ m}^2$$

$$P = S \cdot p = 8,64 \cdot 3\,500 = 30\,000 \text{ W} = 30 \text{ kW}$$

Na eno fazo tako velike moči ne bi mogli priklopiti, zato moramo imeti trofazni transformator. Če ga imamo, predvidimo priklop po dveh grelna na vsako fazo. Tako dobimo simetrično obremenitev; na vsako izmed treh faz je priključeno po 10 kW. Računamo le eno dvojico grel, kolikor odpade na eno fazo. Ostali dve dvojici sta enaki.

Na voljo imamo železno pločevino debeline  $d = 0,5 \text{ mm}$ , obratovalno temperaturo pa predpostavimo  $120^\circ\text{C}$ . Na skali 7 nomograma (slika 3) poiščemo točko  $0,5 \text{ mm}$ , na skali 6 pa  $120^\circ\text{C}$  ustrezno specifično upornost za železo ( $0,16 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ). Premica skozi ti dve točki nam da površinsko upornost na skali 5 ( $r = 0,32 \text{ m/enoto ploščine}$ ). Točko za zahtevano specifično moč  $p = 3\,500 \text{ W/m}^2$  na skali 1 zvežemo z dobljeno točko na skali 5 in dobimo na skali 3 že rezultat - napetost na enoto dolžine grela  $U/\ell = 1,06 \text{ V/m}$ . Prav tako dobimo na skali 4 vrednost za tok na enoto širine grela  $I/\bar{s} = 3\,300 \text{ A/m}$ , če zvežemo točko  $3\,500 \text{ W/m}^2$  na skali 2 z omenjeno točko na skali 6.

Potrebna napetost in tok za enoto grela sta:

$$U = 1,80 \text{ m} \cdot 1,06 \text{ V/m} = 1,91 \text{ V}$$

$$I = 0,80 \text{ m} \cdot 3\,300 \text{ A/m} = 2\,640 \text{ A}$$

Vsaka faza ima po 2 greli, če bi ju vezali v serijo, bi bila potrebna napetost  $3,83 \text{ V}$  in tok  $2\,640 \text{ A}$ , kar pa je zelo daleč od optimalnih vrednosti (glej odsek 2.1.4!). Zaradi tega razrežemo grelna pločevino po dolgem v meander ali pa v pasove, ki jih vežemo zaporedno (glej podroben opis izvedbe grel v poglavju 4.1!). Grelna pločevino  $1,80 \cdot 0,8 \text{ m}$  razrežemo v 8 pasov, širokih po  $10 \text{ cm}$  in dobimo za eno grelo naslednje vrednosti napetosti in toka:

$$U = 8 \cdot 1,80 \text{ m} \cdot 1,06 \text{ V/m} = 15,2 \text{ V}$$

$$I = 0,01 \text{ m} \cdot 3.500 \text{ A/m} = 330 \text{ A}$$

Za dve greli v seriji je napetost  $U = 30,4 \text{ V}$ , kar je zelo ugodno. Če imamo trofazni transformator sklenjen na sekundarni strani v trikot, je to medfazna napetost, če pa je sklenjen v zvezdo, je to fazna napetost. Izberemo raje trikotno vezavo, ker bi bila v zvezdni vezavi medfazna napetost že višja kot dovoljenih  $42 \text{ V}$  ( $30,4 \cdot \sqrt{3} = 52,6 \text{ V}$ ), poleg tega pa imamo v trikotu samo tri dovodne žile, a v zvezdni štiri. Grelna sklenemo v trikot in imamo s tem še vedno možnost, da s preklopom v zvezdo znižamo moč na  $1/3$ . Po dovodih teče tedaj tok  $330 \sqrt{3} = 572 \text{ A}$ .

Sedaj kontrolirajmo moč!

$$P = 30,4 \text{ V} \cdot 572 \text{ A} \cdot 3 = 30,1 \text{ kW}$$

kar pomeni, da je bil račun s pomočjo nomograma dokaj natančen. Pri vsem tem pa je računati, da je začetni tok precej večji, ker ima grelo pri nižji temperaturi manjšo upornost. Zlasti velja to za železo. Ta tok s pomočjo nomograma izračunamo, če vemo, pri kateri temperaturi grela cikel pričenja.

Z nekoliko spretnosti se lahko grelo, kakršno smo pravkar opisali, izdelala v vsaki delavnici. Če pa nimamo takšnega osebja, se bomo morda odločili za grelo v obliki mreže. To grelo je nekoliko manj trajno, vendar je izvedba zelo preprosta.

**P r i m e r .** Za stiskalnico iz prejšnjega primera z istimi podatki in zahtevami računamo grelo v obliki mreže. Na razpolago imamo pocinkano železno mrežo št. 16 ( $n = 16$  zank/colo), žice mreže imajo premer  $d_m = 0,3$  mm.

Skozi točke, ustrezne tem vrednostim, na skalah 9 in 10 nomograma potegnemo premico do sečišča s skalo 7. Tako dobimo mreži ekvivalentno debelino pločevine "d". Nadaljujemo kot v prejšnjem primeru. S pomočjo še treh premic dobimo rezultate:

$$U/\ell = 3,5 \text{ V/m} \quad \text{in} \quad I/\dot{s} = 990 \text{ A/m}$$

Če v tem primeru razdelimo grelni ploskev po dolgem v tri pasove, bodo napetosti in toki enega grela:

$$U = 3 \cdot 1,8 \cdot 3,5 = 18,9 \text{ V}$$

$$I = 0,266 \cdot 990 = 264 \text{ A}$$

Dve fazni greli v seriji bosta potrebovali 37,8 V. Pri vezavi grel v trikot so toki po dovodih:

$$264 \cdot \sqrt{3} = 457 \text{ A}$$

in celotna moč:

$$P = \sqrt{3} \cdot 37,8 \cdot 457 = 30 \text{ 000 W}$$

kar potrjuje račun.

Prednost uporabe nomograma je v tem, da lahko v zelo kratkem času napravimo kopico računov, če variramo različne parametre in se tako približamo najboljši rešitvi.

Da bi se tudi toplotni račun (ki ga srečamo v naslednjih odsekih) čim bolj skladal z dejanskim potekom, je pri grelih, ki se med posameznimi cikli ohlajajo, treba upoštevati srednjo temperaturo (skala 6). Izračunani toki se bodo pri solidni gradnji grel pojavili le pri upoštevani temperaturi. Nihanja tokov bodo tudi do  $\pm 30\%$ . Temu se ni moč izogniti, dokler delamo s ceneniimi materiali, kot so to železo, jeklo, transformatorska pločevina itd., ki imajo velik . Pri grelih iz konstantana, kromniklja, kanthala in podobnih dražjih materialov bodo razlike le nekaj odstotkov.

1.6.3 Ekvivalentna debelina perforiranih pločevin. - Že v primeru na strani smo videli, da za grela velikih površin niso prav primerne pločevine v celem, ker zahtevajo prevelike toke ob prenizki napetosti. Zaradi tega smo jih morali narezati v meandre ali pasove, ali pa jih nadomestiti z mrežo, ki ima dosti večje upornosti na enoto površine.

Eno izmed sredstev za povečanje površinske upornosti je tudi perforiranje pločevin. S tem se pot toka podaljša in prerez zmanjša. Upornost se občutno poveča. Znani so primeri, ko so uporabili odpadne perforirane trakove "štanc" za grela za talno in stensko ogrevanje prostorov. Znani so tudi primeri, ko so prav ta grela povzročila požare zaradi lokalnih pregretij na zoženih mestih. Ti odpadni trakovi po navadi za grela ne ustrezajo, ker so električne poti med posameznimi luknjami zelo različno široke. Pločevino za električno grelo je običajno treba posebej perforirati in pri tem paziti, da ni zoženj.

Na sliki 5 vidimo eno takšnih pločevin, mi pa ji hočemo določiti ekvivalentno debelino nep perforirane pločevine, kakor smo to storili pri žični mreži. Tako lahko uporabimo nomogram za izračun grel.

Na sliki je naznačena pot električnega toka med posameznimi perforacijami, prav tako tudi posamezne mere. Če je

R - upornost neperforirane pločevine in

R<sub>1</sub> - upornost perforirane pločevine, je

$$R_1 = m \cdot R$$

in

$$m = \frac{R_1}{R} = \frac{\frac{4(b-h)}{a} + \frac{\ell}{2(b-h)}}{\frac{2b}{a}}$$

$$m = \frac{2a(b-h)}{b(a-\ell)} + \frac{a\ell}{4b(b-h)}$$

Za m-krat se torej poveča upornost perforirane pločevine. Ekvivalentna debelina "d" pločevine je torej:

$$d = \frac{d_p}{m}$$

kjer je d<sub>p</sub> debelina perforirane pločevine.

## 2.2 Toplotna prevodnost raznih vrst lesa in njegovih presekov

Les je po naravi dober toplotni izolator, Toplotna prevodnost "λ" je odvisna od vrste lesa, njegove gostote, vlage in smeri, v kateri se toplota širi.

Meritev toplotne prevodnosti lesa je precej zapletena in jo lahko izvedejo le nekateri laboratoriji, ki imajo za to primerne aparature. Na sliki 6 si oglejmo aparaturo za merjenje toplotne prevodnosti v Laboratoriju za elektrotermijo Univerze v Ljubljani, ki je ena izmed najbolj izpopolnjenih. Slika 7 pa kaže vlaganje probe v aparat. Lepo so tudi vidni termoelementi z okroglimi ploščicami, ki merijo temperaturo na lesnih površinah in presekih.

Naslednja tabela navaja neke vrednosti za toplotno prevodnost λ, specifične toplote "c" in gostoto "ρ" za hrastov les, bor in nekatere materiale, ki prihajajo v poštev pri konstrukciji in računu

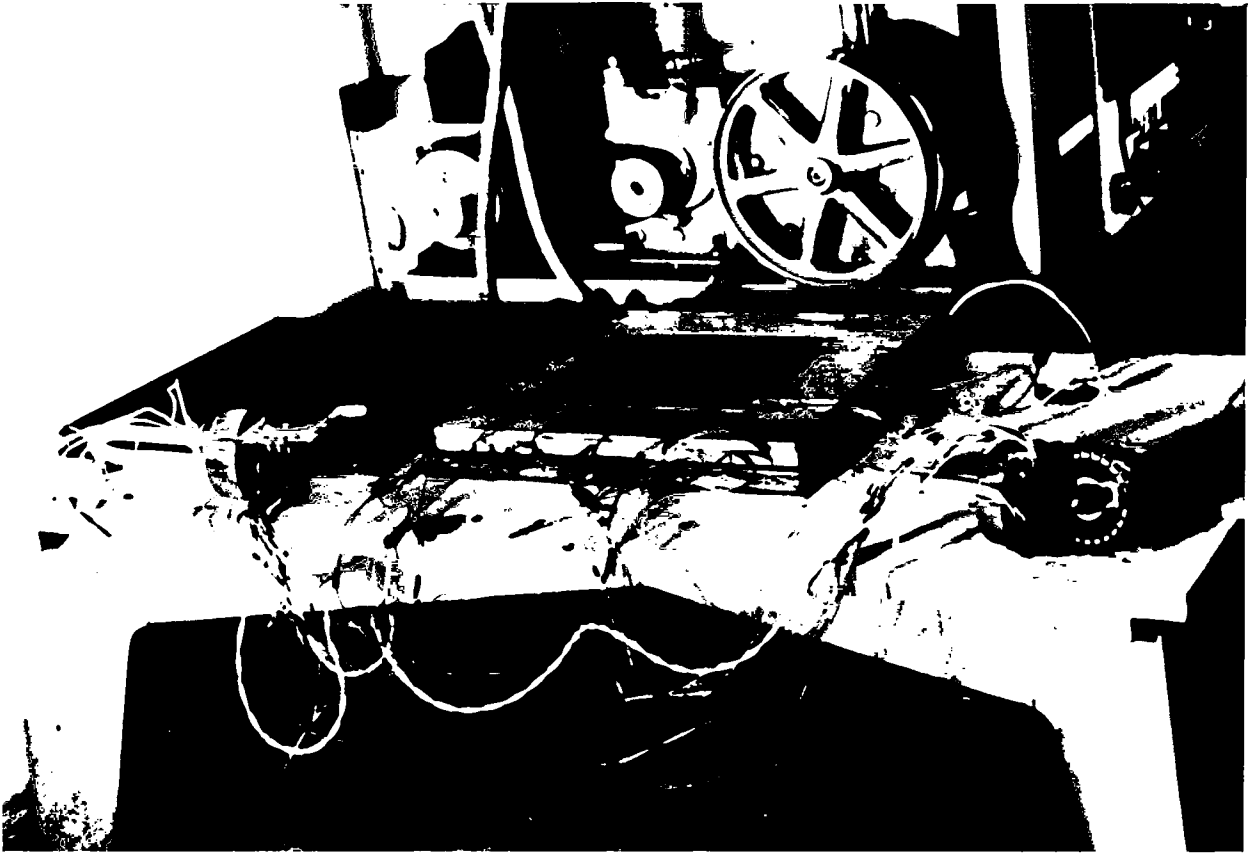




Slika 6. - Naprava za merjenje toplotne prevodnosti lesa in drugih toplotnih izolacij v Laboratoriju za elektrotermijo Univerze v Ljubljani. Naprava deluje po principu zaščitnega obroča.

elektrouporovnih naprav, obravnavanih v našem sestavku. Pripominjamo, da lahko vrednosti od primera do primera zelo variirajo.

Vrednosti v tabeli so le neke povprečne vrednosti, ki pa za našo rabo zadoščajo. Poleg sedaj veljavnih merskih enot so v razpredelnicah tudi vrednosti za stare enote (v oklepaju) zaradi primerjave s staro literaturo. Tabela nam dobro tolmači, kako dober toplotni izolator je les. V naslednjem poglavju bomo spoznali, da tudi toplotni val potuje skozi les zelo počasi, ker je toplotna vodljivost ( $a = \frac{c}{\rho}$ ) zelo nizka.



Slika 7. - Vlaganje lesonitne probe v aparat za merjenje toplotne prevodnosti. Na sliki se dobro vidi merilno in zaščitno grelo ter termoelemente za merjenje temperature.

Pri toplotni obdelavi lesa (lepljenje, sušenje, površinska obdelava itd.) nam lahko ta velika izolacijska sposobnost dela težave, ali pa jo lahko s pridom izkoriščamo, če se pri izbiri načina dovajanja toplote zavedamo naslednjih ugotovitev:

(1) Kontaktno dovajanje toplote (elektroporovno segrevanje površin, parne stiskalnice, je primerno, kadar hočemo segreti razmeroma tanke plasti pod površino, ki jo segrevamo s kontaktnim dovajanjem toplote. Ker potuje toplotni val od segrevane površine razmeroma počasi v globino, se v kratkem času, ki nam je na voljo za operacijo, dobro pregrejejo le najbližje plasti - to je tam, kjer toploto v resnici potrebujemo. Za operacijo torej porabimo le majhen del energije (nekako o-

Material	Topl. prevodnost		Spec. toplota "c"		Gostota kg/m <sup>3</sup>	Toplotna vodljivost	
	W/m°C	(kcal/hm°C)	kWs/kg°C	(kcal/kg°C)		m <sup>2</sup> /s	"a" (m <sup>2</sup> /h)
Hrast							
-pravokotno na rast	0,20	(0,17)	2,4	(0,57)	800	1,04 · 10 <sup>-7</sup>	(3,74 · 10 <sup>-4</sup> )
-vzporedno na rast	0,40	(0,34)				2,08 · 10 <sup>-7</sup>	(7,5 · 10 <sup>-4</sup> )
Bor							
- pravokotno na rast	0,14	(0,12)	2,7	(0,65)	550	0,94 · 10 <sup>-7</sup>	(3,36 · 10 <sup>-4</sup> )
- vzporedno na rast	0,29	(0,25)				1,95 · 10 <sup>-7</sup>	(7,0 · 10 <sup>-4</sup> )
Asbest	0,15	(0,13)	0,8	(0,19)	2 500	0,75 · 10 <sup>-7</sup>	(2,7 · 10 <sup>-4</sup> ) <sub>38</sub>
Guma	0,17	(0,15)	1,4	(0,34)	1 000	1,21 · 10 <sup>-7</sup>	(4,37 · 10 <sup>-4</sup> )
Železo	58	(50)	0,46	(0,11)	7 800	162 · 10 <sup>-7</sup>	(580 · 10 <sup>-4</sup> )
Aluminij	204	(175)	0,92	(0,22)	2 750	806 · 10 <sup>-7</sup>	(2900 · 10 <sup>-4</sup> )
Baker	396	(340)	0,38	(0,09)	8 900	1170 · 10 <sup>-7</sup>	(4220 · 10 <sup>-4</sup> )

krog 20%) od tiste, ki bi bila potrebna, da se pregreje vsa masa na potrebno temperaturo. Čim tanjše so plasti, ki naj se segrejejo, tem manj energije in časa je potrebno za operacijo. Segrevanje s kontaktnim dovajanjem toplote predstavlja idealen in najbolj ekonomičen način segrevanja za postopke furniranja in zlepljanja plasti, ki niso debelejšje od nekaj milimetrov.

Za primer pogledjmo, kakšna bi bila energijska bilanca, če bi se namesto za kontaktno dovajanje toplote pri furniranju odločili za segrevanje z visoko frekvenco. Visoka frekvenca pregreje vso lesno maso enakomerno, mi pa potrebujemo toploto le lokalno, na površini, največ kakih 20% debeline. Vidimo, da smo že tu po nepotrebem zapravili kakih 80% toplote. Nadalje imajo visokofrekvenčni generatorji zelo nizek izkoristek. Če predpostavimo = 30 %, dobimo, da smo le 6 % porabljene električne energije koristno uporabili za sam proces. Nasprotno pa ni prav nič težko doseči pri elektroporovnem načinu 80% izkoristek. Tudi investicijski stroški so za elektroporovno napravo neprimerno manjši kot pa za visokofrekvenčno iste moči.

(2) Dovajanje toplote vsej masi ali pa plastem, ki leže globlje od nekako 8 mm, bi bilo s kontaktnim prevajanjem - pa najsi bodo plošče grete električno ali parno - še vedno cenejše kot visokofrekvenčno, le da bi bili časi pregrevanja nevzdržno dolgi. Zavedati se moramo, da je za d v a k r a t n o d e b e l i n o plasti, ki jo je treba pregreti s kontaktnim prevajanjem potreben š t i r i k r a t n i č a s . Tu je vsekakor bolj na mestu visoka frekvenca. Če bi pa le hoteli lepiti tudi debelejšje plasti s kontaktnim prevajanjem, svetujemo na kakšen cenen in preprost način predgreti oba kosa, ju nato na hitro premazati in stisniti v stiskalnici. Tu bo nato grelna ploskev dosti hitreje dvignila temperaturo do potrebne višine.

Iz vsega opisanega je jasno, da toplotna prevodnost lesa igra veliko vlogo in da je zato pri izbiri postopka in pri planiranju ne kaže prezreti.

2.3 Ugotavljanje časa, potrebnega za ogrevanje pri raznih debelinah lesa, v odvisnosti od specifične moči in temperature grel

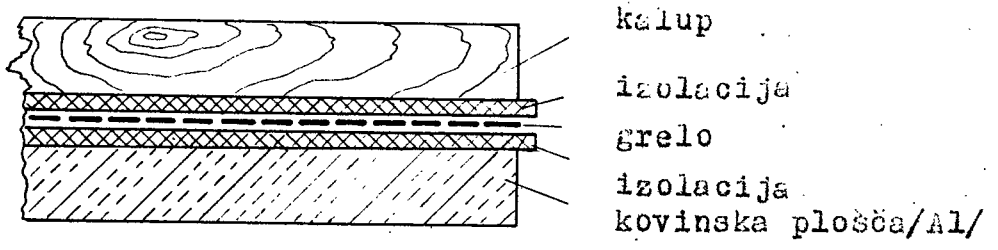
Čas, ki je potreben za ogrevanje, je na različnih stiskalnicah različen. Pri tem je lahko sestava vzorca ista in tudi grelo ima lahko enako specifično moč v  $W/m^2$ . Grelo, ki ima možnost akumulirati velike množine toplote (velika toplotna kapaciteta), ostane do naslednje šarže vroče, v tem ko se grelo z majhno toplotno kapaciteto hitro ohladi. Jasno je, da so časi ogrevanja, če izhajamo iz enake specifične moči, v tem in onem primeru različni. Zato moramo vsak primer obravnavati ločeno.

2.3.1 Razdelitev grel glede na toplotno kapaciteto

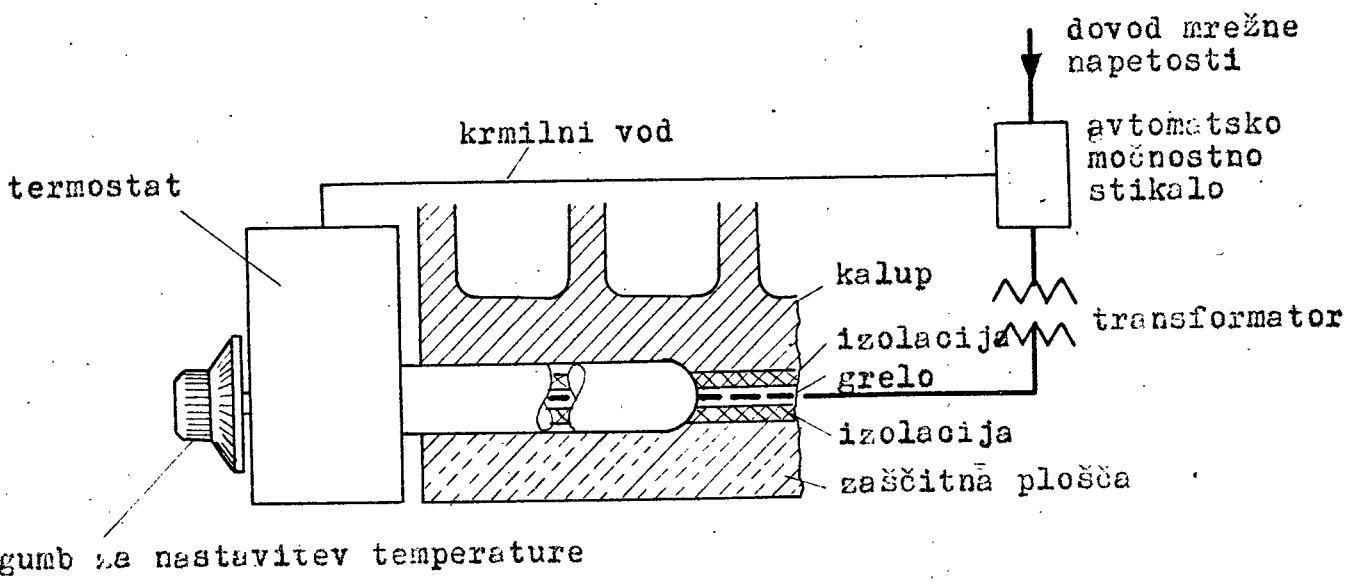
2.3.1.1 Grelo s veliko toplotno kapaciteto.- Ta grela se med pavzami med dvema šaržama zelo malo ohladi, tako da ima površina vzorca, ki ga ogrevamo, takoj prvi trenutek na površini maksimalno temperaturo. Ta temperatura tudi kasneje ne pade zaradi velike množine akumulirane toplote in zavoljo vključenih grel, ki izgubo toplote zaradi odvajanja v vzorec sproti nadomeščajo. V to skupino sodijo parna grela in pa grela, montirana na kalupe, ki imajo debele kovinske zaščitne plošče. Če je zaščitna plošča iz aluminija debela nad 4 mm, že lahko štejemo, da sodi grelo v to skupino (slika 8 prinaša tako grelo).

V isto skupino grel z veliko toplotno kapaciteto uvrščamo tudi grela s termostatom. Zaradi delovanja termostata ni nujno potrebno, da bi imela ta grela prav veliko toplotno kapaciteto, saj jim termostat vzdržuje temperaturo.

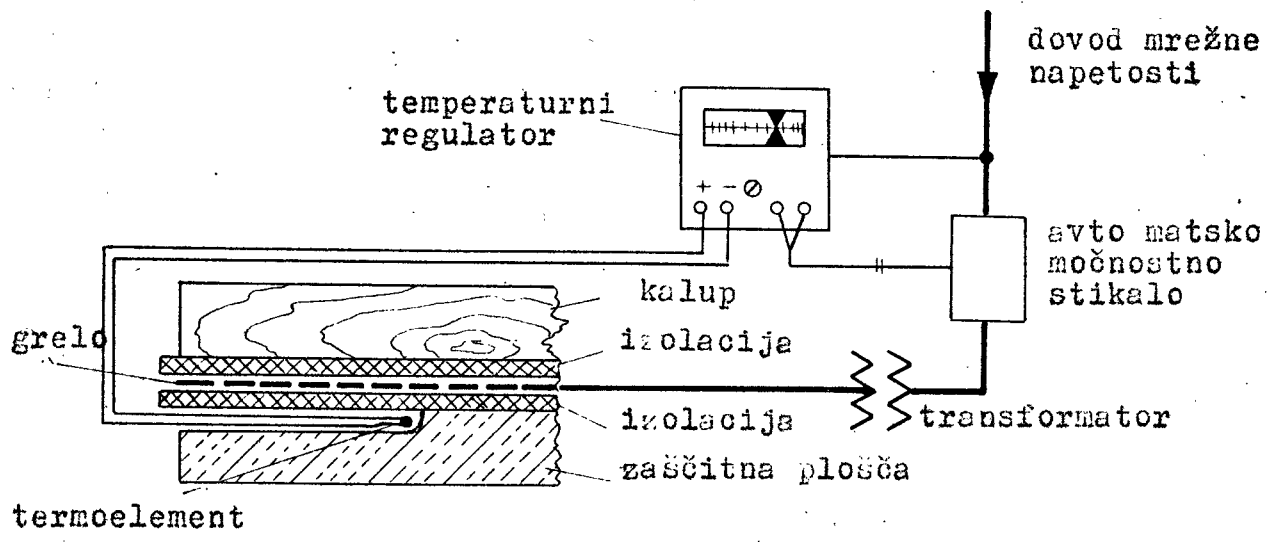
Slika 9 prinaša termostatsko krmiljeno grelo, pritrjeno na kovinski kalup, stisnjeno med kovinsko zaščitno ploščo in kalup v za to prirojeno rego v grelu. Čuteči organ je tu dilatacijski termostat, ki ne



Sl.8. Grelo z veliko toplotno kapaciteto



Sl.9. Namestitev dilatacijskega termostata v rego med kalupom in zaščitno ploščo ter električno vezje za napajanje grel



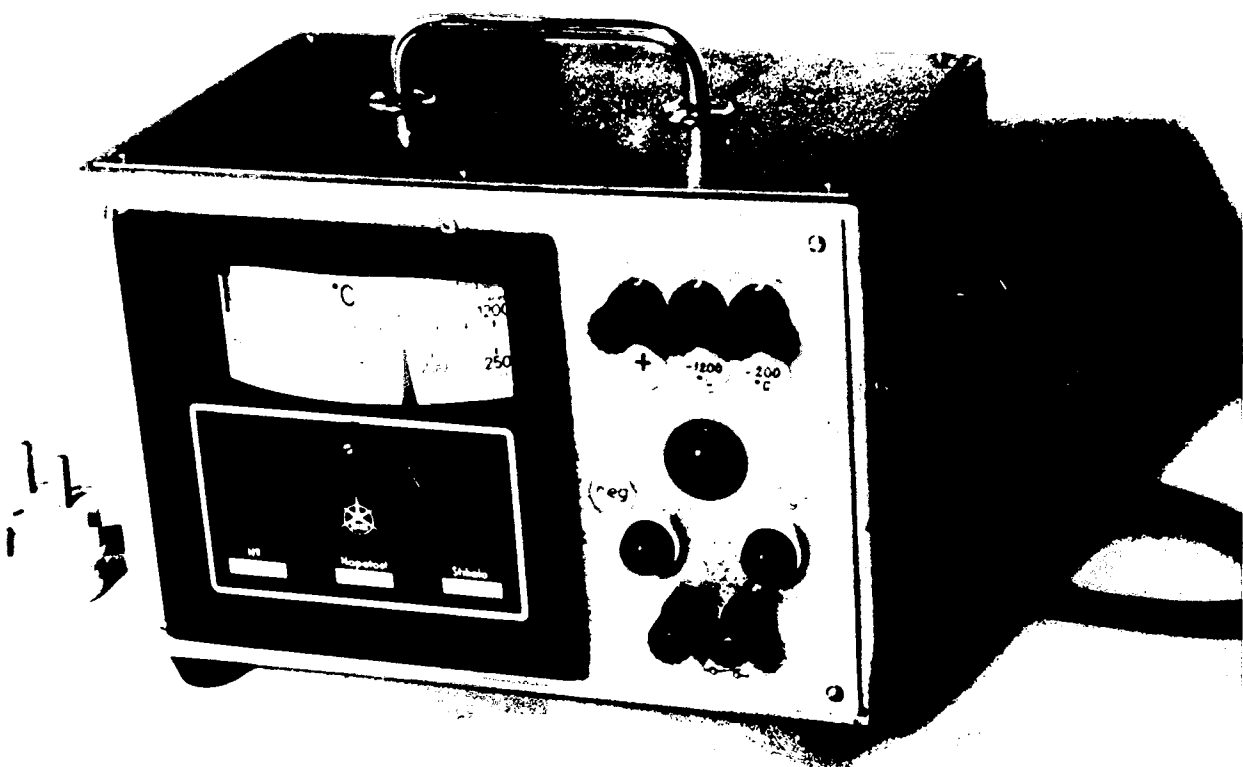
Sl.10. Namestitev termoelementa v samo zaščitno ploščo ter shema električnega vezja za regulacijo in napajanje grel

vklaplja in ne izklaplja toka direktno, marveč krmili avtomatsko močnostno stikalo. Ti termostati ne kažejo temperature, temveč imajo le gumb, s katerim nastavimo zaželeno temperaturo. To temperaturo vzdržujejo z vklapljanjem in izklapljanjem grelnega toka. Razlika med temperaturo vklopa in izklopa je nekako 5 do 10°C. Te vrste termostata izdeluje že več domačih tovarn in stanejo le nekaj tisoč dinarjev.

Na sliki 10 vidimo prerez termostatsko regulirane grelne ploskve lesenega kalupa. Kot merilni organ je tu uporabljen termoelement. Ta mora biti vložen izolirano. Najbolje je, če ga vlepimo med dva kosa stisnjene lepenke. Primerno lepilo za to je "aculdit", obnese pa se tudi bakelitni lak.

Temperaturni regulator krmili avtomatsko močnostno stikalo in s tem vzdržuje temperaturo zaščitne plošče na nastavljeni višini. Temperaturne regulatorje izdeluje pri nas tovarna "Iskra". Lahko uporabimo tudi kateri koli drugi temperaturni regulator, če je le prirejen za priključek na termoelement. Termoregulator tudi kaže dejansko stanje temperature (črni kazalec, zaželeno temperaturo pa nastavimo z rdečim kazalcem. Kadar doseže črni kazalec rdečega, je temperatura dosegla nastavljeno vrednost in regulator povzroči izklop avtomatskega stikala, ki prekine dotok energije grelu. Ti regulatorji so neprimerno preciznejši kot pa dilatacijski, je pa tudi njih cena višja. Stanejo okrog 80 000 din, kar se za važnejše in večje stiskalnice še vedno izplača, poleg tega pa se ga da uporabiti kot merilni instrument za merjenje temperature lepila v sami regi. Te podatke potrebujemo za določanje optimalnega režima obratovanja, kakor bomo videli kasneje. Slika 11 predstavlja regulacijsko omarico, izdelano v Laboratoriju za elektrotermijo v Ljubljani, v katero je vgrajen pravkar omenjeni regulator tovarne "Iskra". Pri naročilu regulatorja je treba zahtevati območje 150°C, za termoelement železo-konstantan z upornostjo merilnega tokokroga 20 ohmov.

Ogrevalne površine z veliko toplotno kapaciteto ali s termostatsko regulacijo se odlikujejo po tem, da je zanje dosti lažje določiti optimalne delovne pogoje (najkrajši čas, v katerem se lepilo stoddstotno strdi), da ni nobene škode in bojazni, da bi se material zaradi previsoke temperature pokvaril, če smo segrevalni čas prekoračili, in da je preceš najhitreje končan, ker smo začeli segrevanje že z maksimalno temperaturo.



Slika 11. - Regulacijska omarica. Kazalni instrument je hkrati tudi regulator temperature. Deluje na principu fotoupora.

Slaba stran grel z veliko toplotno kapaciteto je ta, da so težja in dražja ter tako izgubljajo prvo prednost pred tistimi na paro. Grela, ki so termostatsko regulirana, prednjačijo pred vsemi, le da so uporabna samo tam, kjer je grelo montirano v kalup.



Termos tatska grela in pa grela z veliko toplotno kapaciteto priporočamo za velike in zahtevne stiskalnice, kjer se zahteva maksimalni izkoristek ter prvovrstna in stalna kakovost izdelkov.

2.3.1.2 Grela z majhno toplotno kapaciteto.- To so običajno neizolirani grelni trakovi in grela s prav tanko zaščitno prevleko. Takšna grela se v pavzi med eno in drugo grelno periodo ohladi skoro na okolno temperaturo, tako da vsak cikel grelo in material prične pri isti temperaturi. Seveda ima med segrevanjem grelo vedno nekoliko višjo temperaturo.

Značilno za grela z majhno toplotno kapaciteto, je, da se jim temperatura skoraj vso grelno periodo spreminja. Račun optimalnega časa segrevanja je težaven, segrevalni časi so nekoliko daljši. Čas segrevanja se mora točno ugotoviti in se ga nato ne sme prekoračiti. Temperatura zlasti pri grelih z visoko specifično močjo stalno raste in bi se izdelek lahko pokvaril. Če imamo grelo z majhno specifično močjo, se včasih temperatura stacionira dovolj nizko, da ni te nevarnosti. V tem primeru so časi, potrebni za strjevanje lepila, neprimerno daljši. Treba se je pač zavestno odločiti za to ali ono.

Prednost grel z nizko toplotno kapaciteto je v preprostosti ter majhni porabi energije, saj v pavzah grela niso vklopljena. Ta grela so posebno primerna, če so pavze dolge.

2.3.1.3 Grela s srednjo toplotno kapaciteto. - Kapaciteta teh grel je nekje sredi med obema opisanimi karakterističnima tipoma. Račun optimalnega časa za strjevanje lepila je težaven ali pa sploh ni izvedljiv. Edini izhod je direktno merjenje nihanja temperature. Na podlagi te meritve se izdelava obratovalni program, ki se ga je treba točno držati, sicer nastopijo prevelike neenakomernosti in krivljenje izdelkov.

Da se izognemo nekoliko zapletenemu določanju optimalnega časa segrevanja, potrebnega za 100%-no strjevanje lepila, pustimo material nekoliko

dlje časa v stiskalnici, da bi se lepilo zagotovo docela strdilo. Ta način bi bilo mogoče priporočati običnim delavnicam ali za posamezne izdelke, moderno urejeni tovarni s serijsko proizvodnjo pa ne bi bili v korist, niti v čast. Ker so običajno stiskalnice v tovarni ozko grlo, se lahko s preciznim obratovalnim načrtom, ki ga izdelamo s pomočjo računa ali meritve, zelo pospeši in izboljša proizvodnja.

### 2.3.2 Določevanje časa, potrebnega za strjevanje lepila

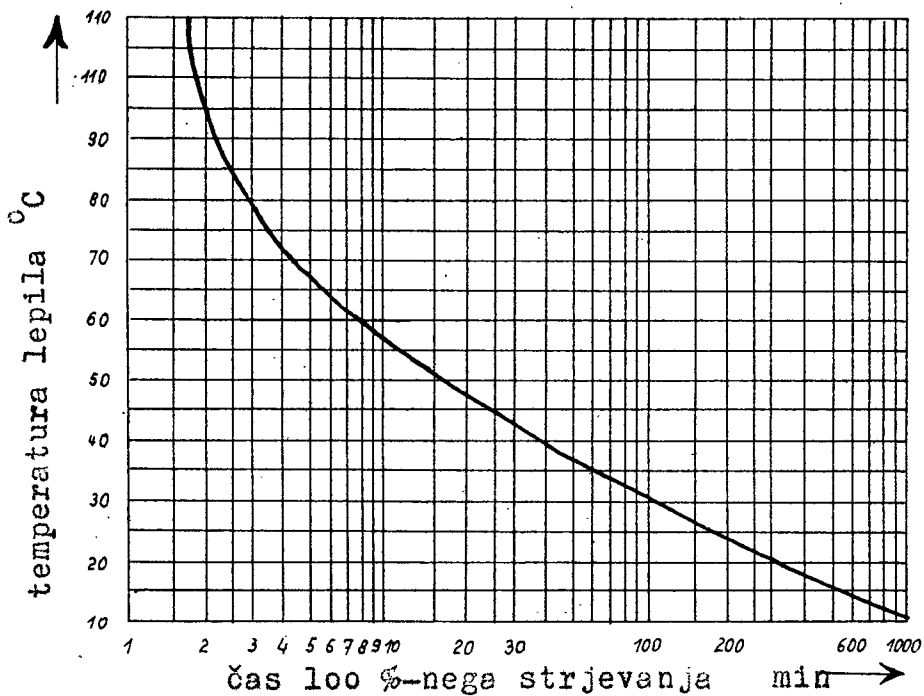
2.3.2.1 Določevanje časa strjevanja lepila pri stalni temperaturi.- Pri stalni temperaturi se strjuje lepilo v stiskalnicah s termostatsko krmljenimi greli ali z greli z veliko toplotno kapaciteto pod pogojem, da se prične delo že z vročo stiskalnico. Drugi pogoj je ta, da leži plast lepila, ki ga segrevamo in lepimo, zelo plitvo pod površino (deli milimetra, samo droben furnir), da lahko štejemo, da je tu temperatura praktično dosegla svojo končno vrednost že po nekaj sekundah.

Za preprostejše primere dobimo rezultat že iz diagrama (slika 12), ki ga običajno tovarna, proizvajalec lepila, posreduje kupcu. Diagram si lahko izdelamo tudi sami, če le dobimo od togarne podatke za nekaj točk krivulje. Vmes interpoliramo, to je, izvlečemo krivulje skozi podane točke.

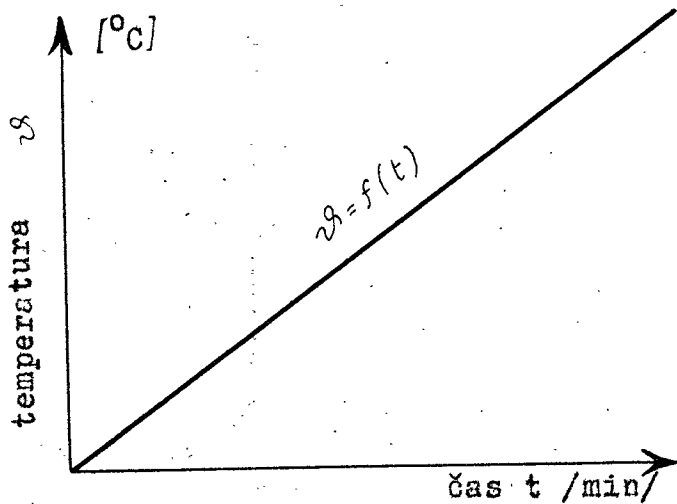
Diagram na sliki 12 nam podaja odnos med temperaturo lepila in časom, ki je potreben, da se lepilo stoddstotno strdi. Skala za čas je logaritmična.

Da ugotovimo potrebni čas za stoddstotno strjevanje, nam je potrebno le poznati temperaturo lepila v regi, ki jo moramo seveda izmeriti.

To opravimo z vgrajenim termoelementom, ki ga potem ko se je lepilo strdilo, kar odrežemo in pustimo v izdelku. Več o teh meritvah v odseku 2.3.4.



Sl. 12. Odnos med temperaturo in časom 100%-nega strjevanja za običajno urea - formaldehidno lepilo



Sl. 13. Idealiziran potek segrevalne krivulje

Za prav plitve plasti zadošča že merjenje temperature grelné plošče, ki jo lahko izmerimo tudi z navadnim tekočinskim termometrom. To meritev moramo napraviti šele potem, ko se je temperatura dodobra stacionirala.

**P r i m e r .** V stiskalnici, ki ima termostatsko regulirane grelné ploskve, hočemo lepiti furnir na podlago. Uporabili bomo ureaformaldehidno lepilo z lastnostmi po diagramu na sliki 12. Temperatura grelnih ploskev je regulirana na 80°C. Iz diagrama dobimo pripadajoči čas 2,8 minut, kar zaokrožimo navzgor.

2.3.2.2 Določanje časa strjevanja lepila pri enakomerno se dvigajoči temperaturi.- Praktično enakomerno se dviga temperatura v lepilu pri grelih z zelo majhno toplotno kapaciteto, če leži plast lepila zelo plitvo (deli milimetra, tenak furnir) in če je specifična moč grel v normalnih mejah, tako da grela zaradi previsoke specifične moči niso preje dosegla previsoke temperature, da bi jih bilo treba še pred koncem strjevanja izklopiti, ali pa da nimajo premažhne moči, da bi se temperatura preje stacionirala preden se je lepilo strdilo. Kljub na videz zamotanim razmeram pa je v praksi dosti primerov, ko jim določamo strjevalni čas prav tako.

Da bi lahko določili pravilen čas strjevanja lepila pri enakomerno se dvigajoči temperaturi, moramo preje z meritvijo ugotoviti brzino dviganja temperature v lepilu (glej odsek 2.3.4!).

Princip izračuna je v tem, da čas strjevanja razdelimo v enake časovne intervale (n.pr. pol minute) ter vzamemo, da je v tistem časovnem intervalu temperatura konstantna. Za vsak tak interval nato s pomočjo diagrama (slika 12) določimo, za koliko odstotkov se je lepilo v tistem času strdilo. Račun nadaljujemo vse dokler ne pridemo do sto odstotkov.

Slika 14 nam pove, kako smo idealizirano segrevalno krivuljo (premica, slika 13) nadomestili s stopničasto s tem, da smo segrevalni čas razdelili na kratke intervale ( $\Delta t$ ). Srednjo vrednost temperature

v posameznem intervalu smo upoštevali pri računu delnega strjevanja. Čim krajše časovne intervale vzamemo, tem manjšo napako zgrešimo.

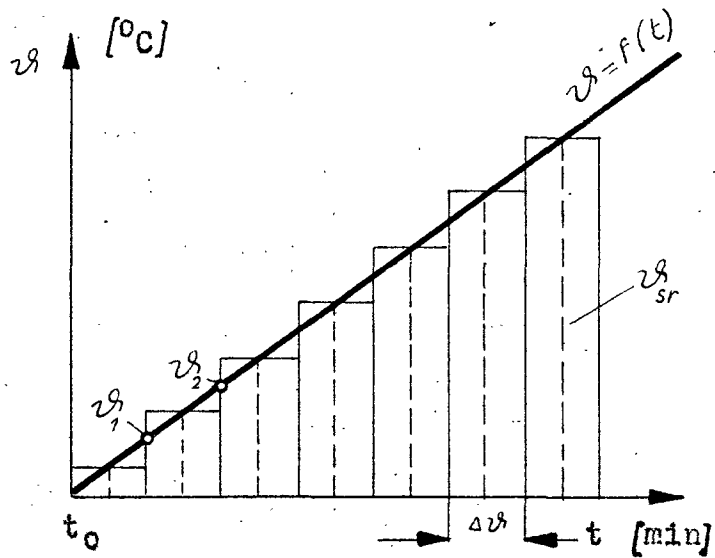
P r i m e r. Z meritvijo smo ugotovili, da je temperatura v plasti lepila z začetnih  $20^{\circ}\text{C}$  narasla na  $92^{\circ}\text{C}$  v 6 minutah. Razlika je torej  $72^{\circ}\text{C}$ . Hitrost dviga temperature je

$$72 : 6 = 12^{\circ}\text{C}/\text{min}.$$

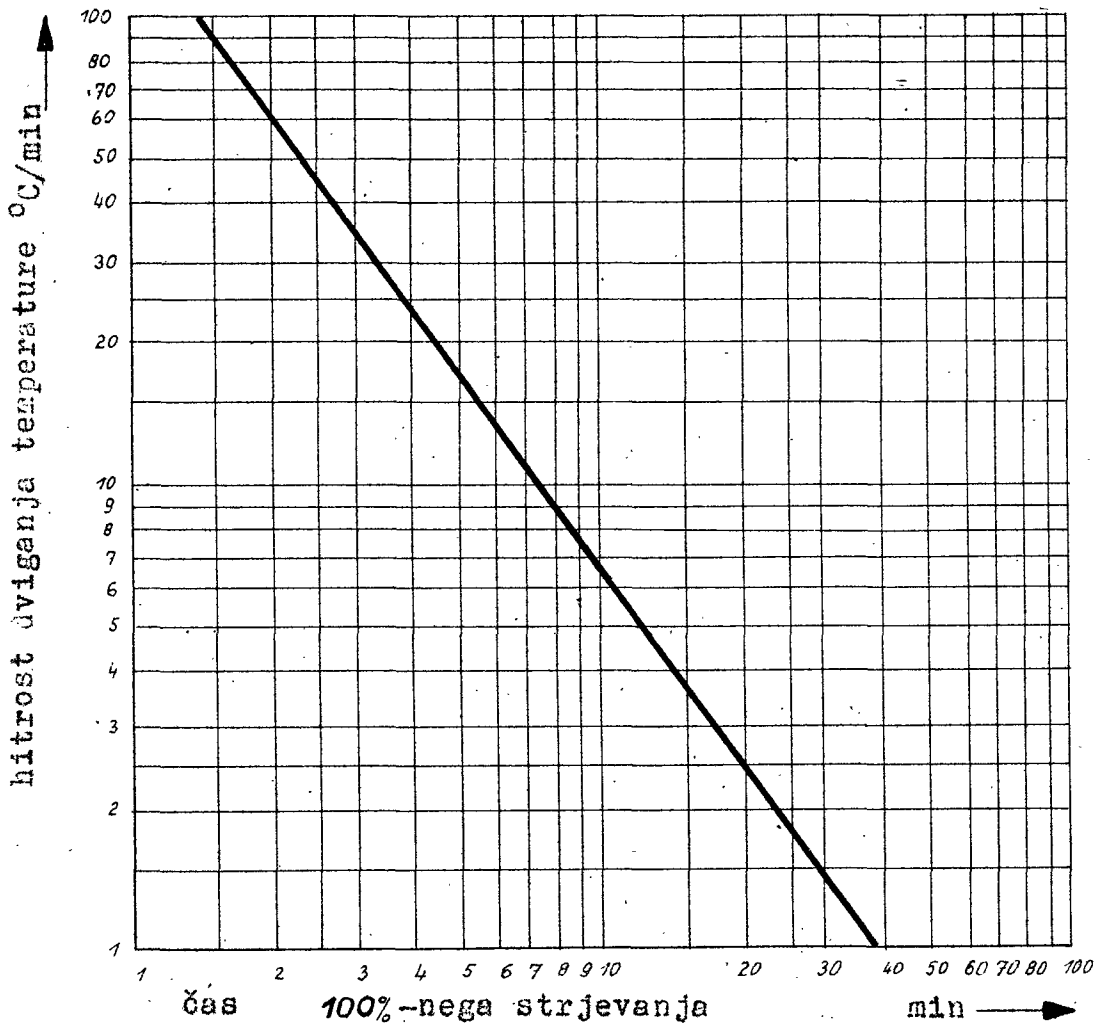
Za to hitrost dviga temperature bomo sedaj izračunali strjevalni čas. Odločimo se za intervale po pol minute. Začetna temperatura je običajno sobna temperatura  $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$ . Čez pol minute, to je na koncu prve "stopnice" (interval<sub>a</sub>), je temperatura v plasti lepila že  $26^{\circ}\text{C}$ , v sredini intervala pa  $23^{\circ}\text{C}$ . V diagramu slike 12 dobimo, da je strjevalni čas za  $23^{\circ}\text{C}$  200 minut (v 200 minutah bi se lepilo strdilo, če bi bila temperatura ves čas  $23^{\circ}\text{C}$ ). Pol minute predstavlja torej

$$\frac{0,5}{200} \cdot 100 = 0,25\% \text{ strditve}$$

Naslednji interval se razteza od pol do ene minute. Temperatura se dvigne od  $26$  na  $32^{\circ}\text{C}$ . V težišču tega intervala je  $29^{\circ}\text{C}$ , strjevalni čas za to temperaturo je 104 minute<sup>sr</sup>, odstotek strjevanja v drugem intervalu je  $0,48\%$ , na koncu drugega intervala je lepilo strjeno  $0,25 + 0,48 = 0,73\%$ . Sedaj gremo na tretji interval in tako dalje, kot kaže naslednja razpredelnica.



Sl. 14. Randalitev segrevalnega časa na intervale



Sl. 15. Odnos med hitrostjo naraščanja temperature v plasti običajnega urea-formaldehidnega lepila in časov, potrebnim za 100 %-no strjevanje

Čas min.	Temperatura °C	Srednja temper. intervala	Čas strjevanja le-pila pri t	% strjevanja	Lepilo že strjeno do %
0	20			0	0
0,5	26	23	200	0,25	0,25
1,0	32	29	104	0,48	0,73
1,5	38	35	60	0,84	1,57
2,0	44	41	35	1,43	3,00
2,5	50	47	20	2,50	5,50
3,0	56	53	13	3,84	9,34
3,5	62	59	8	6,25	15,59
4,0	68	65	5,8	8,62	24,21
4,5	74	71	4,2	11,89	36,10
5,0	80	77	3,4	14,70	50,80
5,5	86	83	2,6	19,20	70,00
6,0	92	89	2,2	22,70	92,70
6,5	98	95	2,0	25,00	117,70

Vidimo, da bo lepilo strjeno v času nekje med 6 in 6,5 minute.

Če ponovimo ta račun še za nekaj drugih hitrosti naraščanja temperature, na primer 2,5 ; 20 ; 50°C/min., dobimo nove čase strjevanja. Iz teh rezultatov lahko sestavimo nov diagram, ki ga prinaša slika 15 in ki je karakterističen za tisto lepilo. Diagram kaže odnos med časom potrebnim za stoo odstotno strjevanje navadnega urea-formaldehidnega lepila in hitrostjo naraščanja temperature v plasti lepila.

Diagram je univerzalen in ga je moč uporabiti za delo na različnih stiskalnicah in materialih, le da smo prej kakor koli že ugotovili (računsko ali mersko) hitrost naraščanja temperature.

Večkrat lahko vzamemo kos, ki ga lepimo, že pred iztekom izračunane dobe iz stiskalnice, ker se zaradi skumulirane toplote v samem materialu vrši proces najprej tudi še potem, ko smo že prekinili dotok toplote od zunaj. Za ta ukrep pa se moramo odločiti šele po treznem preudarku, saj se lahko material zaradi notranjih napetosti zvrže. To velja za krive

ploskve. Tudi pritisk pare, ki se je razvila v lesu, ima včasih takšno moč, da raznese sestavo, če se lepilo še ni strdilo.

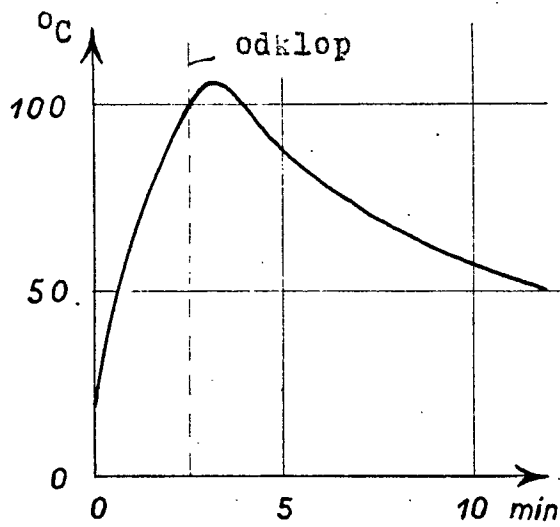
Če lepimo hkrati več plasti, ne smemo pozabiti, da moramo računati strjevalni čas za plast, ki leži najgloblje in ki se zato najpozneje segreje.

2.3.2.3 Določanje strjevalnega časa lepila pri spreminjajoči se temperaturi.- Natančno vzeto, ne more temperatura niti trenutno narasti na maksimalno vrednost in ostati na isti višini vso dobo strjevanja, kot to predpostavljamo v odseku 2.3.2.1, niti popolnoma enakomerno naraščati, kot to računamo v odseku 2.3.2.2. Za tam navedene primere so idealizacije dopustne in nam račun poenostavijo. Za vse ostale primere pa, zlasti za grela s srednjo toplotno kapaciteto in tudi za grela vseh vrst (nizka, srednja in visoka toplotna kapaciteta), če leži plast lepila več kot 1 mm pod površino, bo segrevalna krivulja vse prej kot premica. Pogledimo si nekaj takih krivulj! Sliki 16 in 17 nam predstavlja ta segrevalni krivulji za točke, ki so le približno 1,5 mm pod segrevalno površino. Grela ima precejšnjo specifično moč in ga je treba po kratkem času odklopiti ali pa preklopiti, da ne bi doseglo previsoke temperature. Slika 18 nam kaže segrevalno krivuljo, če je specifična moč nizka in opazovana točka (plast, ki se lepi) globoko pod grelno površino.

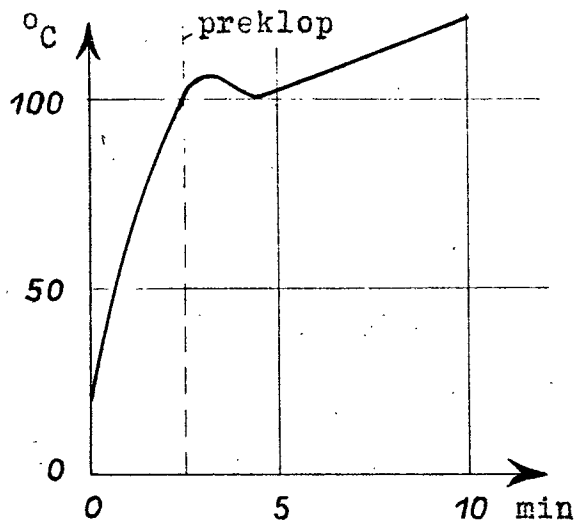
V vseh primerih, kjer se temperatura spreminja po neki krivulji, moramo čas, ki je potreben za strjevanje lepila, izračunati po metodi, kakor smo jo že opisali v odseku 2.3.2.2. s tem, da segrevalni čas razdelimo v majhne intervale. Srednjo temperaturo ( $\bar{t}_m$ ) moramo za vsak interval posebej določiti (odčitati) iz segrevalne krivulje.

Za vsak interval (n.pr. pol minute) določimo po diagramu slike 12 stopnjo (%) strditve lepila. Te rezultate vnašamo v razpredelnico, in ko dosežemo 100%, imamo že tudi čas, ki je potreben za strjevanje lepila. Primera tu ne bomo ponavljali, ker je popolnoma podoben tistemu iz odseka 2.3.2.2, le da moramo tu  $\bar{t}_m$  odčitavati s segrevalne krivulje.

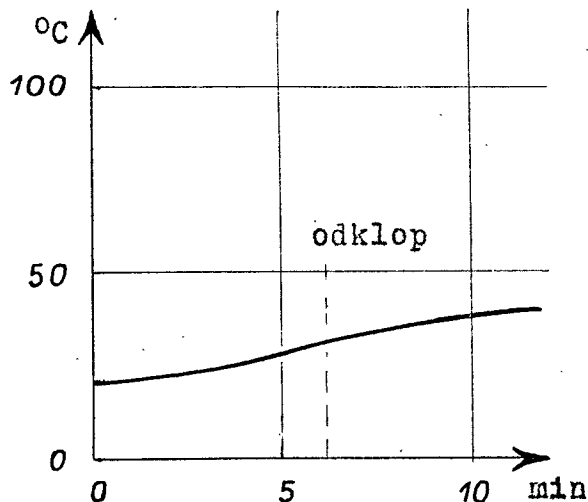




Sl.16 Primer segrevalne krivulje za točko 1,5 mm pod površino. Grelo je bilo izklopljeno po 2,5 min. Specifična moč ca 7000 W/m<sup>2</sup>



Sl. 17 Primer segrevalne krivulje za točko 1,5 mm pod površino. Specifična moč ca 7000 W/m<sup>2</sup>. Grelo se po 2,5 min preklopi na polovično napetost, namesto da bi se ga popolnoma izklopilo



Sl.18. Primer segrevalne krivulje za točko 1,5 mm pod površino. Grelo ima specifično moč 1.600 W/m<sup>2</sup>

lje in ne računati, kot v primeru, kjer je bila krivulja segrevanja premica.

### 2.3.3 Račun širjenja toplote skozi lesni presek

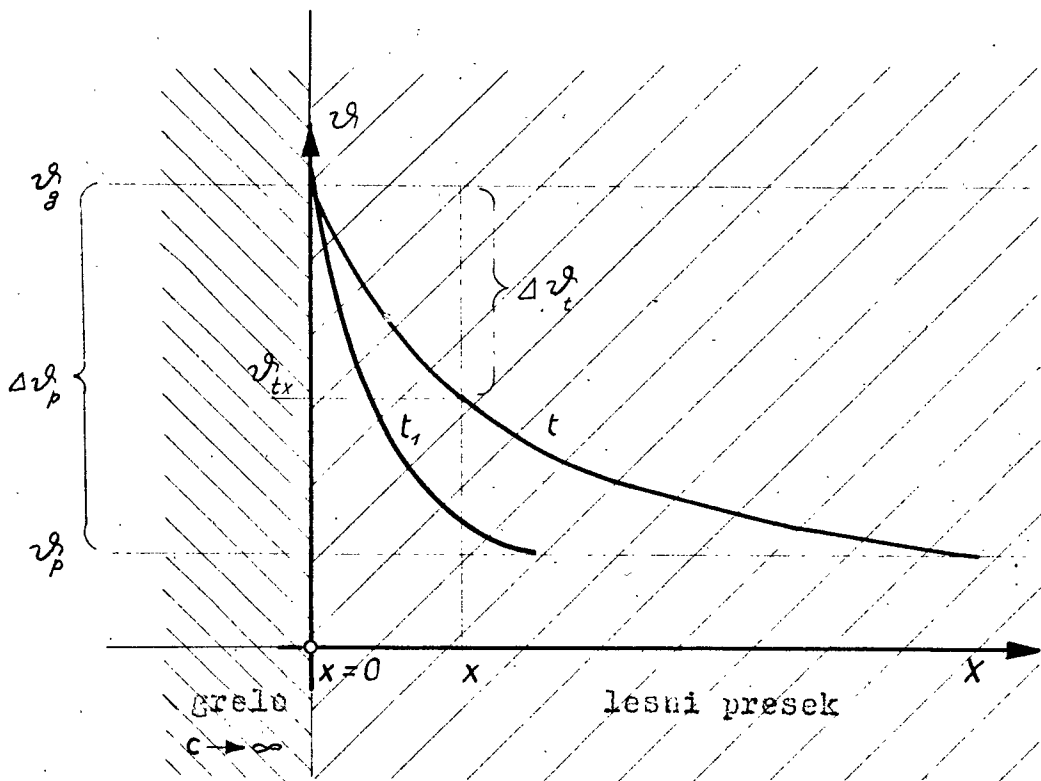
Da bi lahko določili, čas, ki je potreben, da se lepilo strdi (glej prejšnji odsek!) moramo vedeti, kako se spreminja temperatura v opazovanem lesnem preseku. Zanima nas predvsem časovna sprememba temperature v plasti lepila, skratka - poznati moramo segrevalno krivuljo za opazovano mesto. Lepilo je običajno prej strjeno, preden je končan prehodni pojav naraščanja temperature.

V vsakem primeru lahko z meritvami zelo natančno določimo segrevalno krivuljo (glej odsek 2.3.4), za preproste primere pa jo hitreje izračunamo s pomočjo že prirejenih diagramov in tabel.

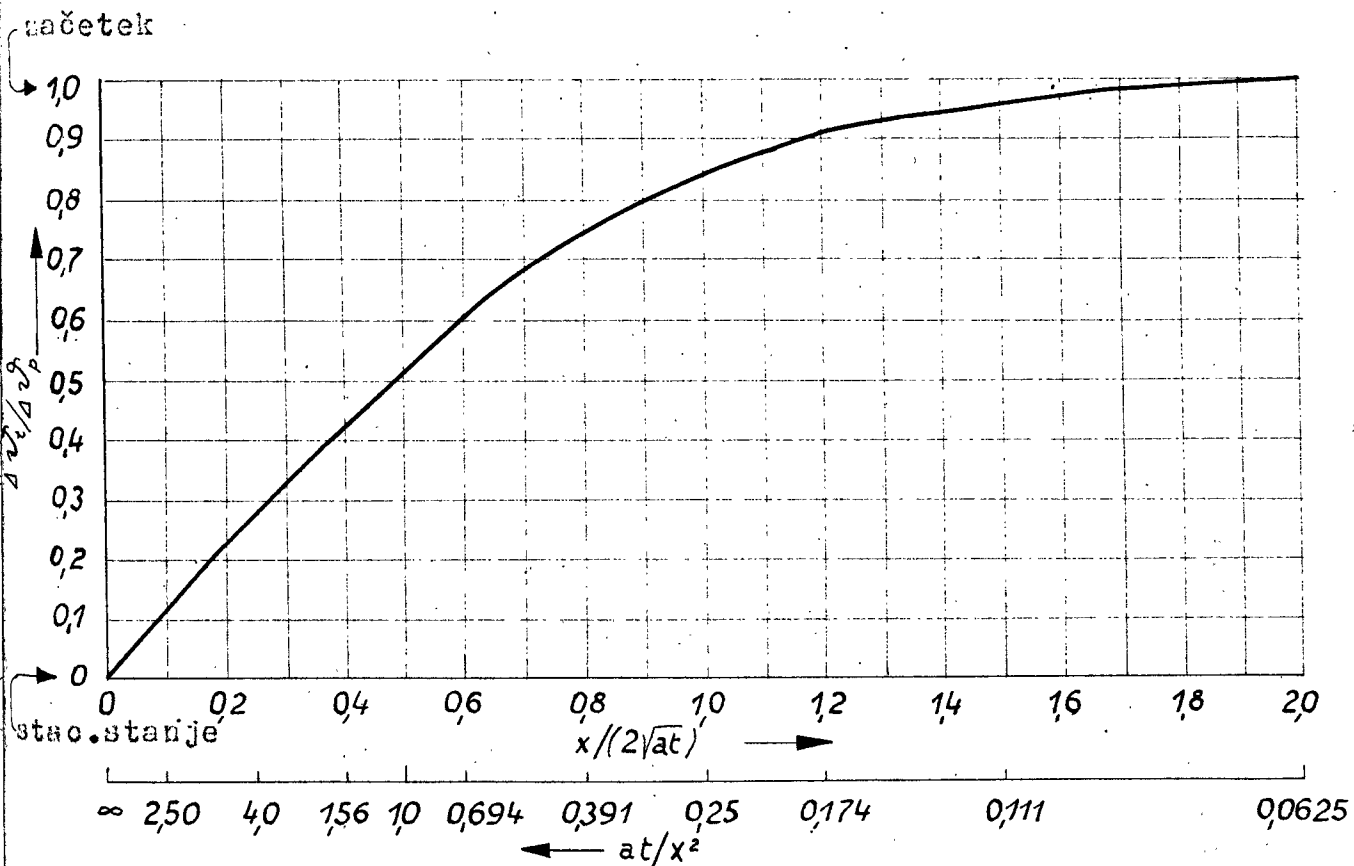
#### 2.3.3.1 Račun širjenja toplote skozi lesni presek pri termostatsko krmiljenih grelih in grelih z veliko toplotno kapaciteto.

- Dejanskemu stanju se zelo približamo, če predpostavljamo, da je les enostransko in neskončno razširjeno telo s temperaturo  $\vartheta_p$  in da k njemu pritismemo grelo s stalno temperaturo  $\vartheta_g$ . To grelo je termostatsko regulirano in ima veliko toplotno kapaciteto (za račun predpostavljamo  $\infty$ ) tako, da mu temperatura ne pade, ko ga pritismemo na lesno površino.

Slika 19 prikazuje temperaturno razdelitev po lesnem preseku v času  $t_1$  in  $t$ . Na ogrevani površini ( $x = 0$ ) se takoj, ko pritismemo grelo nanjo, pojavi temperatura grela  $\vartheta_g$ . Toplota se nato širi v globino (v smeri večjega  $x$ ), Prvotna temperatura celega lesnega preseka, preden smo na njegovo površino pritisknili grelo, je bila  $\vartheta_p$ . Krivulji  $t_1$  in  $t$  predstavljata krajevno temperaturno razdelitev v lesnem preseku v času  $t_1$  po pričetku prehodnega pojava in v času  $t$  (nekoliko kasneje). Označba  $\vartheta(x, t)$  pomeni temperaturo v globini  $x$  pod površino v času  $t$  od začetka segrevanja. To pa ravno iščemo.



Sl. 19 Temperaturna razdelitev enostransko neskončno razširjenega lesnega preseka po času  $t_1$  in  $t$



Sl.20 Temperaturna razdelitev v neskončno debeli lesni steni. Označbe glej v tekstu

Matematična izpeljava tega računa vodi preko reševanja diferencialnih enačb in več transformacij in je ne bomo tu navajali. Za praktičen izračun zadošča navesti rezultat:

$$t = \frac{x^2}{a} \cdot \text{Funkc.} \left( \frac{\Delta \vartheta_t}{\Delta \vartheta_p} \right)$$

Oznake pomenijo:

$t$  - čas v sekundah,

$x$  - razdaljo v m

$a$  - toplotno vodljivost  $m^2/a$ , ( $a = \frac{\lambda}{c \rho}$ ),

$\Delta \vartheta_p$  - prvotno temperaturno razliko obeh teles  $^{\circ}C$  (preden smo ju staknili skupaj), glej sliko 19!

$\Delta \vartheta_t$  - temperaturno razliko obeh teles v razdalji  $x$  od stične ploskve po času  $t$ , šteto od trenutka, ko smo staknili obe telesi.

Vrednost za Funkc.  $\left( \frac{\Delta \vartheta_t}{\Delta \vartheta_p} \right)$  dobimo s sliko 20. Nekaj vrednosti vsebuje tudi naslednja razpredelnica.

Da bi spoznali, kako hitro se širi toplotni val v različnih materialih, navajamo naslednji primer (za  $a$  smo vzeli srednje vrednosti).

**P r i m e r .** Po kolikem času prodre polovična temperaturna razlika ( $\Delta \vartheta_t / \Delta \vartheta_p = 0,5$ ) od površine pa do globin 1 mm, 1 cm, 1 dm, 1 m, če je enostransko neskončno razširjeno telo iz bakra, železa, stekla ali lesa?

Za  $\Delta \vartheta_t / \Delta \vartheta_p = 0,5$  dobimo iz razpredelnice na naslednji strani, da je:

$$\begin{aligned} \frac{at}{x^2} &= 1,099 = \text{Funkc.} \left( \frac{\Delta \vartheta_t}{\Delta \vartheta_p} \right) \\ t &= \frac{x^2}{a} \cdot 1,099 \end{aligned}$$

$\frac{\Delta t}{\Delta p}$	$\frac{a}{x^2}$	$\frac{x}{2 \text{ lat}}$	Opomba
1,000	0	$\infty$	stacionarno stanje
0,999	0,0278	3,0	
0,999	0,0400	2,5	
0,995	0,0625	2,0	
0,966	0,111	1,5	
0,910	0,174	1,2	
0,842	0,250	1,0	
0,820	0,277	0,95	
0,797	0,309	0,90	
0,771	0,333	0,85	
0,742	0,391	0,80	
0,711	0,444	0,75	
0,678	0,510	0,70	
0,642	0,592	0,65	
0,604	0,694	0,60	
0,563	0,826	0,55	
0,521	1,000	0,50	
0,500	1,099	0,477	
0,475	1,23	0,45	
0,428	1,56	0,40	
0,379	2,04	0,35	
0,329	2,70	0,30	
0,276	4,00	0,25	
0,223	6,25	0,20	
0,168	11,10	0,12	
0,112	25,00	0,10	
0,0564	100	0,05	
0,0226	625	0,02	
0,0113	2 500	0,01	
0,0000	$\infty$	0,00	začetek

Zadnja enačba je zelo poučna. Pove nam, da je potrební čas, v katerem doseže splošni val neko globino, odvisen od kvadrata globine, torej: če je plast, ki jo mora toplotni val doseči, 2 - kratna, potrebujemo 4 - kratni čas, ali, če je plast debela namesto

1 mm cel cm, potrebuje toplotni val 100-kratni čas, da jo doseže.

Iz tega se dobro vidi, da je elektroporovno gretje posebno primerno za lepljenje plitvih plasti. Rešitev primera vsebuje tale razpredelnica:

Čas, ki je potreben, da polovična temperaturna razlika doseže naslednje globine:

Material	Baker	Železo	Steklo	Les
a v m <sup>2</sup> /s	1030 · 10 <sup>-7</sup>	161 · 10 <sup>-7</sup>	62 · 10 <sup>-7</sup>	1,4 · 10 <sup>-7</sup>
x = 1 mm	0,0106 sek	0,0677 sek	1,78 sek	7,92 sek
x = 1 cm	1,06 sek	6,77 sek	2,97 min	13,2 min
x = 1 dm	1,78 min	11,3 min	4,95 h	22,0 h
x = 1 m	2,97 h	18,8 h	20,6 dni	91,7 dni

V naslednjem računu bomo določili segrevalne krivulje za debeline od 0,5 do 22 mm za grela z veliko toplotno kapaciteto, ki so termostatsko krmiljena na temperaturo 110°C. Ta primer pride v praksi najčesče v poštveh.

Račun segrevalne krivulje za primer enostransko neskončno razprostrtega telesa iz lesa. Vpliv ima konstantno temperaturo 110°C. Temperatura lesa je 20°C (Δt<sub>sp</sub> = 90°C); vrsta lesa; hrast; smer toplotnega toka: pravokotno na rast; λ = 0,2 W/m°C; c = 2,4 kWh/kg°C; ρ = 800 kg/m<sup>3</sup>.

$$\text{Toplotna vodljivost je } a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} = \frac{0,2}{2,4 \cdot 10^3 \cdot 00} = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$t = \frac{x^2}{a} \text{ Funkc. } \left( \frac{\Delta t}{\Delta t_{sp}} \right)$$

Najprej izračunamo vrednost funkcije Δt/Δt<sub>sp</sub> za temperature 20, 40, 60, 80, 90, 100 in 105°C.

$\Delta t$	$\Delta t_p$	$\Delta t_p / \Delta t$	$\frac{t \cdot a}{x^2} = \text{Funkc.} \left( \frac{\Delta t \cdot t}{\Delta t_p} \right)$
20°C	90°C	1,000	0
40 "	70 "	0,777	0,328
60 "	50 "	0,555	0,859
80 "	30 "	0,333	2,72
90 "	20 "	0,222	6,34
100 "	10 "	0,111	25,3
105 "	5 "	0,0555	114,0

Prav tako izračunamo čase (t) za globino x = 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5 mm. Vrednosti za x moramo izraziti v metrih. Izračun enačbe za čas t in globino x = 0,5 mm je torej:

$$x = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}; x^2 = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2; a = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s};$$

$$x^2/a = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 / 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} = 2,5 \text{ s}$$

$$t = 2,5 \cdot \text{Funkc.} \left( \frac{\Delta t \cdot t}{\Delta t_p} \right)$$

V globini x = 0,5 mm bo nastopila temperatura 40°C po času t = 2,5 · 0,328 = 0,82 s. Če računamo tako, točko za točko, dobimo naslednjo razporednico (glej stran 58!).

Rezultati razporednice s strani 58 so zbrani v diagramu na sliki 21. Vrednosti za čas so v logaritmičnem merilu. Tudi tu se dobro vidi, kako vedno počasneje prodira toplotni val v globino. Da naraste temperatura v 1 mm globoki plasti na 90°C, mine približno 1 min., medtem ko do globine 2 mm potrebuje še cele 4 minute.

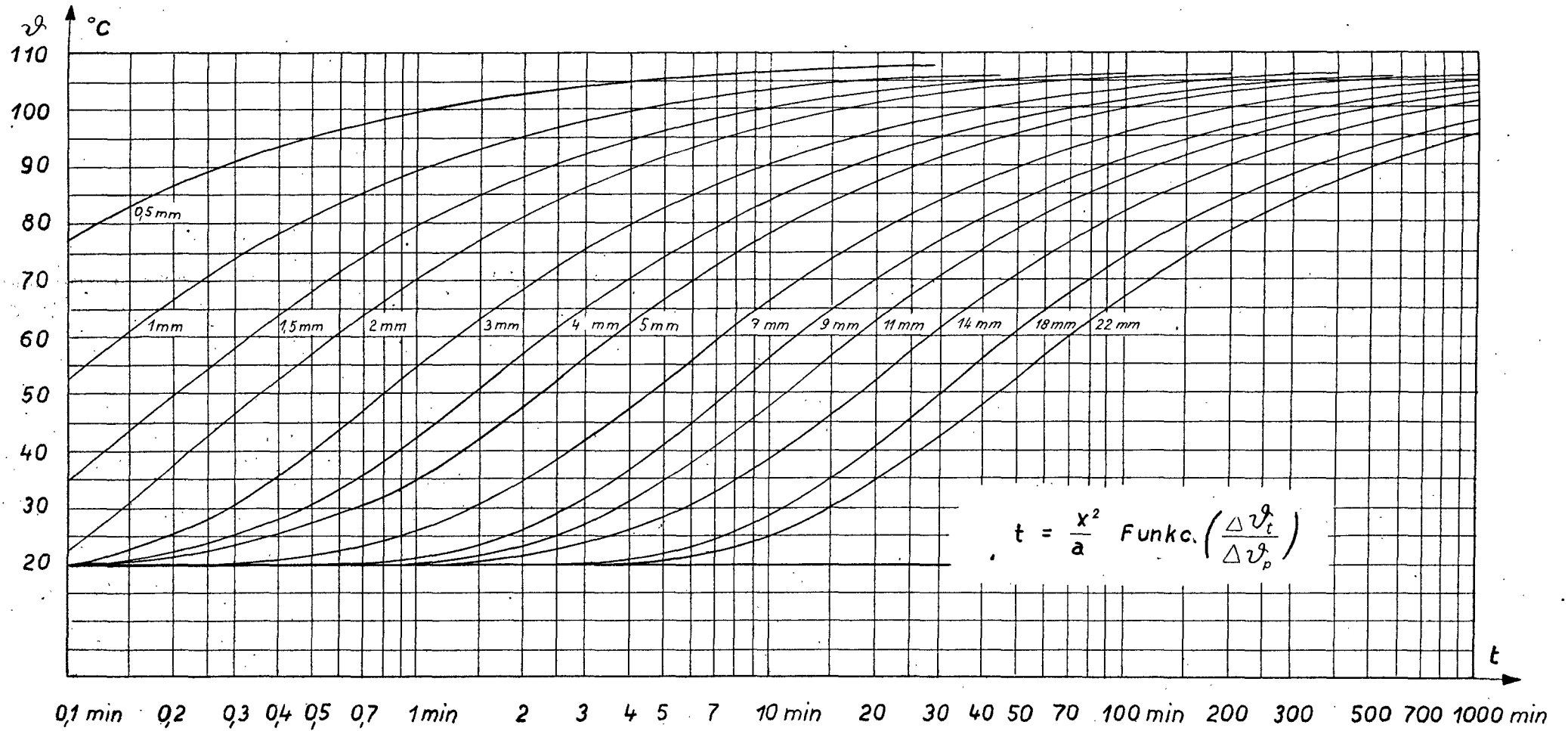
Diagram na sliki 21 se lahko uporablja v večini primerov grel z veliko toplotno kapaciteto, ki delajo s temperaturo 110°C. Preračunan je na podatke za hrastov les, pravokotno na smer rasti, in velja tudi za ostale trde lesove, saj se vrednosti a le malo razlikujejo. Za druge delovne temperature je pač treba ponoviti račun in izdelati podoben diagram.

S pomočjo tega diagrama in diagrama za strjevanje lepila (slika 12) lahko sedaj določimo optimalni čas za strjevanje lepila (2.3.2.3).

Segrevalni časi (t) za različne globine lesnega preseka ter različne temperature, če je temperatura grelne plošče 110°C

x mm	Temperatura po času (t)						
	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	90 °C	100 °C	105 °C
0,5	0	0,82"	2,2"	6,9"	16"	1' 3"	4' 45"
1,0	0	3,3 "	8,5"	27,2"	1' 3"	4' 13"	19'
1,5	0	7,4 "	19,3 "	1' 1"	2' 22"	9' 29"	42' 40"
2,0	0	13,1 "	34,3 "	1' 51"	4' 13"	16' 51"	76'
3,0	0	29,5"	1' 17"	4' 4"	9' 30"	38'	170'
4,0	0	52,4"	2' 17"	7' 16"	17'	67' 30"	304'
5,0	0	1,22"	3' 34"	11' 20"	26' 25"	105' 30"	475'
7,0	0	2' 41"	7' 2"	22' 10"	51' 40"	206' 40"	930'
9,0	0	4' 46"	11' 35"	36' 40"	85' 40"	344'	1533'
11,0	0	6,37"	17' 6"	54' 50"	127' 40"	510'	2300'
14,0	0	10' 44"	28' 8"	88' 40"	206' 40"	826' 40"	3720'
18,0	0	19' 4"	26' 20"	146' 40"	342' 40"	1376'	6132'
22,0	0	26' 28"	68' 24"	219' 20"	510' 40"	2040'	9200'





Segrevalne krivulje za hrastov les  $\lambda = 0,2 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ,  $c = 2,4 \text{ kWs/kg}^{\circ}\text{C}$ ,  $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ ,  $a = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  za primer zelo debelega kosa začetne temperature  $20^{\circ}\text{C}$ , grelo ima temperaturo  $110^{\circ}\text{C}$

Slika 21

2.3.3.2 Širjenje toplote skozi lesni presek pri grelih s srednjo in grelih z majhno toplotno kapaciteto. - Že za preprost primer stalne temperature grela, kakor smo to videli v prejšnjem odseku, je bil potreben dolg račun, da smo dobili segrevalne krivulje, ki so kolikor toliko univerzalne. Za primere grel z majhno toplotno kapaciteto pa bi bil račun neprimerno bolj zamotan in rezultati neuniverzalni, vtem ko so grela s srednjo toplotno kapaciteto največkrat sploh neizračunljiva. Edini izhod je tu električni toplotni model (Beukenov model) ali pa neposredne meritve temperature.

Meritve temperature so še vedno najtočnejša metoda ugotavljanja segrevalne krivulje, kajti pri računu moramo pač karakteristične vrednosti, kot so  $\alpha$  in  $c$ , vzeti iz tabel. Ti podatki pa so običajno neke povprečne vrednosti.

Segrevalno krivuljo ugotavljamo z merjenjem pri vseh tipih grel enako in preprosto tako, da v špranjo, kjer lepimo, vložimo termoelement. Ta je priključen na instrument, ki kaže temperaturo. Po vklopu grela pa potem ko smo na lesno površino pritisnili vročo grelno ploščo, si pričnemo beležiti temperaturo v primernih časovnih presledkih. Tako dobljene vrednosti vnesemo v diagram, ki je že iskana segrevalna krivulja. Potrební čas segrevanja dobimo zopet s pomočjo diagrama za strjevanje lepila (2.3.2.1 do 2.3.2.3).

Več o meritvah temperature glej v naslednjem odseku!

#### 2.3.4 Električne meritve temperature v tehniki uporovnega lepljenja lesa

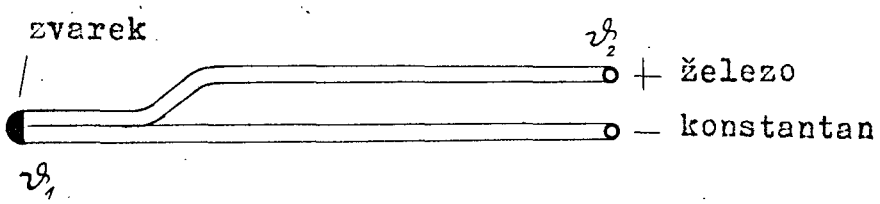
Z navadnimi živosrebrnimi termometri si pri merjenju temperatur pri uporovnem lepljenju ne moremo dosti pomagati, ker so ti termometri preveliki, da bi jih lahko vgrajevali med posamezne plasti ali jih celo stiskali z izdelkom vred. Tudi če bi te termometre vgradili v les, bi nam le-ti popačili toplotno polje in bi bile zato meritve netočne. Termočinske termometre torej uporabljamo le za merjenje okoliške temperature in za umerjanje električnih merilcev temperature, če ti niso že umerjeni.

Edini primeren način merjenja temperature v našem primeru je merjenje s termoelementi. To bomo tu podrobneje opisali.

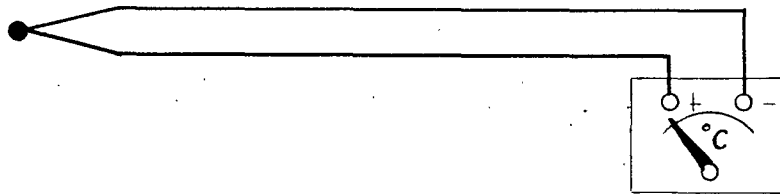
Termoelement predstavljata dva, na enem koncu zvarjena ali tudi mehko ali pa trdo spajkana kraka žic iz dveh različnih kovin (slika 22). Če zvar termoelementa segrevamo, se na pro stih koncih termoelementa pojavi električna napetost, ki je tem večja, čim večja je temperatura zvara. Od zvaraka naprej morata biti kraka termoelementa medsebojno izolirana. Največ se uporabljajo naslednji pari kovin: železo-konstantan (Fe-konst.) baker-konstantan (Cu-konst.) kromnikelj-nikelj (CrNi-Ni), Prvi izmed navedenih krakov je vodno pozitiven, če ima zvarjeni konec termoelementa višjo temperaturo kot pa prosta konca. Nasploh je pri merjenju s termoelementi važna temperaturna razlika med vročim in mrzlim koncem termoelementa. "Vroči konec" imenujemo zvar obeh krakov, ker tega vtaknemo v peč ali tja, kjer pač hočemo meriti temperaturo, "mrzli" pa prosta konca, čeprav ima lahko "vroči" konec nižjo temperaturo kot pa mrzli, kadar merimo nizke temperature!

Prosta konca termoelementa priključimo na milivoltmeter ali pa na instrument, ki ima že izčrtano skalo v  $^{\circ}\text{C}$ . Glej sliko 23!

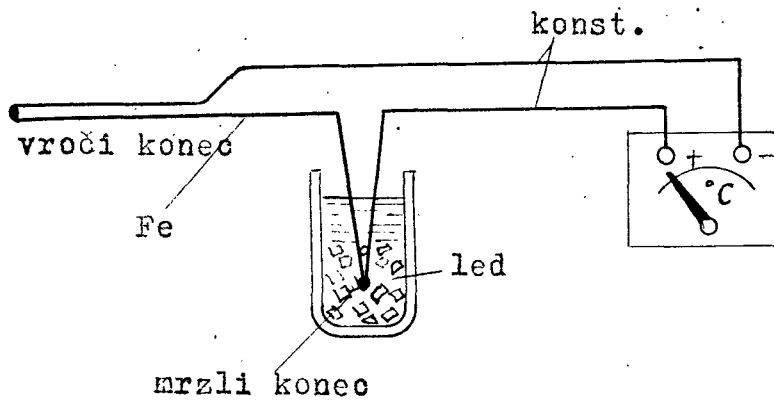
Za točne meritve peljemo prosta konca termoelementa v posodo s talečim se ledom (termos-steklenica), da imamo mrzli konec na neki stalni



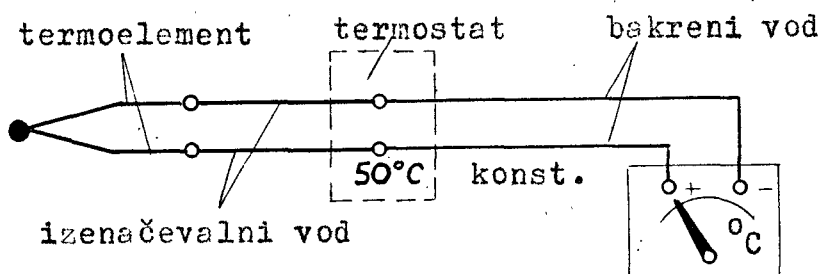
Sl. 22 Termoelement



Sl. 23 Priklöp termoelementa na instrument za merjenje temperature



Sl.24 Priklöp termoelementa za točnejše meritve



Sl. 25 Vezava termoelementa in izenačevalnega voda

temperaturi (slika 24); za kolikor se namreč spreminja temperatura okolice, kjer je mrzli konec termoelementa, za toliko se tudi razlikuje odčitek na instrumentu od prave temperature. V bližini pečali grelnih naprav pa so lahko te spremembe in napake zelo velike. Slika 24 kaže, kako priključimo termoelement Fe-konst., če hočemo imeti mrzli konec v talečem se ledu.

Če imamo instrument za merjenje temperature daleč od merilnega mesta, podaljšamo termoelement s tako imenovanim izenačevalnim vodom, ki ima iste termonapetosti kot termoelement, in z bakrenim vodom. Slika 25 kaže priklop instrumenta za merjenje temperature na termoelement preko izenačevalnega in bakrenega voda. Mrzli konec termoelementa je v tem primeru na koncu izenačevalnega voda, tam, kjer nanj priklopimo bakreni vod. Da bi bil mrzli konec termoelementa na konstantni temperaturi, je v tem primeru v termostatu, ki drži vedno konstantno temperaturo mrzlega konca (običajno  $50^{\circ}\text{C}$ ). Ker je izenačevalni vod dražji od bakrenega voda, ga napravimo le toliko dolgega, da pridemo iz območja višjih temperatur, da lahko tam namestimo termos tāt, posodo z ledom, ali pa da je tam že okoliška temperatura kolikor toliko konstantna.

Za nizke temperature, kot jih srečujemo pri uporovnem lepljenju, uporabljamo izključno železo-konstantan termoelemente, ki imajo največjo termonapetost. Pri temperaturi  $+100^{\circ}\text{C}$  ima termoelement Fe-konst.napetost 5,37 mV, če ima mrzli konec temperaturo  $0^{\circ}\text{C}$  (taleči se led), ali 2,72 pri  $50^{\circ}\text{C}$  (termostat) temperature mrzlega konca.

Pri nabavi termoelementov bi si z navadnimi komercialnimi termoelementi, ki imajo debelino 1 ...3 mm, ne mogli pomagati. Nabaviti je treba žico Fe in konstantan (speciālna za termoelemente) v inozemstvu. Izdeluje jo na primer firma Degussa, Hanau, Zapadna Nemčija. Žica je že lakirana in izolirana s svilo, če takšno zahtevamo. Da bi se izognili inozemskim nabavam, priporočamo nabavo nekaj metrov pletenega izenačevalnega voda Fe-konst. (vrvica!), na primer v tovarni "Iskra" v Kranju. Obema žilama

izenačevalnega voda pazljivo odstranimo izolacijo ter posamezne preme-  
ne, ki so debeli 0,2 mm, spajkamo v termoelemente. V eni vrvici je o-  
krog 50 takšnih pramenov. Ker so ta pramena gola, jih moramo potegniti  
v čim tanjše bužir cevke (0,5 mm ali še manj). Če merimo temperature v  
plasti lepila, lahko uporabljamo gole krake. Pri tem moramo paziti, da  
se že blizu zvara kraka oddaljita vsaj za 10 cm vsaksebi, da ne bi za-  
radi stika po mokrem lepilu prišlo do napačnih odčitkov. Razdalja 10 cm  
predstavlja že tolikšen upor, da ne vpliva zaznavno na meritev.

Termonapetosti, ki so velikostnega reda le nekaj tisočink volta, meri-  
mo z zelo preciznimi instrumenti. Na srečo se ti instrumenti dobe že na  
domačem trgu - izdeluje jih tovarna "Iskra" v Kranju. Instrumenti imajo  
lahko skalo že izpisano v stopinjah Celzija, če to naročimo. Pri naro-  
čilu moramo navesti še nekaj dodatnih podatkov, zato še prej nekaj o  
teh instrumentih.

Obstajata - in tudi tovarna "Iskra" jih izdeluje - dve vrsti instrumen-  
tov za merjenje termonapetosti, in sicer:

2.3.4.1 Milivoltmetri v izvedbi kot navadni kazalni instrumenti z vrtljivo tu-  
ljavico. - Če hočemo imeti skalo, izpisano v stopinjah Celzija, moramo  
pri naročilu navesti, da bomo instrument rabili v kombinaciji s termo-  
elementom Fe-konst., skala pa naj ima območje do 150°C. Ker v termoele-  
mentu samem in v dovodih nastopajo zaradi merilnega toka padci napeto-  
sti, moramo navesti tudi upornost termometerskega kroga. Pod upornostjo  
termometerskega kroga razumemo vse upornosti: termoelement, morebitni ize-  
načevalni in bakreni vod do sponk instrumenta. Za naš primer, kjer mo-  
ramo imeti zelo tanke termoelemente, zahtevajmo instrument za upornost  
termometerskega kroga 20 ohmov! V tem primeru bomo lahko uporabljali ter-  
moelement Fe-konst. s premerom krakov  $\phi = 0,2$  mm in dolžino 1 m. Pri  
 $\phi = 0,3$  mm bo termoelement že lahko dolg 225 cm. S tem je podana mož-  
nost, da ob priliki meritve temperature v plasti lepila termoelement  
odstrižemo in ga pustimo v izdelku, preostalega pa vnovič zvarimo ali

zlotamo ter ga uporabimo za naslednjo meritev. Če delamo tako, bo imel vsak naslednji termoelement manjšo upornost in instrument bo kazal višjo temperaturo kot pa je v resnici.

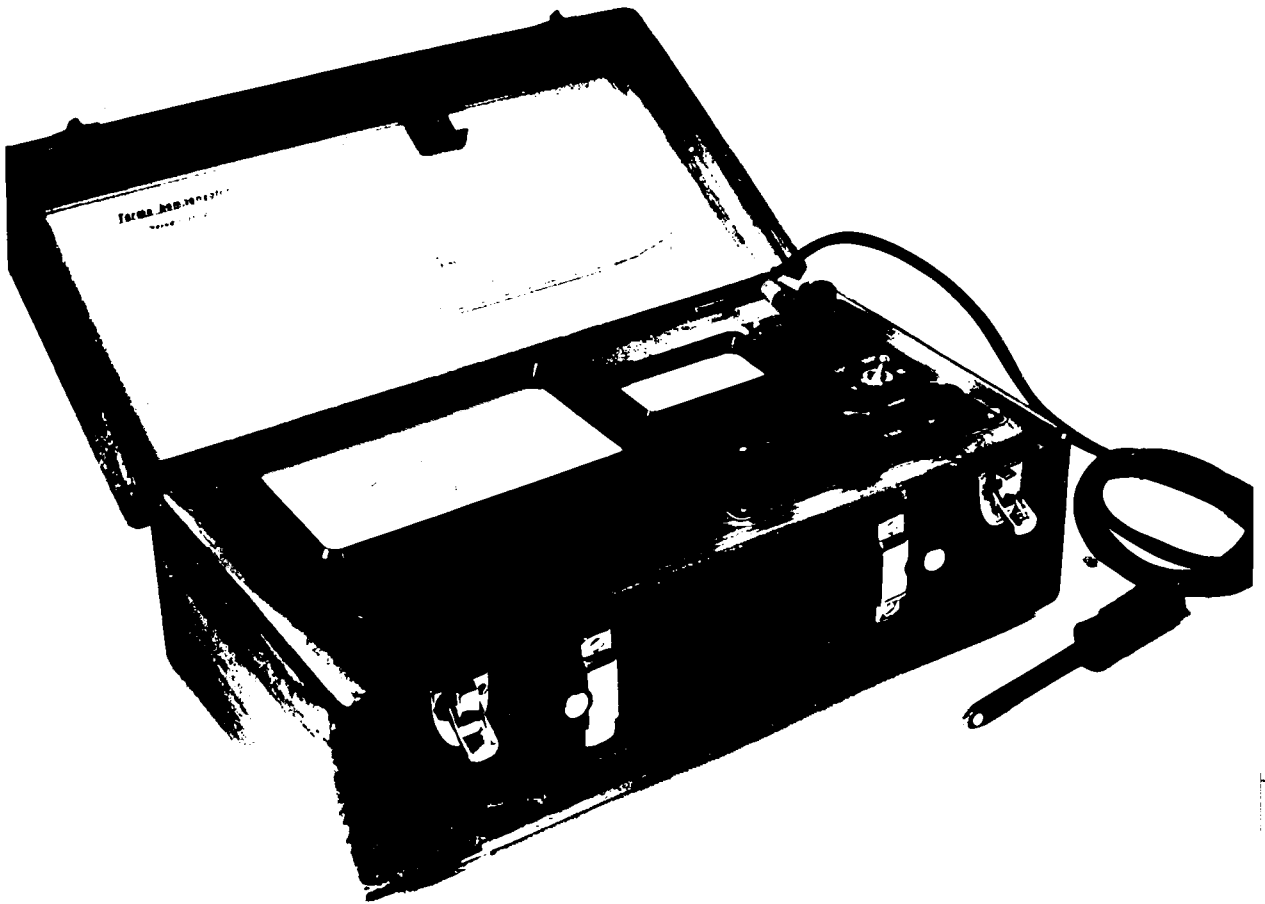
Zaradi tega moramo v termometrski krog vključiti še dodatni korekcijski upor, ki ga vsakokrat nastavimo tako, da ima termometrski krog na instrumentu zahtevano upornost (v našem primeru na primer 20 ohmov). Slika 26 kaže shematično, kako vključimo korekcijski upor v termometrski krog.

Pri naših kontrolnih meritvah in snemanjih karakteristik ne bomo potrebovali izenačevalnih vodov, ampak bomo raje jemali daljše termoelemente in jih priključevali direktno na bakreni vod ali pa na instrument. Elini nevšečnost, ki se je ne moremo znebiti, je ugotavljanje upornosti termometriškega kroga in nastavljanje korekcijskega upora.

Pri naročilu instrumenta tudi ne smemo pozabiti navesti, pri kateri temperaturi naj bo začetek skale. Če imamo hladni konec v talečem se ledu, zahtevamo začetek pri  $0^{\circ}\text{C}$  (za laboratorijske namene), če ga imamo v termostatu (za stalne obratne meritve), zahtevamo začetek skale pri temperaturi termostata (običajno pri  $50^{\circ}\text{C}$  - takih termostatov še ne izdelujemo doma), če pa pustimo hladni konec kar na prostem (pri kontrolnih merjenjih), zahtevamo začetek skale pri  $20^{\circ}\text{C}$ . Ako je v tem zadnjem primeru ob priliki meritve temperatura hladnega konca na primer za  $5^{\circ}\text{C}$  nad  $20^{\circ}\text{C}$ , korigiramo napako tako, da odčitku na instrumentu dodamo  $5^{\circ}\text{C}$  in dobimo pravo temperaturo. Če pa je temperatura hladnega konca pod  $20^{\circ}\text{C}$ , razliko od odčitka odštejemo. Instrumenti z vrtljivo tuljavico za merjenje termonapetosti, ki jih izdeluje tovarna "Iskra" stanejo okrog 25 000 dinarjev.

2.3.4.2 Kompenzatorji napetosti ne zahtevajo določene upornosti termometriškega kroga, ker merijo termonapetosti tako, da po termometriškem krogu ne teče nikak tok. Tako tudi ne nastopajo napetostni padci in lahko upo-

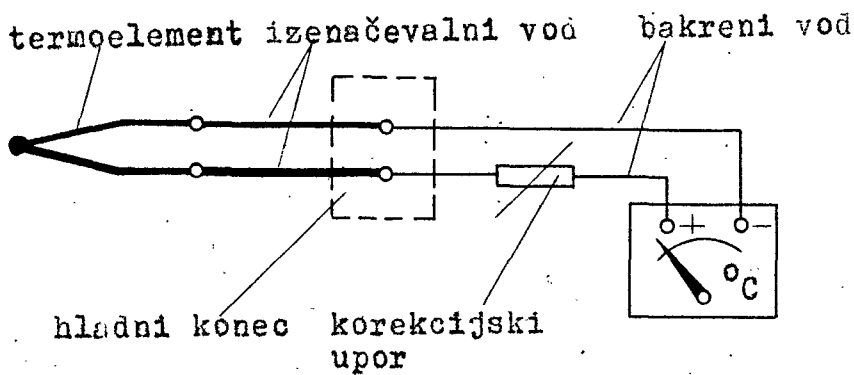
rabljamo poljubno dolge in debele termoelemente, r da bi se pojavili zaradi tega napačni odčitki. Korekcijski upor in umerjanje tega tudi odpade, kar je velika prednost pred kazalnimi instrumenti z vrtljivo tu-ljavico. Merjenje s temi instrumenti je hitro in natančno.



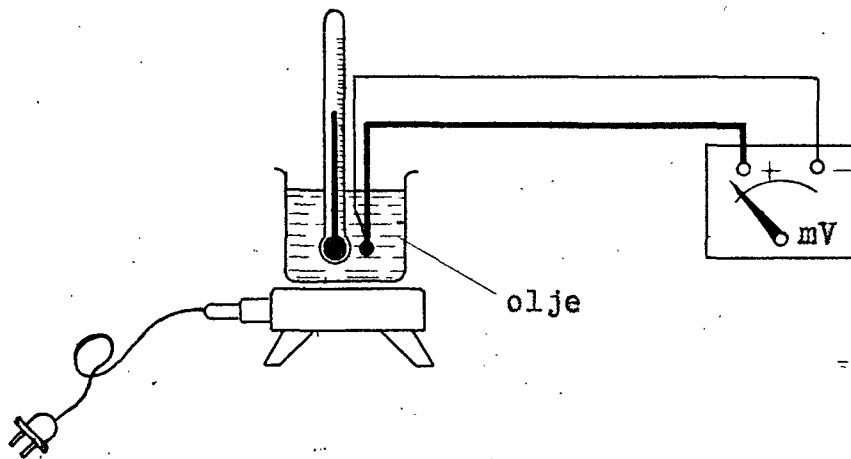
Slika 27. - Kompenzator sistema Lindeck-Rothe za merjenje temperatur. Izdelek tovarne "Iskra", Kranj.

Za korekcijo temperature hladnega konca je vgrajen živosrebrni termometer. Slika 27 kaže k mpenzator sistema Lindeck-Rothe, izdelek tovarne "Iskra" v Kranju. Pri naročilu instrumenta je treba navesti vrsto termoelementa, s katerim nameravamo meriti (Fe-konstantan) in merilno območje (n.pr.  $150^{\circ}\text{C}$ ). Lahko zahtevamo tudi več območij, kar bistveno ne podraži instrumenta. Cena takega instrumenta je približno 130 000 din.

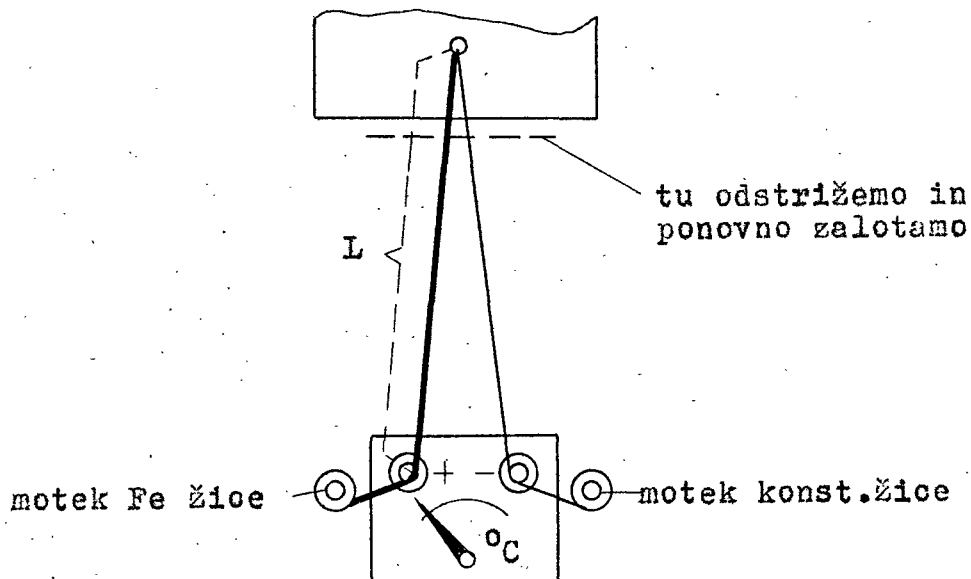




Sl. 26 Termometerski krog s korekcijskim uporom



Sl. 28 Umerjenje termoelementa /pri temperaturi okolice 20°C/



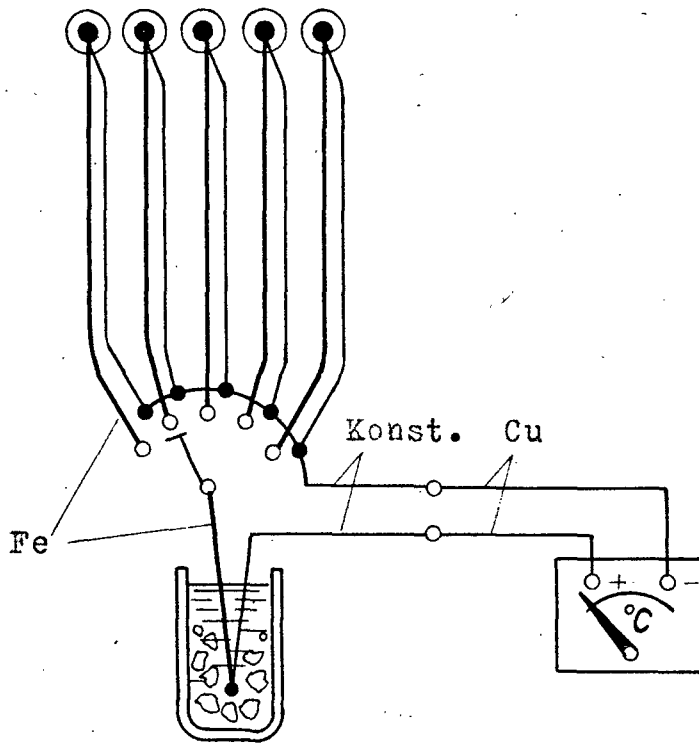
Sl. 29 Meritev temperatur "z neskončnim" termoelementom

2.3.4.3 Umerjanje termoelementov. - Termoelement ali instrument umerimo, če dobimo nov material za termoelemente ali pa če imamo skalo instrumenta izpisano v kakšnih drugih enotah. Umerjamo tako, da potopimo termoelement v posodo z oljem, ki ga segrevamo. Temperaturo olja merimo z običajnim živosrebrnim termometrom ter si zapisujemo odklone instrumenta in pripadajoče temperature (slika 28). Olje uporabljamo zaradi tega, da lahko segrevamo tudi nad  $100^{\circ}\text{C}$ , česar z vodo ne moremo. Paziti moramo, da sta termometrov rezervoarček živega srebra in pa uvar termometra čim bliže drug drugemu. Najbolje je, če ju zvežemo skupaj. Paziti moramo tudi na to, da sta kraka termoelementa od zvara naprej medsebojno izlirana in da segrevanje ne poteka prehitro. Živosrebrni termometer ima običajno višjo toplotno kapaciteto in se zato segreva počasneje kot termoelement. Zaradi tega lahko nastanejo nepotrebne napake. Najbolje je, če delamo odčitke takrat, ko se posoda z oljem ohlaja. Po tako dobljenih podatkih lahko izčrtamo skalo v  $^{\circ}\text{C}$  ali pa napravimo diagram, ki ga nato pri meritvah uporabljamo za določanje temperature.

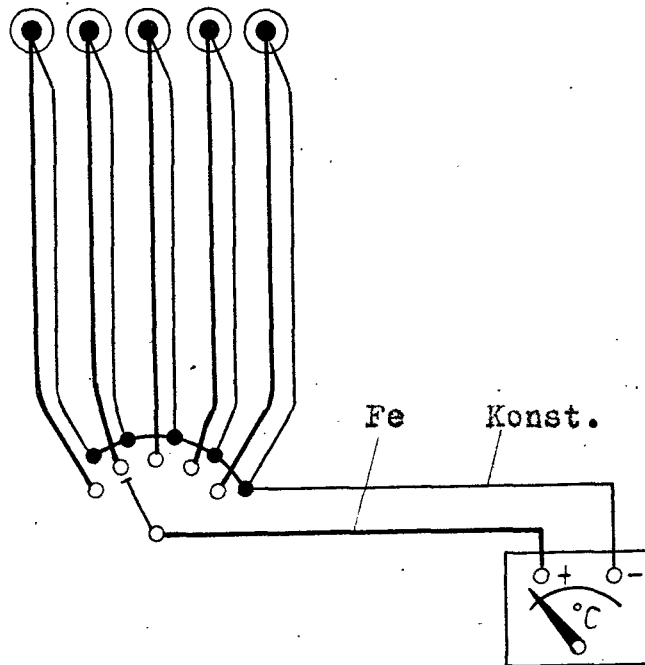
Če smo umerjali termoelement z milivoltmetrom z vrtljivo tuljavo, mora pri meritvah temperature ostati dolžina termoelementa velno ista, če pa se le-ta skrajša, moramo dodati upor, tako da ostane upornost termometerskega kroga ista. Pri merjenju s kompenzatorjem upornost termometerskega kroga ni važna.

Vsakega termoelementa nam ni treba posebej umerjati, če so si le-ti popolnoma enaki (ista debelina žil, ista dolžina, isti material). Ker so termonapetosti žic za termoelemente normirane, lahko kombiniramo celo materiale različnih firm, vendar to ni priporočljivo.

2.3.4.4 Merjenje temperatur. - Samo merjenje temperatur s termoelementi je potem preprosto. Termoelement vložimo v rego, kjer nameravamo meriti temperaturo, in nato v primernih časovnih presledkih odčitavamo odčitke na instrumentu ter istočasno beležimo čas in temperaturo. Če meri-



Sl. 30 Večpolni preklopnik za termoelemente. Mrzli konec je v talečem se ledu



Sl. 31 Večpolni preklopnik s termoelementi in instrumentom

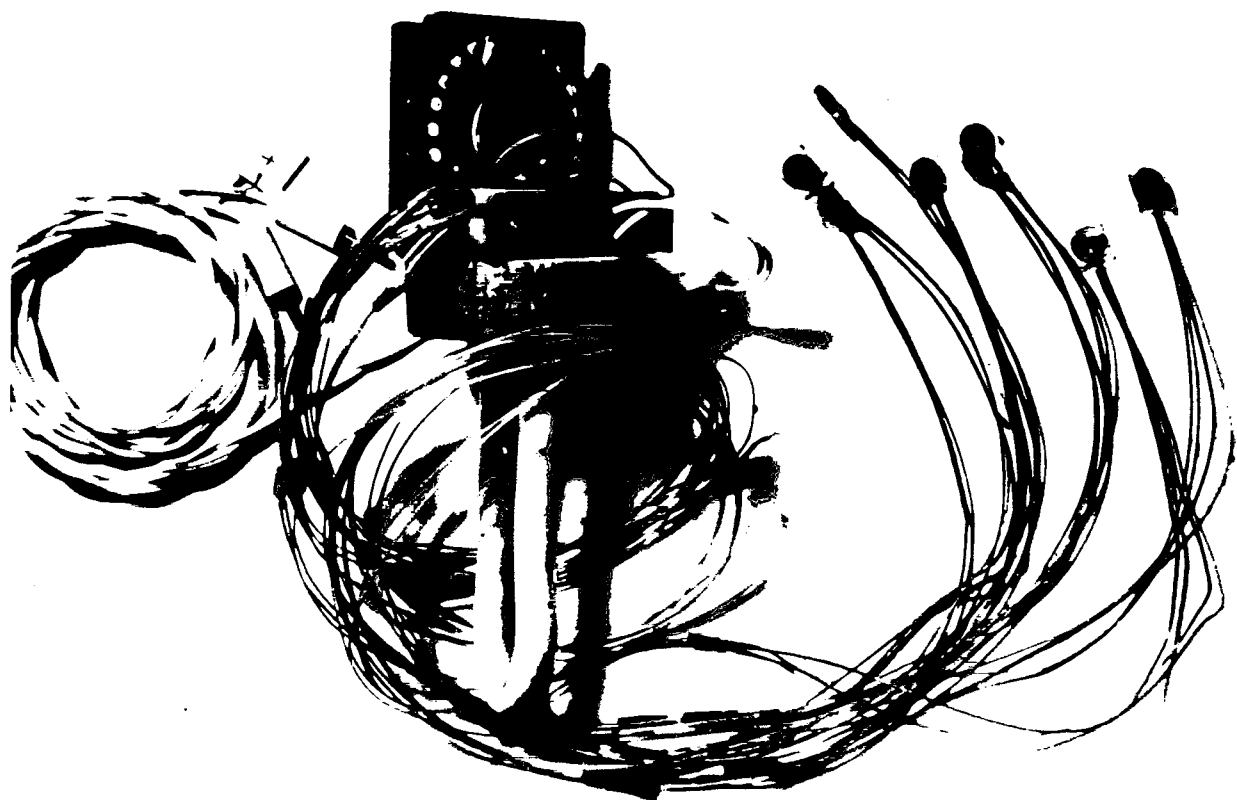
mo temperaturo v plasti lepila, bomo po končani meritvi pustili termoelement kar v izdelku. Pri robu ga bomo odstrigli. Da ne bi za vsako meritev metali preostalih koncev termoelementov proč, smo to v Laboratoriju za elektrotermijo v Ljubljani rešili tako kot kaže slika 29. Motka z navito žico za termoelemente pritrdimo k instrumentu tako, da gresta oba kraka neprekinjeno skozi sponko. Ko odstrižena konca ponovno zlotamo, popustimo sponki na instrumentu in podaljšamo termoelement zopet na prvotno dolžino  $l$ , ki zagotavlja zahtevano upornost termometerskega kroga.

Če hočemo meriti temperature na več mestih hkrati (da bi ugotovili enakomernost segrevanja na različnih mestih kalupa ali na različnih ploščah), uporabimo za to več polni preklopnik. Slika 30 kaže vezalno shemo takšnega preklopnika, če imamo skupni mrzli konec termoelementov v talečem se ledu, in slika 31, če je le-ta prosto v zraku.

Slika 32 je fotografija takšnega preklopnika, ki je montiran kar na zamašek termos-steklenice.

Namesto preprostih zvarov vročega konca v obliki kroglice so tu kraki vdelani v okrogle ploščice iz tanke bakrene pločevine. Tako je toplotni kontakt boljši. Ti termoelementi so posebej prirejeni za merjenje površinskih temperatur.

Glej tudi indirektno merjenje temperatur v odseku 4.1.5.1!



Slika 32. - Večpolni preklopnik s termoelementi za merjenje površinskih temperatur. Preklopnik je montiran na zamašku termos steklenice s širokim vratom.

#### 2.3.5 Segrevalni časi - izkustveni podatki in napotila. Aproximativni računi

Čas, ki je potreben za strjevanje lepila, to je čas, ko morata biti predmeta, ki ju lepimo, stisnjena, se giblje od 3 minut do nekako 20 minut, če uporabljamo običajno urea-formaldehidno lepilo. Ta čas je seveda odvisen od vrste faktorjev. Ti so: vrsta lepila, globina plasti, ki jo lepimo, vrsta lesa, temperatura in časovna odvisnost temperature grela, vrsta grela. Seveda ves čas, ko se lepilo strjuje, grelo ni vklopljeno. Grelo največkrat že pred koncem dobe izklopimo in izrabljamo za dokončno strjevanje akumulirano toploto. Pri grelih s srednjo specifično močjo bo razmerje obeh časov na primer takšno: 60% ce-

lotnega časa so grela vklopljena, 40 % tega časa pa so izključena ali pa jim je zmanjšana moč na polovično ali četrtinsko vrednost. Vse je seveda odvisno od vrste grel, zato si oglejmo razmere pri vseh treh vrstah grel!

Grel z veliko toplotno kapaciteto pred koncem posameznega cikla ne izklapljam. Ta grela imajo običajno termostatsko regulacijo temperature in se izklapljuje samodejno, kadar pač pade temperatura pod nastavljeno vrednost. Ta grela delajo s konstantno temperaturo, segrevalni časi se precej natanko skladajo s podatki iz odseka 2.3.3. Če so pavze med posameznimi cikli daljše kot to zahteva zgolj izmenjava kosa, je zelo priporočljivo, da se medtem stiskalnica stisne, da se ne bi grelne plošče hladile in se energija po nepotrebem izgubljala.

Naj navedemo nekaj izkustvenih podatkov za segrevalne čase pri delu z greli z veliko toplotno kapaciteto!

1. P r i m e r . Pri furniranju ohišij omaric za radijske sprejemnike je bilo uporabljeno termostatsko krmiljeno grelo s stalno temperaturo  $150^{\circ}\text{C}$ . Hkrati se je furniralo šest zgornjih delov ohišij. Izkoriščana je bila zgornja in spodnja stran grela. Tri omarice so pritiskali na zgornjo plast grela in tri na spodnjo. Tako je bil toplotni izkoristek maksimalen. Furnirani deli omaric so bili iz vezanega lesa celokupne debeline 9 mm. Proces lepljenja je bil končan v treh minutah.

2. P r i m e r . Pri furniranju notranjosti omaric za radijske aparate z 2,8 mm debelim furnirjem iz hrasta ali mahagonija so uporabljali isto termostatsko krmiljeno grelo temperature  $150^{\circ}\text{C}$ .

Čas strjevanja je bil 8 minut.

3. P r i m e r . Pri izdelavi naslanjal za stole je bila sestava plasti naslednja: 4 mm debelo sredico iz brezovega lesa dimenzije 59.41 cm je bilo treba z obeh strani oblepiti s 4 kosi 1 mm debelega brezovega furnirja dimenzij 21 . 41 cm. Termostatsko krmiljeni kalup je imel temperaturo  $100^{\circ}\text{C}$ . Proces lepljenja je bil končan v 8 minutah.

Pri grelih z nizko toplotno kapaciteto je hitrost dviga temperature na posameznih mestih preseka odvisna

od specifične moči grel. Navajamo nekaj rezultatov meritev temperatur za grela z majhno toplotno kapaciteto.

l. p r i m e r . Slika 33. - Na sredico debeline 12,5 mm lepimo obojestransko furnir debeline 1,6 mm. Termoelementi so vloženi na naslednja mesta: prvi neposredno med grelo in furnir, drugi v lepilo - to je 1,6 mm globoko, tretji pa v sredino sredice - to je 7,8 mm pod površino.

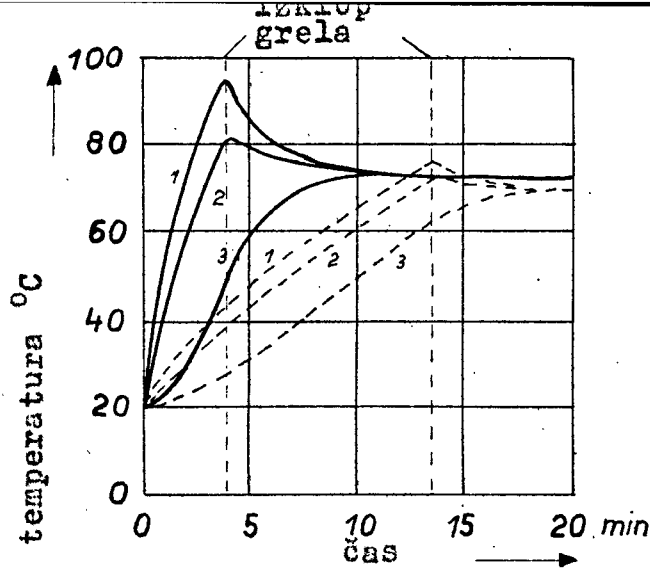
Takoj po vklopu napetosti grelom (slika 33) se je pričela temperatura grela (termoelement št. 1) dvigati, z malenkostno zakasnitvijo tudi temperatura v plasti lepila (št. 2), precej kasneje pa prične rasti temperatura v sredini sredice (št. 3). Ko po 4 minutah grelo izklopimo, prične temperatura grela takoj padati. Temperatura lepila še nekaj trenutkov raste, nato prične tudi ona padati, v tem ko temperatura v sredini še dolgo po izklopu grel namšča. Temperatura se je v vseh točkah stacionirala pri približno  $75^{\circ}\text{C}$ .

Specifična moč grel je bila pri prvem poskusu  $6\,500\text{ W/m}^2$ , pri drugem pa je bila napetost grelom znižana na polovično vrednost (preklop obeh grel iz vzporednega v zaporedni stik), zato je specifična moč padla na eno četrtino - to je  $1\,620\text{ W/m}^2$  (črtkane krivulje).

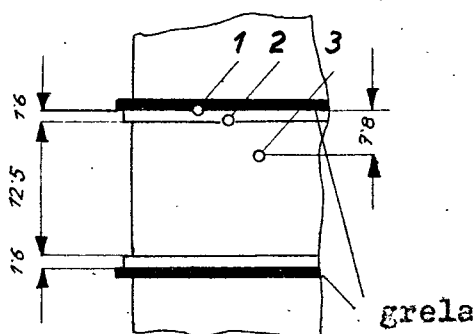
Če si natančno ogledamo diagram 33, ugotovimo naslednje:

	Specifična moč grel	
	$6\,500\text{ W/m}^2$	$1\,620\text{ W/m}^2$
Globina lepljene plasti	1,6 mm	1,6 mm
Čas dviganja temperature	3,8 minut	14 minut
Dvig temperature za	$61^{\circ}\text{C}$	$56^{\circ}\text{C}$
Povprečna hitrost dviganja temperature	$16^{\circ}\text{C/min.}$	$4^{\circ}\text{C/min.}$
Povprečna hitrost dviganja temperature na $1000\text{ W/m}^2$ specifične moči	$\text{ca. } 2,5^{\circ}\text{C/min/}$	$\text{ca. } 2,5^{\circ}\text{C/min!}$

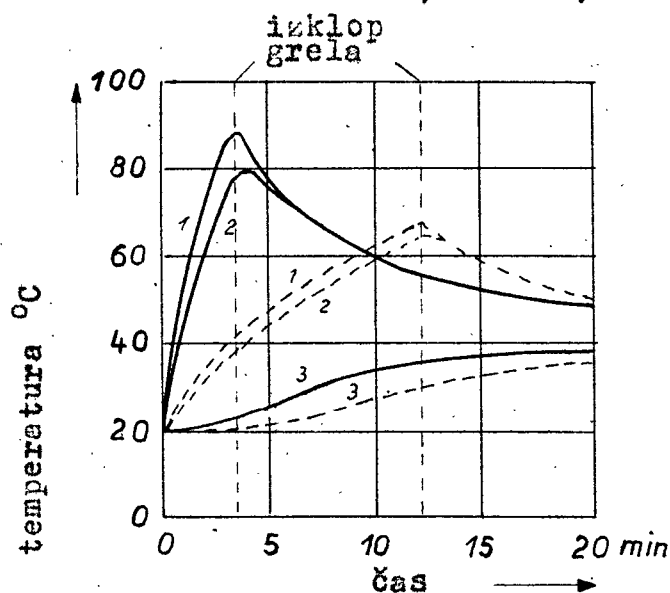
S pomočjo te tabele, ki je rezultat meritev, pridemo do važne ugotovitve: Pri grelih z majhno toplotno kapaciteto je povprečna hitrost dviganja temperature približno  $2,5^{\circ}\text{C/min}$  za vsakeh  $1000\text{ W/m}^2$  specifične moči. To empirično pravilo velja za globino 1,6 mm in je torej uporabno za vse vrste furnirja do te globine. Časi za plitvejšje plasti se od te vrednosti ne razlikujejo dosti. Ta empirični podatek uporabljamo za določanje



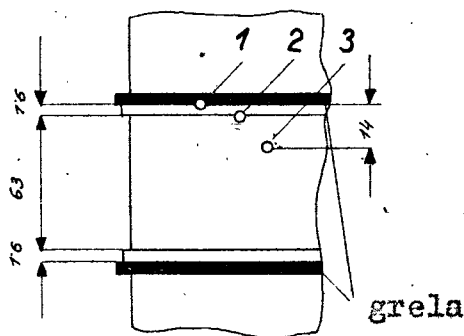
Položaj termoelementov



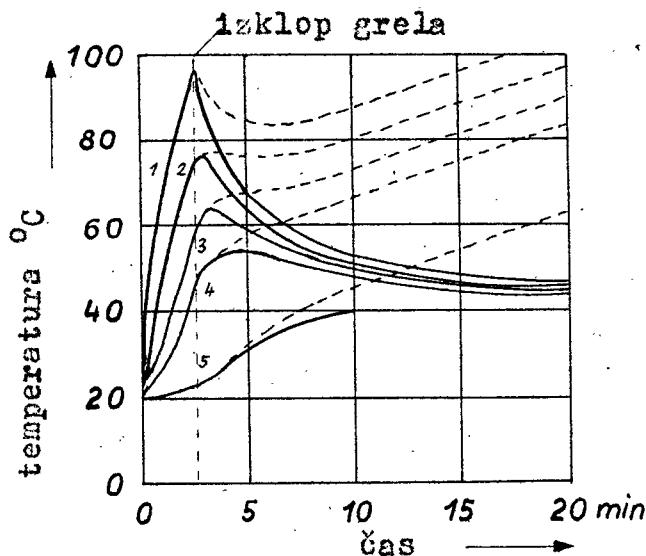
Sl. 33 Segrevalna in ohlajevalna krivulja za panelko debeline 15,7 mm. Specifična moč grel: 6500 W/m<sup>2</sup> /izvlečeno/, 1620 W/m<sup>2</sup> /črtkano/



Položaj termoelementov



Sl. 34 Segrevalna in ohlajevalna krivulja za panelko debeline 66,2 mm. Specifična moč grel: 6500 W/m<sup>2</sup> /izvlečeno/, 1620 W/m<sup>2</sup> /črtkano/



Sl. 35 Segrevalne in ohlajevalne krivulje za panelko debeline 66,2 mm. Črtkane krivulje kažejo časovni potek temperature, če se moč grel zmanjša na 1/4, namesto, da se jih izklopi. Termoelementi so v globinah: 1-na grelu, 2-1,6 mm 3-3,2 mm, 4-5 mm, 5-13 mm



časa strjevanja lepila, če ne moremo izmeriti temperatur v plasti lepila. Za večje globine so seveda druge vrednosti.

S slike 33 tudi vidimo, da je bila v prvem primeru (obratovanje s  $6500 \text{ W/m}^2$ , 4 minute) porabljena skoro ista množina električne energije kot v drugem ( $1620 \text{ W/m}^2$ ) in 14 minut). Dosežena je bila v obeh primerih ista končna temperatura, in vendar je proces lepljenja v prvem primeru neprimerno preje končan. Pri debelih panelkah dosežemo z velikimi specifičnimi obremenitvami krajše strjevalne čase ob isti porabi električne energije. Priporoča se ca.  $400 \text{ W/m}^2$  s hitrostjo dviganja temperature  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ .

2. primer. Kot v prvem primeru, imamo tudi tu grela specifične moči  $6500 \text{ W/m}^2$  v prvem in  $1620 \text{ W/m}^2$  v drugem primeru. Zmanjšanje moči na  $1/4$  prvotne vrednosti dosežemo tudi tu z zmanjšanjem napetosti na polovico s tem, da preklopimo dve greli iz paralelne v zaporedno vezavo. Razlika je tu le v debelini panelke, ki je v tem primeru debela  $66,2 \text{ mm}$  (slika 34).

Vidimo, da se dviga temperatura na grelni plošči in v lepilu približno tako naglo kot v prvem primeru (slika 33), toda ko se tok izklopi, padajo temperature mnogo hitreje, ker se toplota odvaža v prerez, ki je tu mnogo debelejši. Če bi sedaj s pomočjo diagrama (slika 12) za strjevanje lepila (odsek 2.3.2.3.) določali za gornje krivulje potrebni čas za stoo odstotno strjevanje lepila, bi prišli do zaključka, da so za večje debeline panelk primernejše večje specifične moči grel.

3. primer. Slika ponazarja segrevalne in ohlajevalne krivulje za panelko debeline  $66,2 \text{ mm}$  za točke: 1 - na grelu; 2 - v globini  $1,6 \text{ mm}$ ; 3 - v globini  $3,2 \text{ mm}$ ; 4 - v globini  $5 \text{ mm}$  in 5 - v globini  $13 \text{ mm}$ .

Šrtkane krivulje ponazarjajo časovni potek temperature, če po preteku  $3,8$  minute preklopimo greli na polovično napetost (četrtinsko moč), namesto da bi ju izklopili. S slike je razvidna velika prednost preklopljanja grel na manjšo moč, ker dobimo tako izredno lep časovni potek temperature, da dobimo krajšo dobo strjevanja lepila.

Za grela s srednjo toplotno kapaciteto ne navajamo nikakih izkustvenih podatkov, in to zaradi velikih razlik v konstrukcijah. Podatki različnih avtorjev se razlikujejo tudi za  $100\%$  in več.

Sedaj, ko poznamo toplotne lastnosti grel, nam bodo te velike razlike

razumljive. Edina metoda, ki nam tu lahko da za naše grelo optimalen rezultat, je mersko določanje segrevalne krivulje in izračun časa za 100% strjevanje lepila.

5 Določanje specifičnih moči grel ( $W/m^2$ ), potrebnih za doseg zahtevanih temperatur pri različnih vrstah grel

Vsekakor najbolj karakterističen in najuporabnejši podatek vsakega grela je njegova specifična moč - to je moč na enoto grelna površina.

Specifična moč, ki jo navajamo v  $W/m^2$ , je podana z izrazom:

$$p = \frac{P}{S}$$

kjer je:

P = celotna moč grela v W;

S = površina tistega dela grela, ki oddaja toploto, v  $m^2$ ;

p = specifična moč grelna površina v  $W/m^2$ .

V literaturi se p večkrat navaja tudi v  $W/cm^2$ , zato je za predračun treba upoštevati:  $1\ 000\ W/m^2 = 0,1\ W/cm^2$ .

Med tem ko je P veličina, ki je enoumno podana z električno močjo, pri-tekajočo v grelo in je lahko merljiva, je S največkrat problematična. Grelo, ki naj bi oddajalo toploto le v predmet, ki se lepi, jo oddaja del tudi v kalup. Procentualni del, ki odpade na kalup, je največkrat neznan, in kar je še slabše - menja se s časom. V začetku, ko je stiskal- nica še mrzla, se za ogrevanje kalupov porablja mnogo več dotekajoče e-nergije kot pa pozneje, ko so ti že topli in ko se pretežni del proizve-dene toplote usmerja v izdelek. Tudi različno dolge pavze med posamezni-mi cikli spreminjajo to razdelitev energijskega toka. Preprosteje pa je pri lamelnih grelih, kjer obe strani grela oddajata toploto v izdelek. Nastane torej vprašanje, katere grelna površine vzamemo v poštev za ra-čun specifične moči? Odgovor: Za račun specifične moči upoštevamo celotno stran (strani) grela, ki je obrnjena proti izdelku. Pri lamelnih kon-strukcijah upoštevamo torej obe strani grela, pri kalupih pa samo eno.

Kako je temperatura na posameznih točkah lesnega preseka odvisna od specifične moči grel, oziroma od temperature grel in časa segrevanja, smo obravnavali že v prejšnjem poglavju za vsak tip grela posebej; na tem mestu hočemo določiti le najprimernejše specifične moči za posamezne tipe grel.

Večje specifične moči volimo, kadar hočemo doseči krajše čase strjevanja, s tem pa se seveda dražijo naprave za preskrbovanje z električno energijo, transformatorji, vodi itd. Tudi prispevek za povečano energijsko konico (ki je zabeleži števec z maksigrafom) moramo upoštevati. Prispevek za 1 kW konice stane pri meritvah na nizkonapetostni strani sedaj 1 400 din. Če bi na primer pri neki stiskalnici s  $6 \text{ m}^2$  grelnih površin brez potrebe dvignili specifično moč grel od  $1 500 \text{ W/m}^2$  na  $4 500 \text{ W/m}^2$ , bi samo na prispevku za povečano konico plačali mesečno 25 000 din več, ali letno 200 000 din, in to samo pri eni stiskalnici. Pri tem niso vračunani kapitalni stroški. P o r a b a e l e k t r i č n e e n e r g i j e (v  $\text{kWh/m}^2$  izdelka) je, kot smo videli v prejšnjem poglavju, v glavnem enako velika, ne glede na specifično moč grel. Zaradi povečanja priključne moči (konice) rastejo stroški za električno energijo s specifično močjo grel. Kolikor stiskalnice ne predstavljajo ozkih proizvodnih grl, priporočamo spodnje méje specifičnih moči grel. Pravilo je: N a j u g o d n e j š a i n n a j b o l j e k o n o m i č n a j e t i s t a s p e c i f i č n a m o č g r e l , k i z a g o t a v l j a n e p r e k i n j e n o o b r a t o v a n j e s t i s k a l n i c .

Vsakdo si pač mora za svoj obrat določiti svoje optimalne vrednosti. V nadaljnjem navajamo območja, v katerih naj bi se te vrednosti gibale. Sčasoma, ko se proizvodnja poveča in postanejo stiskalnice ozko grlo, lahko često samo s preklopom grel ali z regulacijo napetosti na primarni strani transformatorja povečamo specifične moči in tako skrajšamo

strjevalne čase. Tako bomo spet obratovali kar najbolj ekonomično.

### 3.1 D o l o č a n j e s p e c i f i č n i h m o č i g r e l z v e - l i k o t o p l o t n o k a p a c i t e t o

Ta grela imajo navadno najnižje specifične moči, ker so lahko vključena tudi med pavzami med posameznimi cikli. Toplota se med tem v njih koristno akumulira. Ta akumulirana toplota in toplota, ki jo grela sproti proizvajajo, se nato izrablja v delovni periodi za ogrevanje izdelka. Termostat skrbi, da temperatura grela ne naraste nad nastavljeno vrednost. Najbolj ekonomična je tista specifična moč, ki zagotavlja čim daljši vklopni čas grel. V tem primeru imajo grela najnižjo moč. Zaradi rezerve, ki jo moramo imeti in zaradi tega, da segrevalni časi za začetek niso predolgi, naj bo specifična moč grela tolikšna, da bo vklopni čas približno 70 ... 80%. To je seveda v primeru, da nimamo namena več dosti povečevati proizvodnjo.

Specifične moči grel z visoko toplotno kapaciteto se gibljejo v mejah

$$p = 1\ 000 \text{ do } 4\ 500 \text{ W/m}^2,$$

odvisno od nastavljene temperature grela, časa, ko je predmet v stiskalnici, dožžine pavz med cikli, toplotnih izgub itd.

Strjevalne čase lahko skrajšamo in s tem preprosto povečamo proizvodnjo tako, da zavrtimo gumb termostata na višjo temperaturo. Zaradi tega moramo še od začetka pri projektiranju grela predvideti neko rezervo. Specifična moč naj bo takšna, da bo vklopni čas grel 50 %. Tako imamo možnost sčasoma povečati proizvodnjo za 100%. Takrat bo tudi vklopni čas 100%. Od tod dalje nima pomena, da bi nastavljali temperaturo više, saj se temperatura ne bo dvignila. Dotok energije, je enak potrošnji in proizvodnjo lahko dvignemo le, če povečamo specifično moč grela.

Kako pri projektiranju določimo za dane pogoje grelu primerno specifično moč, bomo pokazali na temle primeru.

P r i m e r . Za globino približno 3 mm plasti, ki se lepi, smo s pomočjo diagrama (slika 21), ki predstavlja segrevalno krivuljo, in slike 12 (diagram strjevanja formaldehidnega lepila) dobili za temperaturo grela  $110^{\circ}\text{C}$  strjevalni čas 5 minut. Plast, ki se lepi, je iz hrastovega lesa ( $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ ,  $c = 2,4 \text{ ks/kg}^{\circ}\text{C}$ ). Izdelek bo torej v stiskalnici 5 minut, za izmenjavanje izdelka pa bomo porabili 3 minute. En cikel bo trajal 8 minut.

S pomočjo diagrama (sl. 21) določimo, koliko je v petih minutah, ko je bil izdelek v stiskalnici, prejel toplote od  $1 \text{ m}^2$  površine grelne plošče. To napravimo tako, da numerično integriramo toplotne množine v posameznih plasteh lesnega preseka, začeni pri plasti neposredno pod grelom. Za račun toplotne množine nam je podlaga naslednja enačba:

$$Q = c \cdot m$$

kjer je:

- Q - toplotna množina v Ws,
- c - specifična toplota v  $\text{Ws}/^{\circ}\text{C kg}$ ,
- m - masa v kg,
- $\Delta t$  - srednja temperaturna razlika (segretje) v  $^{\circ}\text{C}$ .

Če v diagramu slike 21 potegnemo pri 5 min. ordinato, dobimo za posamezne plasti lesnega preseka že kar srednje temperature segretja tako, da odčitamo srednje vrednosti temperatur med dvema krivuljama, od tega pa odštujemo  $20^{\circ}\text{C}$ . Vse to vnesemo v rezporednico na naslednji strani.

V eni uri bo  $1 \text{ m}^2$  grelne površine porabil naslednjo energijo:

$$Q = 0,3 \cdot \frac{60}{8} = 2,25 \text{ kWh}$$

Če je s triminutno pavzo, traja cikel 8 minut. K temu moramo prišteti še toplotne izgube navzven, ki pa so glede na izolacijo lahko zelo različne (10 ... 30% ali še več). Predpostavimo izgubo 20 %.

$$Q = 2,25 \cdot 1,20 = 2,7 \text{ kWh}$$

Specifična moč grela bi morala biti torej  $2700 \text{ W/m}^2$ , če naj bi bilo grelo stalno vklopljeno. Pri 75 %-nem vklopnem času pa bo specifična moč grela:

$$p = \frac{2,7}{0,75} = 3,6 \text{ kW/m}^2 = 3600 \text{ W/m}^2$$

Plast mm	Debelina mm	Masa ----- 1 m <sup>2</sup> plasti kg	Srednja vrednost temperat. razlike °C	Akumulirana energija kWs
0 ... 0,5	0,5	0,4	88	84,5
0,5 ... 1,0	0,5	0,4	83	79,8
1,0 ... 1,5	0,5	0,4	79	76,0
1,5 ... 2,0	0,5	0,4	74	71,0
2,0 ... 3,0	1,0	0,8	68	130,8
3,0 ... 4,0	1,0	0,8	59	113,2
4,0 ... 5,0	1,0	0,8	51	98,0
5,0 ... 7,0	2,0	1,6	40	154,0
7,0 ... 9,0	2,0	1,6	27	104,0
9,0 ... 11,0	2,0	1,6	25	96,0
11,0 ... 14,0	3,0	2,4	10	58,0
+ ocenjeni ostanek za globlje plasti				34,7
s k u p a j				1 100 kWs 0,3 kWh

### 3.2 Specifične moči grel z nizko toplotno kapaciteto

Grela te vrste imajo največjo specifično moč. To je razumljivo, če pomislimo, da vsak cikel pričenjajo pri okoliški temperaturi. Največkrat ta grela sestojijo zgolj iz jeklenih trakov ali pločevin, brez vsakih toplotnih ali električnih izolacij.

Specifične moči grel z nizko toplotno kapaciteto se gibljejo v mejah:

$$p \approx 3\,000 \dots 9\,000 \text{ W/m}^2$$

z izjemo lamelnih grel (slika 36), ki imajo redno nižje specifične moči:

$$p = 1\,000 \dots 3\,000 \text{ W/m}^2$$

Lamelna grela oddajajo na obe strani svoje grelne ploskve koristno toploto in so zato najbolj ekonomična.

Ker zahteva priprava delov za lepljenje veliko časa, prav tako pa tudi samo lepljenje in praznjenje stiskalnice, ni nikake potrebe po kratkih strjevalnih časih. Zato imajo lamelna grela nizko specifično moč.

Grela z visoko specifično močjo se morajo redno predčasno izklapljati, kor bi sicer grelna površina dosegle previsoke temperature. Kot smo videli v prejšnjem poglavju, dobimo boljše rezultate s preklapljanjem. S preklopom dveh enakih grel iz paralelne vezave v zaporedno, dobimo na enem grelu polovično napetost in eno četrtino moči s priklopom treh enakih paralelnih grel v zaporedje, pa dobi posamezno grelo eno tretjino napetosti in eno devetino prvotne moči.

Slika 37 tolmači vezavo grel in stikal za preklop iz paralelne vezave v serijsko.

**P r i m e r .** Na podlagi meritev napetosti in toka grel vodoravne robne stiskalnice, ki obratuje v Tovarni pohištva v Novi Gorici in ki jo kaže slika 38, bomo rekonstruirali specifične podatke. Grelni trak je iz jeklene pločevine debeline 0,4 mm, širine 140 mm in dolžine 2 700 mm. Pri obratovanju troši grelo 400 A pri napetosti 6,5 V.

Specifična moč grela je:

$$p = \frac{P}{S} = \frac{2\ 600}{0,38} = 6\ 850\ \text{W/m}^2$$

če je

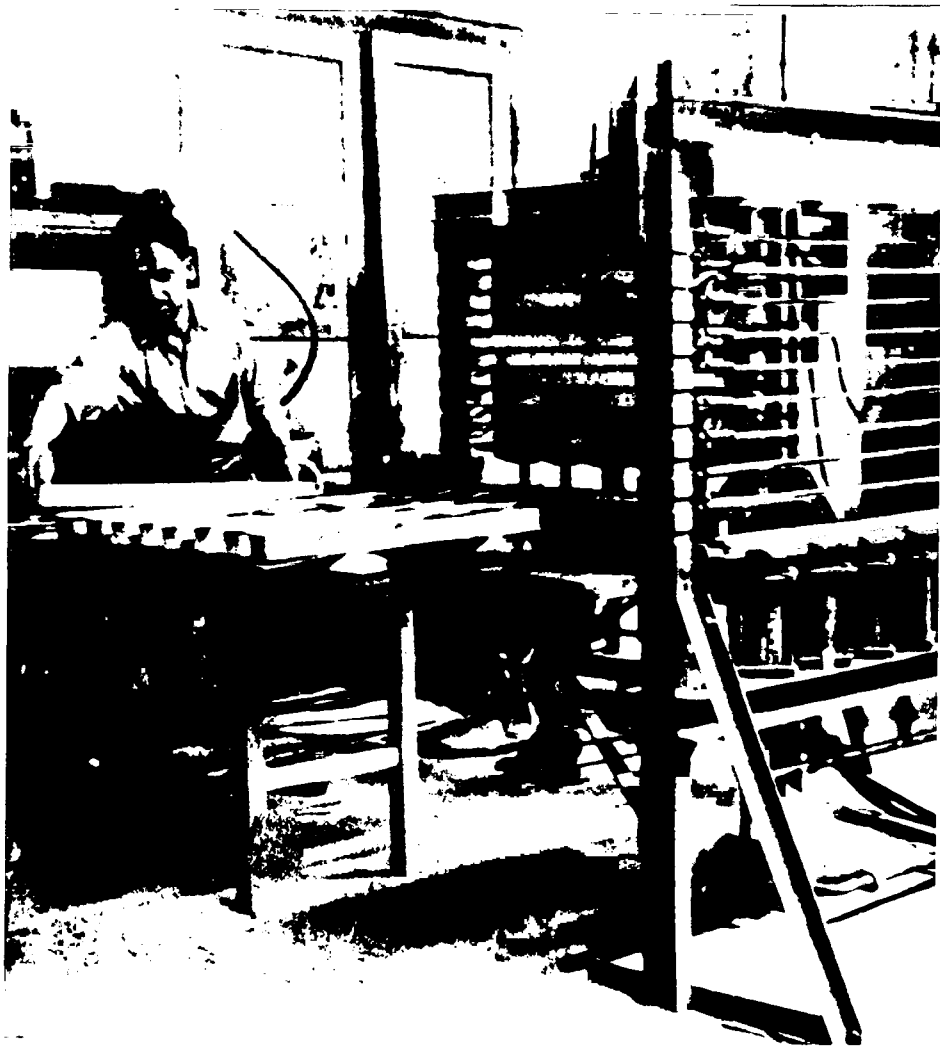
$$P = U \cdot I = 6,5 \cdot 400 = 2\ 600\ \text{W}$$

$$S = 2,7 \cdot 0,140 = 0,38\ \text{m}^2$$

Specifična moč grela je torej primerno visoka.

**V a ž n o n a v o d i l o .** Pri merjenju napetosti in tokov grel moramo zelo paziti na to, da vse vrednosti odčitamo skoro istočasno. Upornost grel se namreč s temperaturo zelo spreminja, zlasti tistih iz železa, zato se tudi napetosti in toki neprestano menjajo. Vrednosti, ki se navajajo, veljajo pri obratni temperaturi.

Težko je meriti, kadar imamo opraviti z greli z velikimi specifičnimi močmi, ko so hitrosti dviganja temperatur velike. Če imamo napravo z več greli, so meritve še težavnejše. Kolikor imamo samo en instrument za merjenje napetosti, je dobro pred instrument montirati preklopnik, bolje pa je, da priklopimo več instrumentov. Tako lahko več odčitovalcev hkrati odčita vrednost. V nasprotnem primeru pride lahko do velikih merilnih napak.



Slika 36 - Stiskalnica z lamelnimi greli

Tako merimo običajno s pomočjo instrumentov s kleščnim transformatorjem, ki omogočajo hitro meritev, ne da bi bilo treba prekinjati glavni tokokrog (glej sliko 41!) in imajo visoka merilna območja.

3.3 Specifične moči grel s srednjo toplotno kapaciteto

Te se gibljejo med

$$p = 1\,200 \dots 4\,500 \text{ W/m}^2$$

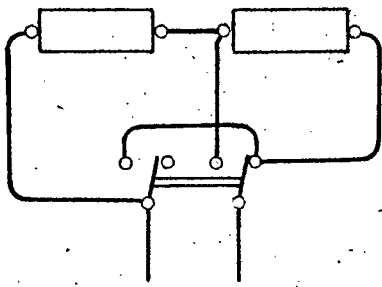
Priporočamo specifične moči okrog  $2\,500 \text{ W/m}^2$  in preko.





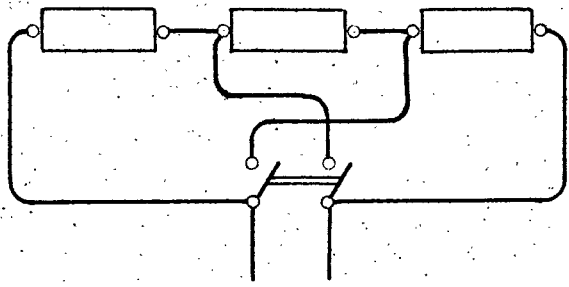
Slika 38. - Horizontalna robna stiskalnica  
s pnevmatičnimi cilindri

Kot že omenjeno, so ta grela nedostopna in le na podlagi meritev temperatur lahko določamo segrevalne čase. Tudi nam ni znan tisti del toplote, ki odteka v kalup in se nato v pavzi vrača ter preko grelnih ploskev odhaja v obliki izgub v okolico. Temperature na posameznih mestih lesnega preseka niso torej odvisne le od specifične moči grela in časa segreva-



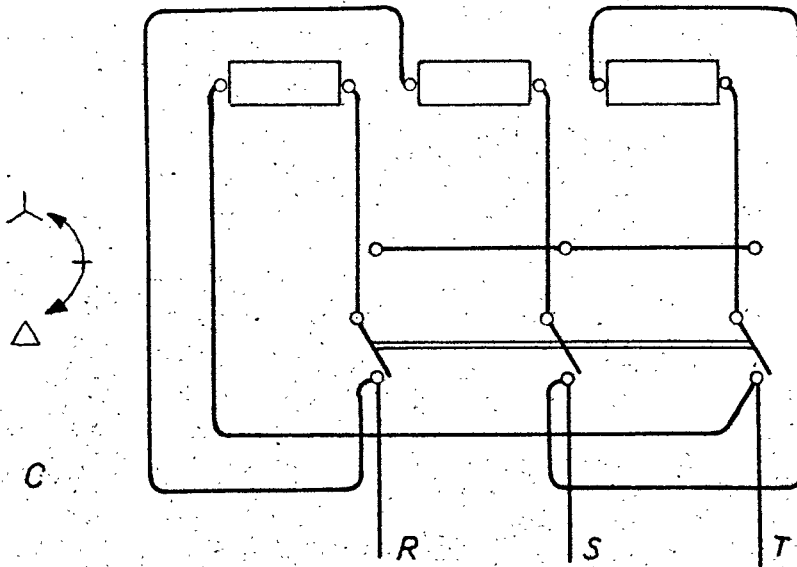
P ← | → S

a



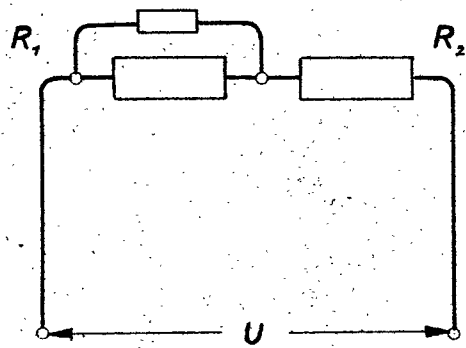
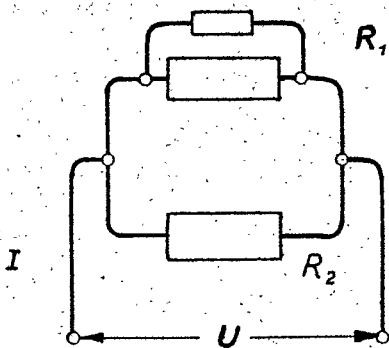
P ← | → S

b



c

Sl. 37 Pri preklopu grel iz paralelne v serijsko vezavo se zmanjša moč a/ ne na eno četrtino, b/ na eno devetino, o/ pri preklopu iz trikota v zvezdo pa se zmanjša moč na eno tretjino



$R_1 < R_2$  Sl.39 Situacija razmerij  $R_1 < R_2$   
 $P_1 > P_2$  moči pri paralelni in  $P_1 < P_2$   
 serijski vezavi dveh ne-  
 enakih grel ali skupin  
 grel.  $R_1$  - skrajna grela,  $R_2$  - notranja grela

nja, temveč tudi od časa trajanja pavz med posameznimi časi gretja. Zaradi tega naj se merijo temperature, ki bodo podlaga za določanje strjevalnega časa lepila, šele potem, ko se bo temperatura naprave stacionirala po daljšem času obratovanja z istim ali podobnim obratovalnim režimom.

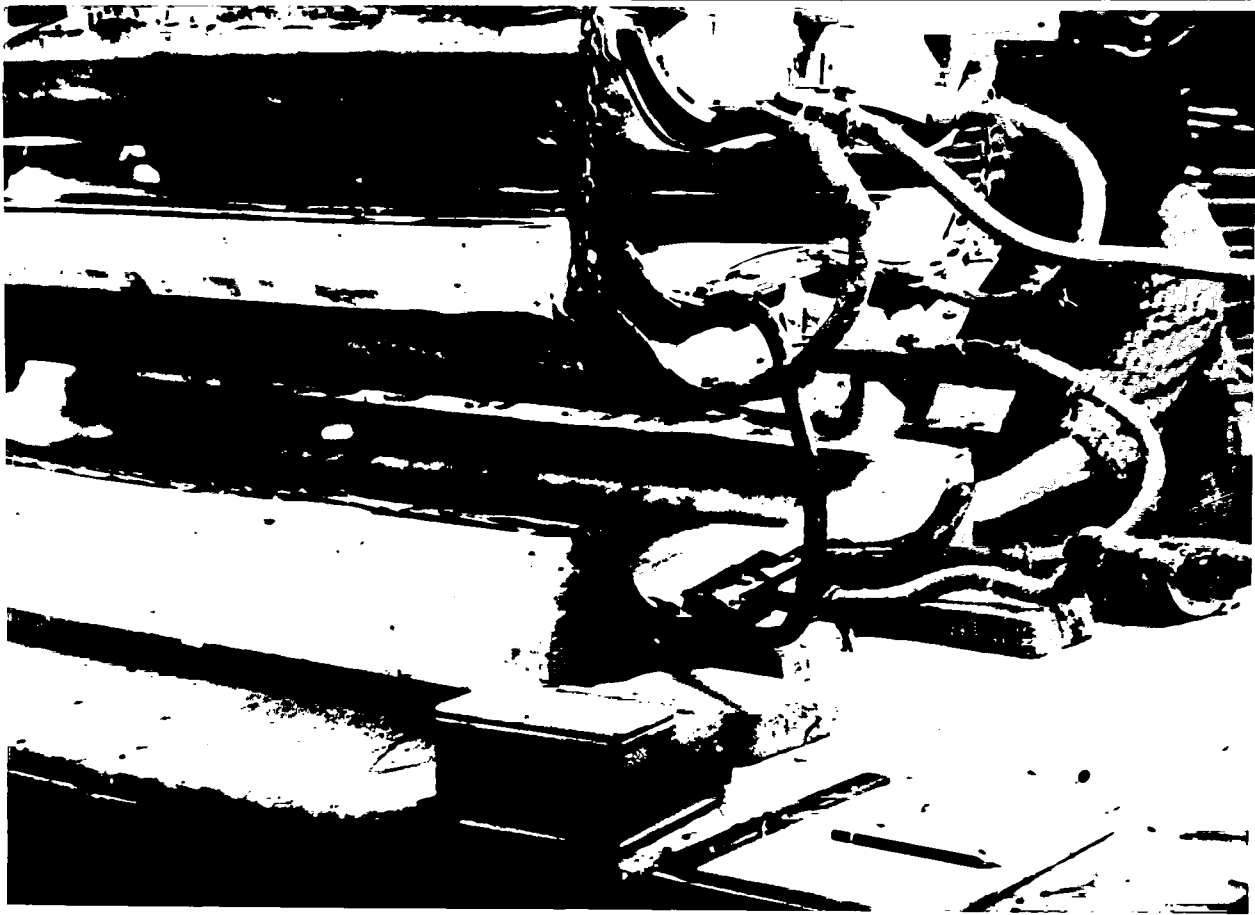
Če ima stiskalnica grela (kalupe) v več etažah, bodo temperature skrajnih grel precej nižje, ker se bolj hlade navzven kakor notranja grela. To neenakomernost odpravimo ali upoštevamo tako:

- (1) skrajnim grelom predpišemo večje specifične moči (20 ... 30%, odvisno od toplotne izoliranosti kalupov);
- (2) segrevalne čase, ki so potrebni za 100%-no strjevanje, določimo glede na zunanja grela in pri tem pazimo, da notranja grela ne dosežejo previsokih temperatur. Če tega ne upoštevamo, lahko izdelki potem, ko smo jih vzeli iz stiskalnice, nekoliko spremene svojo obliko.

Ob uporabi istega grelnega materiala lahko dosežemo relativno večje specifične moči skrajnih grel s povečanjem ali zmanjšanjem ohmske upornosti teh grel. To je odvisno od vezave grel. Če imamo serijsko vezavo grel, moramo upornost skrajnih grel povečati, da bi ob isti grelni površini dobili večjo specifično moč. Ravno nasprotno pa je pri paralelni vezavi grel, kjer moramo ohmsko upornost skrajnih grel zmanjšati (na primer z dodatnim paralelnim uporom) glede na drugo, da bi dobili večjo specifično moč (glej sliko 39!). Tako šestokrat povečamo specifične moči grel na robovih grelnih plošč, kjer je hlajenje večje, s tem, da namestimo tem dodatno še en grelni trak, ki leži kar vrh prvega, in ga z glavnim vežemo paralelno. Pri različnih vrstah grel so mere za povečanje specifičnih moči grel, ki so bolj izpostavljene ohlajevanju, različne in jih bomo obravnavali pri opisu posameznih grel.

Če imamo opraviti z grelmi z zaporednimi vejami grel, ki imajo neenake moči, moramo biti še posebej previdni pri preklapljanju teh grel ali vej iz vzporedne v zaporedno vezavo. Pri tem se namreč razmerje moči spremeni. Skrajna grela, ki so imela v paralelni vezavi večje moči, imajo po

preklopu v zaporedno relativno manjše moči.



Slika 40. - Odprta stiskalnica za izdelavo valovitih vrat za omare  
v Tovarni pohištva v Novi Gorici

Če imamo opraviti z grelji z zaporednimi vejami grel, ki imajo neenake moči, moramo biti še posebej previdni pri preklapljanju teh grel ali vej iz vzporedne v zaporedno vezavo. Pri tem se namreč razmerje moči spremeni. Skrajna grela, ki so imela v paralelni vezavi večje moči, imajo po preklopu v zaporedno relativno manjše moči.

Pri nirm e r . Sliki 40 in 41 kažeta odprto in zaprto stiskalnico za lep-  
ljenje valovitih vrat za omaro. Stiskalnica ima 5,5 m<sup>2</sup> grelnih površin,  
moč na greljih je 7,7 kW, povprečna specifična moč je torej 1 400 W/m<sup>2</sup>.  
Konstrukcija kaže vse značilnosti stiskalnic z grelji s srednjo toplotno  
kapaciteto in nizko specifično močjo.

Na sliki 41 je videti tudi vezje za električno merjenje temperatur s ter-  
moelementi. Na zamašku širokega grla termos-steklenice je pritrjen pre-

klopnik, ki omogoča hitro preklapljanje merilnih mest. Instrument v lesenem okovju je kazalni instrument z vrtljivo tuljavico, ki ima skalo izčrtano že v °C. Desno od njega je ampermeter z kleščnim transformatorjem.

Zaradi ilustracije navajamo tu nekaj merilnih rezultatov, ki smo jih dobili pri meritvah na tej stiskalnici. Grela smo označili, začenši od zgoraj navzdol, z zaporednimi številkami 1, 2, 3, 4.

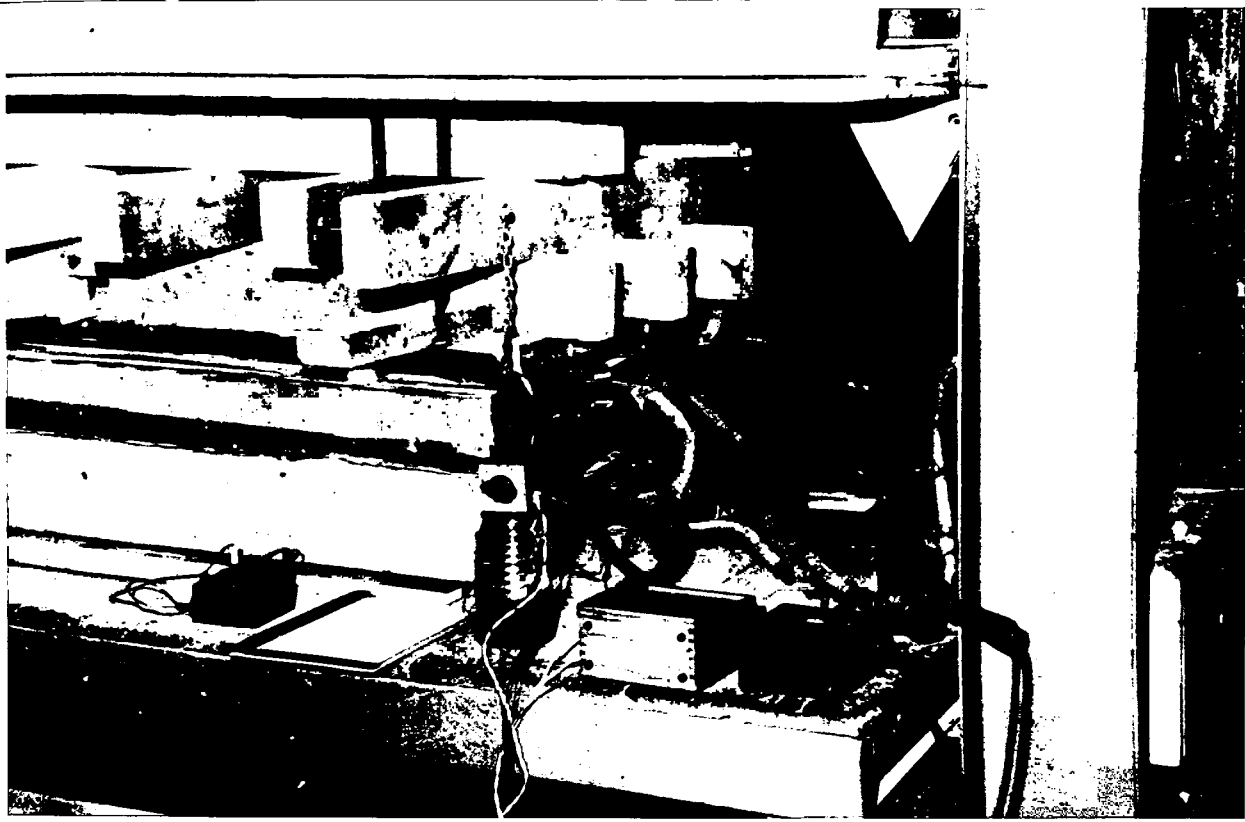
Pri meritvah temperatur na površinah grel smo dobili naslednje rezultate:

Čas	Grela 1	Temperatura (°C)			Grela 4
		Grela 2	Grela 3		
0 (vklop)	58,0	66,0	64,0	63,5	
5 min.	75,0	91,0	79,5	76,5	
10 min.	84,0	104,5	95,5	93,0	
13 min.	98,0	114,0	104,0	99,5	

Najnižjo končno temperaturo ima zgornje grelo (št.1), ker ima največje izgube navzven. To tudi kaže začetna temperatura 58°C. Segretje znaša pri zgornjem grelu  $98 - 58 = 40^{\circ}\text{C}$ , vtem ko pri grelu št. 2 znaša  $114 - 66 = 48^{\circ}\text{C}$ , po čemer lahko sklepamo, da ima grelo 2 tudi večjo specifično moč. Pri meritvah specifičnih moči se je res izkazalo, da ima grelo št. 1/ l  $170 \text{ W/m}^2$ , grelo št. 2/ pa  $1620 \text{ W/m}^2$ .

Pot k izenačenju temperatur je torej nakazana: grelo št. 1 mora dobiti višjo specifično moč kot grelo št. 2. Dobro bi bilo tudi še povečati toplotno izolacijo grela št. 1, če je to mogoče. Čase 100%-nega strjevanja je treba določati glede na najhladnejše grelo.

V a ž n o p r i p o r o č i l o . Če so pavze, med katerimi je stiskalnica odprta, dolge, je priporočljivo stiskalnico stisniti prazno. S tem dosežemo dvoje: prvič, izgube zaradi hlajenja so manjše, drugič, temperature grel se izenačijo tako, da so vsaj začetne temperature enake.



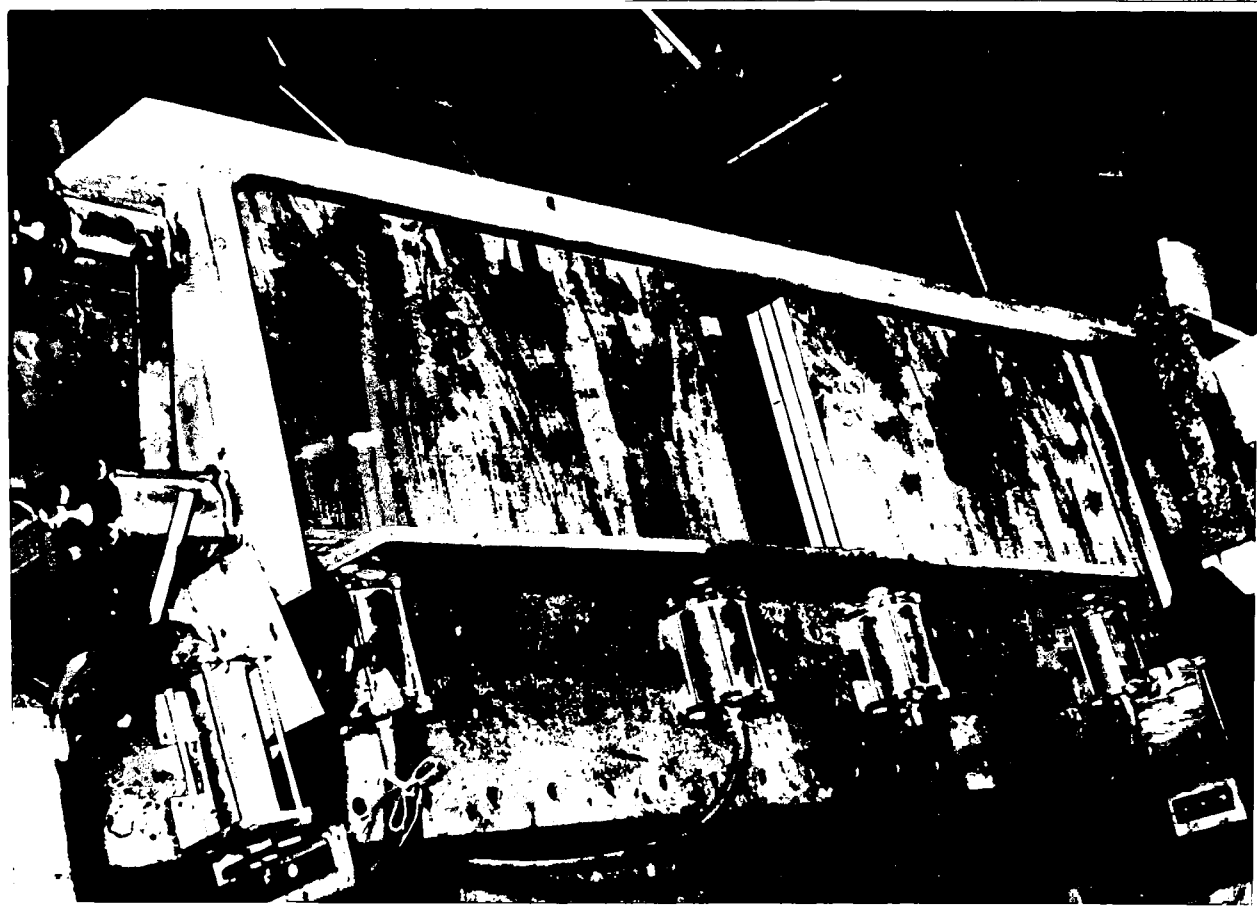
Slika 41. - Stisnjena stiskalnica za lepljenje valovitih vrat omar. Merjenje temperatur in tokov grel.

## POSKUSI Z UPORABO RAZNIH VRST GREL

### 1. Konstrukcija in izdelava grel

#### 1.1 Gola ploskovna grela (tračna grela)

Gola ploskovna grela s pridom uporabljamo zlasti za lepljenje robov in povsod tam, kjer površine niso prevelike - skratka tam, kjer naj imajo grelnne površine obliko trakov. Ta grela imajo redno visoke specifične moči, ker se zaradi nizke toplotne kapacitete med pavzami ohladi in pričenjajo vsak cikel v hladnem stanju. Ostale smernice za gradnjo teh grel bomo navedli ob primerih izvedb.



Slika 42. - Horizontalna robna stiskalnica s pnevmatičnimi cilindri.

Sliki 38 in 42 kažeta horizontalno stiskalnico iz Tovarne pohištva v Novi Gorici. Prircjena je za furniranje robov in okroglin na šestih

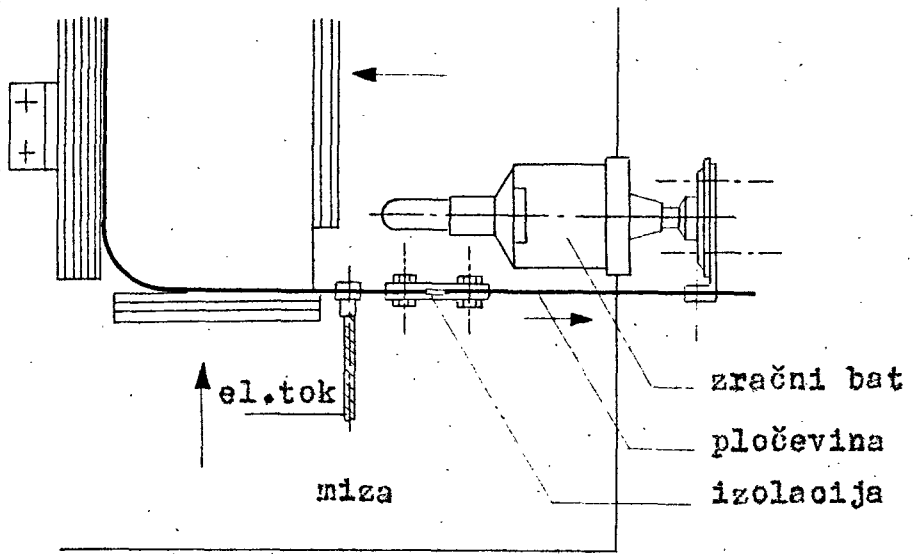
kosih hkrati. Grelni trak, s katerim za sedaj delajo in ki je na obeh slikah prav dobro viden, je iz jeklene gladke pločevine, debele 0,4 mm, široke 140 in dolge 2 700 mm. Električni podatki merjeni nekako sredi segrevalne dobe, so:  $U = 400$  A,  $I = 6,5$  V. Iz tega zaključimo, da je moč  $P = 2\ 600$  W in specifična moč  $6\ 850$  W/m<sup>2</sup>. Specifična upornost jeklene pločevine je bila v tistem trenutku  $\rho = 0,34$  mm<sup>2</sup>/m in površinska upornost  $r = 0,9$  m na enoto ploščine (glej nomogram!)

Jeklena gladka pločevina je za te vrste stiskalnic najprimernejši material za grelne trakove (poleg dražjih zlitin, kot so kromnikelj, kanthal itd.), ker ima razmeroma visoko površinsko upornost in veliko mehanično trdnost. Trakovi morajo zaradi okroglin biti napeti in morajo prenesti precejšnje sile. Na sliki so dobro vidni tudi cilindri za pnevmatično napenjanje trakov. Aluminijske folije za to ne bi bile primerne, ker bi imele premajhno površinsko upornost pri debelini traku, ki ustreza veliki natezalni sili. Primerni bi bili tudi trakovi iz transformatorske pločevine, ker imajo še večjo specifično upornost, vendar jih v takih dolžinah ni moč dobiti. Dimenzije transformatorskih pločevin so 750 . 1 500 mm, debelina 0,35 in 0,50 mm. Pri nas izdelujejo tako pločevino v Železarni na Jesenicah, posamezne kose pa je mogoče nabaviti pri izdelovalcih transformatorjev ("Jambor" Črnuče, itd.). Transformatorska pločevina je nekoliko bolj hrapava in krhka kot jeklena pločevina. Na obeh slikah je dobro videti tudi kontakte za dovod toka grelnemu traku. Izdelani so iz debelih medeninastih plošč, nad katere je z močnimi vijaki stisnjen grelni trak. Dovodi so izvedeni z gibkim varilnim kablom.

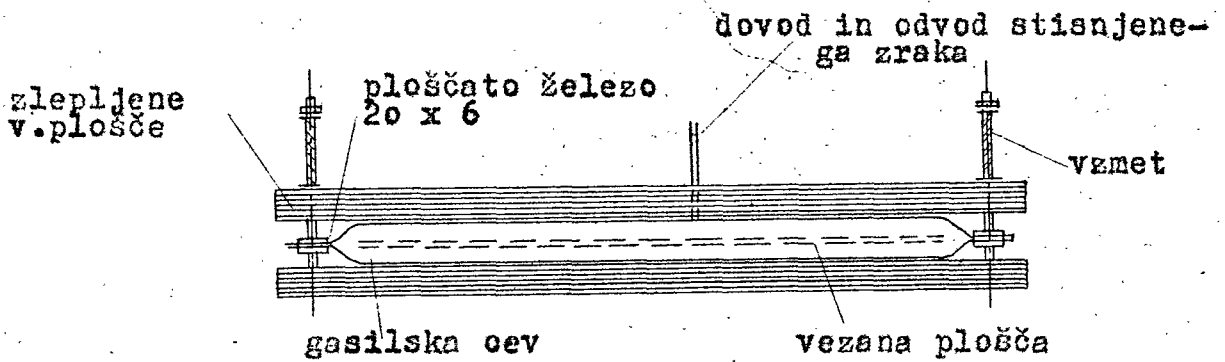
Tam, kjer sta konca grelnega traku pritrjena na cylinder za natezanje, se natezalna sila prenaša preko izolacijske plošče, da se tok ne bi mogel skleniti preko cilindrov in železne konstrukcije mreže. Včasih se vs tavi izolacijski kos neposredno za priključkom (slika 43.)

Uporaba železne ali jeklene pločevine je za grelne trakove, ki imajo veliko specifično moč, zaradi visoke vrednosti (temperaturni koeficient upornosti) do neke mere celo zaželena. Ko se trak segreje, se mu električ-





Sl. 43 Nategovanje grelnega traku

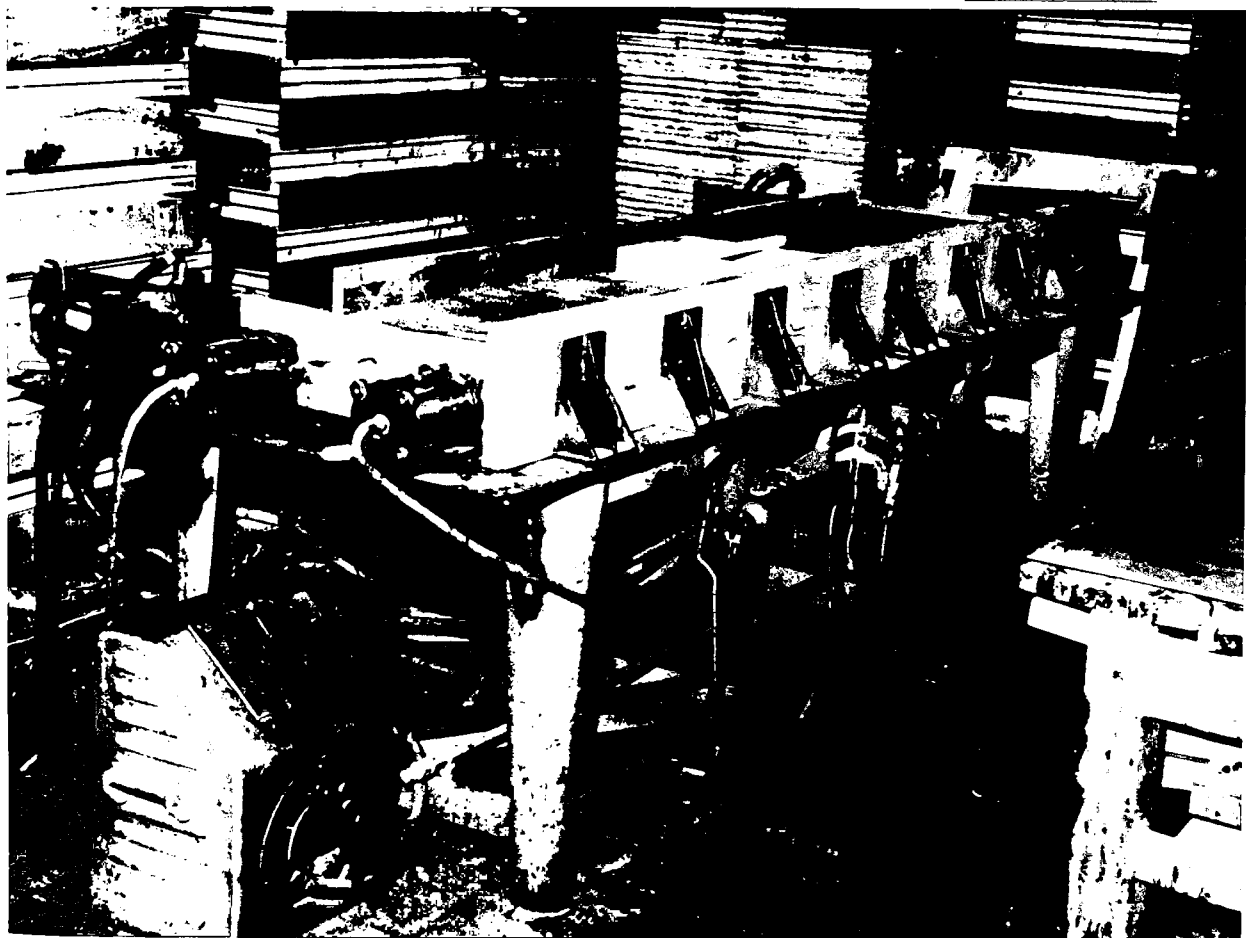


Sl.46 Stiskalna priprava na zračni meh

na moč zaradi zvečanja upornosti zniža za približno 40%. To sicer še ni dovolj in moramo grelo nekje med četrto in peto minuto izklopiti ali pa preklopiti na še manjšo moč.

Z električnega vidika je opisana konstrukcija zelo posrečena, z mehničnega pa bi bilo pripomniti, da nekateri podlagajo med grelni trak in podlogo še trak iz gume ali klobučevine, da bi se tako pritisk grela na furnir kar najlepše porazdelil.

Na obeh slikah, 38 in 42, in prav tako tudi na naslednji sliki 44, je prav lepo videti železno konstrukcijo mize, ki ima dimenzijo nosilne plošče 2 000 . 1300 mm. Nosilna plošča je debela 16 mm in ima po vsej površini izvrtane luknje, da se lahko poljubno prestavlja stiskalne cilindre, kakor pač zahteva predmet.

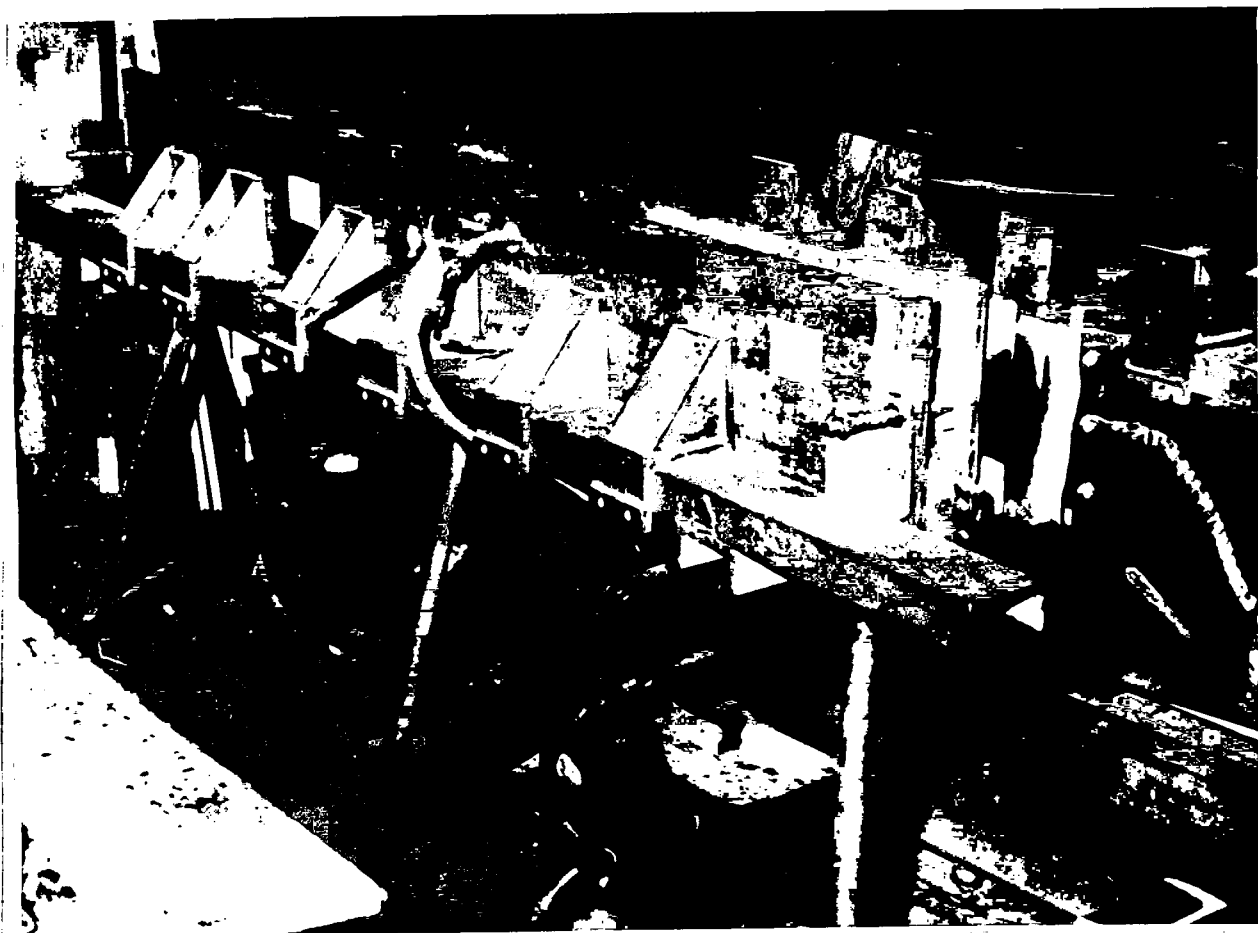


Slika 44. - Horizontalna robna stiskalnica s pnevmatičnimi cilindri in nožnim posluževanjem ventilov.

Kompresijski cilindri imajo premer 80...120 mm in hod do 200 mm. Vrsto in število cilindrov ter njih namestitvev priredimo tako, da dobimo pritisk približno  $3 \dots 4 \text{ kg/cm}^2$  na površino, ki jo lepimo.

Na sliki 44 so dobro vidni železni nastavki, ki izvajajo protipritisk pnevmatičnim cilindrom. Posluževanje zračnih ventilov je nožno, viden je tudi transformator s preklopnim stikalom.

Slika 45 kaže drugo robno stiskalnico, ki stoji prav tako v Tovarni pohišstva v Novi Gorici. Za grelo uporabljajo gol trak iz železne pločevine, debeline 0,5 mm, širine 175 mm in dolžine 2110 mm. Pri napetosti 6,2 V teče skozi grelo tok 230 V. Moč, ki se porabi na grelu, je  $250 \cdot 6,2 = 1\,430 \text{ W}$ , specifična moč pa  $1\,430 : (0,175 \cdot 2,11) = 3\,860 \text{ W/m}^2$ .



Slika 45. - Horizontalna robna stiskalnica z gasilsko cevjo kot elementom za izvajanje pritiska.

Z električno energijo oskrbuje stiskalnico kar transformator, kakršnega rabimo za tajanje zamrzlih vodovodnih instalacij (glej sliko 45!).

Na sliki opazimo še eno posebnost: element za izvajanje pritiska tu ni več pnevmatični cilindar z batom, temveč preprosta platnena gasilska cev, ki je znotraj prevlečena s gumo. Ta način je precej cenejši kakor pa izvedba z batom in tudi pritiski se zelo enakomerno porazdele po vsej površini. Cev sama zavzame zelo malo prostora. Edina slaba stran slaba stran je ta, da je pri ceveh hod zelo majhen (približno polovico premera cevi) in da se sila, s katero pritiska cev, s hodom manjša.

Cev je na koncih stisnjena s ploščatimi podložkami z vijaki, v cev samo pa je potisnjen nekoliko krajši trak iz vezane plošče, debeline približno 7 mm in širine kot je premer cevi, da se cev ne bi zvijala. Slika 46 predstavlja izvedbo stiskalne naprave za stiskanje z zračnimi mehovi.

Slika 47 kaže zelo preprosto stiskalnico na ekscenter za lepljenje robov. Pri tako majhnih pripravah zadošča že transformator za trdo lotanje tračnih žag; uporabimo ga kot vir energije.

Na sliki 40 vidimo mizo za furniranje robov okroglih miz. Za grelo izberemo precej močan jeklen trak, da vzdrži velike natezalne sile. Odnos med pritiskom v atmosferah, ki ga pričakujemo na obođu, in natezalno silo (v kp) v jeklenem traku je podan z enačbo:

$$F = \frac{p \cdot D \cdot \check{s}}{2}$$

kjer je:

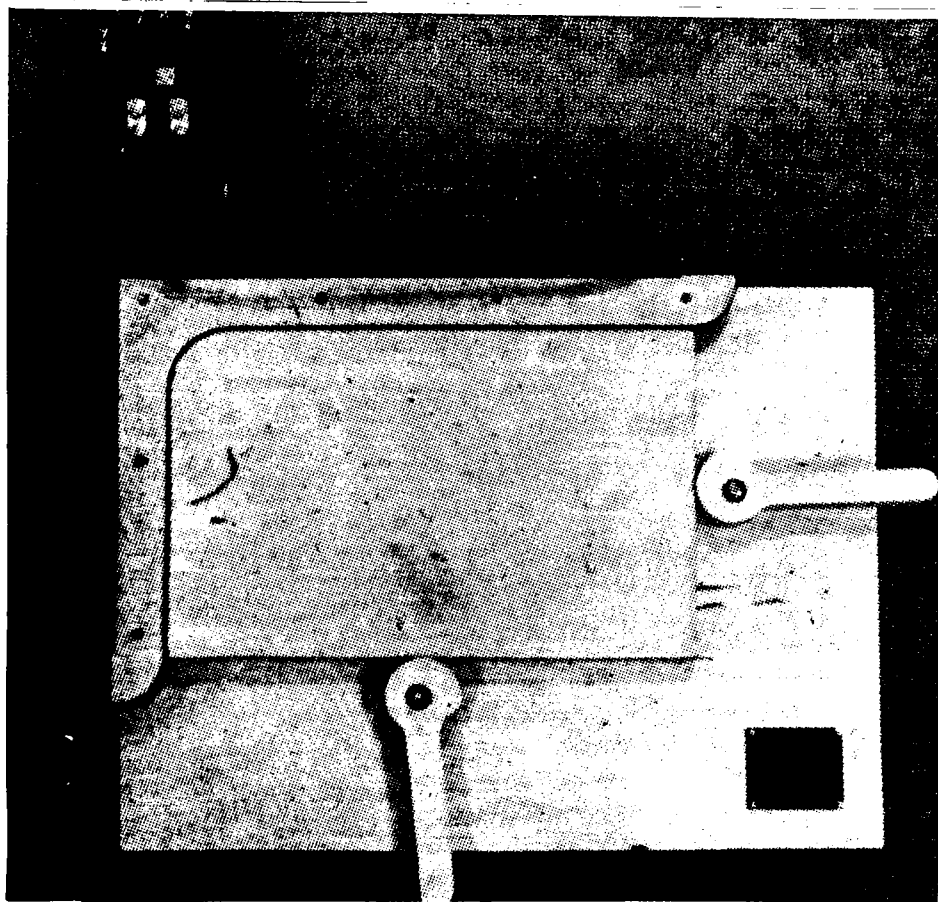
F = natezalna sila traku v kp,

p = pritisk na obođu v  $\text{kp}/\text{cm}^2$ ,

D = premer kroga v cm,

š = širina traku, ki je enaka širini roba (v cm)

Potrebno silo so dosegli, kakor to kaže slika 48, z malo ročno hiravlično črpalko. Vendar je tu bolje uporabiti pnevmatično stiskanje, ker se grelni trak s segrevanjem nekoliko razteza in pnevmatični bat bolje sledi tem



Slika 47. - Horizontalna stiskalnica za lepljenje robov na ekscenter.

raztežkom kot hidravlični, ne da bi pri tem natezna sila upadla.

Oba konca traku se ne smeta med seboj stikati, sicer pride do kratkega stika. Ker na presledku ne bo ogrevanja, se tudi lepilo tam ne bo strdilo. Zaradi tega moramo pri vlaganju paziti, da pridejo stiki furnirjev na ogrevano mesto. Na majhnem presledku, kjer se lepilo ni strdilo, ne pride do nikake škode, ker se bo tam lepilo strdilo kasneje.

Slika 36 kaže solidno izdelane stiskalnice z lamelnimi greli. Ker podatkov o grelih nimamo, jih bomo zaradi zanimivosti rekonstruirali kar s fotografijo s pomočjo našega univerzalnega nomograma (slika 3). Grel je 11, dolžina grela je približno 1,1 m, širina traku približno 8 cm. Ugoden material za to vrsto grel bi bilo gladko valjano jeklo debeline  $d = 0,5$  mm. Če ima to jeklo specifično upornost  $\gamma = 0,351 \text{ mm}^2/\text{m}$ , dobimo s pomočjo nomograma (skala 7, 6, 5) površinsko upornost  $r = 0,6 \text{ m}^2/\text{površine}$ .

Pri specifični obremenitvi  $4\ 000\ \text{W/m}^2$  dobimo na skalah 3 in 4 že napetost na enoto dolžine grela  $U/l = 1,55\ \text{V/m}$  in tok na enoto dolžine grela  $I/s = 2\ 500\ \text{A/m}$ . Napetost na vseh grelih, ki so vezana v serijo, bo  $U = 12\ \text{m} \cdot 15,5\ \text{V/m} = 18,6\ \text{V}$  in tok  $I = 2\ 500 \cdot 0,08 = 200\ \text{A}$ . Moč bo  $P = 18,6 \cdot 200 = 3\ 720\ \text{W}$ .

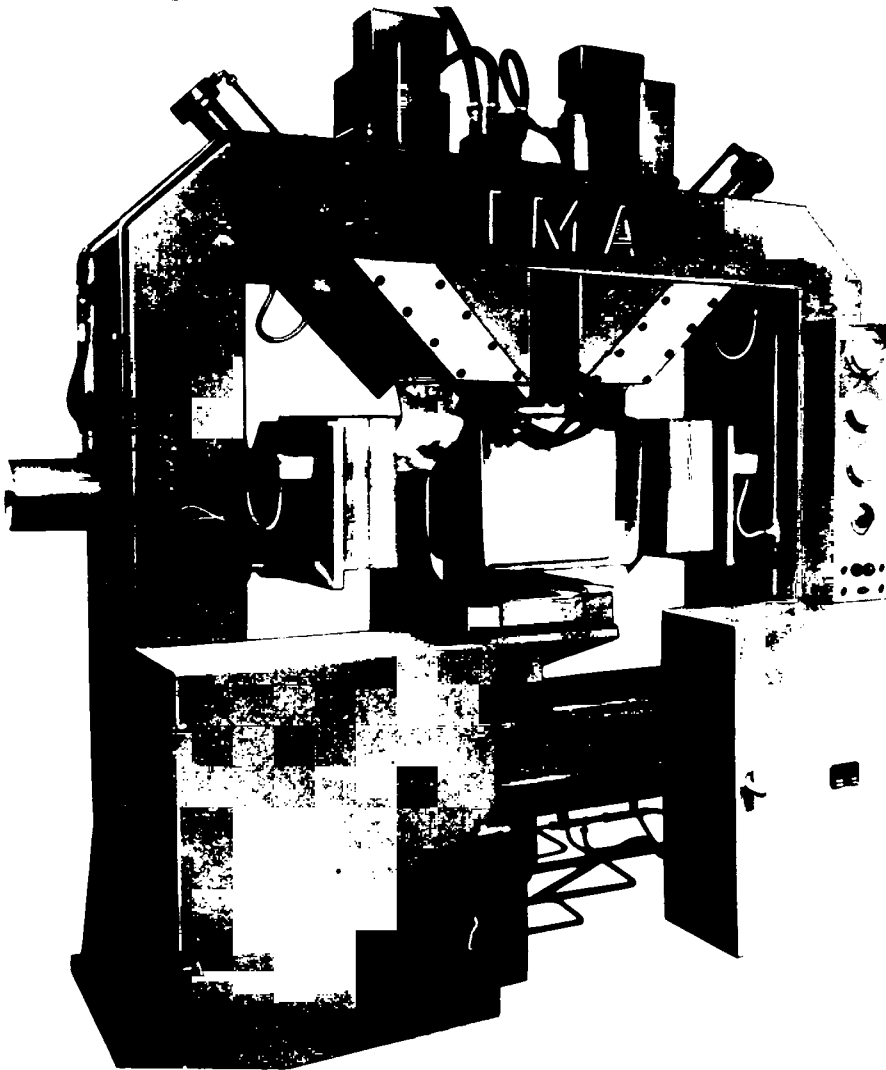
Če bi hoteli, da deluje stiskalnica hitreje, bi bilo treba le napetost povečati - na primer na 24 V. V tem primeru bi bilo treba moč povečati  $p = 6\ 150\ \text{W}$  pri toku 250 A. in specifični moči  $6\ 000\ \text{W/m}^2$ , Seveda tedaj ne bi več zmogel vsega dela pri stiskalnici en sam delavec.

Opozarjamo na izredno zanimivo rešitev pritrditve v serijo vezanih lamelnih grel s pomočjo vzmeti in pomičnih objemk, ki se oklepajo dvojnega profila - T (slika 36).

Slika 49 kaže stiskalnico za izdelavo radijskih in televizijskih ohišij. Ker se ves obod takega ohišja izdelava v enem postopku, je potrebno, da je greta notranja in zunanja površina. Izdelava notranjega grela ne dela težav. Izdelamo ga lahko iz meandrske izrezane pločevine, prekrите s primer-no izolacijo. Za izolacijo lahko uporabimo i pregirano stisnjeno lepenko ali pa specialno folijo (teflon), ki zdrži temperaturo do  $300^\circ\text{C}$ . Teflon je do danes najboljša električna izolacija za višjo temperaturo. Celo pri  $300^\circ\text{C}$  ima podobne mehanske in električne lastnosti kot na primer polivinil pri sobni temperaturi. Slaba stran mu je visoka cena (okoli 30000 din/kg). Najbližji proizvajalec tega materiala je Süddeutsche Asbest- und Packung-fabrik K.G., W.K. Huth, Percha bei Starnberg v Zahodni Nemčiji. Teflon bi lahko zamenjal tudi steklotekstil, ki vzdrži temperaturo do  $400^\circ\text{C}$ .

Večji problem je izdelava zunanjega grela, ki mora biti iz enega kosa debele in močne jeklene pločevine. Debelina te jeklene pločevine je običajno 1 mm, širina pa se ravna po globini ohišja in dosega tudi 60 cm in več.

S pomočjo našega univerzalnega nomograma ni težko določiti električnih podatkov. Za širino traku okrog 60 cm dobimo jakosti toka še približno 2 500 A. Za take toke pa je že problem izvedba kontaktov, ki bi zagotovili enakomerno razdelitev toka po grelni pločevini. Te bomo obravnavali v od-



Slika: 49. - Električno greta stiskalnica za izdelavo radijskih  
in televizijskih ohišij

seku 4.1.4.

Kakšna je videti doma izdelana priprava za izdelavo radijskih ohišij, nam kaže slika 51. Električno je segrevan samo notranji kalup, zato so seveda segrevalni časi daljši.

Na sliki 52 vidimo stiskalnico za furniranje robov na radijskih ohišjih. Električno je greta le spodnja plošča, pritisk pa izvajajo pnevmatični cilindri.

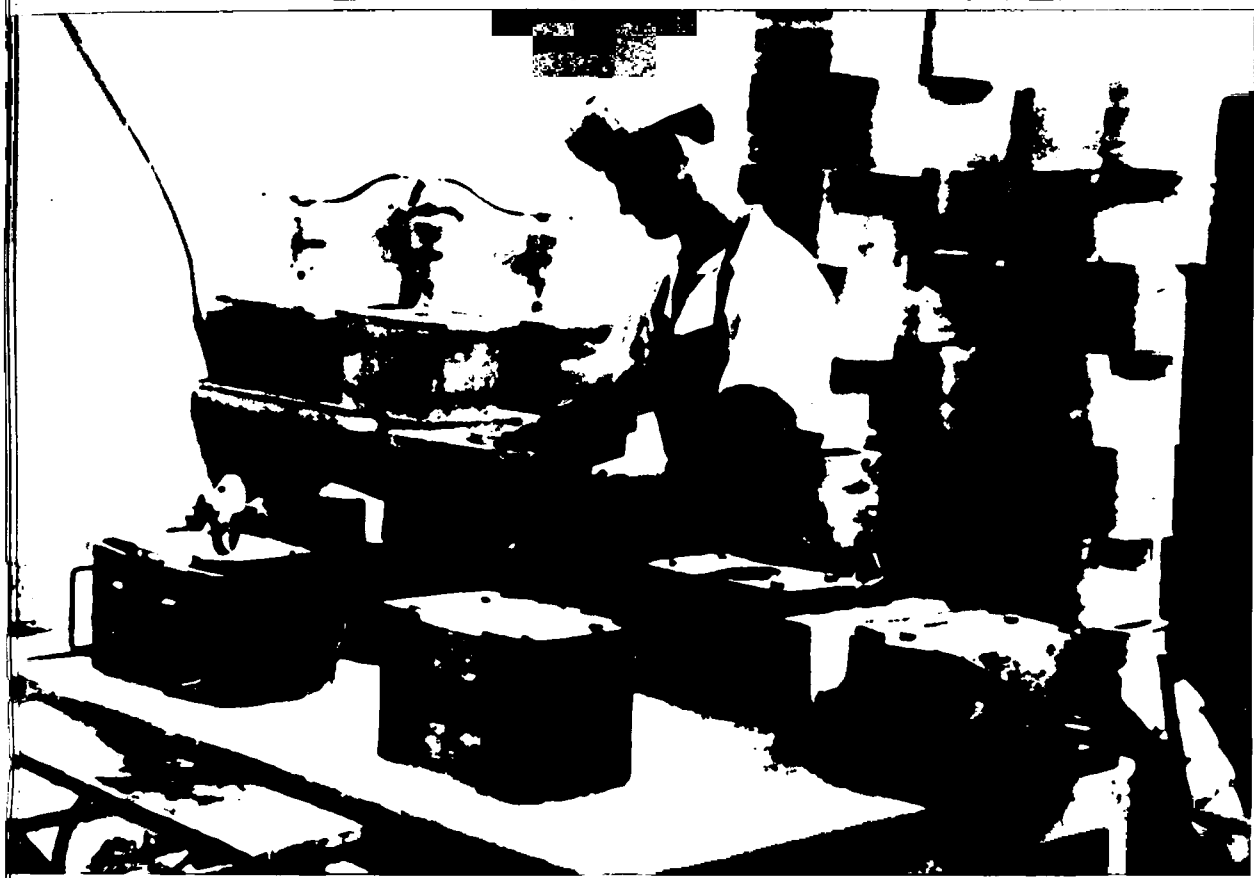


Slika 50. - Detajl električne grete stiskalnice za radijska in televizijska ohišja

Pri furniranju majhnih krivih površin, kakor so zakrivljena naslonjala za stole ipd., kjer se zaradi majhnega števila kosov ne izplača delati modela, bo prišla prav priprava, kakršno kaže slika 53. Jekleni trak debeline 1...1,5 mm, ki je pritrjen na sornike, mora potekati tako, da zapušča krivino v tangenti. To se lahko doseže s pomikanjem sornika po utoru. Če bi bil kot  $\beta$  večji kot pa ga tvori tangenta, bi na robovih ne bilo pritiska, če pa bi bil kot precej manjši, bi bili robovi potlačeni. Najugodnejše je, če je kot  $\beta$  za nekaj kotnih stopinj manjši od kota tangente.

Naprava je montirana na močni leseni mizi, da prenese sile pri stiska-





Slika 51. - Električno greta delovna mesta za izdelavo radijskih  
ohišij

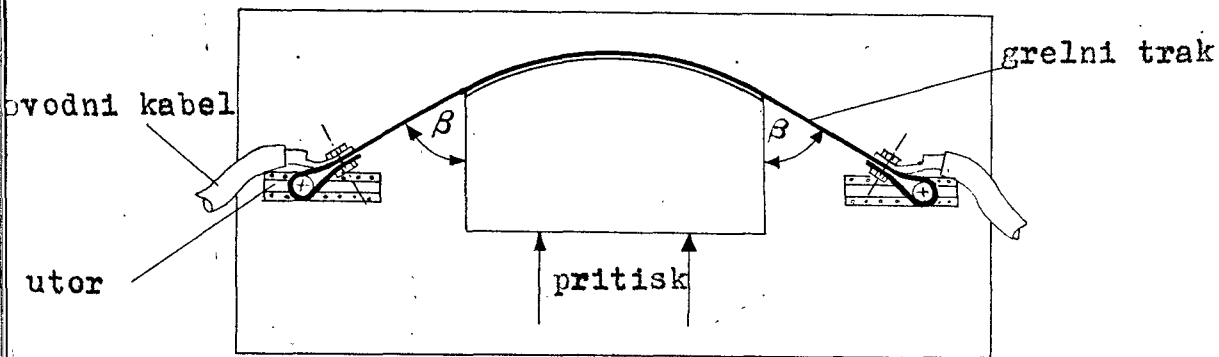
nju. Utor je izdelan iz železnih profilov, vdelanih v mizo. Najbolje se doseže močan in stalen pritisk z uporabo pnevmatičnih cilindrov.

Na sliki 54 pa si oglejmo preprosto pripravo za segrevanje lokov! Konstrukcija, čeprav preprosta, je prav dobra.

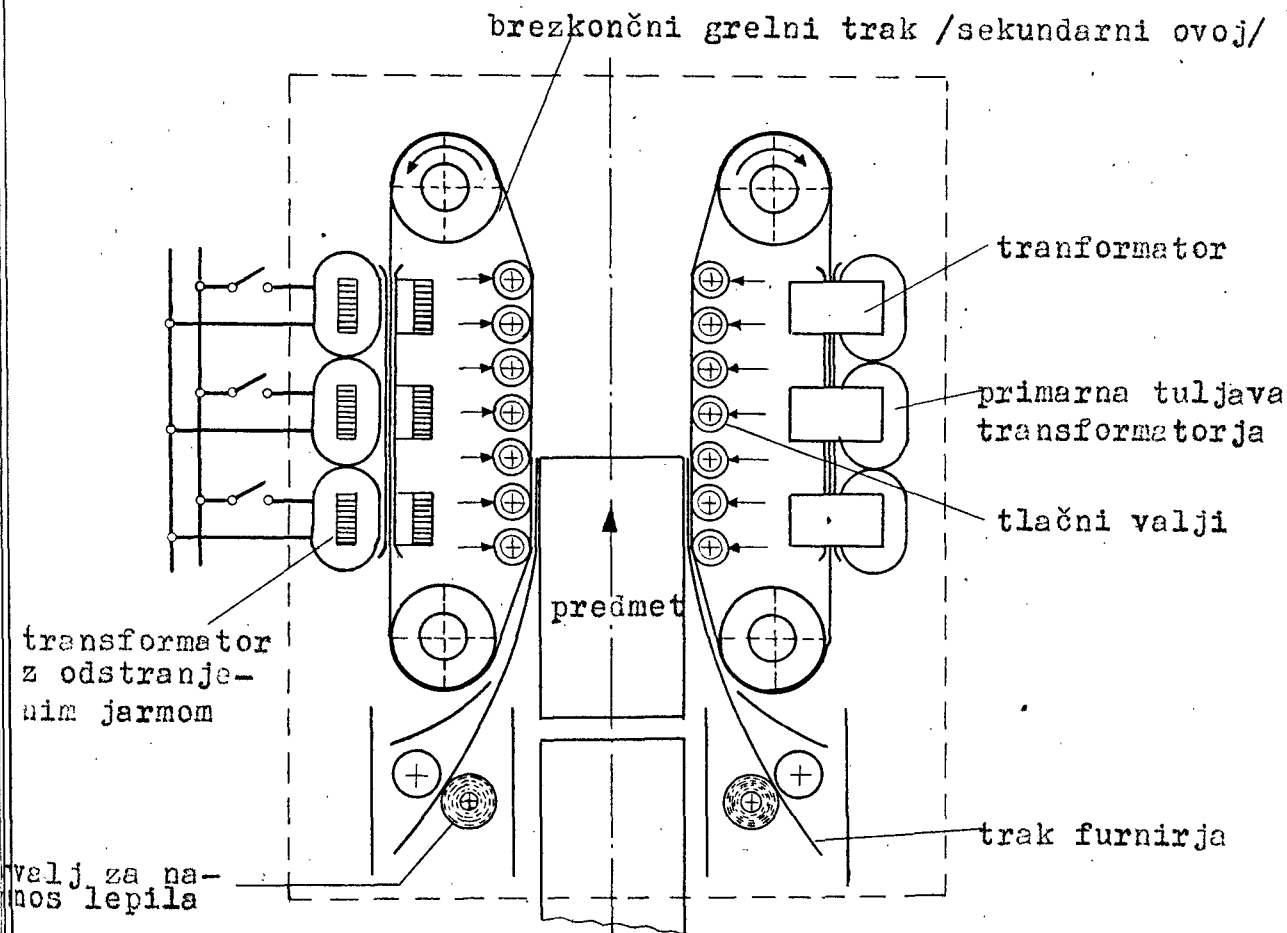
Zelo zanimiva je izvedba induktivno gretega neskončnega traku. Grelni trak, ki je sam vase zaključen, predstavlja sekundarno kratko sklonjen ovoj enega ali več transformatorjev.

Stroj za avtomatsko furniranje robov, ki dela po tem principu, prinaša shema na sliki 55.

Bistvo delovanja naprave je v tem, da grelni trak nima nobenih kontaktov in ga greje tok, ki ga poganja po njem inducirana napetost. Zaradi tega



Sl. 53 Priprava za lepljenje majhnih krivih ploskev, ki ne zahteva posebnih kalupov in je prilagodljiva za različne krivine



Sl. 55 Shema stroja za avtomatično furniranje robov z indukcijskimi grelnimi trakovi

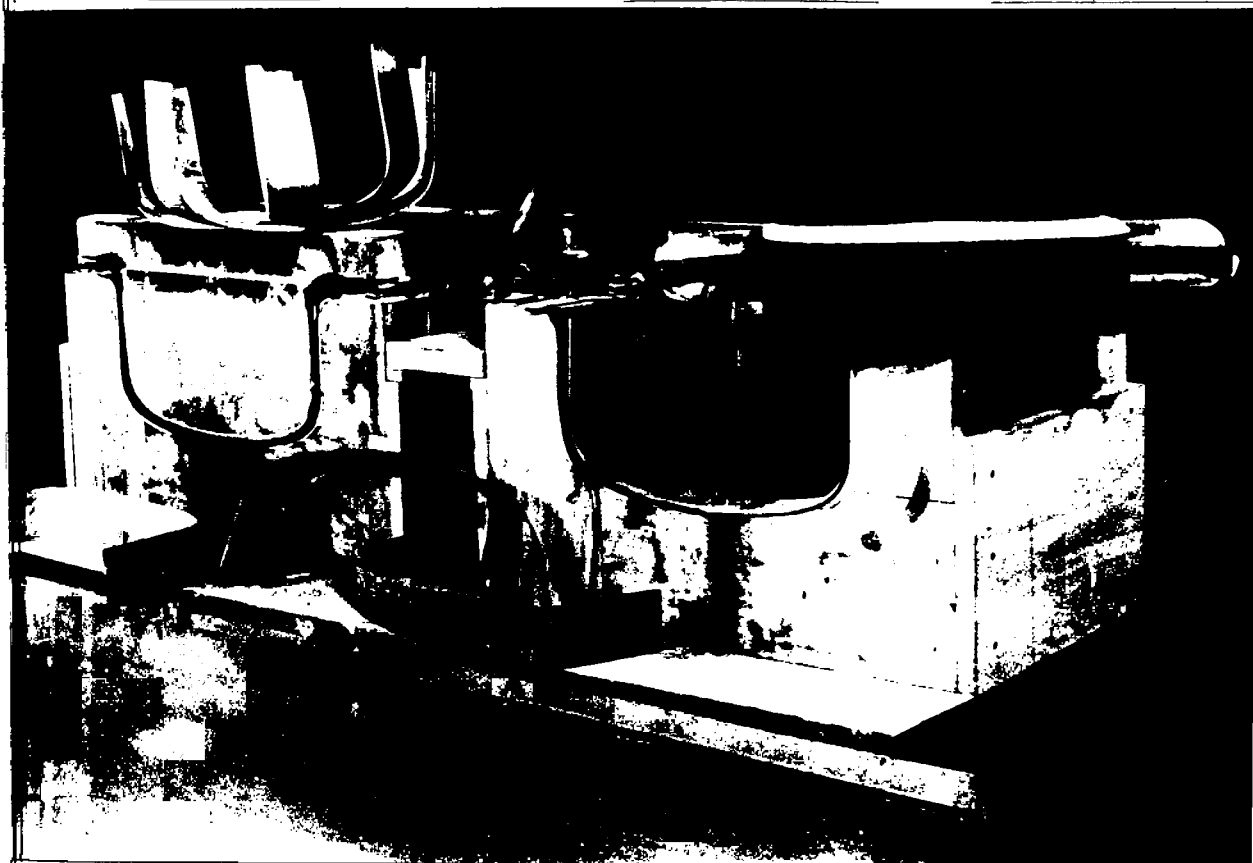
$$u = \frac{B \cdot S}{45} \text{ voltov/ovoj}$$

kjer je:

B - magnetna gostota v železnem jedru v Teslih,

S - prerez železnega jedra v cm<sup>2</sup>,

u - ovojna napetost v voltih/ovoj.



Slika 54. - Električno greta naprava za segrevanje lokov

P r i m e r . Jeklen brezkončen trak ima debelino 1,0 mm in širino 50 mm, dolg je 3,5 m. Pri zeleni specifični teži-moči 7 000 W/m<sup>2</sup> dobimo s pomočjo univerzalnega nomograma potrebno napetost  $U = 5 \text{ V} = u$ , seveda v skladu s poznano specifično upornostjo jekla (ki pa je pri jeklih lahko zelo različna). K tej napetosti pa moramo dodati vsaj še 20% na račun induktivnih paicev. Zato moramo računati z inducirano napetostjo  $u = 6 \text{ V}$ . Gostoto v železu volimo  $B = 1,1 \text{ T}$ .

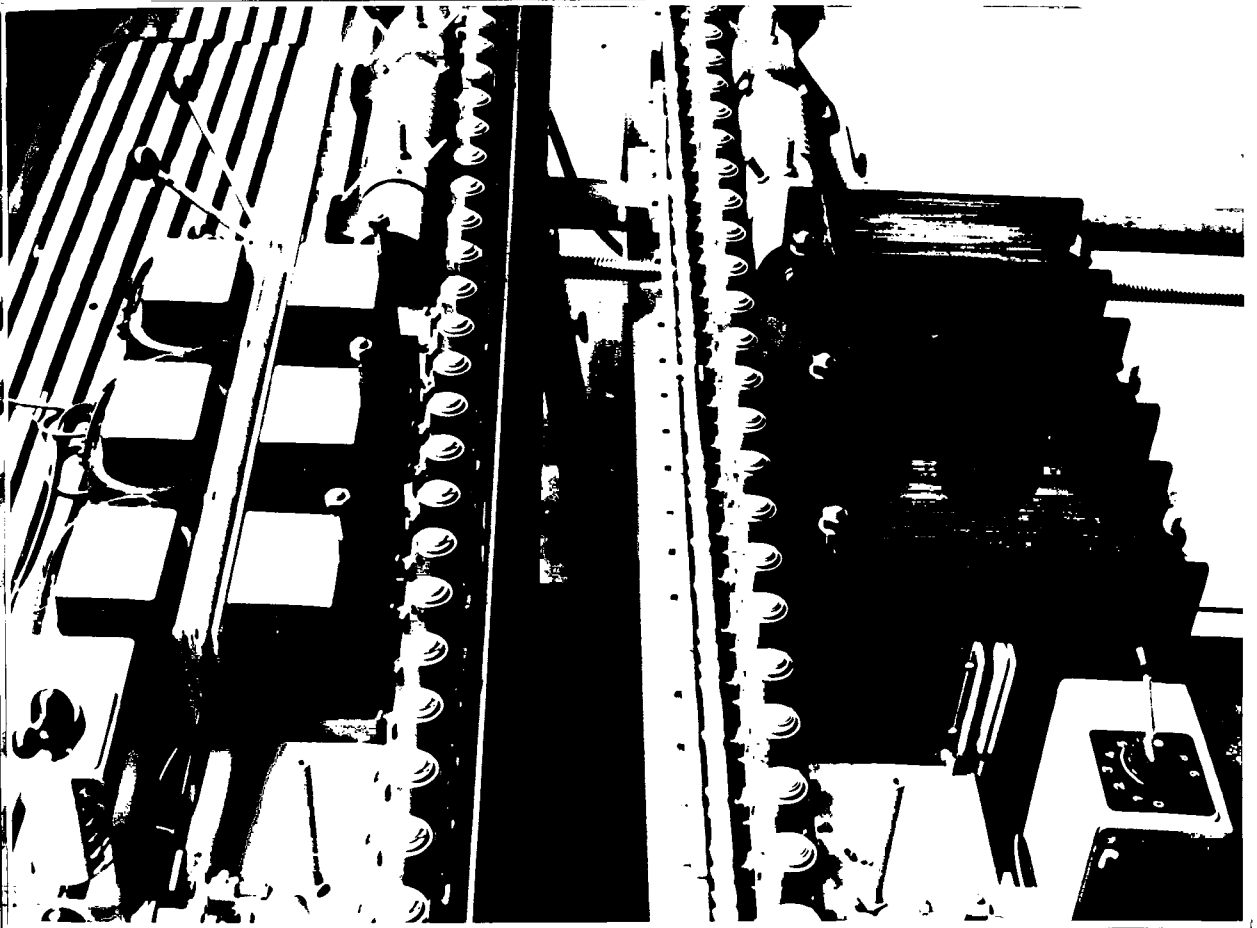
$$S = \frac{45 \cdot u}{B} = \frac{45 \cdot 6}{1,1} = 246 \text{ cm}^2$$

Vzamemo 3 transformatorje z 82 cm<sup>2</sup> železnega prereza. Število primarnih ovojev enega transformatorja bo, če je napajalna napetost 220 V:

$$n = \frac{45 \cdot U}{B \cdot S} = \frac{45 \cdot 220}{1,1 \cdot 82} = 110 \text{ ovojev}$$

Pri večjih napravah dosežajo napetosti na traku tudi do 15 V, prerezi jeder pa do 200 cm<sup>2</sup>, a priključne moči do 23 kVA. Ker je za to napravo  $\cos \varphi$  precej nizek, se včasih vgrajujejo tudi kondenzatorji za popraviljanje  $\cos \varphi$ .

Pri projektiranju indukcijskih grelnih naprav je priporočljiveje povprašati strokovnjaka elektrotehnika, ki bo proračun napravil točneje.

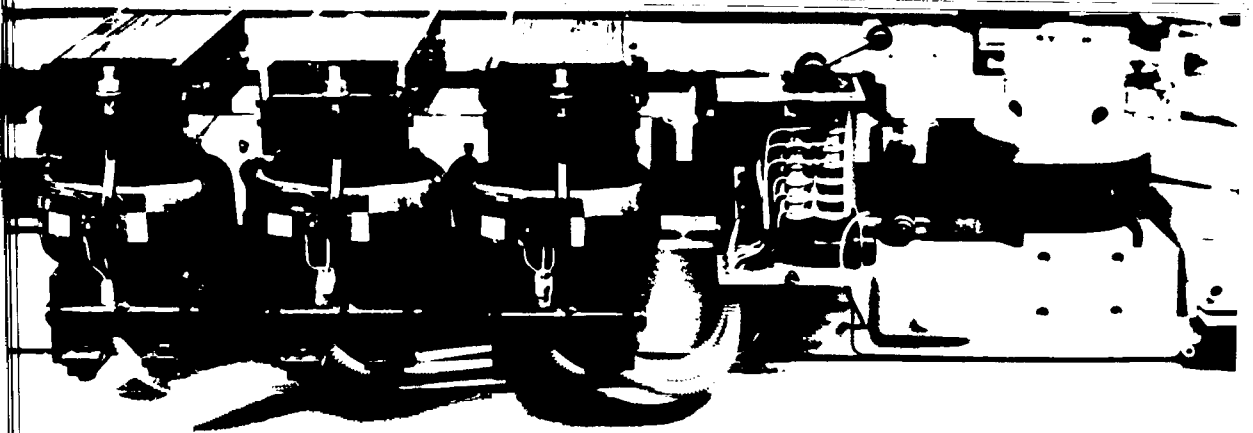


Slika 56. - Indukcijski del avtomatskega stroja za furniranje robov. Levim trem transformatorjem so jarmi odstranjeni, da je bilo moč vložiti grelni trak. Leva enota stroja je fiksna, desna pa se ji lahko primika ali odmika, da se tako prilagodi širini kosa. Dobro se vidi tudi tlačne cilindre.

Indukcijski del s transformatorji, grelnim trakom in tlačnimi cilindri nazorno prikazujeta sliki 56 in 57.

Tam, kjer vroč grelni trak teče skozi transformatorje, morajo biti le ti od njega toplotno izolirani. Zaradi velikih toplotnih izgub je priporo-

čljiivo dobro izolirati celotno pot traku s tem, da se vse skupaj pokrije s pokrovom, prevlečenim z azbestom. Na sliki 56 se dobro vidiyo izolacijske plošče. Tlačni cilindri morajo imeti zaradi segrevanja grafitne ležaje.



3

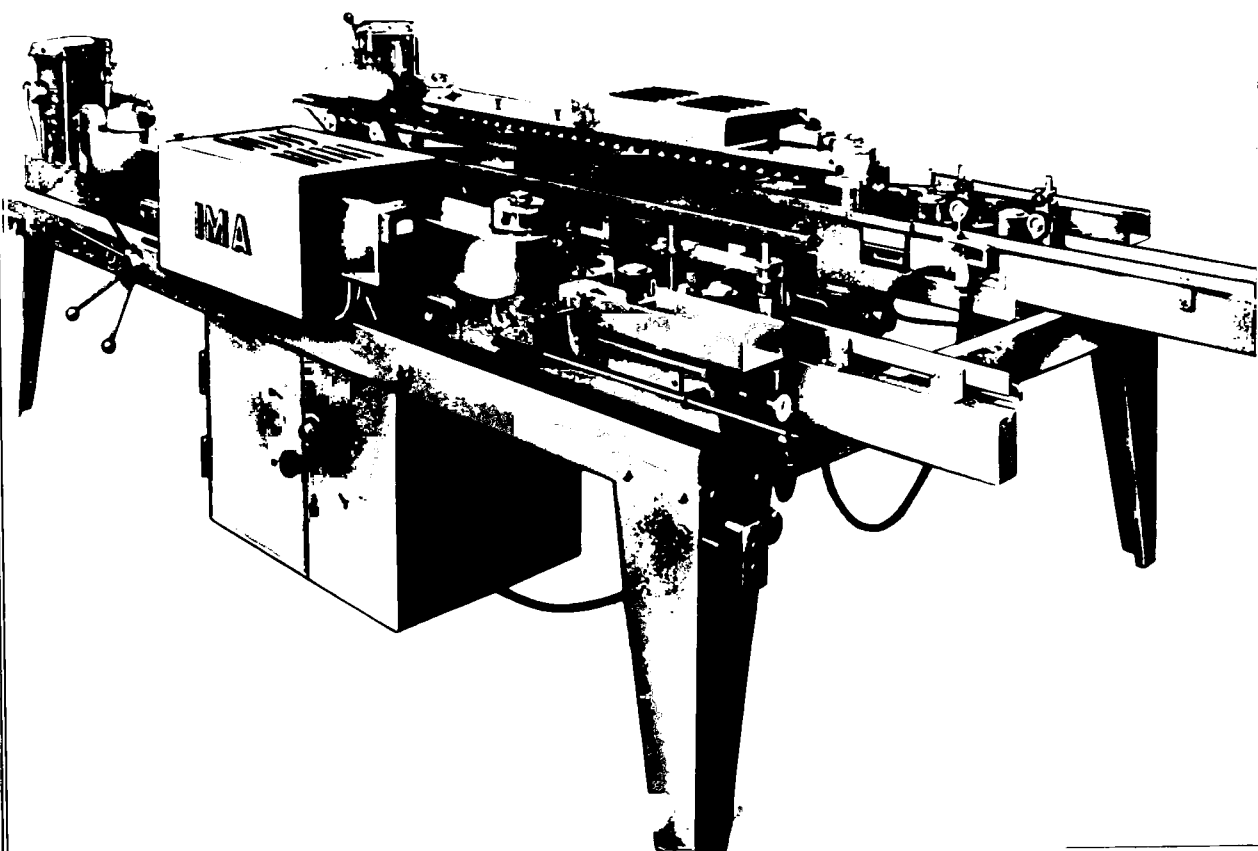
Slika 57. - Pogled na indukcijske transformatorje avtomatskega stroja za furniranje robov.

Debelina furnirja, ki se še lahko lepi na tem stroju, je 1,5 do največ 2 mm.

Delovna temperatura traku je okrog  $200^{\circ}\text{C}$ . Stroj sam kleja in vlaga trakove furnirja, prav tako po končanem lepljenju žaga nad površino štrleči rob furnirja.

Zaradi hitrega procesa na tem stroju niso uporabna vsa brza lepila. Priporoča se "Kaurit-Fugenleim 6" ali pa "Jowalit 506" tovarne BASF, Ludwigs-hafen, ali pa "Henkel-Pressal KA 29". Pregled na enega izmed takšnih strojev v celoti kaže slika 58.

(Proizvajalec tega stroja je firma IMA Maschinenfabrik Klessmann K.G., Gutersloh/Westf.)



Slika 58. - Avtomatski stroj za furniranje robov z induktivno gretimi grelnimi trakovi

## 2. Izolirana ploskovna grela

Izolirana ploskovna grela uporabljamo zlasti za večje grelne ploskve. Pri večjih grelnih ploskvah moramo zaradi prevelikih tokov, ki jih zahteva nesekcionirana grelna pločevina, uporabiti razne mere, da te tokove zmanjšamo. Omenili smo že, da ploskovna grela razdelimo v pasove ali jih razrežemo v meandre, uporabimo za grela mreže itd. Vsi ti posegi vnesejo v prej gladko površino presledke, ki jih je treba izravnati, ker bi se sicer z neko električno izolirno plastjo, ki pa je žal istočasno tudi toplotni izolator. Čez vse to pride gladka kovinska obloga, ki ščiti na eni strani grelo, na drugi pa izdelek.

Kovinska obloga je največkrat gladka aluminijasta plošča. Največkrat že

zadošča debelina 1,5 mm. Debelejše plošče so dražje in povzročajo pri grelih, ki obratujejo z velikimi pavzami, velike energijske izgube (glej tabelo v prejšnjem odseku!). Pri grelih z veliko toplotno kapaciteto in tam, kjer je mogoče, da se grela med pavzami zapro, želimo čim debelejšo ploščo. S tem se specifična moč grel zmanjša v primeri z greli z nizko toplotno kapaciteto.

Za izolacijo med grelom in zaščitno ploščo, kakor tudi med grelom in kalupom, uporabimo običajno tlačeno lepenko debeline 0,5 mm, včasih tudi 1,0 mm. Še boljše rezultate in kompaktnjšo enoto dobimo, če grelo kompaundiramo, to je, če ga vlepimo med dve plasti tlačene lepenke, s primer-no maso iz umetnih smol. Primeren je bakelitni lak, silikonski lak in Comelol lak. Kompaundiranje je posebno primerno, kadar uporabljamo za gre-la pocinkano mrežo, ker lak ščiti mrežo pred oksidacijo in odpadanjem cinka. Zgornja in spodnja lepenka ter vmesno grelo tvorijo potem ko se lak strdi, eno enoto. Posebno silikonski lak zdrži zelo visoke temperatu-re - tudi do  $400^{\circ}\text{C}$ , a je žal zelo drag.

Da bi ugotovili primernost lakov za kompaundiranje električnih grel, smo v Laboratoriju za elektrotermijo v Ljubljani napravili nekaj preizkusov impregnacije stisnjene lepenke s silikonskim in bakelitnim lakom, Preizkusi so pokazali, da stisnjena lepenka, impregnirana s silikonskim lakom, izredno pridobi na trdnosti in prožnosti. Te lastnosti obdrži tudi, če stalno obratuje grelo pri  $130^{\circ}\text{C}$ . Z bakelitnim lakom impregnirana stisnje-na lepenka je še nekoliko trdnejša, a tudi krhkejša. Pri  $140^{\circ}\text{C}$  trajnega obratovanja postaneta obe lepenki krhki. Bakelitni lak, kakor tudi sili-konski, izdeluje tovarna "Color" v Medvodah. Comelol melaminski lak iz-deluje Kemična tovarna v Kočevju. Polimerizacijska temperatura mu je  $120^{\circ}\text{C}$ . Ko je namreč grelo izdelano in kompaundirano, ga moramo polimerizirati pri polimerizacijski temperaturi in pod pritiskom, ki naj bo za nekaj atmosfer višji kot bo delovni pritisk.

Ne prizadevamo si preveč, da bi grela toplotno izolirali, ker je že les sam dober toplotni izolator - vsaj toliko dober kot je stisnjena lepenka.

Asbesta ne priporočamo, ker nima enakomerne debeline, boljši je klinge-rit. Tako najdemo dosti grel položenih direktno na les kalupa. Za temperature do  $110^{\circ}\text{C}$  je zelo primerna klobučevina, ki hkrati izvrstno izravnavava netočnosti kalupa ter zagotavlja enakomernejši pritisk po vsej grelni plošči. Iz istih razlogov podlagajo pod grelo tudi umetno gumo, ki vzdrži višje temperature. Primerna snov bi bila tudi Teflon, vendar je za sedaj še predrag. Zelo dober izolator je tudi steklotekstil. V kratkem ga bo začela izdelovati tovarna stekla v Skoplju. Za površinska grela je steklotekstil zelo primeren, ker vzdrži visoke temperature. Verjetno bo to še najbolj uporaben in cenen material.

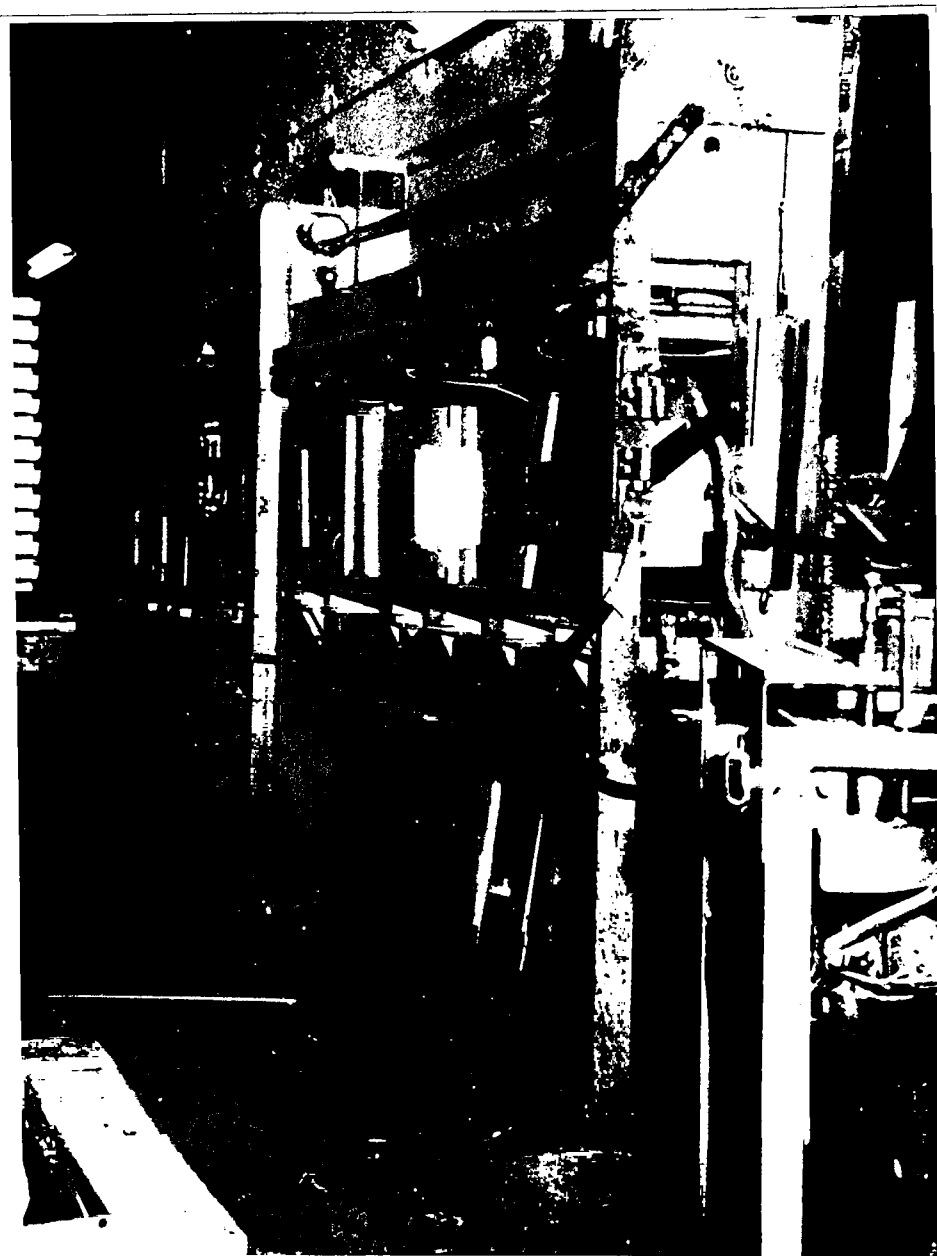
P r i m e r . Slika 59 prikazuje dve vertikalni robni stiskalnici, ki stojita v Tovarni pohištva v Novi Gorici. Električni podatki so naslednji: eno tračno grelo iz jeklene pločevine dimenzij  $140 \cdot 1320$  mm, debeline 0,33 mm. Napetost je 4 V, tok 400 A. Iz tega dobimo moč 1 600 W, specifična moč  $p = 8650 \text{ W/m}^2$  in  $\rho = 0,35 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

Grelo je pokrito z eno lego stisnjene lepenke in nato z debelo aluminijasto ploščo. To izvedbo bi bilo kritizirati zaradi aluminijaste plošče in izolacije iz stisnjene lepenke. Aluminijasta plošča porabi, da se segreje, veliko energije, ki jo nato v pavzi odda okolici. V tem primeru ni nujno potrebno, da bi bilo grelo pokrito. Zaradi predočenja toplotnih izgub, ki jih povzroča taka plošča pri periodično obratujočih grelih, smo sestavili razpredelnico, ki naj pokaže, koliko časa bi bilo potrebno pri različnih specifičnih močeh grela, da bi se segrela 4 mm debela aluminijasta plošča od  $20^{\circ}\text{C}$  na  $110^{\circ}\text{C}$ , če bi se za segrevanje plošče uporabila vsa energija (kar se nikoli ne zgodi), ali pa samo 50%.

Čas, potreben za segrevanje 4 mm debele aluminijaste plošče od 20 na  $110^{\circ}\text{C}$  :

$p \text{ W/m}^2$	100% izraba energije	50% izraba energije
1 000	15,5 min.	31,0 min.
1 500	10,3 min.	20,6 min.
2 000	7,7 min.	15,4 min.
3 000	5,2 min.	10,4 min.
4 000	3,9 min.	7,8 min.
8 000	1,9 min.	3,9 min.

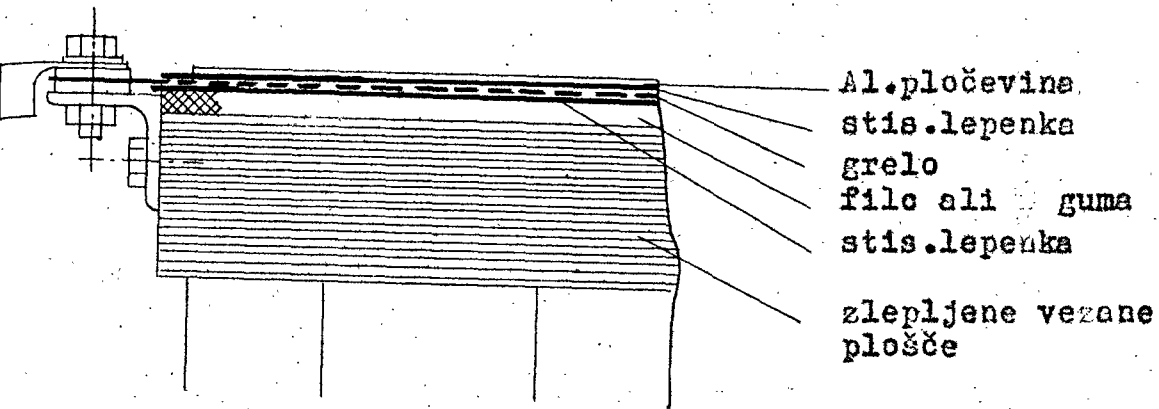




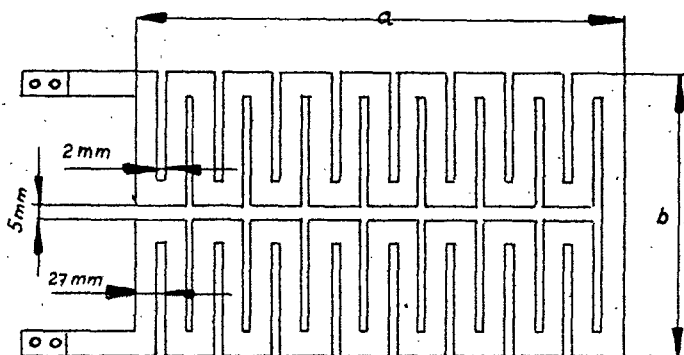
Slika 59. - Vertikalna robna stiskalnica z zračnim mehonom za izvajanje pritiska

Iz razpredelnice lahko vidimo, da  $1 \text{ m}^2$  aluminijaste pločevine, debele 4 mm, odda po štirih ohladitvah 1 kWh v okolico. Pri grelih, ki obratujejo z velikimi pavzami in kjer med temi pavzami grel ni mogoče zapreti, da bi tako preprečili ohlajevanje, volimo, če le mogoče, gola grela, to je grela z majhno toplotno kapaciteto.

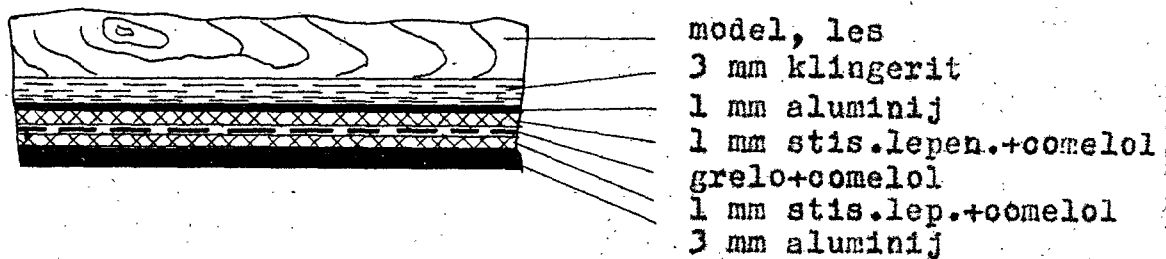
Na isti sliki je zgoraj dobro videti dve vzporedni gasilski cevi, ki izvajata potrebni pnevmatični pritisk, in pa solidno šestperesno stikalo za velike toke.



Sl.60 Prerez skozi grelo stiskalnice za furniranje ravnih robov.



Sl. 61 Izrezano meandersko grelo



Sl. 62 Prerez čez grelo

Prerez skozi grelo in podlogo kaže slika 60.

1.2.1 Grela iz pločevin in mrež velikih površin. - Ker grela velikih površin zaradi velikih tokov ne moremo izdelati iz ene pločevine v celem, le-to razrežemo v pasove ali meandre. Oglejmo si torej nekaj primerov:

**P r i m e r 1 .** Grela iz izrezane aluminijeve pločevine, debeline 0,5 mm ima obliko, kot jo kaže slika 61. Meandrsko obliko grela vložimo med dve tlačeni lepenki (slika 62) in kompaundiramo s Comelolom. Tako se meandri ne morejo več premikati in povzročati medsebojnih stikov. 1 mm debela aluminijasta plošča, ki je položena preko klingerita, je za izravnavo neravnosti kalupa in klingerita. Grela, kakor ga kaže slika 62, je sorazmerno drago, a zelo obstojno. Primerno je za stiskalnice, kjer so pavze kratke. Sodi med grela s srednjo toplotno kapaciteto.

Izmed vseh pločevin, ki jih uporabljamo za izrezavanje meandrov, se je še najbolje obnesel aluminij. Ima sicer zelo nizko specifično upornost, vzamemo pa zaradi tega lahke folije, in sicer toliko, kolikor je še iz mehanskih razlogov dopustno. Ni se bati, da bi se zavoljo korizije prerez zmanjšal in bi prišlo do lokalnih pregretij. Iz mehanskih razlogov za velike ploščine običajno ne gremo pod debelino 0,1 mm. Ker je več vrst aluminijskih zlitin, navajamo tipe: ALMg5, "dural" AlCuMg in "pantal" AlMgSi Tovarne lahkih kovin "Boris Kidrič" iz Šibenika. Izdeluje jih v naslednjih dimenzijah:

#### PLOČEVINE

Debelina mm	Standardne dimenzije	Maksimalne dimenzije
	Al pločevine mm	Al pločevine mm
0,25...0,5	500 . 2000	600 . 2000
0,5 ...1,0	800 . 2000	1000 . 2000
1,0 ...1,5	1000 . 2000	1200 . 3000
1,5 ...2,0	1000 . 2000	1500 . 4000
2,0 ...3,0	1000 . 2000	2000 . 6000
3,0 ...4,0	1000 . 2000	2000 . 8000

#### TRAKOVI BREZKONČNIH DOLŽIN

Debeline trakov: 0,10 ; 0,15; 0,20 imajo minimalno širino 10 mm in maksimalno širino 650 mm.

Debeline trakov: 0,25; 0,30 in 0,40 mm imajo minimalno širino 20 mm in maksimalno širino 700 mm.

Debeline trakov: 0,50; 0,60; 0,80; 1,00 mm imajo minimalno širino 20 mm in maksimalno širino 1200 mm.

## FOLIJE

Od debeline 0,009 mm...0,2 mm so širine traku od 20...620 mm.

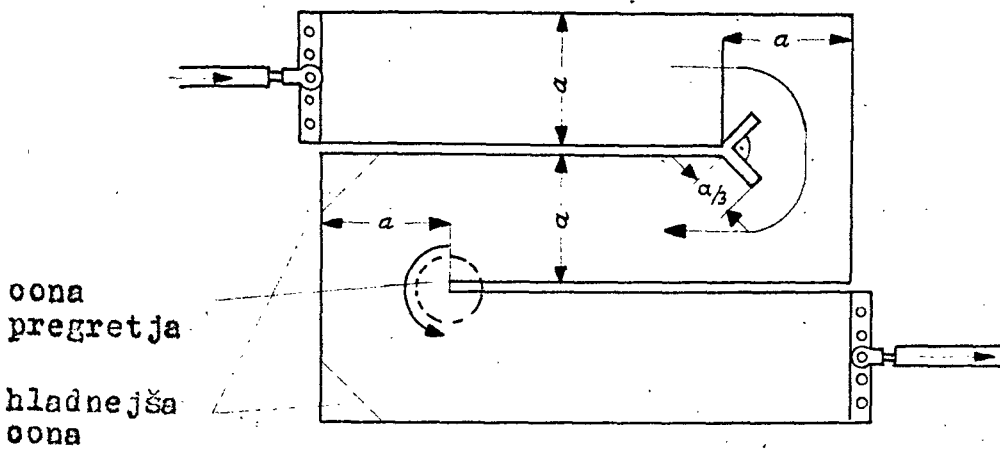
Pri obratovanju meandrskih grel, ki obratujejo z visokimi specifičnimi obremenitvami, nastopajo večkrat težave z lokalnimi pregretji na mestih, kjer se konča zarez meandra in s hladnejšimi conami v kotih meandra. Obema do neke mere odpomoremo, če konec zarez meandra izoblikujemo z dvema novima zarezoma, stoječima drug na drugem pravokotno v obliki črke Y (slika 63).

Če je grelo iz debele pločevine, če je zgornja zaključna aluminijska plošča debela in če specifične moči niso zelo visoke, ta pojav ne pride do izraza. Temperaturne razlike se v grelu samem, nato pa še v zaključni plošči precej izenačijo in niso potrebna dodatna zarezovanja meandrov.

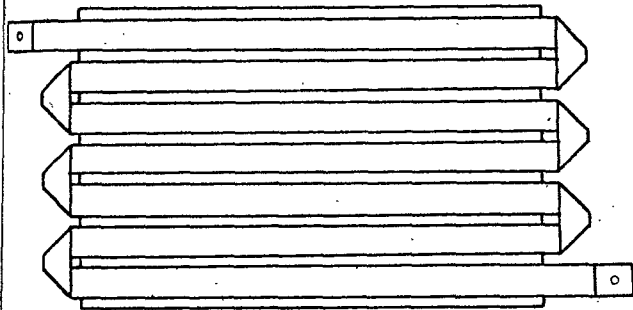
Teh težav pri ploščinskih grelih, ki so sestavljeni iz trakov, ni, je pa zato nerodnejše delo pri samem sestavljanju širokoploškovnih grel (sl. 64) Na tej sliki vidimo sestavljeno širokoploškovno grelo ozkih trakov. Grelo je iz enega samega traku. Iz električnega vidika je to zelo ugodna konstrukcija, ker so tu toki majhni in napetosti velike. Zapognjeni konci morajo gledati na koncu iz izolacije, ker bi se sicer pojavljala tam pregretja in pa razlike v debelini.

Zelo ugoden material za to vrsto grel je Kanthal DS. Največja širina kanthalovega traku je 50 mm pri debelini 0,3 mm. Dimenzija 50.03, mm ima upornosti 0,09 Ohm/m in težo 108 g/m. Cena Kanthala je sedaj okrog 10 000 din/kg. Za to izvedbo so tudi zelo primerni aluminijasti trakovi, včasih tudi folije.

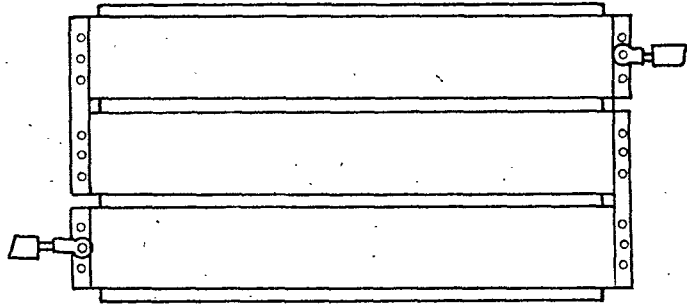
Presledki med trakovi naj bodo čim manjši, a vedno tolikšni, da ne pride do stikov med posameznimi trakovi. Gibljejo se oed 2 in 10 mm. Trakove fiksiramo z vlepljanjem (silikonski lak, bakelitni lak, Comelol) med dve plošči tlačene lepenke ali pa steklotekstila, včasih tudi s pribijanjem na kalup (pozor - raztezanje!).



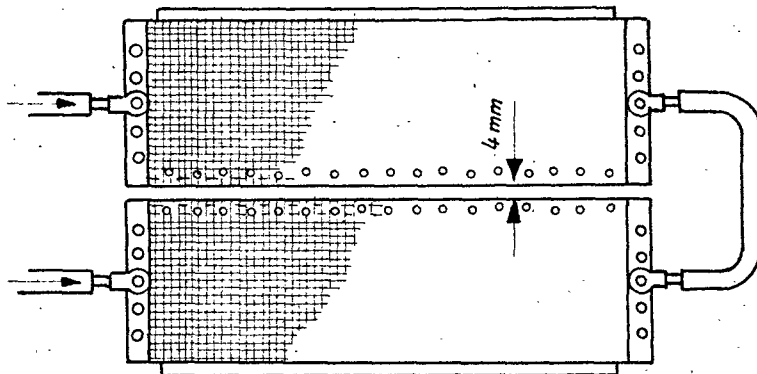
Sl. 63 Lokalna pregretja in hladnejše cone meanderskih grel, ter ukrep za izenačevanje temperatur z Y zarezo



Sl.64 Primer sestavljanja široko-ploskovnega grela iz ozkih trakov. Trak prepogibamo



Sl.65 Primer sestavljanja široko-ploskovnega grela iz srednje širokih pasov. Trakove spajamo s kovinskimi tračnicami



Sl. 66 Primer sestavljanja širokoploskovnega grela iz širokih pasov mreže. Kovinske tračnice /elektrode/ sprajamo s kabli

Slika 65 kaže primer spajanja srednje širokih grelnih pasov s pomočjo primernih kovinskih tračnic (elektrod), med katere stisnemo grelni pas.

Na sliki 66 vidimo širokoploskovno grelo, sestavljeno iz dveh širokih pasov mreže. Če so pasovi široki, jih moramo vezati med seboj tako, da je priključek na sredi širine traku in ne tako, kot je to pokazano na sliki 65. Zaradi napetostnih padcev v dolgih kovinskih tračnicah pride do istega pojava lokalnih pregretij in hladnih con, kot pri meandrskih grelih. Slika 67 nam kaže širokoploskovno grelo z dvema širokima pasovoma iz žične mreže (Tovarna pohištva, Nova Gorica).

Pri sestavljanju grel iz mreže moramo paziti na to, da režemo pasove vzdolž niti in ne v poljubni smeri. Tok prevajajo le vzdolžne niti. Toplota se torej proizvaja le v vzdolžnih žicah. Vsekakor bodo te žice pri isti specifični moči dosegle višje temperature kakor pa na primer grelo iz pločevine, ki ima večjo aktivno površino. Zaradi tega pri navadni izolaciji iz stisnjene lepenke ni priporočati za mreže večje specifične moči kot pa  $5\ 000\ \text{W}/\text{m}^2$ . Če imamo mrežna grela kompaundirana (impregnirana), ali če jih imamo izolirana s steklotekstilom ali teflonom, lahko gremo s specifičnimi močmi še više.

Grela iz mrež so skoro nenadomestljiva, kadar imamo opraviti z dvojno krivimi ploskvami, ker se dobro prilagodijo tudi takim oblikam. V tem primeru je treba opozoriti, da pride do majhnih ali pa tudi večjih lokalnih pregretij. Kvadrati mreže zaradi zvižanja spremene svojo obliko - postanejo rombi. Specifična moč se namreč tolikokrat poveča, kolikokrat je ploščina romba manjša od ploščine prvotnega kvadrata. Nova specifična moč bo:

$$p' = p \frac{1}{\cos \alpha}$$

kjer je  $\alpha$  ostri kot romba in  $p$  prvotna specifična moč kvadrata.

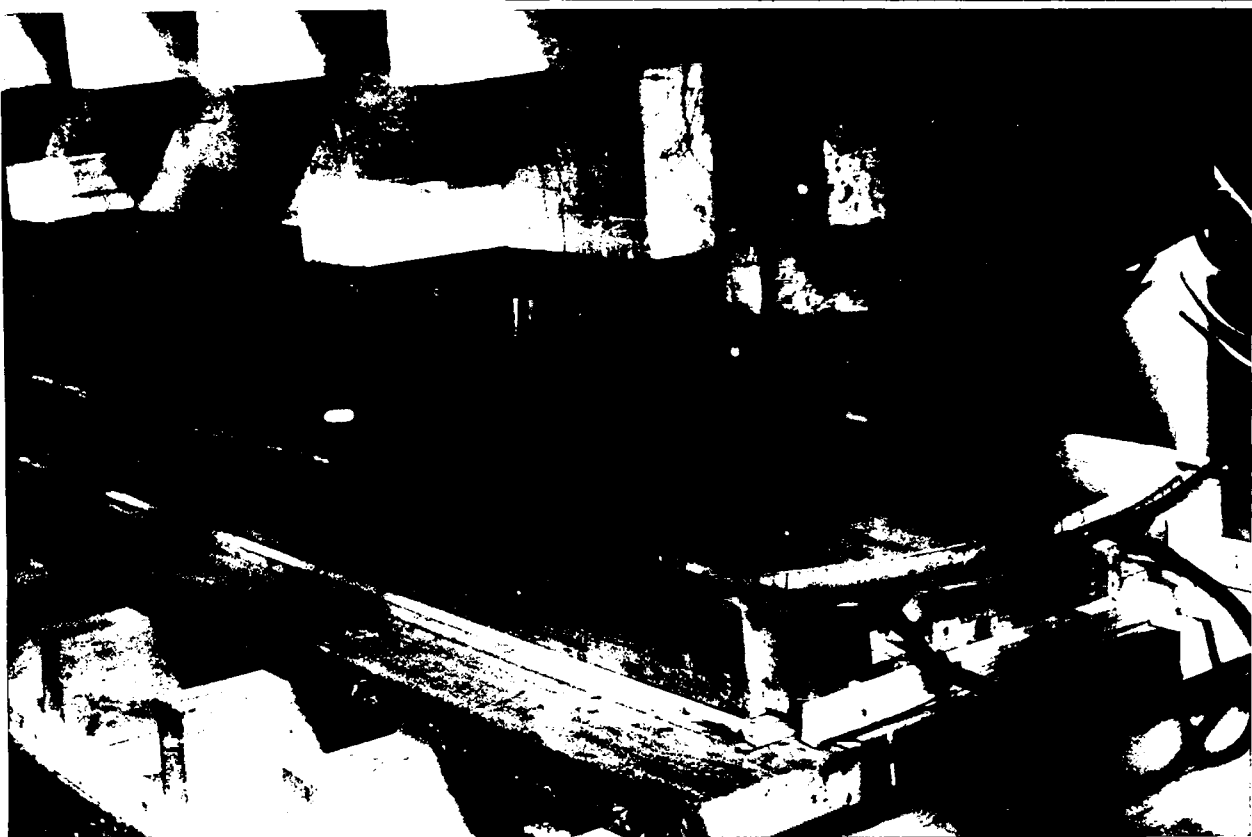
Pogosto uporabljamo železno pocinkano mrežo št. 16 s premerom žic 0,3 mm. Slaba stran teh mrež je ta, da jim cinkova prevleka rada odpada in se nabira na najnižjem mestu. To povzroča izbokline, včasih pa tudi preboj

izolacije in potem kratki stiki lahko uničijo aluminijasto prevleko. To se seveda pripeti šele po več mesecih neprestanega obratovanja. Temu odpomoremo tako, da grelo kompaundiramo. Če žica ni pocinkana, jo v primeru, da ne kompaundiramo, prej namažemo z oljem, da potemni in potem ne rjavi.

Če grelne mreže ne kompaundiramo, moramo medsebojno lego pasov fiksirati kako drugače. Običajno jo kar pribijemo z žeblički na podlogo. Obnesejo se tudi sponke za papir. Rega med pasovi naj bo čim manjša, na primer 4 mm.

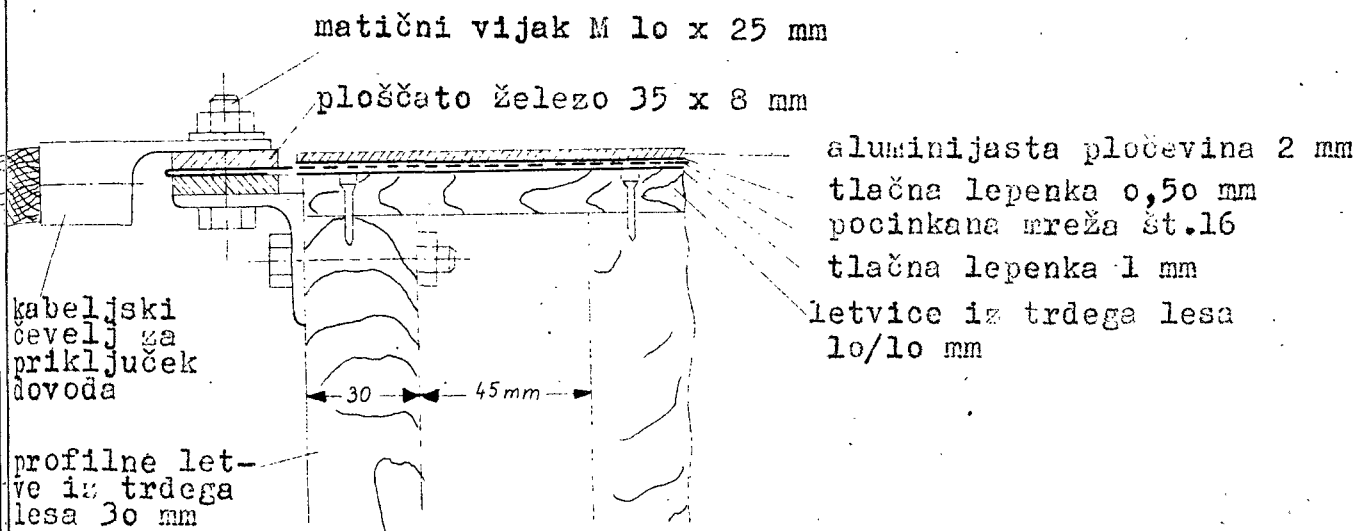
bili

Da ne bi robovi izdelka zaradi večjih toplotnih izgub navzven hladnejši, je treba napraviti grelo vedno nekaj večje od kosa, ki ga izdelujemo.

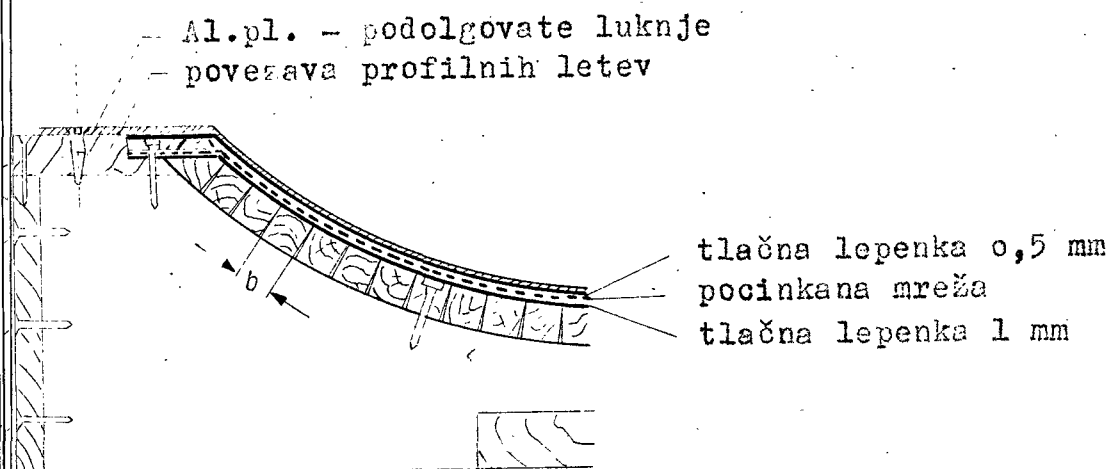


Slika 67. - Širokoploskovno grelo z dvema širokima pasovoma iz žične mreže.

Zadostovalo bi še 0,5 cm, vendar vzamemo kar približno za 2 cm večjo



Sl. 68. Vzdolžni rez kalupa za okrogline



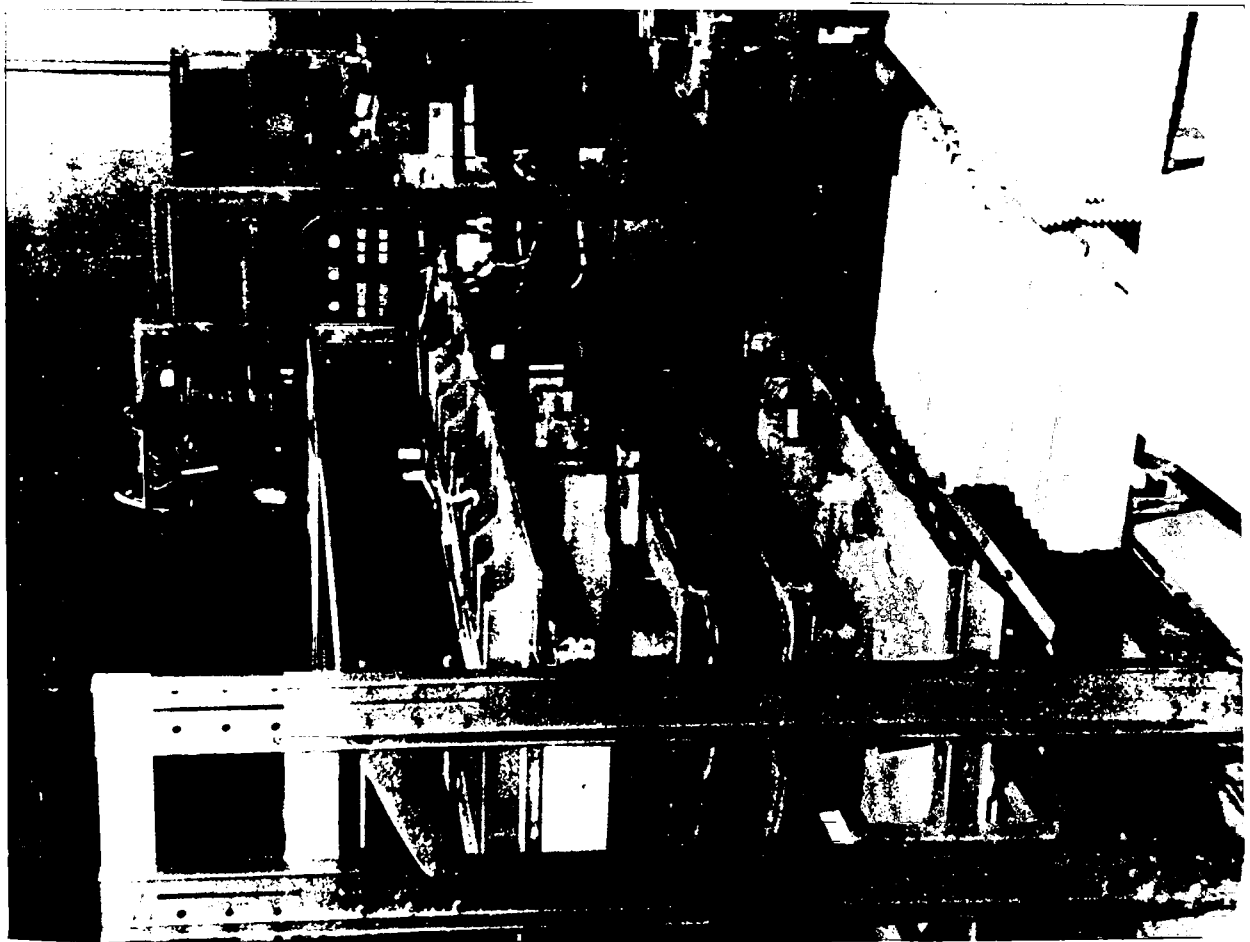
Sl. 69. Prečni rez kalupa za okrogline



mero, da ni treba kosa tako natančno naravnovati. S tem večanjem mer pa ne smemo pretiravati. Grela ne sme preveč presegati mer kosa, zlasti ne, če imamo grela z veliko specifično močjo, ker bi zavoljo slabšega odvajanja toplote lahko višja temperatura pokvarila izolacijo.

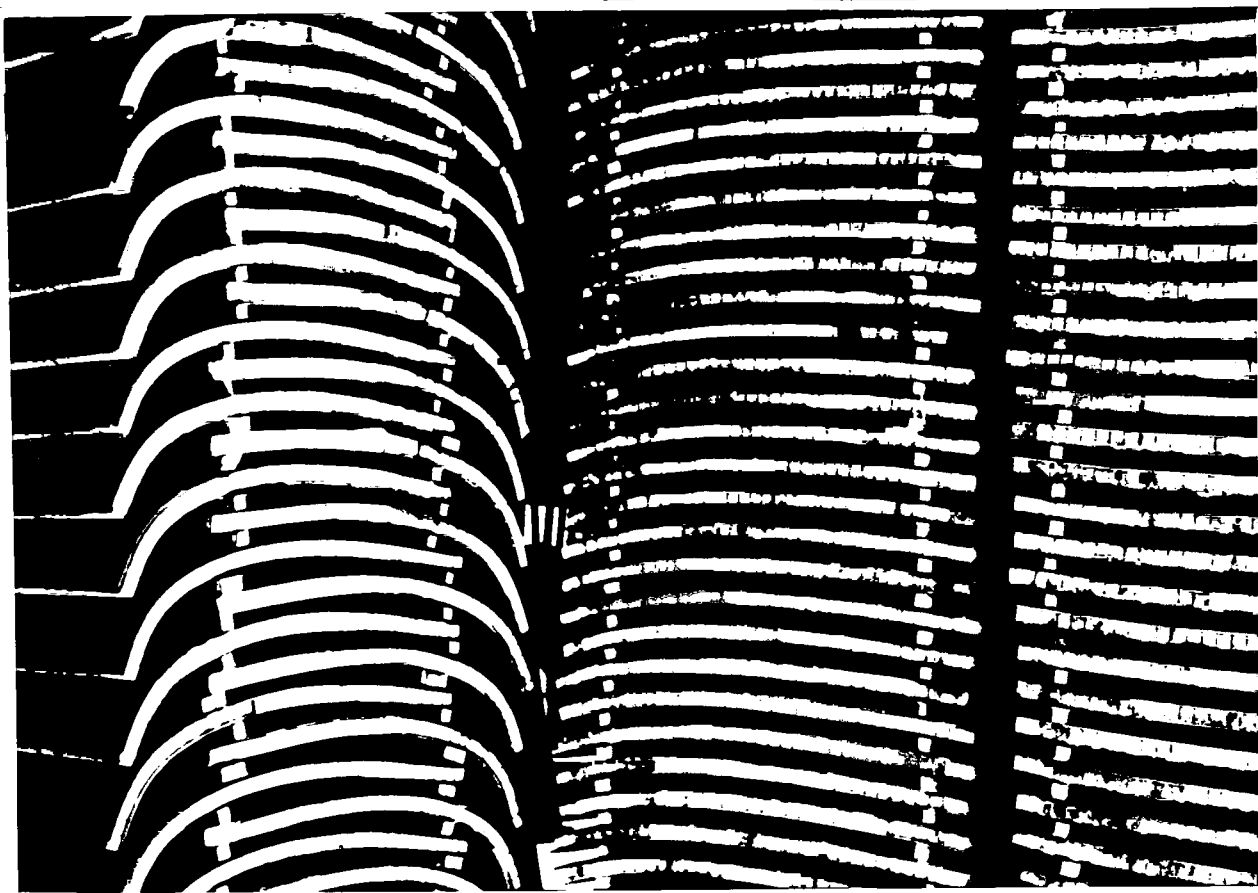
1.1.2.2 Izdelava kalupov za širokoploskovna grela. - Prednost elektrouporovnega načina furniranja in gretja je v veliki meri v tem, da so potrebne šablone in kalupi lahko leseni, izdelani doma in zato poceni. To so lahko kalupi za ravne, prav tako pa tudi za krive ploskve. Žal pa se ti kalupi kdaj pa kdaj zvijejo. Pri izdelavi kalupov se moramo tega zavedati in storiti vse, da to preprečimo.

Na sliki 68 in 69 vidimo primer konstrukcije grel za velike ploščine. Grela so konstruirana v Tovarni pohištva v Novi Gorici in so prirejena za veliki stiskalnici (slika 70).



Slika 70.-Veliki stiskalnici v Tovarni pohištva v Novi Gorici. Stiskalnici sta za elektrouporovno lepljenje in furniranje. Na vrhu stiskalnice se dobro vidi transformator za velike toke.

Ta konstrukcija se je dobro obnesla in se pri kolebanju temperature niti ne zvija. Značilna so močna prečna rebra debeline 3 cm, ki jih postavimo na vsakih 4,5 cm, in razmeroma tanke vzdolžne letvice 1 . 1 cm. Tako je moč izdelati zelo različne oblike kalupov, ki so hkrati do neke mere elastični. Kalupe moramo navzven dobro izolirati, posebno skrajne, sicer dobe zaradi toplotnih izgub nižje temperature. Kalupe poceni in dobro izoliramo z žilindrino volno, s katero izpolnimo prostore med prečnimi rebri.



Slika 71. - Nekaj izdelkov iz velike stiskalnice (slika 70 ).

Detajle obravnavane stiskalnice kažeta tudi fotografiji na slikah 40 in 41, nekaj izdelkov iz te stiskalnice pa slika 71. Na prvih dveh slikah vidimo, kako je srednji del kalupa obešen na verige. Te verige je dobro obleči v gumaste cevi, da nam ne bi delale kratkih stikov, kadar se stiskalnica stisne.

Zelo važno je, kako pritrjujemo na kalup posamezne dele grela, kajti vsi deli in kalup nimajo enakih raztezkov, ko se segrevajo. Če tega ne upoštevamo, se površina vzvalovi in pri ponovnih stiskanjih pokvari.

Toplotno izolacijo pritrdimo neposredno na kalup z lepljenjem ali pribinjanjem samo, ali pa skupno z grelom. Meandrska in mrežna grela prilepimo alipritrdimo na podlogo skozi izolacijsko plast. Izolacijsko plast med grelom in zaščitno aluminijasto ploščo pritrdimo le na en zunanji rob kalupa. Ta plošča mora biti večja od grel. Če je grelo kompaundirano, ga pritrdimo le na en rob kalupa. Zelo skrbno moramo pritrditi zaključno aluminijasto ploščo. Običajno je sploh ne pritrdimo z vijaki, temveč robove zavijamo, kot to kaže slika 72, preko letvice, a to privijamo na kalup skozi luknje v pločevini. Če hočemo pločevino privijačiti na kalup, napravimo to tako, da se more pločevina širiti v vse smeri. Vijaki, ki sede v regah, ne smejo biti pritegnjeni.

Za približno predstavo o raztesku plošče navajamo, da se 1 m dolga aluminijasta plošča pri segretju za  $100^{\circ}\text{C}$  raztegne za približno 2,5 mm. Plošča, dolga 2 m, naj bi imela najmanj 10 mm dolg utor.

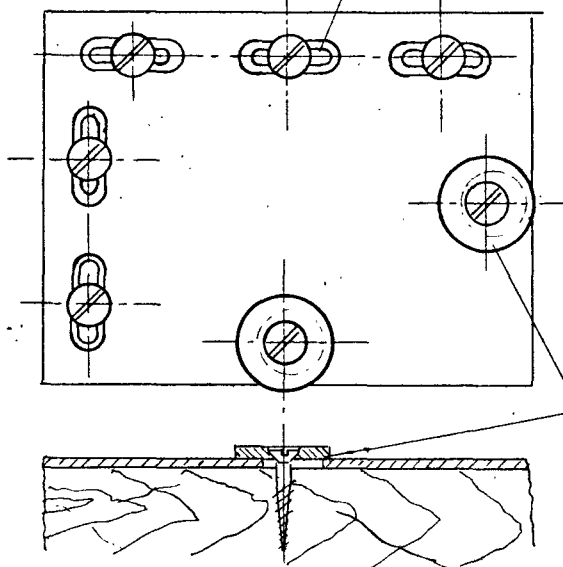
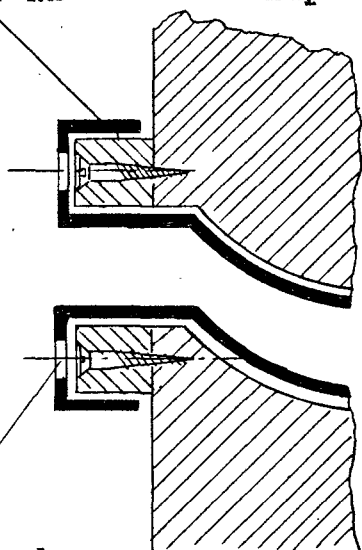
2.3 Naviti grelni vložki. Vsi doslej opisani načini segrevanja so temeljili na uporabi nizke napetosti, ki ima to veliko in odločilno prednost, da je za posluževalce izključena vsaka nevarnost tokovega udara. Naslednja odseka obravnavata grela, ki delujejo na običajno mrežno napetost. Ta grela so izmed vseh najcenejša, ker ne potrebujejo transformatorja. Ob nepravilni ali nemarni uporabi pa so lahko ta grela zaradi slabe konstrukcije ali vzdrževanja življenjsko nevarna in jih ne kaže priporočati za splošno rabo.

Stopnja nevarnosti ni odvisna le od grel, temveč v pretežni meri od okolice. Kakor niso za suhe stanovanjske prostore z lesenim podom brez dosegljive centralne kurjave ali vodovoda predpisane nikake dodatne zaščitne mere, tako so zahtevane za kopalnice, kleti in prostore, kjer so razne kovinske konstrukcije in pa prevodna tla, najstrožje varnostne mere. Delovna mesta v naših tovarnah bi le redkokdaj lahko vzporejali s suhim

napognjena Al  
plošča

kalup

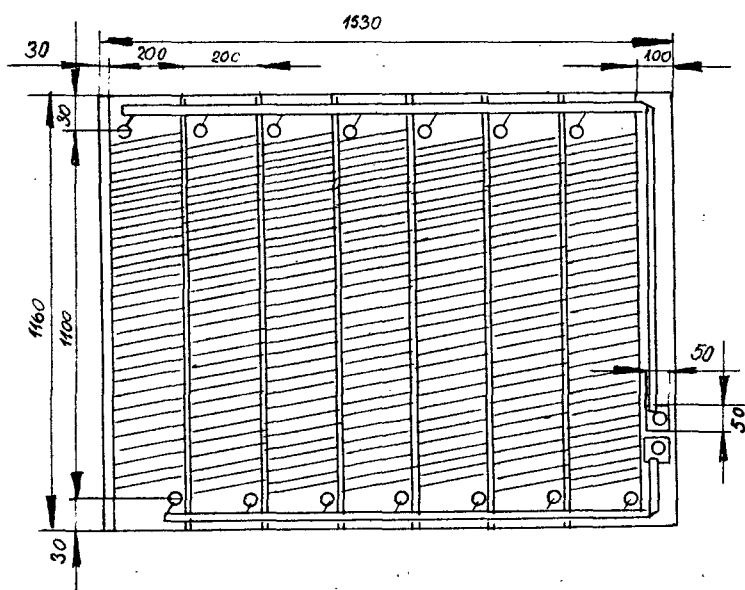
pritrditvev na vijak in  
režo



pritrđi-  
tev s  
ploščico

uknja za od-  
vitje vijaka

Sl. 72 Načini pritrditve aluminijeve plošče na kalup zaradi toplotnega raztezanja



Sl. 73 Sestavljanje grela večje površine in posameznih navitih vložkov

stanovanjem brez dosegljivih kovinskih delov, da bi lahko uporabili cene-  
na grela.

Če omenjenim grelom dodamo kovinski oklep, ki ga predpisno varujemo z  
zaščitnim vodnikom, se stopnja varnosti znatno zviša. Tako grelo bi lah-  
ko potem priporočali za splošno rabo. Kajpada ga mora konstruirati stro-  
kovnjak elektrotehnik, ki nosi tudi odgovornost. Stanje take naprave je  
treba med obratovanjem večkrat kontrolirati.

Na sliki 73 si oglejmo grelo večje površine, sestavljeno iz navitih greln-  
nih vložkov! Na njem bomo tolmačili konstrukcijo in izračun.

Grelo naj obratuje s specifično močjo  $p = 4\ 000\ \text{W/m}^2$ . Potrebna velikost  
grelne površine je  $1050 \cdot 1350\ \text{mm}$ . Zaradi večjega ohlajevanja na robovih  
dodamo povsod še  $25\ \text{mm}$ , tako da ima segrevalna ploskev izmere  $1100 \cdot$   
 $1400\ \text{mm}$ . To površino je treba razdeliti v posamezne pasove in jih naviti  
z žico tako, kakor so navitigrelni vložki v električnih likalnikih, nato  
pa jih zopet sestaviti v ploskev zahtevane izmere.

Opis grela: Ploskev sestaja iz 7 grelnih pasov, od katerih je vsak širok  
 $200\ \text{mm}$  in dolg  $1160\ \text{mm}$ . Ogrevani del meri v dolžino samo  $1100\ \text{mm}$ .

Grelo izdelamo tako: Vzamemo 5 pol stisnjene lepenke (od  $0,5 \dots 0,8\ \text{mm}$ ),  
od katerih po dve uporabimo za zgornjo in spodnjo izolacijo. Srednjo  
ploščo razrežemo v pasove ( $200 \cdot 1160\ \text{mm}$ ), na katere navijemo žico. Po  
končanem delu namažemo vse ploskve z impregnacijskim sredstvom in stis-  
nemo, da se vse skupaj zlepi v celoto.

Vseh 7 narezanih pasov pložimo drugega vrh drugega in zažagamo v robove  
plitve zareze (seveda na natanko označenih mestih), da bo navitje toč-  
nejše in da žica ne bo drsela. Preden paket razdremo, izvrtamo na vsa-  
kem koncu po eno luknjo, skozi katero pri navijanju prevlečemo žico in  
jo zapognemo nazaj, da se konec ne bi odvijal.

Ko so grela navita, jih položimo na spodnji dve legi papirja drugega po-  
leg drugega (slika 73). Navoji sosednjih pasov se medsebojno ne dotikajo,  
ker so zaradi izžaganih utorov nekoliko vtopljeni v rob. Če bi se tudi

slučajno kje dotaknili, ni nobene škode, ker med njimi zaradi paralelne vezave tako ni nobene potencialne razlike.

Priključek grelnih pasov izvršimo s tankim bakrenim trakom, na katerega prilotamo malo potolčene konce grelne žice. Za priključek dovoda izdelamo dve ploščici iz 0,9 mm debele bakrene pločevine, izmere 50 . 50 mm. V pas (100 . 1160 mm) izrežemo dve luknji 50 . 50 mm, kamor vložimo na priključene trakove prilotane bakrene ploščice 50 . 50 mm. Tako sestavljeno grelo pokrijemo s preostalima dvema ploščama (1530 . 1160 mm), še prej pa smo vanje izrezali dve kvadratni ploščici 50 . 50 mm. Vse ploskve vseh petih pol, razen zunanje, namažemo z impregnacijskim sredstvom, vložimo v stiskalnico (ki je lahko tudi kalup s krivino) in stisnemo. Polimerizacijska temperatura mora biti večja kot pa bo delovna temperatura grela, prav tako tudi pritisk. Priporoča se pritisk do 20 atmosfer. Ko je grelo že pečeno, impregniramo še zunanje ploskve in jih prav tako spečemo, toda brez pritiska.

Priključni vodnik mora biti iz pletene težke delavniške vrvice, priključek sam pa zavarovan z izolirano škatlico. Priključni vodnik mora biti razbremenjen na poteg (pritrjen mora biti tako, da sponke niso mehansko obremenjene, če vlečemo za vodnik).

Če hočemo grelo zaščititi, vzamemo še dve aluminijasti plošči in ju vzdolž vseh robov privijamo z vijaki z vtopljenimi glavami tako, da tvori grelo eno celoto.

Priključno omarico napravimo tako, da pod sponkami na dveh mestih zažagamo spodnjo aluminijasto ploščo in jo zapognemo navzdol (slika 74). Zapognjeni del opremimo z vijakom za priključek zaščitnega vodnika in s skobo za razbremenitev priključka na poteg. Pokrov izdelamo iz istega materiala kot je zaščitna plošča.

Račun grela. - Element (eden izmed enakih grelnih pasov) naj bo dolg "a" in širok "B", metrov. Njegova grelna površina bo torej:

$$S = a \cdot b \text{ [m}^2\text{]}$$

Če je "n" število utorov/meter roba grelnega pasu (= število ovojev/meter roba), je dolžina navite žice na enem elementu:

$$l = 2 n a b \quad [m]$$

Upornost enega elementa, navitega z žico, katere upornost je  $r \quad /m$ , znaša

$$R = 2 n a b r$$

Če je "p" specifična moč grela v  $[W/m^2]$  (upoštevamo samo eno plat grela), bo moč enega pasu:

$$P = p a b \quad [W]$$

Ker pa je moč tudi:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad [W]$$

bo

$$\frac{U^2}{R} = p a b$$

Vstavimo še izraz za R in dobimo:

$$b^2 n = \frac{U^2}{2 p r a^2} \quad (\text{dimenzije kot zgoraj})$$

Veličine na desni strani enačbe so običajno znane, ali pa jih izberemo na podlagi priporočil. Te veličine pa lahko pri iskanju optimalne rešitve tudi variiramo. Navajamo tale priporočila:

Zelo primerna žica za ta grela je konstantan  $d = 0,45$  mm, ki ima upornost  $r = 3,1 \quad /m$ . Lahko pa uporabimo tudi železno ali jekleno žico, žico iz kromniklja ali kanthala itd. Širina pasu "b" naj bi bila nekje med 0,15 in 0,25 m. Število ovojev na 1 m dolžine robu elementa pa naj bo nekoliko nad  $n = 100$  ovojev/m.

Na koncu kontroliramo račun z obrazcem za specifično moč grela:

$$P = \frac{P}{S} = \frac{U^2}{R \cdot S} = \frac{U^2}{2 n a^2 b^2 r}$$

Primer .  $U = 380$  V, žica konstantan  $d = 0,45$  mm,  $r = 3,1 \Omega /m$ ,  $p = 4000$  W/m<sup>2</sup>,  $a = 1,1$  m (slika 73)

$$b^2 n = \frac{380^2}{2 \cdot 4000 \cdot 3,1 \cdot 1,1^2} = 4,8$$

Če volimo  $b = 0,15$  m, bo:

$$n = \frac{4,8}{0,15^2} = 214 \text{ ovojev/m}$$

kar je nekoliko preveč. Zato volimo  $b = 0,20$  m in dobimo:

$$n = \frac{4,8}{0,2^2} = 120 \text{ ovojev/m, kar ustreza}$$

Ni nujno, da režemo grelnne pasove počez - lahko zrežemo grelnne ploskve tudi po dolgem, kakor pač bolj ustreza obliki. Prav tako bi tudi lahko grela vezali v serijo, vendar se tega izogibamo, ker sicer vlada med sosednjimi robovi pasov potencial in se žice ne smejo dotakniti druga druge.

1.2.4 Gumijaste grelnne prevleke. - V Angliji so razvili poseben tip gumijastih grelnnih prevlek, ki jih pogosto označujejo s kratico E.R.S. (Electrothermal Rubber Sheet). To so približno 5 mm debeli gumijasti pasovi ali plošče, ki imajo točno sredini zavulkanizirano grelnno žico. Pravzaprav to ni žica, marveč iz prav drobnih žic iz uporabnega materiala spletena vrstica, ki je dosti bolj odporna proti zlomu zaradi stalnega upogibanja.

Gumijaste grelnne prevleke priklopimo direktno na omrežno napetost; priključke imajo izvedene kot "Flexo" vodniki (zavulkanizirane vse v enem kosu). Pri skrbni uporabi ni nikake nevarnosti, da bi prišli v dotiko s tokovodečimi deli. Izolacija teh prevlek je tako dobra, da lahko obratujejo tudi pod vodno površino. Seveda si ne moremo privoščiti tega, da bi zabijali žebelje skozi grelnne cone.

Lahko si predstavljamo, kako vsestransko uporabne so takšne prevleke za ogrevanje raznih krivin. Izdelujejo jih v dimenzijah 30 . 15 cm, 183 . 15 cm, 244 . 122 cm in v pasovih 92 . 2,5 cm, lahko pa tudi po naročilu v želenih merah.

Standardne specifične moči gumijastih prevlek so:  $1600 \text{ W/m}^2$ ,  $2700 \text{ W/m}^2$ ,  $4300 \text{ W/m}^2$ . Prva dva tipa ( $1600$  in  $2700 \text{ W/m}^2$ ) se uporabljata za delo do  $100^\circ\text{C}$  in  $160^\circ\text{C}$ , vtem ko je tretji namenjen za temperature do  $200^\circ\text{C}$  ali za hitri postopek.

Zaradi precejšnje toplotne kapacitete grela pridejo te prevleke šele po približno 20 do 30 minutah na svojo delovno temperaturo. Priporoča se



torej delo s stalno temperaturo z uporabo termostata. Delovne pavze naj bodo čim krajše. Življenska doba teh prevlek je okrog 2000 ur, če obratujejo s temperaturo  $180^{\circ}\text{C}$ . Prevleke se lahko uporabljajo do pritiskov  $14\text{ kg/cm}^2$ .

Gumijaste grelne prevleke zelo uporabljajo v proizvodnji ohišij za radijske sprejemnike. Obratna temperatura je  $150^{\circ}\text{C}$ , časi lepljenja so 3...8 minut, odvisno od debeline plasti, ki jo moramo pregreti.

Naslednji primer navaja uporabo gumijastih grelnih prevlek za izdelavo ukrivljenih zgornjih delov stolov.

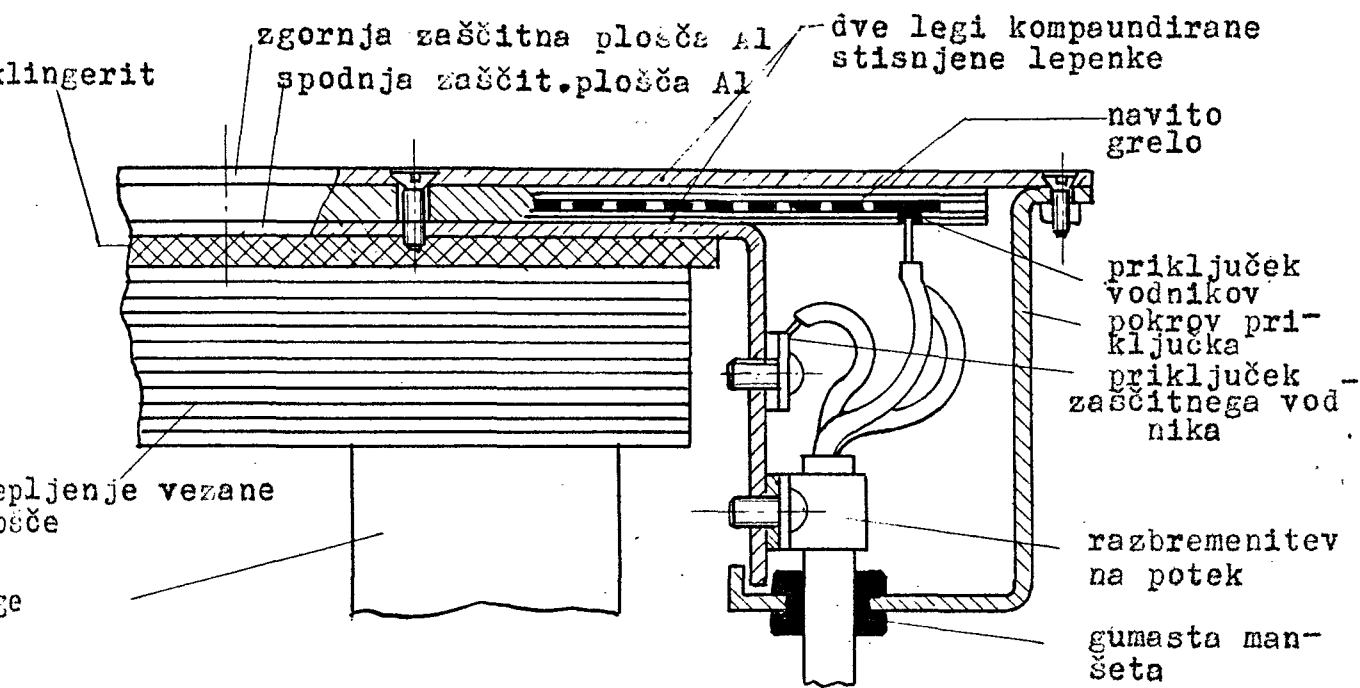
Na 4 mm debelo sredico iz brezovega vezanega lesa izmer  $58 \cdot 41\text{ cm}$  obojestransko nalepimo 4 kose 1 mm debelega brezovega furnirja. Ta sestava se ogreva 8 minut pri  $99^{\circ}\text{C}$ , nato jo vzamemo iz stiskalnice in razrežemo na 4 kose. Med segrevanjem lahko delavec pripravi naslednjo sestavo, tako da so lahko prevleke skoraj v neprekinjeni uporabi.

"Uskon" je ameriški tip gumijaste grelne prevleke. Pri tem tipu grela nadomešča uporovno žico plast prevodne gume, ki je zavulkanizirana med dve plasti običajne gume. Toplota se razvija v sami masi prevodne gume. vzdolž daljših dveh stranic grela so zategadelj speljane vrvice, ki dovajajo tok prevodni plasti.

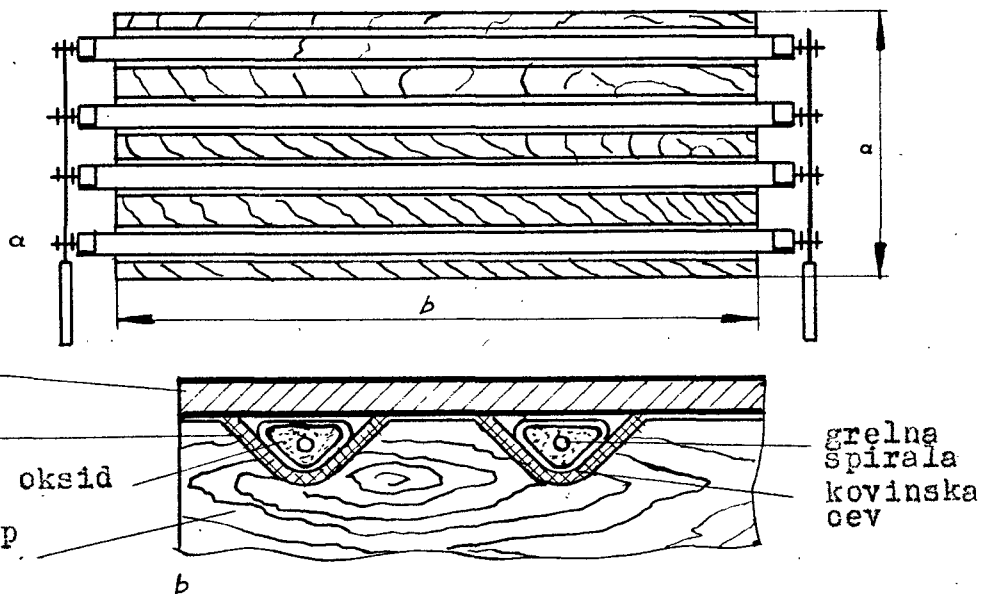
Ta gumijasta prevleka je zelo gibka in se prilagodi radiju približno 6 mm, temperaturo do  $100^{\circ}\text{C}$  pa doseže v 5 ... 10 minutah. Življenska doba se giblje od 2000 ur pri  $100^{\circ}\text{C}$  do 200 ur pri temperaturi  $120^{\circ}\text{C}$ . Če grelo pregori, lahko poškodovano cono izrežemo pravokotno na napajalni žici. Preostali del lahko naprej uporabljamo.

VSE GUMASTE PREVLEKE so sicer preproste za upravljanje, a precej drage. Pri nas ni mogoče dobiti nobenega izmed omenjenih tipov prevlek. Več o teh vrstah glej v spodaj navedeni literaturi!

- Accelerated glueline curing. Aero Research Technical Notes, Bulletin No. 119, Nov. 1952
- Bulletin No. 102 : Washburn Electric Co., 202 Sherwood Place, Englewood, N. J., U. S. A.
- Electrothermal rubber sheeting. Electrothermal Engineering Ltd., 270 Neville Road, London, E. 7



Sl. 74 Zaščiteno grelo na omrežno napetost. Prerez in predlog za uvedbo priključka



Sl. 75 a/Pogled na utorno grelo z odstranjeno aluminijevo ploščo. Grela so vložena v utore lesenega kalupa.  
b/Prerez skozi kalup in cevna grela

12.5 Utorna grela. - Ta grela lahko uporabljamo tam, kjer hočemo na hitro preurediti običajne mreže stiskalnice na topli postopek. Vse šablone in kalupi lahko ostanejo takšni kot so, le da jim dvignemo aluminijasto ploščo in podnjo na gosto izžagamo kalup (ga opremimo z utori) ter v utore vložimo tako imenovana cevna grela.

Cevna grela so 7 ... 11 mm debele kovinske cevi iz materiala, ki je temperaturi in namenu primeren. Ena vrsta takšnih grel so potopna grela za segrevanje vode. Grelna spirala, ki poteka natančno po sredini cevi, je zasuta z magnezijevim oksidom in je s tem izolirana od cevi. Za naš primer so boljše cevi trikotnega profila, ki imajo boljši kontakt z aluminijasto ploščo.

Ta cevna grela vložimo v utore tako, da imajo dober toplotni kontakt z aluminijasto ploščo in slabega s kalupom. Te delno dosežemo s tem, da se grela tesno tišče aluminijaste plošče, od utora pa jih izoliramo z asbestom. Da se bo toplota po plošči enakomerno razdelila, naj bi bili utori gosti ali pa aluminijasta plošča debela.

Prednost tega načina je tudi v tem, da cevnih grel ni treba posebej izdelovati, ker jih že izdeluje več domačih tovarn (ETA-Cerkno, Rade Končar-Zagreb, "Belt"-Črnomelj). Cevna grela lahko preprosto potegnemo iz utorov enega kalupa in jih prenesemo na drugega. Zadostuje nam torej ena sama serija grel. Tovarne izdelujejo grela v poljubnih dolžinah do 2 m za poljubne napetosti in poljubne moči. Lahko se tudi odločimo za nizko napetost 42 V, tako da se nam ni bati tokovega udara, moramo pa v tem primeru nabaviti primeren transformator. Če se odločimo za omrežno napetost, moramo podvzeti zaščitne ukrepe, ki pa jih v tem primeru ni težko izpolniti. Eno izmed važnih zaščitnih vodnikov oz. pravil je, da vse kovinske dele zanesljivo povežemo z zaščitnim vodnikom, kar povzroči, da nam varovalka takoj izklopi grelo, kakor hitro kje popusti izolacija.

GRELA vežemo paralelno. Priporočamo uporabo termostata. Slika 75 kaže utorno grelo z odkrito aluminijasto ploščo in pa prerez čez kalup.

Izračun grela je preprost. Moč enega cevnega grela je:

$$P = \frac{a \cdot b \cdot p}{n} \quad [W]$$

kjer je:

a - dolžina kalupa v m;

b - širina kalupa v m ;

p - specifična moč enega utornega grela v  $W/m^2$ ;

n - število vseh cevnih grel.

Cevna grela, ki jih običajno uporabljamo za segrevanje vode, niso brez nadaljnjega uporabna za utorna grela, ker imajo prevelike moči. Uporabljamo jih lahko, če jih vežemo v serijo.

Literatura:

- "Teemax" jig heaters. Adhesives & resins. Vol. 1, No. 6, Sept. 1953.

2.6 Grelni element v plasti lepila. - Ta metoda za gretje za strjevanje lepila je od vseh opisanih metod tehnično najlepša, ker se proizvaja toplota ravno tam, kjer se rabi - namreč v plasti lepila. Hkrati je potrebno omeniti, da se vprav ta metoda najmanj uporablja.

Velika pomanjkljivost te metode je v tem, da mora po strditvi lepila grelo ostati v izdelku in da je za vsako lepljenje treba delati nove kontakte.

Običajno se iz varnostnih razlogov dela z nizko napetostjo in je zato potreben transformator za znižanje napetosti.

Nemci so namesto napetih tankih mrež oz. žic uporabili kar tanko žično mrežo ali pa kombinacijo tekstila in mreže. Za osnovo so vzeli tekstil, za votek pa žico in vse skupaj impregnirali s fenolno smolo (Tegowirofilm).

Pri delu je bilo treba le odrezati pravšen kos te mreže, jo vložiti med kosa, ki ju lepimo, in priklopiti konca votka na ustrezno napetost. Ni nam znano, zakaj Tegowirofilma ne izdelujejo več.

Ko je lepilo strjeno, se odklopi električni tok in odreže konce žice čim

bliže lesu. Tako je konce žic skorajda nemogoče opaziti. Čas strjevanja lepila je moč izračunati iz podatka za hitrost dviganja temperature ali s poskusi.

Precej nevšečnosti, ki spremljajo ta postopek, ne dopušča širše uporabe. Po njem posežemo v primerih, ko leži plast lepila globoko (za zlepljanje zelo debelih lesnih delov) in kjer se zahteva zelo kratek čas strjevanja. Precej so ta način uporabljali svojčas v letalski industriji.

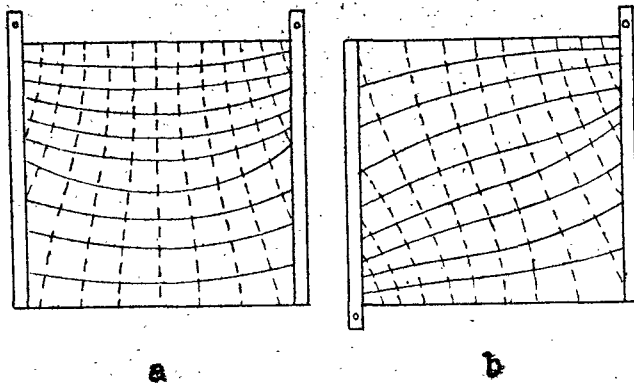
#### Litaratura:

- A new glueing process. W. Galay and G.G. Graham, British Plastics. Fef. and Har., 1944, pp. 50-4, 103-12;
- Shortening the setting time. G.M. Scales. Structural Adhesives, pp. 67-70, Aero Research Ltd.

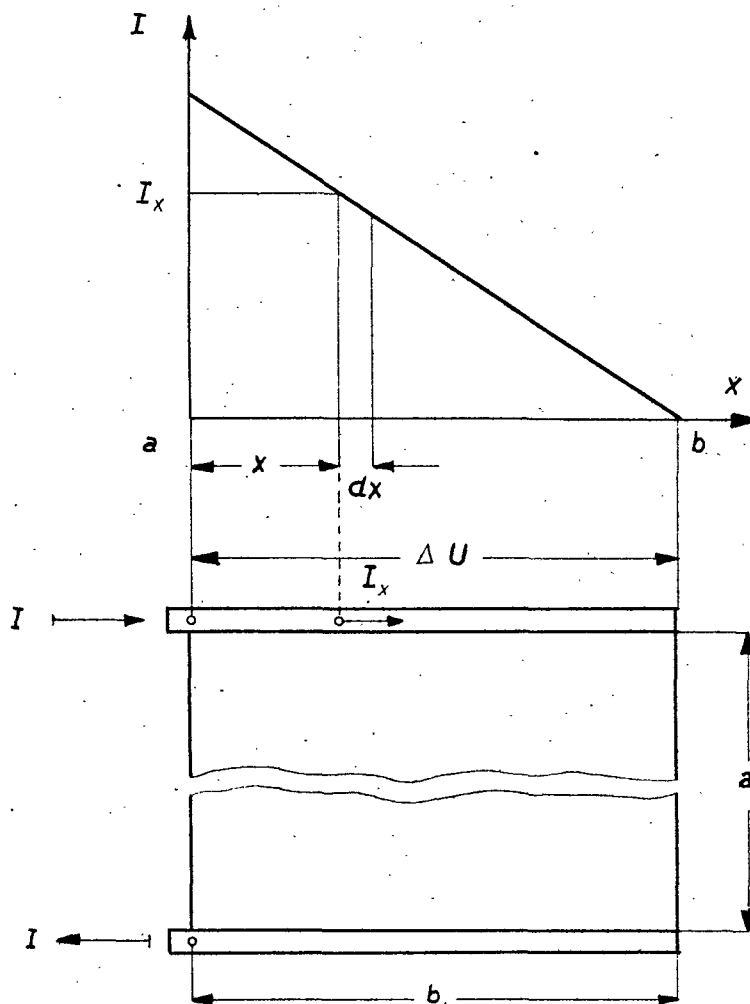
### 3 Elektrode in kontakti

Pri vseh instalacijah nizke napetosti, kjer imamo opraviti z velikimi tokovi, moramo posvetiti kontaktom posebno pozornost. Pri ploskovnih grelih je ena izmed glavnih zahtev enakomernost segrevanja. Ta ni odvisna samo od enakomerne debeline grelnega elementa, temveč tudi od enakomerne razporeditve toka po njem.

Na sliki 76 vidimo razporeditev toka po ploskovnem grelu, če so elektrode dimenzionirane, tako da se na njih pojavi prevelik napetostni padec. Izvlečene črte na risbi pomenijo tokovnice, črtkane pa ekvipotencialne ploskve. V vsakem tako nastalem kvadratu se pojavi enaka množina električne energije. Razmerje specifičnih moči na posameznih mestih je torej obratno sorazmerno ploščini kvadratkov. To razmerje bi bilo v primeru, kot ga kaže slika 76, približno  $1 : 3,5$ . Temperature bi bile tudi temu primerno različne. Pri taki neenakomernosti bi bilo nemogoče obratovati. Primer (b), kjer so priključki na elektrode diametralni, je nekoliko boljši od primera (a). Problem rešimo s pravilnim dimenzioniranjem elektrod ali pa z razcepljenimi dovodi, če je to potrebno (glej odsek 4.1.3.2 - Sekcionirane elektrode!).



Sl. 76 Potek tokovnic in ekvipotencialnih linij po ploskovnem grelu pri slabo dimenzioniranih elektrodah



Sl. 77 Razdelitev toka vzdolž elektrode. K računu padca napetosti in prereza elektrode

1 Dimenzioniranje elektrod. - Za enakomernost energijske porazdelitve po grelni ploskvi je odgovoren napetostni padec v elektrodah. Praksa je pokazala, da naj bi napetostni padec v elektrodah ne bil večji od 5% napetosti nehomogene cone (tolmačenje v nadaljevanju).

Napetostni padec v elektrodi si moramo torej izračunati.

Razdelitev toka I vzdolž dobro dimenzionirane elektrode gre po premici, kakor to vidimo na sliki 77. V resnici odstopa ta razdelitev od premice le za kakšen odstotek ter zato v računih upoštevamo kar premico. S pomočjo krajšega računa dobimo potrebni prerez elektrode in napetostni padec.

$$\Delta U \% = \frac{50 \cdot \rho \cdot b^2}{S \cdot r \cdot a}$$

Potrebni prerez elektrode bo:

$$S = \frac{50 \cdot \rho \cdot b^2}{\Delta U \% \cdot r \cdot a}$$

Če je dolžina grela večkrat daljša kot pa je njegova širina, vidimo, da se tokovo polje že v razdalji, ki je približno enaka širini  $b$ , precej homogenizira. Predpostavimo, da se nehomogena cona razteza med elektrodo in črto, ki je za  $b$  oddaljena od elektrode. Konfiguracija polja okrog elektrod se torej ne bo spreminjala, če bomo grelo podaljševali naprej od  $a = 2b$ . Gornja enačba za  $\Delta U\%$  torej ne more biti karakteristična za konfiguracijo polja. Če naj pomeni  $\Delta U\%$  procentualni padec napetosti na elektrodah glede na napetostni padec v nehomogeni coni, moramo za vse vrednosti  $a > 2b$  vstavljati v enačbo le  $a = 2b$ , da bo lahko enačba rabila računu potrebnega prereza pri konstantnem popačenju polja.

Po izkušnjah že ne moremo dopustiti 2,5%-nega napetostnega padca za eni elektrodi. Obe elektrodi bi dali torej 5%. Vemo namreč, da moč pada s kvadratom napetosti, in že imamo na grelu 10% neenakomernost v razdelitvi specifične moči. To velja za primer  $a = b$ , ko se coni nehomogenosti obeh elektrod prekrivata.

V primerih  $a > 2 b$  se coni ne/prekrivata in lahko dovolimo dvojni nape-  
tostni padeo na elektrodah. Vse te zahteve vsebujeta naslednji enačbi,  
temelječi na približno 4 % popačenju razdelitve specifične moči:

$$S_{\min} = 50 \cdot \frac{\rho \cdot b^2}{r \cdot a} \quad \text{za } a \leq 2 b$$

=====

$$S_{\min} = 25 \cdot \frac{\rho \cdot b}{r} \quad \text{za } a \geq 2 b$$

=====

S - prerez elektrode v  $\text{mm}^2$ , če je kontakt na enem izmed koncev elektrode;

$\rho$  - specifična upornost materiala elektrode v  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ;

b - dolžina elektrode = širina grela v mm;

a - dolžina grela v mm;

r - površinska upornost ploskovnega grela v  $\text{m}\Omega/\text{enoto ploščine}$ .

Najneugodneje je vedno, če imamo kontakt na koncu elektrode. Brž ko ga  
prestavimo na sredo elektrode, je potrební prerez elektrode najmanj dva-  
krat manjši. Predpostavimo lahko, da imamo dve greli s polovično širino  
b. Nato računamo eno polovico tako, kot da ima kontakt na koncu (saj  
ga v resnici tudi ima). Za drugo polovico ni treba ponavljati računa,  
ker je identičen.

P r i m e r . Za grelo iz pocinkane železne žice št. 16 z debelino os-  
nove  $d_m = 0,3 \text{ mm}$ , ki ima izmere 400, 1300 mm, je treba izračunati mini-  
malni prerez elektrod, če je priključek na sredi elektrode. Material za  
elektrode je baker (vroč). Ker imamo priključek na sredi elektrode, je  
dolžina cele elektrode, torej dolžina, ki prihaja v poštev za račun, ena-  
ka polovični dolžini cele elektrode, torej  $b = 200 \text{ mm}$ ,  $a = 1300 \text{ mm}$ , to-  
rej  $a > 2 b$ . Iz univerzalnega nomograma (slika 3) dobimo za mrežo  $r =$   
 $0,36 \text{ m}\Omega/\text{enoto ploščine}$  in specifično upornost za vroči baker.

$$S_{\min} = 25 \cdot \frac{0,025 \cdot 200}{3,5} = 35 \text{ mm}^2 \quad (\text{za baker})$$

Če hočemo izdelati elektrode iz železa, pa bo:

$$S_{\min} = 25 \cdot \frac{0,16 \cdot 200}{3,6} = 222 \text{ mm}^2 \quad (\text{za železo})$$

Zadoščala bi dva kosa valjanega tračnega železa dimenzij 2 . 20 mm.  
. 6 mm = 240  $\text{mm}^2$ , med katera bi stisnili in pricinili mrežo. Če v elektro-  
de vrtamo luknje za pritrdilne vijake, je priporočljivo dodati prerezu



elektrod vsaj polovico prereza, ki ga porabi vijak. Tovarna pohišta v Novi Gorici, ki ima pri uporabnem gretju še največ izkušenj, uporablja železo  $2 \cdot 35 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm} = 560 \text{ mm}^2$  (za isti primer). Vidimo, da so elektrode dovolj obilno dimenzionirali.

Glej tudi primere računa elektrod z razcepljenimi dovodi v naslednjem odseku:

3.2 Sekcionirane elektrode. - Če imamo opraviti z zelo velikimi tokovi, ki nastopajo pri širokoploškovnih pločevinastih grelih, kot so na primer grela za lepljenje televizijskih ohišij, je izdelava elektrod in kontaktov še posebno težavna. Brez računov napetostnih padcev in minimalnih prerezov se ni nikakor lotiti izdelave grela.

Že v prejšnjem odseku smo videli, da je najneugodnejši primer takrat, kadar priključimo kabel na enega izmed koncev elektrode. Ugodneje je, če ga priklopimo na sredino. Iz enačbe za napetostni padec je razvidno, da je v tem primeru napetostni padec le eno četrtno prvotnega. Potrebni minimalni prerez je v tem primeru najmanj polovičen.

Pri večjih tokih gremo še za korak dalje in razcepimo priključni kabel na več žil, katerih vsaka napaja svoj del grela. Padci napetosti in potrebni prerezi se znatno zmanjšajo.

Na naslednjem primeru bomo za eno in isto grelo pokazali različne izvedbe elektrod in tolmačili njih primernost.

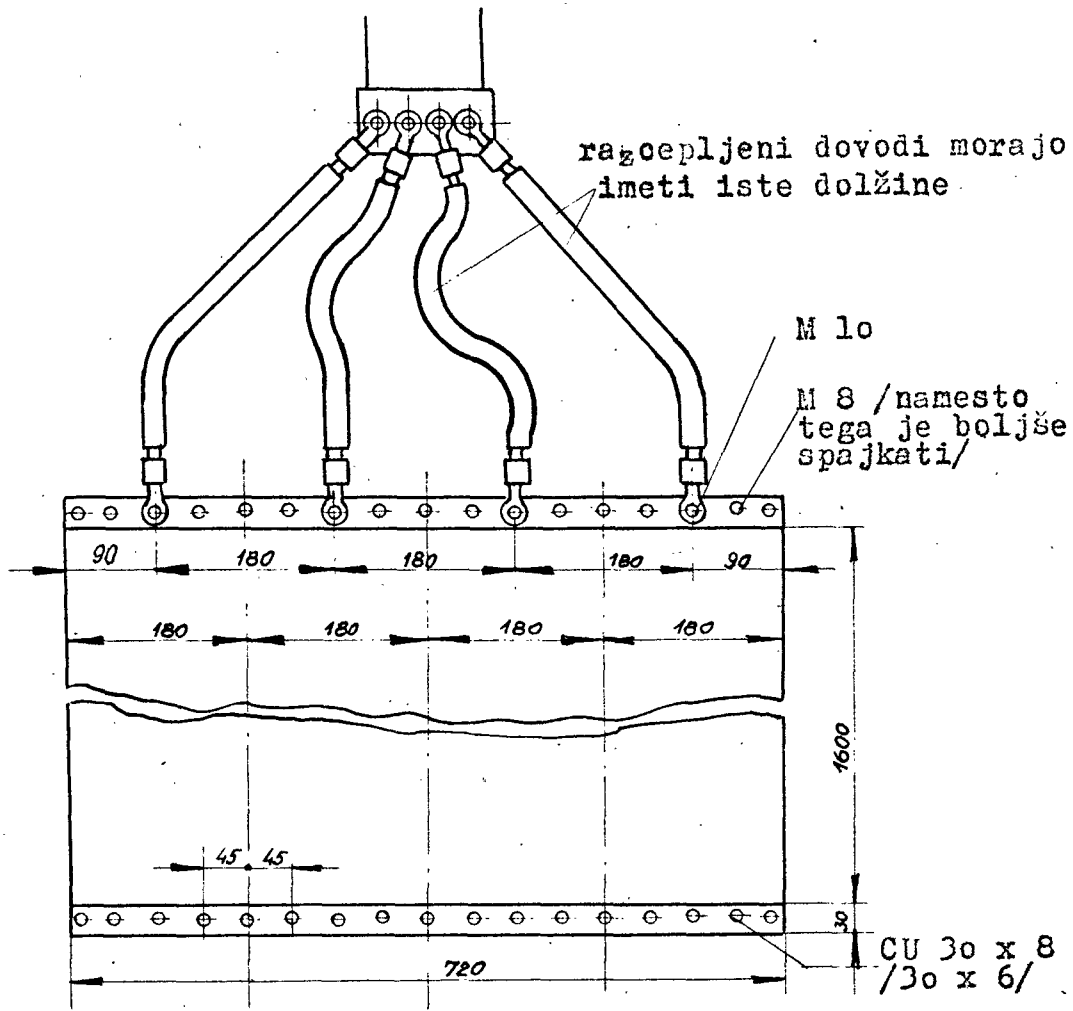
**P r i m e r .** Grelo stiskalnice za radijska in televizijska ohišja je treba konstruirati elektrode, ki bodo zagotavljale zadostno enakomernost energijske razdelitve. Grelo sestoji iz jeklene pločevine debeline  $d = 1,0 \text{ mm}$ , dolžine  $a = 1\ 600 \text{ mm}$  in širine  $b = 720 \text{ mm}$ . Specifična upornost je  $\rho = 0,35 \ \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ , površinska upornost  $r = 0,36 \ \Omega / \text{enoto ploščine}$ . Grelo bo obratovalo s specifično močjo  $p = 5\ 000 \text{ W/m}^2$ , napetostjo  $U = 2,16 \text{ V}$  in tokom  $I = 2\ 740 \text{ A}$ .

(1) Minimalni prerez elektrode, ki dopušča približno 4 % neenakomernost energijske razdelitve pri priklopu dovoda na konceh elektrod, je podan z obrazcem za  $a > 2 \ b$  (glej obrazec v odseku 4.1.3.1!). Specifična upornost toplega bakra je postavljena:  $\rho = 0,025 \ \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

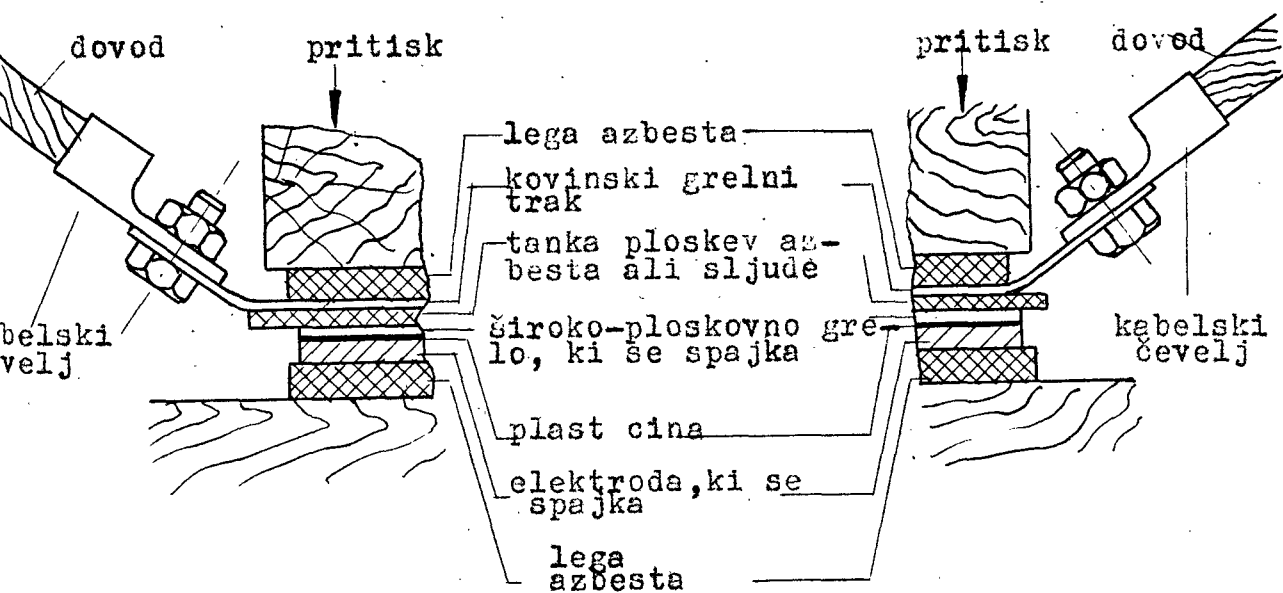
$$S_{\min} = 25 \cdot \frac{\rho \cdot b}{r} = 25 \cdot \frac{0,025 \cdot 720}{0,36} =$$

$$= 1\ 250 \text{ mm}^2 \quad (\text{za baker})$$

(Obe elektrodi bi tehtali 16 kg)



Sl. 78 K računu dimenzij elektrod ploskovnega grela za izdelavo televizijskih ohišij. Priključek razcep-ljenega dovoda na sekcionirano elektrodo



Sl. 79 Način spajkanja elektrode in grela v stiskalnici. Toploto daje kovinski grelni trak, ki ga segrevamo s tokom

- (2) Minimalni prerez za primer priklopa dovoda v sredini elektrode (računamo s polovično širino elektrode) :

$$S_{\min} = 25 \cdot \frac{0,025 \cdot 360}{0,36} = 625 \text{ mm}^2 \text{ (za baker)}$$

kar je še vedno precej.

- (3) Ker je tudi tok 2 740 A težko pripeljati po enem samem dovodu, ki naj bi bil še kolikor toliko fleksibilen, se odločimo za razcepljene dovode. Odločimo se za štiri dovode. Vsak od njih bo torej vodil tok 685 A, če bodo žile od razcepišča pa do elektrode enako dolge, na kar še posebej opozarjamo. Vsaka izmed štirih žil bo torej napajala območje, široko 1/4 širine traku. Dovode speljemo na sredino vsakega območja (slika 78).

Za račun napetostnega padca v elektrodi in za račun minimalnega prereza bo merodajna polovična širina pasu, ki ga napaja en vodnik, torej  $b = 90 \text{ mm}$ .

$$S_{\min} = 25 \cdot \frac{0,025 \cdot 90}{0,36} = 157 \text{ mm}^2 \text{ (za baker)}$$

kar je zelo ugodno.

Najbližji prikladni normirani profil je 30 . 6 mm, ki ga osvojimo. Teга prispajkamo na jekleno grelni pločevino. To je najsolidnejša električna zveza. Če se odločimo za izvedbo z vijaki, moramo zaradi prereza, ki je \* luknjami oslabljen, vzeti nekoliko močnejši profil (30 . 8 mm).

Ne moremo dovolj poudariti, kako važen je za brezhibno delovanje dober kontakt tako elektrode z grelni pločevino, kakor kabelskih čevljev z elektrodami. Za naš primer uporabimo za pritrditev kabelskih čevljev vijak M 10, za stiskanje pa M 8 z močnimi jeklenimi vzemtnimi podložkami.

Če prispajkamo elektrode na jekleno pločevino, moramo to storiti pod pritiskom. Najlepše to napravimo kar v stiskalnici. Seveda moramo prej obe ploskvi dobro pociniti, da se v stiskalnici ploskvi samo sprimeta. Segrevamo električno. Kako to naredimo, vidimo na sliki 79.

Pocinjenje obeh kosov lahko izvedemo s spajkalno svetiljko, če so kosi majhni. Če so kosi večji, nam spajkalna svetiljka ne zadošča več, zato jih pocinimo tudi električno. Vzamemo 1 m dolg železen L-profil (30 . 30) v katerega damo potrebno količino cina, še prej pa smo profil na koncih stisnili in zavarili, da nam cin ne bi iztekel. Iz železne pločevine nato izrežemo trak (80 . 1 200 mm) in ga izoblikujemo v žleb, ki se bo od

spodaj prilagal L-profilu. Na oba konca tega traku pritrdimo kabla za dovod toka. Med oba kosa namestimo tanko plast asbesta ali sljude in priključimo tok. Trak se segreje, od njega pa dobi toploto tudi železni profil, tako da v žlebu cin steče. Seveda moramo vse skupaj primerno podpreti ali pa namestiti v neki tretji žleb, da se nam ne prekucne in se cin ne razlije.

#### 1.4 Dovodi

Pri nizkonapetostnih grelih lahko predstavljajo dovodi precejšen investicijski strošek, velike izgube energije in padce napetosti. Če hočemo zmanjšati investicijske stroške, se povečajo izgube, in narobe. Treba je torej ugotoviti neki optimum, kar pa ni lahko, saj so tu odločilni še drugi momenti, kot zahteve po gibkosti dovodov, maksimalne temperature vodnikov itd. V vsakem primeru je koristno upoštevati naslednje:

- (1) Električni dovodi (vežejo sponke transformatorja preko morebitnih stikal s sponkami grel) naj bodo po možnosti čim krajši, tako da bodo investicijski izdatki, kakor tudi izgube, čim manjši.
- (2) Obe žili (ali vse žile) naj potekajo čimbolj skupaj, da bi bili induktivni padci napetosti čim manjši. S tem se poveča koristna moč transformatorja (ki bi bil morda premajhen).
- (3) Paziti moramo na hlajenje žil. Le-te ne smejo potekati v neposredni bližini vročih delov ali biti položene tako, da ni mogoče izdatno hlajenje, ker se sicer prekoračijo maksimalne temperature.

1.4.1 Dimenzioniranje dovodov. - Minimalne dimenzije električnih priključnih Minimalne dimenzije električnih priključnih vodnikov, ki nam jih podaja naslednja tabela, so določene ob upoštevanju segretja za  $40^{\circ}\text{C}$  nad temperaturo okolice. Ker temperatura okolice tudi lahko doseže  $40^{\circ}\text{C}$ , bo imel v tem primeru vodnik maksimalno temperaturo  $80^{\circ}\text{C}$ .

Tokovna obremenljivost normalnih bakrenih vrvi za nadzemne vode, ki v trajnem obratovanju dosežajo nadtemperaturo  $40$ , je razvidna iz razpredelnice na strani 117

Prerez S <sub>2</sub> mm	Tok I A	Premer D vrvi mm
16	115	5,1
25	151	6,3
35	174	7,5
50	231	9,0
70	282	10,5
95	357	12,5
120	411	14,0
150	477	15,8
185	544	17,5
240	630	20,3
300	747	22,5

Če je temperatura zraka nižja od 40°C, se lahko obremenljivost vrvi zviša. Izračunamo jo tako, da vrednosti za tok po debeli pomnožimo z naslednjim korekcijskim faktorjem:

- temperatura zraka:

30      20      10      0°C

- korekc.faktor "k" :

1,12,    1,22    1,30    1,36

Vse te vrednosti veljajo za trajno obratovanje. Če pa imamo prekinjavano obratovanje, kar je v našem primeru skoraj vedno, se tokovna obremenljivost vodnika lahko še zviša na vrednost:

$$I' = \frac{I}{\sqrt{\tau}}$$

kjer je  $\tau$  relativni vklopni čas. ( $\tau = 1$  pomeni, da je vodnik trajno v obratu,  $\tau = 0,5$  pa, da je vodnik vklopljen polovico celotnega časa).

Tako dobljene vrednosti so izbrane zelo previdno. Ruski predpisi dovoljujejo celo segretje za 50°C (torej na 90°C). V tem primeru moramo vrednost za toke po prejšnji debeli pomnožiti s približno 1,12.

**P r i m e r.** Koliko smemo obremeniti bakreno vrv prereza 95 mm<sup>2</sup>, če obratuje pri temperaturi 20°C, z relativnim vklopnim časom = 0,5 in če dopuščamo segretje vodnika za 50°C ?

$$I' = I \cdot k \cdot \frac{1}{\sqrt{\tau}} \cdot 1,12 = 357 \cdot 1,22 \cdot \frac{1}{\sqrt{0,5}} \cdot 1,12 = 690 \text{ A}$$

2. Položitev vodov in izbor kablov. - Dovodni vodniki so lahko tudi trdi ali pa gibljivi. Fiksni del dovoda lahko izvedemo z bakrenimi profili, ki so največkrat v obliki trakov. Pri tem moramo paziti, da ne povečamo induktivne upornosti dovoda, kar lahko povzroči precejšnje napeto-

stne padce. Dovodne in odvodne tračnice morajo biti zaradi tega čim bliže druga drugi. Med posamezne tračnice (pri trofaznem grelu so 3 ali 4) vložimo do 1 cm debele distančne izolacijske kose, nato pa vse skupaj stisnemo z izolirnimi stremeni.

Paziti moramo, da so dovodi čim krajši ter zato največkrat tračni dovodi ne pridejo v poštev. Transformatorske sponke povežemo z greli zaradi majhne razdalje kar z gibljivimi vodniki. Tudi tu moramo paziti, da ne delamo prevelikih zank. Po možnosti povežemo dovodni in odvodni kabel.

Pri izbiri kablov svetujemo naslednje izbedbe:

- (1) Kabli za varjenje. Oblikujejo se po izredni gibkosti, ker so spleteni iz velikega števila prav drobnih žic.

Karakteristike kablov za varjenje so razvidne iz naslednje tabele ( ZG, KzS, NSLF<sup>x</sup> ) :

Presek mm <sup>2</sup>	Število žic	Premer žic mm	Debelina gumastega plašča mm	Zunanji premer ca. mm
35	19 . 15	0,4	3,0	15,5
50	19 . 21	0,4	3,3	17,5
70	19 . 30	0,4	3,3	19,5
95	19 . 26	0,5	3,5	22,2

Če smo prisiljeni izbrati večje prereze, moramo poseči po vodnikih za instalacije.

- (2) Vodniki za instalacije.

- (G/A, AtG, NGAW) - z gumo izolirana bakrena vrv. Ta vodnik spoznamo po rdeči barvi izolacijskega opleta. Je manj gibek, ker je pleten iz debelejših premenov. Tovarna "Elka" v Zagrebu ga izdeluje do prereza 185 mm<sup>2</sup>. Vodnik (G, NG, NGA) je popolnoma enak prejšnjemu,

<sup>x</sup> Prva označba je nova jugoslovanska označba, druga je stara jugoslovanska označba, tretja pa nemška označba VDE.

le da ima zunanji oplet impregniran z asfaltno maso, ki pa se pri segrevanju lepi in maže ter se ga zaradi tega izogibamo.

- Vodnik za instalacije, spleten iz številnih tankih žic ter zelo gibek (G/S, NGf, NGAF) ter nekoliko manj gibek (G/M, NGm, NGAB). Izolacija kot pri G. Izdelujejo ga do prereza  $185 \text{ mm}^2$ .

Konce vodnikov seveda opremimo (dobro zalotamo) z ustreznimi kabelskimi ževlji, da zagotovimo dober kontakt.

1.4.3 Vodno hlajenje dovodov. - Pri grelih velikih površin, kjer iz kakršnikoli razlogov ne moremo površine razdeliti v sekcije in moramo uporabiti grelno površino v celem, je potreben obratovalni tok takoj nekaj tisoč amperov. Če ni potrebe po gibkih vodnikih, vodimo tok po tračnicah, če pa je grelo pomično, nastane problem, kako izdelati dovode.

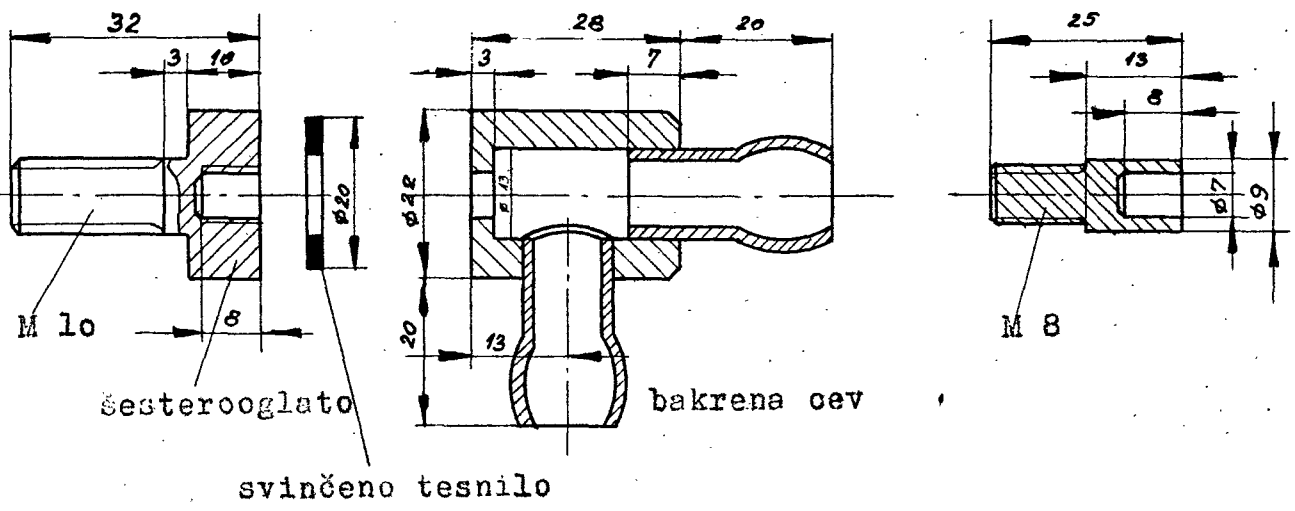
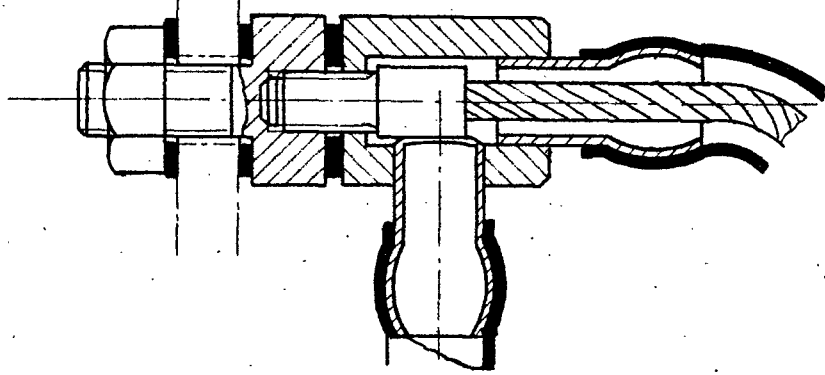
Dokler je mogoče, si pomagamo z varilnimi kabli in razsepljenimi dovodi (glej prejšnji odsek!), vendar je včasih upogljivost dovodov tako važna, da moramo preiti na tanke dovode. Ti se zaradi velikih izgub močno grejejo in jih moramo zato hladiti z vodo.

**P r i m e r .** Kot primer ekstremno visoko obremenjenega vodnika navajamo naslednjo izvedbo:

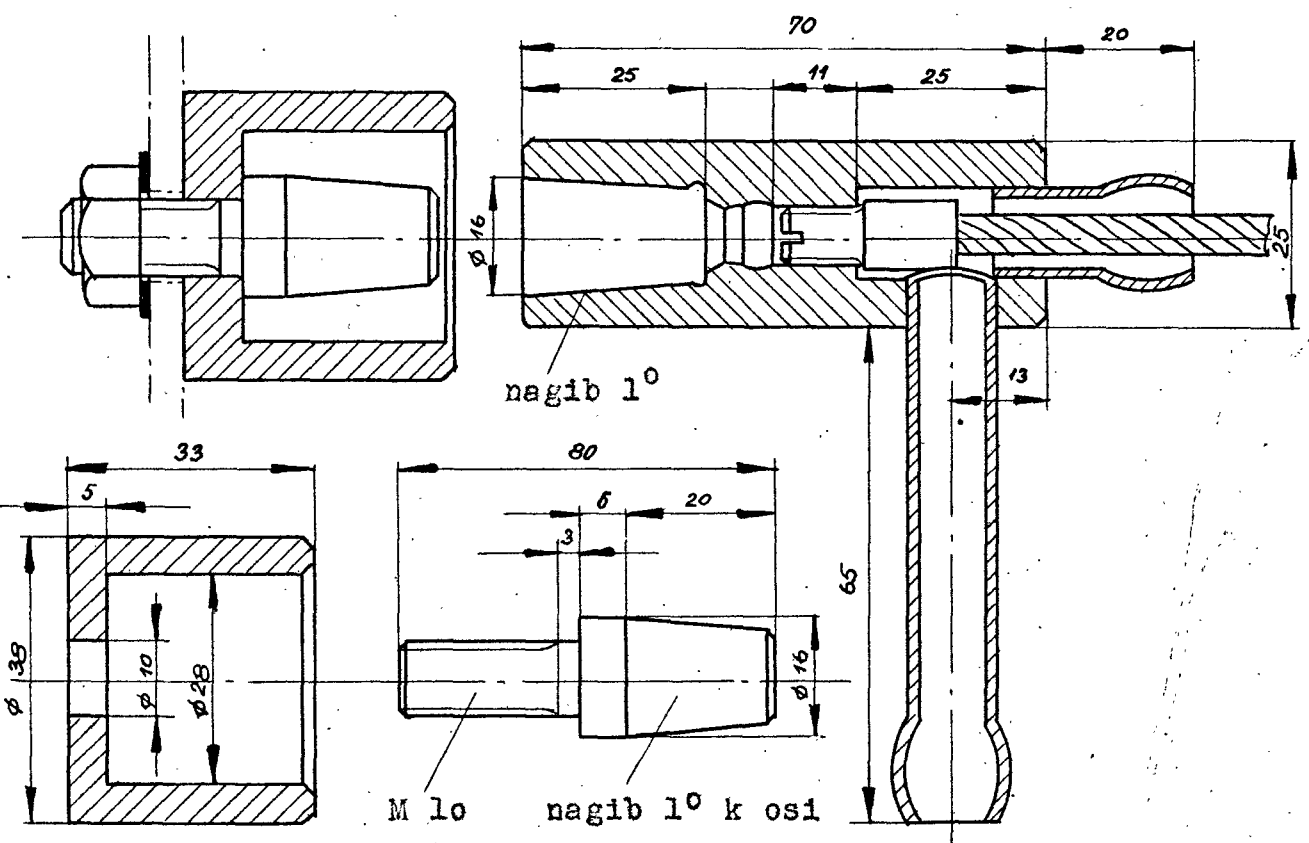
Vrvico zunanjega premera  $6,5 \text{ mm}$ , prerez približno  $14 \text{ mm}^2$ , spletena iz okrog 800 pramenov premera  $0,15 \text{ mm}$  in potegnjena v primerno gumijevo cevko, ki je hkrati izolacija in vodi hladilno vodo. Voda torej obliva vodnik z vseh strani. S pripiranjem pipe dopustimo, da se voda segreje največ na  $50^\circ\text{C}$ . Če prenašamo preko tega vodnika tok  $1000 \text{ A}$ , se pojavijo izgube v višini približno  $1500 \text{ W/m}$  dolžine vodnika (!). Ni vselej nujno, da izberemo tako visoko obremenjene vodnike.

V primeru, da bi dotok vode prenehal, bi se dovodi takoj užarili in pokvarili, kolikor jih ne bi že po nekaj sekundah izklopili. V ta namen montiramo avtomatsko stikalo, ki deluje na pretok hladilne vode. Brž ko dotok hladilne vode preneha, se korec, ki ima v dnu luknjo, izprazni in dvigne ter izklopi dotok energije.

K dovodom, hlajenim z vodo, pripadajo tudi posebne izvedbe sponk, ki so tudi hlajene z vodo. Te so lahko fiksne ali pa opremljene s čepom za razstavljanje. Na slikah 80 in 81 vidimo dve taki sponki za vodno hlajeni kabel. Prvi je za fiksne zveze, drugi za prekinjevanje. Moški in ženski del morata biti natančno brušena, da je kontakt čim boljši.



Sl. 80 Vijalna sponka za dovode na vodno hlajenje



Sl. 81 Razstavljiva sponka na čep in pušo za vodno hlajene dovode



Naklon stožca naj bo  $1^{\circ}$ . Na moškem delu je tudi ščitnik v obliki skodelice, ki je tam samo zaradi tega, da ščiti moški del pred poškodbami.

Zlasti moramo paziti, da stikov ne razstavljamo pod napetostjo, ker bi obločni plamen uničil spojna mesta. Izklapljammo vedno najprej na primarni strani transformatorja.

#### 4.1.5 Transformatorji

Razen pri navitih grelnih vložkih, gumastih grelnih prevlekah in pri utornih grelih, ki obratujejo z omrežno napetostjo, potrebujemo pri vseh ostalih grelih transformator za znižanje omrežne napetosti na napetost, ki jo zahteva gremo. Ta napetost se giblje od približno 2 do 42 V.

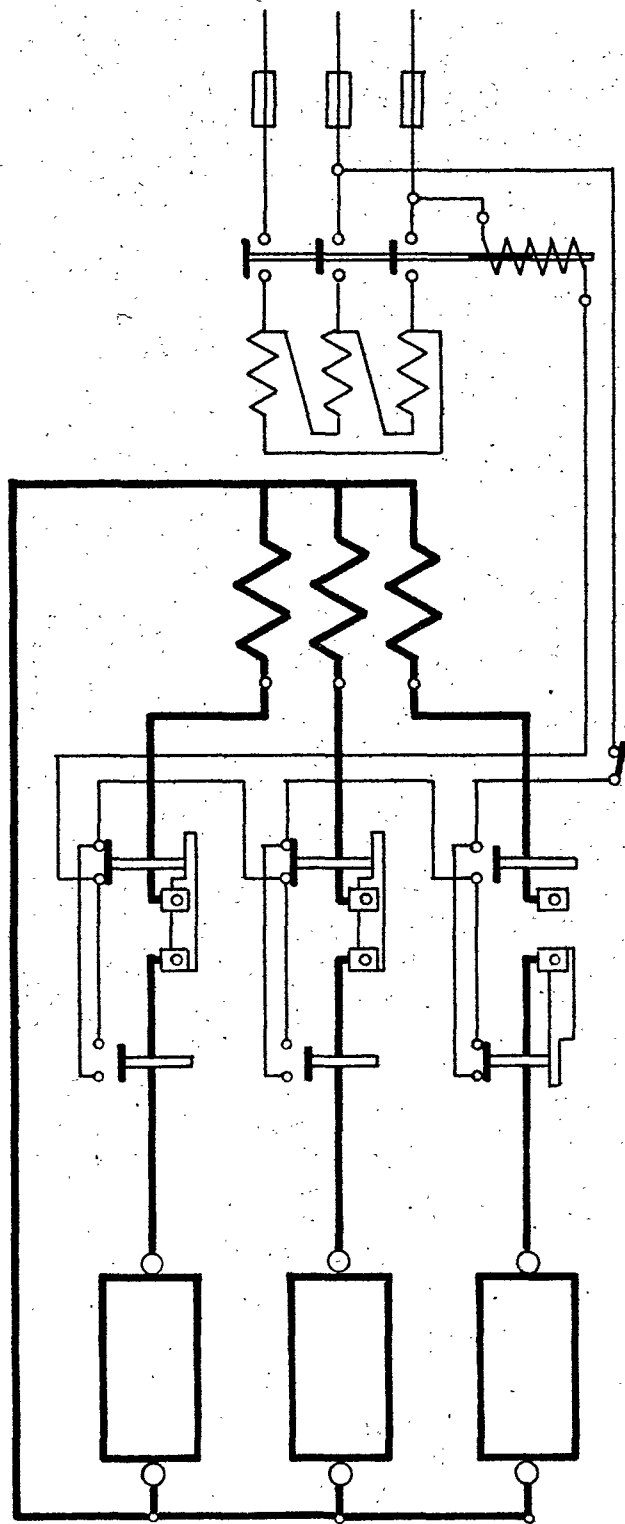
Za naše namene bodo boljši suhi transformatorji kot pa oljni, čeprav se oljni transformatorji precej više obremenjujejo. Pri transformatorjih za elektrouporovno segrevanje potrebujemo namreč vedno precejšnje število odcepov, izdelati toliko izvodov iz oljnega kotla pa bi bilo težavno in tudi predrago.

Glede na električno moč, ki jo potrebujemo, se odločimo za transformator, ki ga priključimo na eno, dve ali tri faze.

Na eno fazo in ničlovod priklapljammo transformator do moči nekako 6 kW. Če imamo pri roki trofazni priključek, raje priklopimo transformator take moči med dve fazi. Transformator, ki ga priklopimo med dve fazi, je enofazne izvedbe. Ta izvedba je še vedno preprosta, ker imamo do grel samo dva nizkonapetostna dovoda.

Za večje moči, ali pa, če en transformator napaja več stiskalnic, izberemo trofazni transformator.

Pri izklapljanju grel moramo vedno najprej izklopiti transformator na primerni strani, sicer bi tokov oblok uničil nože nizkonapetostnega stikala. Če transformator napaja samo eno stiskalnico, nam na sekundarni strani sploh ni treba izklapljati. Tudi stiskalnica, ki predstavlja tam strošek, je odveč. Pri preklapljanju in izklapljanju posameznih stiskalnic, ki jih napaja isti transformator, ne moremo za vsak čas pavze enega grela izklopiti transformatorja, ker le-ta medtem napaja tudi druga gre-



Sl. 82 Pomožne varnostne vezje za izklop posameznih stiskalnic, ki so napajane iz istega transformatorja

la, ki tedaj obratujejo. V tem primeru potrebujemo tudi na sekundarni strani transformatorja stikala. Na primarni strani moramo torej izklopiti transformator samo ob izklopu in ne za ves čas pavze. Če hočemo se izogniti skorajda neizbežni pomogi, napravimo pomožno vezje, ki to prepreči (glej sliko 82 !). Če zasledujemo vezje, vidimo, da pri vklopu in izklopu nožev ni treba transformatorja na primarni strani posebej izklopiti, ker se to izvrši avtomatično.

Amatersko izdelovanje transformatorjev v lastnih delavnicah, posebno takšnih za večje moči, ni priporočljivo, saj imamo za to že dovolj specializiranih podjetij in tovarn ("Jambor"-Črnuče, "Tela"-Ljubljana, "Elma" Črnuče itd.). Izračun in gradnja transformatorja, ki je panoga zase, zaradi tega tudi ne sodiv ta okvir. Dovolj je, da za svoje namene znamo naročiti pravilen transformator - in to ni preprosto. Oglejmo si postopek !

4.1.5.1 Važen podatek pri naročanju transformatorja je navedba moči. Navedemo torej največjo moč, ki bi prišla v poštev na stiskalnici ali stiskalnicah, ki jih bo napajal transformator. To dobimo tako, da seštejemo moči, ki se trošijo za segrevanje v grelih, in moči zaradi izgub v dovodih. Maksimalno potrebne moči, ki se trošijo za segrevanje v grelih, določimo tako, da množimo največjo vsoto vseh grelnih površin s specifično močjo grel, primerno za tisto vrsto operacije (določanje specifičnih moči - glej poglavje 3 !).

P r i m e r . Neki večji stiskalnici, pri kateri je razpoložljiva hidravlična sila tolikšna, da dopušča največjo stiskalno ploščino  $2,0,0,75 \text{ m} = 1,5 \text{ m}^2$ , hočemo prirediti električna grela tako, da bo moč istočasno segrevati zgoraj in spodaj tri izdelke (tri etaže). Potrebujemo torej 6 grelnih ploskev po  $1,5 \text{ m}^2$ , skupaj  $9 \text{ m}^2$  grelnih površin. Po temeljitem preudarku in z upoštevanjem zmožnosti svoje delavnice smo si izbrali tip grela in njegovo specifično moč (poglavje 2 !)  $p = 2\,000 \text{ W/m}^2$ . Maksimalna moč je torej:

$$P_{\text{max.}} = 9 \text{ m}^2 \cdot 2\,000 \text{ W/m}^2 = 18\,000 \text{ W} = 18 \text{ kW}$$

Za tako veliko moč bo pač potreben trofazni transformator. - Sedaj izračunamo izgube v dovodih (poglavje 2.1.1.), ki znašajo na primer  $2 \text{ kW}$ ,

in dobimo moč  $P = 20 \text{ kW}$ . Ker pa transformator ni stalno vklopljen, moramo glede na obratovalni režim določiti relativni vklopni čas. Predpostavljamo, da bo relativni vklopni čas  $0,75$ . Transformator mora biti močan:  $P = 20 \cdot 0,75 = 17,3 \text{ kW}$ . Zaradi velikih induktivnih padcev napetosti v dovodih moramo upoštevati tudi  $\cos$ . Izračun tega je težaven zaradi poljubno položenih dovodov. Za običajne konstrukcije denimo, da je  $\cos = 0,9$  ! Dokončna moč bo torej:

$$P = 17,3 : 0,9 = 19,2 = 20 \text{ kVA}$$

Obrazec za izračun potrebne moči transformatorja je torej:

$$P = \frac{(S \cdot p + P_{izg})}{\cos} \quad \text{kVA}$$

Izbor obratne napetosti izvršimo po smernicah odseka 2.1.4. K temu bi bilo pripomniti, da obratovana napetost običajno raste z močjo naprave. Toki nad  $500 \text{ A}$  so že nadležni zaradi težkih dovodov.

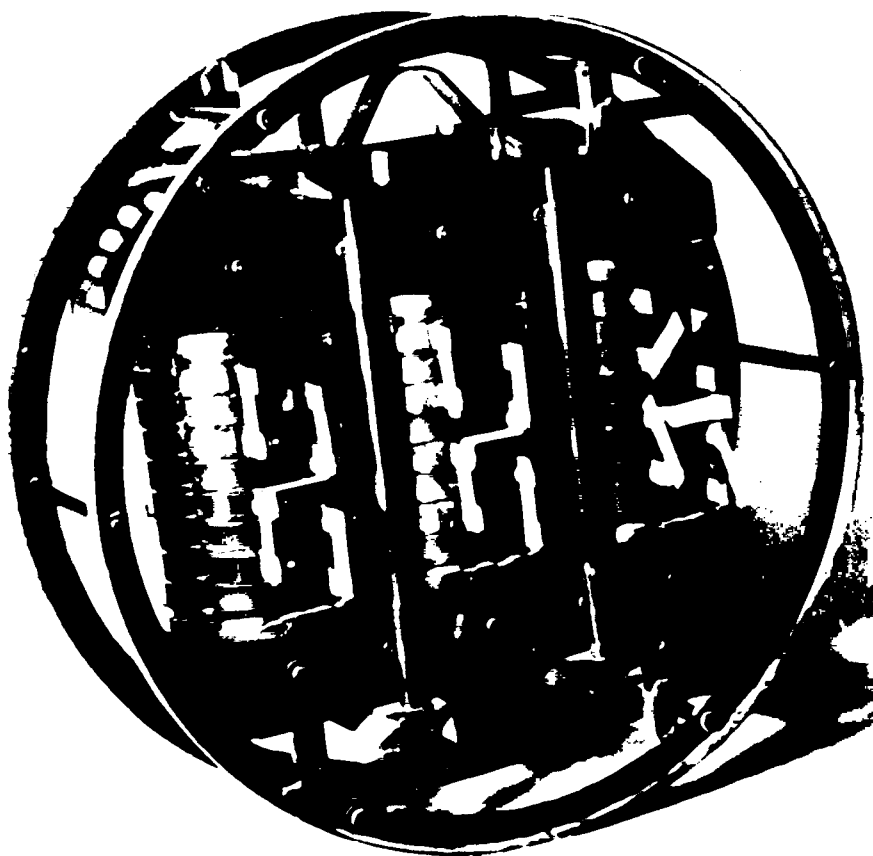
Ker bomo v stiskalnici uporabljali različne šablone in grela, moramo imeti razmeroma široko možnost variacije napetosti. Zahteve po napetostih in napetostnih kombinacijah moramo določiti mi (to sodi k naročilu). Poudariti moramo, da je univerzalni transformator, ki bi bil prikladen za priklop vseh vrst grel vsega napetostnega območja od  $2$  do  $42 \text{ V}$  in bi bil pri vseh napetostih izkoristljiv z maksimalno močjo, zelo težko, če ne nemogoče izdelati. Bil bi tudi zelo drag zaradi ogromnega števila kontaktov. V svojih zahtevah se omejimo na to, kar res potrebujemo.

Pri velikih stiskalnicah, kakršno smo na primer opisali v zadnjem primeru, prav gotovo ne bomo potrebovali napetosti, nižjih od  $7 \text{ V}$ . Zato bi bila za takšne stiskalnice prav primerna kombinacija napetosti, kot je razvidna iz naslednjega primera.

**P r i m e r .** Na sliki 83 vidimo eksperimentalni transformator moči  $21 \text{ kVA}$ , ki so ga izdelali v Tovarni pohištva v Novi Gorici.

Na tej sliki vidimo na vsakem stebru nizkonapetostne sponke štirih sekundarnih tuljav (baker  $30 \cdot 4 \text{ mm}$ ), katerih vsaka ima po štiri ovoje. Ker je ovojna napetost  $2,5 \text{ V}$ , ima vsaka tuljava napetost  $10 \text{ V}$ . Te tuljave lahko vežemo v serijo (kljukaste zveze) in paralelno (vertikalne zveze) ter dobimo naslednje napetosti in toke, ki so podani z gostoto v bakru  $i = 1,5 \text{ A/mm}^2$ .

Napetost	7,3...10 V	14,5...20 V	(22...30V)	29...40 V
Tok	720 A	360 A	(180 A)	180 A



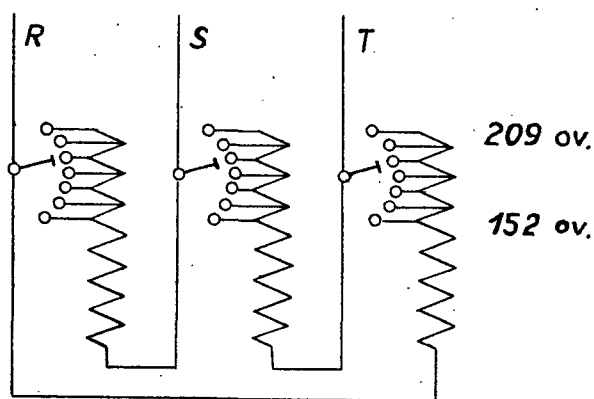
Slika 83. - Eksperimentalni transformator 21 kVA

Za približno 30 % navzdol od nazivnih napetosti vsakega vezja (10, 20, 30, 40 V) lahko reguliramo na primarni strani.

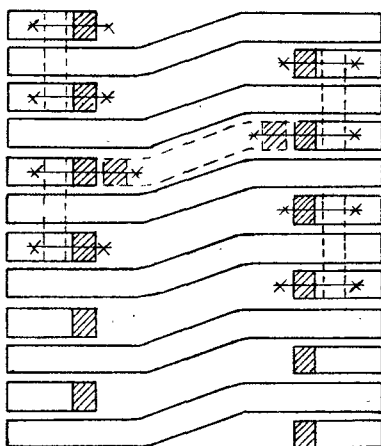
Transformator vežemo na primarni strani v trikot, na sekundarni pa v zvezdo. Regulacija na primarni strani je izvedena tako kot kaže slika 84. Nazivne napetosti se nanašajo na odcepe pri 152. ovoju. Prerez železnega jedra naj bo 100 cm<sup>2</sup> netto.

Transformator je bil zaradi lažje gibljivosti montiran na dva železna koluta, da bi ga lahko preprosto premeščali z enega delovnega mesta na drugo. Pri fiksnih izvedbah to ni potrebno.

Ker so sekundarni ovoji redno zelo velikega preseka, so izdelani večidel iz krivljenih, kovanih ali celo vlitih bakrenih obročev. (Priznega profila!). Slika 85 kaže navitje, kjer ima vsaka tuljava po dva navoja iz



Sl.84. Primarno navitje eksperimentalnega transformatorja z regulacijo v trikotu



Sl.85. Sestavljeno navitje iz tuljav z dvema ovojema, skovanih iz bakrenega profila. Vertikalni mostiči vežejo tuljave paralelno, horizontalni v serije

kovanega bakrenega profila.

Še nekaj praktičnih navodil za obratovanje.

Pri preklapljanju tuljav moramo posebno paziti, da bodo vijaki dobro pritegnjeni.

Če vežemo vse ali večje število tuljav paralelno, je dobro vezati odvod na sredo stebra. Če priključimo dovod na skrajno tuljavo, so bližnji mostiči preveč obremenjeni, tuljave z drugega konca stebra pa zaradi prehodnih uporov manj.

Pri cepljenih vodnikih je priporočljivo priključke enakomerno porazdeliti po stebri.

Kadar potrebujemo nižjo napetost in ne vse transformatorjeve moči, je priporočljivo izbrati takšno transformatorsko vezavo, da bo transformator obratoval z najmanjšimi izgubami. To dosežemo, če preklopnik za regulacijo na primarni strani postavimo v tak položaj, da so vklopljeni vsi primarni ovoji nobena sekundarna tuljava pa pri tem ne sme biti izven delovanja (najnižja magnetna gostota v železu).

Posebej moramo paziti, da so kontakti za preklop na omrežje in regulacijo na primarni strani zaščiteni proti slučajnemu dotiku nepozvanih. Prekriti morajo biti s pokrovom, ki ga je moč odstraniti le z orodjem. Namestiti je treba tudi svarilne napise. Vsa naprava mora biti predpisno ozemljena ali pa priklopljena na zaščitni vodnik.

Za manjše priključne moči bomo naročili ustrezne manjše transformatorje. V nekaterih primerih bomo lahko že uporabili transformatorje za visoke toke, ki jih izdelujejo za druge namene.

Za srednje in tudi za večje moči uporabljajo ponekod tudi varilne transformatorje. V a r i l n i t r a n s f o r m a t o r j i bi bili zaradi svoje kontinuirne regulacije toka za naše namene prav idealna rešitev, ko ne bi imeli tako slabega  $\cos$  in nekoliko večjih izgub kot običajni transformatorji. Pri varilnih transformatorjih lahko reguliramo tok od nekaj deset amperov do več sto amperov.

Izvedli smo meritve izkoristka nekaterih naših varilnih transformatorjev in ugotovili, da znaša pri nazivni obremenitvi in delovni napetosti približno 40 V nekaj nad 60 %, vtem ko izkoristek navadnih transformatorjev enakih moči dosega 96%. Pri nižjih obremenitvah in napetostih okrog 40 V je izkoristek varilnega transformatorja boljši. Pri obremenitvi, ki je enaka polovični nazivni moči transformatorja, smemo pričakovati že izkoristek okrog 80%. Kakor hitro uporabljamo grela, ki obratujejo z nižjo napetostjo, izkoristek zopet pade. Pri grelih, ki na primer obratujejo z napetostjo z okrog 5 V, bo pri nazivnem toku izkoristek pod 10 %.

cos  $\varphi$  varilnih transformatorjev se giblje okrog 0,4. Tovarne, ki imajo poseben števec za jalovi tok, morajo zaradi uporabe varilnih transformatorjev plačevati precejšnjo dodatno tokovino za jalovi tok.

Varilnega transformatorja torej ne kaže uporabljati za naprave, ki stalno obratujejo. V manjših obratih pa, kjer jalove energije posebej ne plačujejo in kjer transformator ne bi bil stalno priključen, bi nabava varilnega transformatorja pomenila koristno kombinacijo, saj bi delavnica s tem pridobila tudi aparat za varjenje. Varilni transformator je za uporovno segrevanje na moč uporaben za vsa delovišča, saj je napetostno in tokovno sila prilagodljiv in tudi pokreten, ker je običajno opremljen s kolesi. Vnovič poudarjamo, da pri uporabi varilnega transformatorja moramo dimenzioni rati grela na čim višje obratovalne napetosti (okrog 42 V), da bi držali izkoristek še v znosnih mejah.

Po podatkih iz leta 1957 uporabljajo na Češkem za elektroprovno segrevanje izključno varilne transformatorje, ki jih obremenjujejo tudi z nazivnim tokom (hlajenje). Uporabljajo enoten tip varilnega transformatorja (260 A), ki ima vgrajen ventilator za zračno hlajenje. Stemi transformatorji se zelo pohvalijo. O slabem izkoristku in cos  $\varphi$  ničesar ne omenjajo.

Pri nas izdeluje varilne transformatorje več tovarn, med njimi "Elektroda"-Zagreb, "Jugomontaža"-Zagreb in podjetje "Furlan"-Črnuče. Cena teh transformatorjev se giblje od 170 000 do 370 000 din za 200-ozziroma 500-amperske izvedbe. Če je transformatorju prigraden še kondenzator za popraviljanje cos  $\varphi$ , so cene 216 000 do 480 000 din za isti izvedbi. (To so



cene transformatorjev Ve-Ka tovarne "Jugomontaža" iz Zagreba.)

Za napajanje grel za stiskalnice za skupno lepljenje več robov (podobno kot kaže slika 45) se uporablja majhne enofazne transformatorje. Včasih so dobrodošli tudi t r a n s f o r m a t o r j i , kakršne uporabljajo kleparji z a t a j a n j e z a m r z l i h s t r e š n i h a l i v o d o v o d n i h c e v i .

Za lepljenje posameznih robov je moč uporabiti transformator za l o - t a n j e tračnih žag, ki ga ima že skorajda vsaka mizarska delavnica. Ti transformatorji nam običajno dajejo tok približno (relativni vklopni čas ca 50%) še kar znosno grejejo.

Važen kos dodatne opreme je s i g n a l n a u r a . Največkrat se na delavca ne moremo zanesti, da bo redno gledal na uro in natančno po "voznem redu" izklapljal ali priklapljal grela. Še boljša od signalne je izklopna ura, ki preko kontaktorja na primarni strani transformatorja sama izklopi transformator. Priporočljivo je tudi montirati s i g n a l - n o l u č k o , ki sveti, kadar je transformator pod napetostjo.

V tovarnah, kjer napetost omrežja zelo niha, priporočamo stalno merjenje napetosti ali toka grel, da bi lahko z regulacijo na primarni strani transformatorja izravnali razlike do nazivne napetosti. Niso redki primeri, da napetost niha tudi za 20 %. Moč bo torej nihala za okroglo 40%. V tem primeru bi bilo brez pomena natančno določati čase strjevanja itd., če ne poskrbimo, da imajo grela vedno tisti napetost, za katero so bili določeni obratovalni pogoji.

Najpreprosteje je montirati v o l t m e t e r na sekundarne sponke transformatorja. Še boljše pa je vgraditi tudi a m p e r m e t e r .

Ampermeter nam poleg kontrole o višini toka, ki teče skozi grela, omogoča tudi, da sklepamo o višini temperature grel. Ker imamo običajno grela iz železa, ki imajo velik temperaturni količnik upornosti , tok z n a - r a š č a j o č o t e m p e r a t u r o zelo pada. To seveda pokaže ampermeter. Z enkratnim merjenjem temperature grela lahko zagotovimo to odvisnost tako, da nam bo pri stalni napetosti dajal ampermeter tudi podatke o temperaturi grel. T a n a č i n i n d i r e k t n e g a m e r j e n j a t e m p e -

r a t u r je posebno primeren pri stiskalnicah, kjer so pavze med posameznimi delovnimi časi različne. Ampermeter nas tudi opozori na morebitne stike med greli ali posameznimi deli grel.

4.2

P o r a b a e l e k t r i č n e e n e r g i j e z a e l e k t r o u p o r o v n o o g r e v a n j e

Poraba električne energije pri napravah za elektroporovno ogrevanje je za različne tipe grel in za različne debeline, ki jih pregrevamo, lahko precej različna, vendar je v vsakem primeru lahko določljiva.

Ker nas v prvi vrsti zanimajo stroški za električno energijo, odpadajoči na 1 m<sup>2</sup> zalepljene površine izdelka, bomo napravili za enega izmed delovnih postopkov na stiskalnici, ki jo kaže slika 40, sl. 41 in 72, ta proračun.

Stiskalnica ima že navedeni ureditvi kalupov 6 m<sup>2</sup> grelnih površin srednje specifične moči  $p = 1\,330 \text{ W/m}^2$ . Moč grel je  $P = 8\,000 \text{ W}$ . Delovni režim predvideva 20-minutno stiskanje izdelka, pri tem pa so grela vklopljena 15 minut. S pavzami, ki so potrebne za izmenjavo izdelkov, se v 1 uri zvrstita ravno dva cikla, torej 12 m<sup>2</sup> izdelanih površin. Specifična poraba energije v enem kvadratnem metru grela in eni šarži je:

$$w = p \cdot t = 1\,330 \cdot 0,25 = 333 \text{ Wh/m}^2 = 0,333 \text{ kWh/m}^2.$$

Ker obratujejo grela s sorazmerno nizko napetostjo 15 V, je v dovodih približno 570 W izgub. Celotna moč, ki jo prejema naprava iz omrežja, je pri 95 % izkoristku transformatorja:

$$P = \frac{8\,000 + 570}{0,95} = 9\,000 \text{ W}$$

Celotna specifična poraba energije (na 1 m<sup>2</sup> izdelane površine) bo:

$$w = \frac{9\,000 \text{ W}}{6 \text{ m}^2} \cdot 0,25 \text{ h} = 375 \text{ Wh/m}^2 =$$
$$= 0,375 \text{ kWh/m}^2$$

Izraženo v dinarjih:

$$0,375 \cdot 12 = \underline{\underline{4,5 \text{ din/m}^2 \text{ tokovine}}}$$

Ker pa je poleg cene za porabljeno kWh treba plačati tudi prispevek za konico, ki znaša 1 400 din/kWh, moramo prišteti še ta prispevek.

Mesečni prispevek bo:

$$9,0 \cdot 1\,400 = 12\,600 \text{ din}$$

Pri 10-urnem dnevnem obratovanju bomo izdelali dnevno  $120 \text{ m}^2$  zalepljenih površin, ali mesečno  $3\,120 \text{ m}^2$ . Na  $1 \text{ m}^2$  odpade:

$$\frac{12\,600}{3\,120} = \underline{\underline{4,-- \text{ din/m}^2 \text{ prispevka}}}$$

Skupni stroški za električno energijo, ki odpadejo na  $1 \text{ m}^2$  zalepljene površine, so:

$$4,5 + 4,0 = \underline{\underline{8,5 \text{ din/m}^2 \text{ zalepljene površine}}}$$

Skupne stroške za  $1 \text{ m}^2$  izdelane površine bi pri isti sestavi plasti lahko znižali na približno  $7 \text{ din/m}^2$ , če bi obratovalni čas stiskalnice povečali na dve izmeni. Tedaj bi stroški za tokovino ostali isti, stroški za konico pa bi bili:  $4,0 \cdot 10/16 = 2,5$ , torej  $4,5 + 2,5 = 7,-- \text{ din/m}^2$ . Stroški bi se lahko znižali tudi, če bi strjevalni čas določili natančneje in pavze skrajšali.

Iz računa prispevka za konico moči razvidimo, da je zviševanje specifične moči grel, in s tem tudi celokupne moči grel, opravičljivo le tedaj, ko stiskalnica obratuje že ves delovni čas in postane ozko grlo proizvodnje. Z višanjem specifične moči grel se bodo sicer stroški za konico povečali, povečalo pa se bo tudi število izdelanih kvadratnih metrov izdelkov, tako da bo strošek, ki odpade na  $1 \text{ m}^2$ , ostal približno isti. Nesmiselno bi bilo višati moč grel, če bi bila pri tem stiskalnica del delovnega časa izven obrata. V tem primeru bi se strošek za izdelani kvadratni meter zelo povečal.

Velja naslednje pravilo: **N a j b o l j e k o n o m i č n o o b r a t u j e s t i s k a l n i c a t e d a j , k o j e s p e c i f i č n a m o č g r e l u r a v n a n a t a k o , d a j e z a g o t o v l j e n o n e p r e k i n j e n o o b r a t o v a n j e ,** pri tem pa moramo strjevalne čase natančno določiti in upoštevati.

Specifično moč lahko preprosto reguliramo s spreminjanjem napetosti, in sicer z regulacijo na primarni strani.

Glede na različne faktorje, ki vplivajo na specifično porabo električne energije, se le-ta giblje v mejah med

0,2...1,2 kWh/m<sup>2</sup> izdelane površine.

Tu je mogoče mnogo izboljšati z dobro konstrukcijo in pravilnim ter preciznim obratovalnim režimom. Vzporedno z nižanjem stroškov se bo izboljšala tudi kvaliteta izdelkov - vse to pa je namen pričujočega dela.

5 RAZISKOVANJE EKONOMIČNE UPORABE ELEKTROUPOROVNEGA OGREVANJA V FINALNI  
OBDELAVI LESA

5.1 R a z v o j

Z razvojem življenskega standarda so postale tudi želje potrošnikov drugačne in zahtevnejše. Tem željam po profiliranem in oblikovno razgibanem pohištvu proizvodnja ni mogla zadostiti niti po količini, niti v pogledu cene. Z dosedanjimi napravami, stroji in tehnološkimi postopki ni bilo mogoče serijsko proizvajati takega pohištva. Nastali so problemi dobave prvovrstnega lesa, problem dolgotrajnega sušenja in premajhne zmogljivosti sušilnic, čezmerni odpadki in velik izmet zaradi pokanja pri sušenju, problem lepljenja okroglih robov in podobno. Iz teh razlogov, in še zaradi nizke proizvodnje ter slabe rentabilnosti, je bilo treba taka naročila zavračati.

Proizvajalci so morali z mobilizacijo in napori tehničnih kadrov iskati novih poti in nove tehnološke postopke. Pojavila se je zamisel, da bi profilirane dele pohištva izdelovali tako, da bi tanjšje in drobnejše dele slabšega lesa lepili v šablonah v bloke na zahtevano obliko dela pohištva. Tako bi dosegli te prednosti:

- (1) odpadla bi potrebna velika količina prvovrstne lesne surovine in visoki stroški nabave ter transporta teh lesnih mas;
- (2) ne bi bilo treba večati sušilniške kapacitete, pri čemer bi odpadla tudi velika potrošnja toplotne energije za sušenje;
- (3) teža tako izdelanih lesnih proizvodov bi se občutno zmanjšala, ker bi bili iz masivnega lesa mnogo težji kot so iz zlepljenih letvic;
- (4) izognili bi se velikim količinam odpadkov in bi uporabili slabši, večkrat celo odpadni les.

Ko je bilo to vprašanje zadovoljivo rešeno, je nastal problem, kako izvesti serijsko lepljenje takih profiliranih delov pohištva. Z obstoječimi parnimi stiskalnicami tega ni bilo mogoče rešiti, ker:

- ni mogoče hitro izdelati točnih, dragih in masivnih odlitkov;
- gretje s paro je drago in počasno;

- neenakomerno debeli profili lesnih proizvodov se neenakomerno pregrevajo in bi se na tanjšem delu že smodili, ko na debelejšem lepilo še ne bi vezalo;
- nabaviti bi bilo treba nove stiskalnice, ker je parno lepljenje profilov posebno dolgotrajno, zahteva velike obratovalne prostore in kopico raznih naprav.

Po številnih poskusih, razpravah in kalkulacijah so prišli ponekod na misel, da bi stiskalne naprave ogrevali z električnim tokom nizke napetosti. Uporabili so običajen varilni regulacijski transformator z zračnim hlajenjem, ki ima široko območje regulacije tokov in napetosti. Tako z električno ogrevalnimi napravami dosegli naslednje prednosti:

- odpadli so dragi, težki odlitki, ki so jih nadomestili leseni kalupi in forme, izdelani z rezkarjem po šabloni in obloženi s kovino ali gumo;
- z ustrezno regulacijo specifične moči je moč regulirati temperaturo tudi pri neenako debelih profilih in jo povišati celo do  $140^{\circ}$  C pri debelih izdelkih, da bi skrajšali postopek;
- zadoščajo obstoječe stiskalne naprave, kar pomeni občuten prihranek izdatkov za investicije;
- omogočeno je tudi čisto in točno delo v vseh prostorih, ker ni več parne napeljave (odpade odvajanje kondenzata, mazanje tal, preriivanje itd.);
- za lepljenje vseh profiliranih delov pohištva zadostuje en sam vir nizke napetosti.

## 5.2 U p o r a b a

Prvič je bilo ogrevanje z nizko napetostjo uporabljeno za proizvodnjo lameliranih krivin pri letalih. Ta postopek se je nato razvil tudi za lepljenje večjih površin in za izdelavo lameliranih ukrivljenih konstrukcij. Ni pa se ta metoda obnesla za proizvode, pri katerih je sloj lepila zelo globoko (nad 40 mm). Kolikor bi bila kovinska grelna pločevina premalo upogibna, uporabljamo mreže namesto pločevine. Izredno važna in odločilna pri uporavnem ogrevanju je še varnost tega postopka, ker se

vseh grel, prevodnikov in zvez od izhoda iz transformatorja lahko dotikamo brez nevarnosti. In vendar nastopajo težave tudi pri tem postopku. Prva je, da velike ogrevalne površine zahtevajo zelo močan tok, pri čemer nastajajo problemi dovajanja toka iz transformatorja do elementov grel, druga pa je, da je pri nekaterih tipih grel, ali pa pri nepravilno izdelanih grelih težko doseči popolnoma enakomerno ogrevanje velikih površin na vseh točkah.

Postopek elektroporovnega ogrevanja je povsem preprost in ne zahteva nobenih pripomočkov. Potek gretja pri furniranju se razvija v treh stopnjah. Najprej dobi toploto grelo, od njega prodira toplota v les, od tod v lepilo, ki ga strjuje. Toplota naj bi dosegla v vsem kosu, ki ga stiskamo pod določenim pritiskom, zadostno strditev lepila preden odnehamo s stiskanjem, ker bi sicer plast lepil utegnila razpokati zaradi nabrane pare v njej. Pri lameliranem lesu naj se dviga temperatura počasneje kot pri furniranju.

### 5.3 U p o r a b n o s t e l e k t r o u p o r o v n e g a o g r e v a n j a

Kot smo že omenili, je uporabnost elektroporovnega ogrevanja v določenih fazah in postopkih lepljenja in ogrevanja skoro univerzalna. Posebno pa ga priporočamo v tehle primerih:

- (1) v obratih, kjer primanjkuje pare, ali kjer pare sploh ni na razpolago;
- (2) za take delovne operacije lepljenja in ogrevanja, kjer so potrebne visoke temperature, ki jih ne moremo doseči s parnim ogrevanjem;
- (3) za oblikovno zamotane izdelke, za katere bi bili kalupi in njih izdelava predragi;
- (4) pri lepljenju furnirja in tanjših plasti lesa, tako da najbolj oddaljena plast lepila ni od grela dlje kot 10 mm;
- (5) pri postopkih, ki zahtevajo v eni napravi različne stopnje temperature;
- (6) za raziskovalna dela, poskuse, izdelavo prototipov, za individualno proizvodnjo ter za manjše ali večje množine zepletelih ali pa preprostih operacij.

#### 5.4 Ekonomske prednosti elektrouporovnega ogrevanja

Prednosti transformiranega toka za segrevanje pri stiskanju in lepljenju lahko pravilno ocenimo šele po daljšem obratovanju in uporabi. Pred nekako tremi leti smo začeli poskuse v neki večji tovarni pohištva s tem postopkom samo na enem izdelku. Z izpopolnitvami in izkušnjami pa so sčasom metodo lepljenja z elektrouporovnim ogrevanjem razširili na številna delovna mesta v tej tovarni, za najrazličnejše operacije in izdelke. Poleg tega se je ta postopek iz te - v tem pogledu pionirske tovarne, razširil in se še vedno širi še v nekatere druge tovarne. Posebno razveseljivo pri tem je, da si delovni kolektivi sami izdelujejo potrebne naprave, jih spopolnjujejo in tudi vzdržujejo. Seveda to ne delajo vselej dobro in racionalno, ker jim manjka strokovne in tehnične podlage - prav to pa jim želimo posredovati v tem elaboratu.

Z raziskovanji in praktičnimi izkušnjami smo prišli do zaključkov, da je uporaba elektrouporovnega ogrevanja v finalni obdelavi zelo gospodarna. V primerjavi z dosedanjimi postopki ima naslednje pomembne prednosti:

- (1) Gospodarno izkorišča energijo, ker so količine toplote, ki prehajajo v okolico, izredno majhne. Toplota, ki se razvija v napravah, se izkorišča skorajda neposredno na mestu, kjer nastaja.
- (2) Obratovanje je zelo poceni, saj se porabi za segretje in zalepljenje 1 m<sup>2</sup> izdelka okoli 0,3 kWh (lahko tudi 0,2 ... 1,2 kWh/m<sup>2</sup> pri nespretnih konstrukcijah) električne energije. Ceno električne energije lahko primerjamo s ceno industrijsko proizvedene ali pa kupljene pare. O tem več v primerjalni kalkulaciji med parnim in elektrouporovnim ogrevanjem na naslednji strani.
- (3) Vse obratne naprave in pripomočki za uvedbo tega postopka so lahke, majhnih izmer in poceni. Skoro vse lahko izdelava uporabnik sam iz lesa in drugih domačih materialo, ki so mu na razpolago.
- (4) Mogoče je uravnati različne temperature v določenem območju vse obratne naprave, pa tudi v njenih posameznih delih.
- (5) Posebno uspešno se ta postopek uveljavlja v obratih, kjer ni mogoče



iz ekonomskih ali tehničnih razlogov uporabiti parnega ogrevanja.

- (6) Omogoča vzdrževanje neprimerno večje čistoče in varnosti pri delu kakor pa parno segrevanje. Nizka napetost teh naprav (5...42 V) človeškemu organizmu v suhih prostorih ni nevarna.
- (7) Obratovanje transformatorja in vseh stiskalnih naprav je povsem zanesljivo, če so vestno izdelane, kar dokazujejo večletne izkušnje v več obratih.
- (8) Ravnanje z napravo in njeno vzdrževanje je preprosto in ceneno.
- (9) Uvedba tega postopka ne predstavlja nobenih posebnih investicijskih stroškov.

## 5.5 Primerjava kalkulacije proizvodnih stroškov med parnim in uporovnim segrevanjem

### 5.5.1 Elektroporovno segrevanje

Za osnovo pri izdelavi te primerjalne kalkulacije proizvodnih stroškov smo vzeli enoetažno, pnevmatično stiskalnico, urejeno na elektroporovno ogrevanje; proizvodne stroške le-te primerjamo s stroški parno ogrevane stiskalnice tipa Fritz.

Za uporovno ogrevanje navajamo primer iz naše prakse - ki pa nikakor ni zgleden, saj mu manjka še vrsta izpopolnitev in strokovne obdelave. Obravnavana pnevmatična stiskalnica zlepi z uporovnim ogrevanjem v 1 uri 6,7 m<sup>2</sup> po eni strani. Ker lepi površine z obeh strani, izdelata torej obojestransko 13,4 m<sup>2</sup>/uro. To številko upoštevamo v naši kalkulaciji. Že v poglavju 4.2 smo v kalkulaciji stroškov za porabljeni električni tok ugotovili, da stane električna energija za zalepljenje 1 m<sup>2</sup> površine izdelka 8,50 din, v čemer je upoštevana tokovina in prispevek.

Razčlenjena kalkulacija proizvodnih stroškov lepljenja z uporovnim ogrevanjem je takale:

#### (1) Uporovno ogrevanje stiskalnice v 1 uri:

13 m<sup>2</sup>/h . 8,5 din ..... din/h 110,50

#### (2) Poraba toka za pogon pnevmatične stiskalnice:

3 kW .  $\frac{8}{60}$  . 12  $\frac{\text{din}}{\text{kWh}}$  ..... din/h 4,80

Porabo električne energije za pogon pnevmatične stiskalnice izračunamo tako, da pomnožimo moč elektromotorja stiskalnice  $P = 3 \text{ kW}$  z obratovalnim časom  $t = 8 \text{ min}$  v teku 1 ure (= 60 minut) in z zmogljivostjo stiskalnice v 1 uri, ki je  $13 \text{ m}^2$  zalepljene površine.

Upoštevati je treba še obračun konice ali mesečnega prispevka po  $1\,400 \text{ din/kW}$ , kar znaša na mesec:

$$3 \text{ kW} \cdot 1\,400 \frac{\text{din}}{\text{kW} \cdot \text{mesec}} = 4\,200 \text{ din /mesec}$$

ali na uro pri 250 delovnih urah na mesec:

$$\frac{4\,200 \text{ din}}{250 \text{ ur}} \dots\dots\dots \text{din/h } 16,70$$

- (3) Amortizacija obstoječih pnevmatičnih stiskalnic za dobo 10 let pri obrestni meri 6 %, katere knjižna vrednost je 1 500 000 din:

$$A = K \cdot \frac{r^n (r - 1)}{r^n - 1} = 1\,500\,000 \cdot \frac{1,06^{10} (1,06 - 1)}{1,06^{10} - 1} = 1\,500\,000 \cdot 0,1359 = 203\,850 \text{ din/leto.}$$

Če računamo na leto 300 delovnih dni z 10 urnim delovnim časom na dan, znese amortizacija stiskalnice na uro:

$$A = \frac{203 \cdot 850}{300 \cdot 10} \dots\dots\dots \text{din/h } 68.--$$

- (4) Šablone in modeli stanejo za  $1 \text{ m}^2$  površine stiskalnice, kar je  $2 \text{ m}^2$  obojestransko lepljene površine, okoli 12 000 din. Z eno šablono zafurniramo obojestransko najmanj  $4\,000 \text{ m}^2$ . Tako torej ugotovimo, da stanejo šablone za enourno delo pri zmogljivosti  $13 \text{ m}^2/\text{uro}$ :

$$\frac{12\,000 \text{ din}}{4\,000 \text{ m}^2} \cdot 13 \text{ m}^2/\text{h} \dots\dots\dots \text{din/h } 39.--$$

- (5) Delo pri pripravah, lepljenju in stiskanju opravljata dva delavca, katerih brutto delovno uro z vsemi dajatvami vred zaračunamo povpreč-

no z din 80,--. Torej znese v 1 uri:

2 . 80 din/h ..... din/h 160,--

REKAPITULACIJA

stroškov lepljenja z uporovnim ogrevanjem v pnevmatični stiskalnici v eni delovni uri:

(1) električna energija za ogrevanje .....	din/h	110,50
(2) - tok za pogon stiskalnice .....	din/h	4,80
- prispevek (konica) .....	din/h	16,70
(3) amortizacija stiskalnice .....	din/h	68,--
(4) šablone - modeli .....	din/h	39,--
(5) delovna sila .....	din/h	160,--
s k u p a j s t r o š k i n a u r o , . . .		din/h 399,--

Stroški za 1 m<sup>2</sup> zafurnirane površine znašajo:

$$\frac{399 \text{ din/h}}{13 \text{ m}^2/\text{h}} = 30,7 \text{ din/m}^2$$

Ta cena velja za 1 m<sup>2</sup> zafurnirane površine, če jo lepimo istočasno na obeh straneh. Pri enem stisku torej zalepimo hkrati zgornjo in spodnjo površino. Pri tem se v primeri z lepljenjem ene same površine izdelka povečajo le stroški pod točkami (1) in (4) rekapitulacije, vsi ostali stroški pa ostanejo isti. Zato je razumljivo, da je istočasno obojestransko furniranje skoro za polovico cenejše od enostranskega.

Če pa bi furnirali samo eno stran, kot je to pri parnem ogrevanju v stiskalnici znamke "Fritz", bi znašali ti proizvodni stroški

$$57,3 \text{ din/m}^2$$

V tej kalkulaciji niso zajeti stroški za lepilo, furnir in les, ki so v obeh primerih enaki in kalkulacije ne menjajo.

5.5.2 Parno ogrevanje

Za primerjavo obravnavamo parno ogrevano novo avtomatično Fritzovo sti-

skalnico, s katero je moč lepiti obravnavane velike, neravne proizvode samo z ene strani in ne z obeh, kot pri obračunanem uporovnem ogrevanju. Ta formatna stiskalica je uvožena in jo imajo nekatera naša večja podjetja. Stane okoli 30 000 DM. Če upoštevamo nakup te stiskalnice z lastnimi devizami in s faktorjem, je njena dinarska vrednost okoli 13.000.000 dinarjev.

(1) Električni tok, potreben za pogon stiskalnice, in sicer štirih motorjev (7,5 + 1,1 + 0,8 + 0,8 kW) = 10,2 kW. Stiskalnica deluje v eni delovni uri le 10 minut, pri čemer porabi v 1 uri električnega toka:

$$10,2 \text{ kW} \cdot 12 \text{ din} \cdot \frac{10}{60} \dots\dots\dots \text{din/h} \quad 20,40$$

Konica (prispevek):

10,2 kW · 1 400 din = 14 300 din/mesec. Pri 250 delovnih urah na mesec pa znese prispevek na uro:

$$\frac{14\,300 \text{ din}}{250 \text{ ur}} \dots\dots\dots \text{din/h} \quad 57,20$$

(2) Potrošnja pare v 1 uri:

$$120 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 0,82 \frac{\text{din}}{\text{kg}} \dots\dots\dots \text{din/h} \quad 98,40$$

(3) Amortizacija stiskalnice v vrednosti nabavne cene 13 000 000 pri obrestni meri 6 % in amortizacijski dobi 10 let znaša v 1 uri proizvodnje:

$$A = K \cdot \frac{r^n (r - 1)}{r^n - 1} = 13\,000\,000 \cdot \frac{1,06^{10} (1,06 - 1)}{1,06^{10} - 1} =$$

$$= 13\,000\,000 \cdot 0,1359 = 1\,766\,700 \text{ din/leto} .$$

Pri 300 delovnih dneh na leto in 10 -urnem delovniku znaša amortizacija stiskalnice na uro:

$$A = \frac{1\,766\,700}{300 \cdot 10} \dots\dots\dots \text{din/h} \quad 589,--$$

(4) Nabava in vzdrževalnina gum na leto.

Gume stanejo 813 DM po 140 din/DM in faktor 3.

Letni stroški so torej:

$$813 \cdot 140 \cdot 3 = 341\ 040 \text{ din}$$

Pri 300 delovnih dneh na leto in 10-urnem delovniku

znesejo stroški za gume v 1 uri proizvodnje:

<u>341 040</u>	.....	din/h	114,--
300 . 10			

- (5) Modeli za 1 m<sup>2</sup> stiskalnice stanejo 6 000 din. Z enim modelom zlepimo enostransko 2 000 m<sup>2</sup>. V eni uri zlepi stiskalnica enostransko 4,5 m<sup>2</sup>. Stroški za modele v 1-urni proizvodnji (torej za zlepljenje 4,5 m<sup>2</sup>) so:

<u>6 000 din</u>	· 4,5 m <sup>2</sup> /h	.....	din/h	13,5
2 000 m <sup>2</sup>				

- (6) Stiskalnici strežeta dva delavca z brutto urno plačo din 80.-- Tako znesejo stroški za delovno silo v 1 uri:

2 . 80 din/h	.....	din/h	160,--
--------------	-------	-------	--------

Celotni proizvodni stroški/uro	.....	din/h	1052,50
--------------------------------	-------	-------	---------

Kor zafurniramo v 1 uri enostransko 4,5 m<sup>2</sup>, znašajo stroški za zlepljenje 1 m<sup>2</sup>:

$$\frac{1\ 052,50 \text{ din/h}}{4,5 \text{ m}^2/\text{h}} = 234,5 \text{ din/m}^2$$

Pri tem je treba upoštevati, da je zmogljivost te formatne stiskalnice "Fritz" za tretjino manjša kot stiskalnice za uporabno ogrevanje, če ta lepi enostransko.

Letni prihranek z uporabnim ogrevanjem

1 m<sup>2</sup> s paro zalepljene površine na parni stiskalnici

Fritz stane ..... din 234,50

z elektroporovnim ogrevanjem pa:

- pri enostranskem lepljenju ..... din 57,30

- pri dvostranskem lepljenju ..... din 30,70

Prihranek

- pri enostranskem lepljenju ..... din/m<sup>2</sup> 177,20

- pri dvostranskem lepljenju .....  $\text{din/m}^2$  203,80

Pri stiskalnici na elektroporovno ogrevanje

z n a š a t o r e j l e t n i p r i h r a n e k ,

računajoč z letno zmogljivostjo

- pri enostranskem lepljenju =  $18\ 000\ \text{m}^2$  .....  $\text{din}$  3 169 960,--;  
=====

- pri dvostranskem lepljenju =  $36\ 000\ \text{m}^2$  .....  $\text{din}$  7 342 800,--;  
=====

E l e k t r o p o r o v n o o g r e v a n j e j e t o r e j  
v primerjavi s parnim ogrevanjem c e n e j š e .

- pri enostranskem lepljenju za ..... 4,1-krat  
=====

- pri dvostranskem lepljenju za ..... 7,6-krat.  
=====

## 6 SEDANJE STANJE ELEKTROUPOROVNEGA LEPLJENJA V FINALNI PREDELAVI LESA PRI NAS IN DRUGOD

Da bi naši delovni kolektivi lažje uvajali postopek v proizvodnjo, jim posredujemo nekaj doslej pridobljenih izkustev, navajamo važnejše izvedbe tovrstnih naprav v podjetjih, kakor tudi razne možnosti uporabe tega postopka za izbiro v pohištveni industriji.

### 6.1 R a z v o j u p o r o v n e g a o g r e v a n j a p r i n a s i n d r u g o d

Prve začetke uporabe elektrouporovnega ogrevanja v predelavi lesa zasledimo nekako v zadnjih letih druge svetovne vojne, ko je oborožitvena industrija v tekmovalni mrzlici morala osvajati nove, naprednejše postopke in stremeti za novimi iznajdbami. Amerikanci so začeli ta postopek uvajati v letalski industriji. Razvijali so ga vzporedno s postopkom visokofrekvenčnega lepljenja za tiste operacije lepljenja, kjer je bil sloj lepila blizu površine, ne globlje od 5 mm. Zlasti pa se je ta postopek uveljavljal za krivljenje in lepljenje tam, kjer bi bila nabava stiskalnic, šablon, kalupov in drugih naprav za ogrevanje otežkočena in investicije predrage.

V Angliji se je začelo elektrouporovno ogrevanje uveljavljati šele po letu 1950 v tehniki lepljanja, Zapadna Nemčija pa je prva v Evropi povzela ta postopek od Amerikancev in Angležev šele po letu 1953. Odtlej se ta tehnika krivljenja, zlasti pa lepljenja lesa širi v vse veje lesno-predelovalne industrije, v prvi vrsti v pohištveno industrijo, v industrijo radijskih ohišij, športnih potrebščin ipd. (glej slike 51, 52, 54, 67 in 71).

Pri nas so bili že kmalu po letu 1953 napravljeni prvi poskusi elektrouporovnega ogrevanja pri lepljenju. V okviru tedanjega Biroja za napredek proizvodnje v lesni industriji sta demonstrirala ta postopek v Tovarni pohištva v Novi Gorici tov.ing.Vladimir Jelovac in Marjan Pengov. Kasneje sta ta dva tovariša prikazovala načela elektrouporovnega ogrevanja tudi v praktični proizvodnji športnih potrebščin v tovarni "Elan"

v Begunjah na Gorenjskem. Posebno ekonomičen se je pokazal ta postopek za lepljenje smuči, vendar so zaradi nerazumevanja tehničnega vodstva v tej tovarni opustili začeta dela in postopek je šel v pozabo. Tudi v Tovarni pohištva v Novi Gorici tehnika dela po tem postopku ni prodrla in je zastala.

Šele več let kasneje - nekako pred tremi leti - se je tehnično vodstvo Tovarne pohištva v Novi Gorici zopet lotilo poskusov, da bi uvedlo ta postopek v proizvodnjo in izdelalo prve naprave za lepljenje furnirja na robove, nato še za lepljenje furnirja na razne dele pohištva, kot so vrata omar, razni predali, robovi miz, psih, nočnih omaric in podobno. Prej so to delo tudi v tej tovarni opravljali na zastarel, primitiven način s tako imenovanim "zaribavanjem" (Aufreibung), ki je zahtevalo obilo delovnega časa in strokovno kvalificirano delovno silo - dobre mizarje.

Transformiranje električnega toka z omrežne na nizko napetost je oskrboval transformator, kakršne je tedaj izdelovala elektrodelaavnica Furlan na Črnučah. Ti transformatorji se uporabljajo za taljenje zamrzlih vodovodnih in odtočnih cevi in zaledenelih strešnih žlebov.

Po opravljenih poskusih je Tovarna pohištva začela - resda še zelo začetniško in neracionalno - opravljati prej naštete delovne operacije z uporabo elektrouporovnega ogrevanja in tega postopka ni opustila do danes. Nasprotno, razvila ga je in izpopolnila v veliki meri, kar se odraža tudi v občutno znižanih proizvodnih stroških in precejšnjem povečanju zmogljivosti. Normativ dela in materialnih stroškov lepljenja furnirja se je znižal za štirikrat, čemur je dodati še prihranek, ki izhaja iz tega, da opravlja sedaj vsa ta dela nekvalificirana ženska delovna sila namesto kvalificirana sila mizarjev.

Že kmalu so naprave tako poenostavili, da so bate na komprimirani zrak na nekaterih stiskalnicah zamenjali z gumiranimi gasilskimi cevmi, s podobnimi izpopolnitvami in dodatki je Tovarna pohištva v Novi Gorici razširila uporabo elektrouporovnega lepljenja na številna delovna mesta, zlasti na tista, kjer je stiskanje z navadnimi mrzlimi ali s paro gretimi šablona- mi počasno in drago ali kjer bi bile investicije vzporedno z večanjem pro-



izvodnje za doslej znane naprave predrage.



Slika 86. - Razne oblike krivljenja masivnega lesa z uporovnim ogrevanjem.

Ista tovarna v Novi Gorici je tudi delala poskuse, da bi s pomočjo elektrouporovnega ogrevanja krivila masiven les v razne oblike (glej sliko 86!) Vendar kasneje poskusov ni nadaljevala niti dalje razvijala, ker taki izdelki niso njena specialnost in jih ne proizvaja. Pač pa so ti poskusi privedli do zanimivih ugotovitev in bogatih izkušenj. Vsekakor bi bilo priporočljivo in bi se obneslo, ko bi katera izmed naših vodilnih tovarn upognjenega pohištva nadaljevala s temi poskusi. Vso tehnično dokumentacijo in bogate izkušnje, ki si jih je Tovarna pohištva v Novi Gorici pridobila s poskusi na tem področju, bi rade volje odstopila tistemu, ki bi se za stvar zavzel.

Iz tovarne pohištva v Novi Gorici se je tehnika elektrouporovnega lepljenja že začela širiti širom po Sloveniji in prav zadnji čas tudi v ostale

republike naše države. Tako danes uvajajo elektrouporovno ogrevanje za lepljenje že naslednje tovarne pohištva v Sloveniji:

- Tovarna pohištva "Brest" v Cerknici,
- Lesnoindustrijski kombinat "Javor" v Pivki,
- Lesnoindustrijsko podjetje "Savinja" v Celju,
- Tovarna pohištva "Oprema" v Mariboru,
- Lesni kombinat (za lamelni parket) v Novem mestu in
- Tovarna pohištva v Brežicah.

Žal so bile vse te naprave konstruirane in izdelane le na podlagi izkušenj, brez temeljite tehnične dokumentacije. Zato naj to delo tehnično obdela obstoječo tehniko oz. tehnično dokumentacijo, jo spravi v smotern okvir, dopolni z znanstvenimi dosežki in jim da strokovno tehnično podlago ter orientacijo, hkrati pa ves material priredi za praktično rabo.

## 6.2 Obratovalne izkušnje in primeri

### 6.2.1 A

Tovarna A je v začetku uporabljala za grela pocinkano pločevino, vendar je cink ob segrevanju odpadal in se je na nepocinkanih mestih pločevina preveč grela. Zato so pocinkano pločevino zamenjali z aluminijevo, debelo 0,1 mm, ki se je segrevala po vsej površini povsem enakomerno. Zaradi odpadanja cinka je zoglenela tudi lesena profilna obloga žablone in se ni več prilegala. Takoj so izrezkali drugo oblogo in brez posebnih prekinitev nadaljevali delo.

Strega je preprosta, delo čisto, varno in zanesljivo, opravlja ga nekvalificirana ženska delovna sila. Regulacijski transformator uravnava različne stopnje toplote pri vezavi posameznih ali več naprav paralelno v serijo. Ker je zračno hlajen, je lahko stalno obremenjen in ga ni treba med delom izključevati.

Pri oblikovanih nogah miz, namenjenih za izvoz, uporabljajo trakove in aluminijeve pločevine, debele 0,1 mm in široke 4 cm. Pri boljši obratovanju dobi ob povišani temperaturi se je pokazalo, da pregoreva izolacijski papir, ki je med grelom in zaščitno pločevino. Zato so namesto papirja

začeli uporabljati trakove iz sljudne folije, ki vzdrže višje temperature. Na mestih, kjer je bil papir pretrgan, je dobila zaščitna pločevina stik z grelom. Če sta se pojavila hkrati dva taka stika, je to privedlo do kratkega stika in uničenja zaščitne pločevine ter grela.

Z izkušnjami so ugotovili tudi delovni učinek. Pri normalnih pogojih lahko izvedejo v 60 minutah 6 operacij na celotnem traku priprav, vključno pripravljajalno dobo V celoti bi torej zalepili:

- 6 . 6 = 36 nog po obeh straneh ali 18 gotovih nog;
- 6 . 2 podaljška in 6 . 1 zgornjo mizno ploščo ter vse ravne robove plošč, to je 6 kompletnih miz.

V eni izmeni je torej zlepljenih (obloženih s furnirjem) 48 kompletnih miz.

Za 48 miz porabijo okoli 24 kWh električne energije, ali grobo vzeto, 0,5 kWh na eno mizo. Poraba toka je torej izredno majhna, ker se segreva dejansko samo ogrevana površina, pri čemer so izgube toplote v okolico zelo neznatne. Pri napravah, ki jih ogreva para, pa so izgube toplote v okolico izredno velike, ker so kalupi in armatura kovinski in vsi oddajajo toploto v okolico. Prav tako imajo tudi parni dovodi velike izgube. Pri grelnih trakovih delajo - glede na izgube - s specifično močjo okrog  $2000 \text{ W/m}^2$ .

#### 6.2.2 B

V tovarni B so lepili furnirje na oblikovane površine vrat nočnih omarič, toaletnih mizic in pa na končnice postelj v parnih stiskalnicah. Zaradi visokih proizvodnih stroškov in nizke proizvodnje so poskušali uvesti uporovno ogrevanje, čeprav so dvomili, da bodo mogli uporovno lepiti tako velike površine, ki so z obeh strani merile skoro 3 m<sup>2</sup>. Vzeli so staro, že dotrajalo, večetažno stiskalnico, v kateri so začeli uporovno lepiti proizvode z obeh strani tako, da ima vsaka stran (torej zgoraj in spodaj) svoje grelo.

Šablone (kalupi) so lesene, njih obloge, grelne in izolacijske plasti pa so razmeščene takole:

- toplotna izolacija: klingerit debeline 3 mm;
- izravnava hrapavosti površine: aluminijeva pločevina, debela 1 mm;

- električna izolacija: svetla lepenka, debeline 1 mm;
- grelo: izrezana aluminijeva pločevina 0,5 mm;
- električna izolacija: svetla lepenka 1 mm;
- prenos toplote na lepljeno površino: aluminijeva pločevina 3 mm  
(glej sliko 62!).

Poraba toka na 1 m<sup>2</sup> na obeh straneh stiskane in lepljene površine znaša 0,9 kWh. Specifična moč, potrebna za zalepljenje, pa je okoli 1000 W/m<sup>2</sup>.

Delovni kolektiv je po dosedanjih izkušnjah mnenja, da ima elektroporovno lepljenje med drugim tudi tele prednosti v primerjavi s parnim:

- (1) obratovalna temperatura pri uporovnem segrevanju je stalna, vtem ko pri parnem niha;
- (2) delovni prostor je čist, brez umazanih odtekajočih kondenzatov;
- (3) zmogljivost lepljenja je večja;
- (4) manjše število nesreč, ker odpadejo opekline s paro;
- (5) natančna regulacija toplote.

Menijo, da se je uporovno gretje dobro obneslo tudi pri večjih ravnih površinah in da so z njim na splošno prav dobro uspeli.

### 6.2.3 C

V tovarni C so uvedli elektroporovno segrevanje, čeprav imajo dovolj pare in obratujejo na obstoječih napravah vzporedno z uporovnim in parnim segrevanjem. Stiskajo oblikovno zelo zahtevne pokrovne ploskve za gramofonske omarice.

Izvedli so poskuse lepljenja s tegofilmom z elektroporovnim segrevanjem in pri tem dosegli temperature celo nad 160°C, ki jih tegofilm potrebuje, pa jih s parnim ogrevanjem niso mogli doseči. Seveda so pri tako visoki toploti morali lesene šablone nadomestiti z aluminijevimi. Dosegli so dobre rezultate pri lepljenju kavčev in sobnih stolov ter robov pri mizah in skrinjicah.

Ker imajo v proizvodnem programu vrsto manjših serij proizvodov, so uporovno segrevanje razširili že na 10 delovnih mest. Pritožujejo se pa nad drugim vzdrževanjem, čemur je vzrok nepravilno izbran način vezanja grel in

in vodnikov nizke napetosti. V drugih podjetjih se pohvalno izražajo vprav glede cenenege vzdrževanja, kar pomeni, da v podjetju C pri napravah ni nekaj v redu. Težave jim povzroča tudi nabava ustreznega toplotno-izolacijskega materiala, ki bi varoval lesene šablone pred deformacijami zaradi segrevanja.

V kratkem nameravajo uvesti elektrouporovno ogrevanje še za lepljenje robov pri televizorjih, za krivljenje okvirov (plaščev) pri televizorjih in za lepljenje spodnjih robov trodelnih omar.

#### 6.2.4 Č

V podjetju Č uvajajo uporovno ogrevanje že v serijsko proizvodnjo pohištva, in sicer za lepljenje okroglin ter robov pri posteljnih končnicah, omarah, nočnih omaricah, toaletnih mizicah in za lepljenje robov pri stranicah postelj (slika 89 do 95). V programu imajo že uporovno ogrevanje za lepljenje furnirja na mizne plošče ter na robove in upognjene končnice kavčev.

Debelina aluminijeve ogrevalne pločevine je 0,2 ... 0,5 mm. Z obeh strani je električno izolirana s stisnjeno lepenko, debelo 1 mm. Furnir lepijo dvostransko. Povprečna poraba toka na  $1 \text{ m}^2$  zalepljene površine z dvojnim furnirjem je okoli 0,5 kWh, specifična moč pa je  $500 \text{ W/m}^2$  grelne površine.

Ena naprava z grelno površino  $1,4 \text{ m}^2$  zmore zlepiti v 8 urah  $35 \text{ m}^2$ .

V drugem obratu tega podjetja furnirajo robove, lepijo naslonjala za stole, robove stolov, galerije pri vratih, plošče jedilnih miz in zapognjene robove pri ploščah za bifeje. Izolacijo segrevanih površin so izvedli z azbestom in specialno gumo. Pogrešajo termometre za ugotavljanje temperature v plasteh lepila in upajo, da jim bo ta naš elaborat tudi v tem pomagal. Uporabljajo transformator, kakršne uporabljajo za varjenje tračnih žagnih listov. Grelo iz aluminijeve pločevine izolirajo toplotno in električno s klingeritom. Kontakti so bakreni.

6.2.5 D

V podjetju D lepijo robove oblikovanih končnic postelj, čevire toaletnih mizic, nočnih omaric, robove pri pisalnih in konferenčnih mizah, robove stranic in končnic pri kavčih, poleg tega pa še oblikujejo in hkrati lepijo oblikovane površine končnic in stranic kavčev v velikosti  $185 \cdot 30 \text{ cm}^2$ .

Uporabljajo regulacijski transformator z močjo 400 W in 7 ... 14 V. Hvalijo preprosto instalacijo naprav, pritožujejo pa se nad lesenimi šablونami, ki se jim žgejo in so pogosto krive deformacij na lepljenih površinah. Napaka je verjetno v neustrezno izbrani specifični moči grela in zato previsoki temperaturi grela. Nemara tudi pritisk na nepravilno oblikovano površino izdelka ni enakomerno porazdeljen. V takih primerih so priporočljiva pnevmatična ali pa hidravlična vpetja z istočasnim lepljenjem dveh kosov hkrati.

6.3 Z a k l j u č k i

Iz vsega navedenega izhaja, da se elektroporovno ogrevanje z nizko napetostjo za krivljenje in lepljenje v pohištvni industriji uspešno uvaja in da se zdržema širi po naših podjetjih. Da se ta postopek še bolj ne uveljavi, je vzrok verjetno ta, ker ga večina podjetij sploh ne pozna ali pa morda menijo, da mu niso dorasla. Razen tega imajo podjetja, ki uvajajo ta postopek ali ki so ga že prej uvedla, z njim določene težave, katerih vzroki so nepravilno preračunana in nemeščena grela, slaba ureditev grelna izolacije proti zaščitni površini in uporaba neustreznega materiala za grela, slabi kontakti in drugo. Vse naštete in druge razloge, ki preprečujejo smelejše uvajanje tega sodobnega postopka, marveč tudi strokovno obdeluje, kako premostiti obstoječe težave tam, kjer je postopek že uveden, in kako doseči z njim večjo rentabilnost, gospodarnost in proizvodnost.

Ta elaborat nima namena prikazati, da je ta postopek z elektroporovnim ogrevanjem edino primeren in ekonomičen v vsakem primeru.

Marsikje je uporovno ogrevanje le dopolnilo k obstoječemu parnemu, in sicer v tistih delovnih fazah, ki jih ne moremo ali pa se jih ne splača na osnovi kalkulacije opravljati s parnim ogrevanjem. Neredko pa bo edino uporovno ogrevanje omogočilo serijsko proizvodnjo določenih proizvodov in njih ekonomičnost. Poleg uporovnega je zlasti v veleserijski proizvodnji zelo aktualno visokofrekvenčno segrevanje, ki je visoko produktivno in se oblikuje po globinskem pregrevanju. Začetne težave visokofrekvenčnega ogrevanja in pa pomanjkanje ekonomskih primerjav z ostalimi vrstami ogrevanja pa še čakajo obdelave, ker imamo pri nas in v svetu še premalo izkušenj.

Po podatkih iz Vzhodne in Zahodne Evrope pa smo priča izredno naglega vzpona v uvajanju elektrouporovnega ogrevanja, po čemer lahko sklepamo, da je ta postopek že znan in priznan. Kajpada bi bilo treba izdelati še obratna, varnostna in delovna navodila, obdelana s strokovno-teoretičnih vidikov in metodično izpopolnjena po pridobljenih tehničnih in obratovanih izkušnjah.

## OSNOVNA TEHNIČNA PRIPOROČILA ZA OPERATIVO

Ogrevanje predstavlja v lesni industriji - zlasti v finalni, to je pohištvni, galanterijski in v industriji radijskih ohišij ipd. - telo bistven proizvodni faktor. Vseh faz krivljenja in lepljenja si danes spričo vse večje uporabe sintetičnih lepil ne moremo več zamisliti brez ogrevanja. Ker se je pri nas uvedba sintetičnih lepil precej zakansila v primerjavi z drugimi državami, je tudi uporovno ogrevanje hitreje in pri višjih temperaturah (od 90 do 140°C) kot kožna. V velikih tovarnah imajo uporovno ogrevanje za dopolnitev pri že obstoječih masivnih, večetažnih stiskalnicah in pri enoetažnih formatnih stiskalnicah "Fritz" za oblikovane kose. Predvsem je primerno za oblike, ki zahtevajo protišablone, in za kose, ki jih drugače ne moremo lepiti - na primer za lepljenje furnirja na robove, za okrogline in krive kose. Neizogibno pa je uporovno ogrevanje v manjših obratih, kjer nimajo stiskalnic. V takih obratih lahko uporabljajo uporovno ogrevanje pri navadnih ročnih stiskalnicah in v obstoječih napravah.

Za elektroporovno ogrevanje z nizko napetostjo potrebujemo tele naprave:

- stiskalnice ali stiskalne naprave,
- šablone (kalupe),
- grela s priključki,
- transformator

### 1. Stiskalnice in stiskalne naprave

Vso opremo za elektroporovno lepljenje je moč izdelati v državi ali v lastni mehanični delavnici. Sestavljajo jo: stiskalnica, kalupi, transformator, kabli, spojke in grela.

Stiskalnica je izdelana iz železne konstrukcije in vodilnega okvira, v katerem se gibljejo leseni profilni kalupi s pomočjo pnevmatičnih valjev. Navadno so to večetažne stiskalnice (glej sliko 36!). V vsaki etaži so distančni vložki s kalupi. Med kalup in grelo vstavimo še vložek



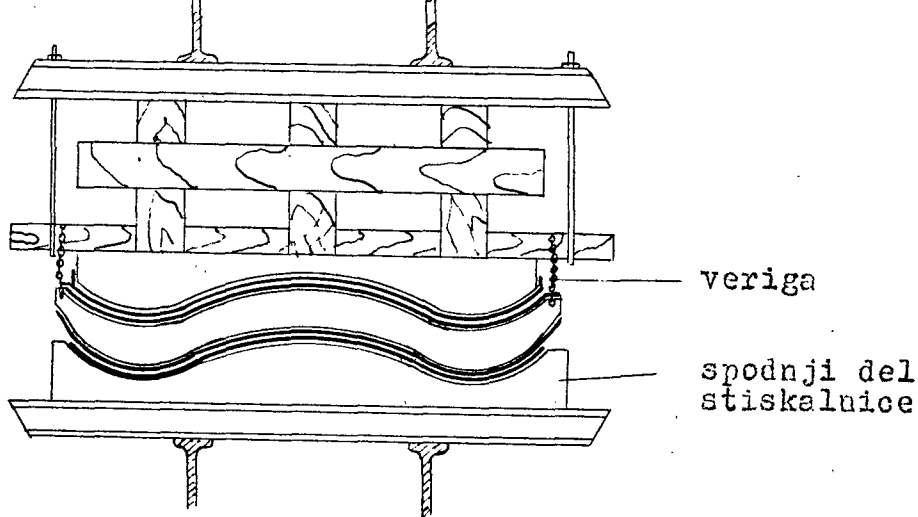
iz azbesta, klingerita ali podobnega materiala, ki preprečuje preveliko odvajanje toplote v kalup. Grela pokrijemo še s papirjem, tlačeno lepenko, aluminijevo ploščo ali podobnim, da se proizvod ne dotika grela (glej sliko 62!) Običajno je grelo sekcionirano ali pa je izdelano iz žične mreže, pa bi se poznali odtisi na izdelku, ko bi ne bilo te vmesne zaščitne plasti.

Za tiskanje oblik in valovitih robov pri mizah, omarah in podobno uporabimo iste stiskalne naprave kot doslej, le da jim vgradimo pločevinasto grelo. Grela so pritrjena na stene naprave in so toplotno zaščitena z zunanje strani. Več naprav vežemo samostojno vsako posebej ali pa skupaj v seriji na transformator. Prerez veznih kablov, ki morajo biti gibljivi (prožni, mehki) naj bo dovolj velik, da se kabli ne bi preveč greli.

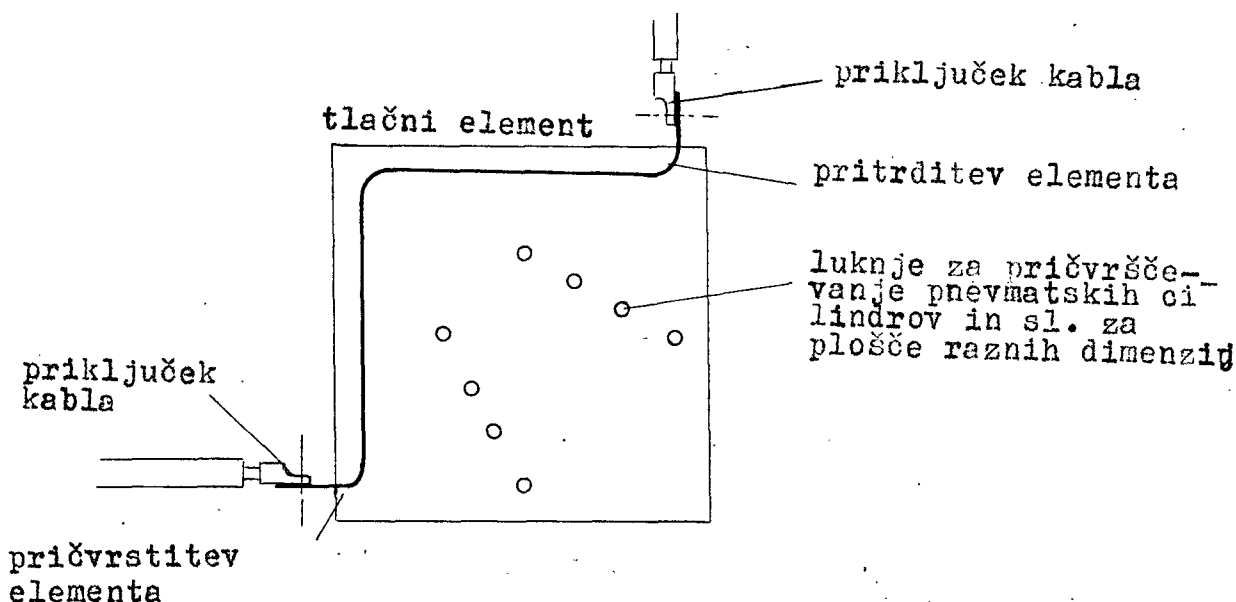
Pri izdelavi profiliranih naprav za tiskanje in lepljenje furnirja ali masivnih blokov je računati z debelinami vložkov, in grel, ki jih vlagamo v matrico in patrico, da bi po montaži dobili pravilno režo za stiskani izdelek. Kalupe izdelamo navadno iz masivnega lesa ali pa jih lepimo iz bukovih letvic na ustrezno obliko in velikost. Izolacijske vložke vlagamo tako, da se ne strgajo ali drugače poškodujejo. Grela vlagamo po navadi prosto, pri bolj zamotanih profilih pa jih tudi pritrdimo na kalup.

Izdelke sestavljamo in vpenjamo v stiskalnice ter jih stiskamo s pritiskom  $5...6 \text{ kg/cm}^2$ . Velike in težke krive izdelke lepimo v hidravličnih stiskalnicah (slika 59, 67, 70, 90 in 91).

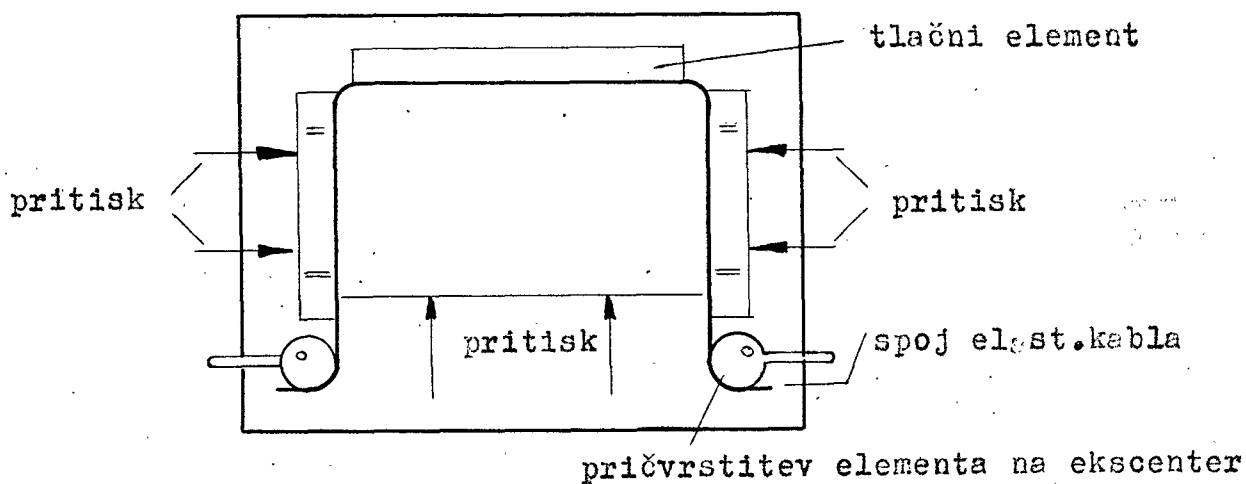
V etaže stiskalnic lahko vstavljamo različne šablone, tako da stisnemo po dva, tri ali več izdelkov hkrati. Ob straneh so šablone vpete z verigami (slika 87), da stiskalnica pri odpiranju šablone dvigne in lahko odstranimo stiskane kose. Te verige so nekaka obešala za šablone. Preoblečemo jih s polivinilom ali gumo, da ne pridejo v neposreden stik z električnimi priključki. Pri krivih šablonah v etažah ne potrebujemo nobenih vodil, ker krivine same povlečejo šablone drugo v drugo.



Sl. 87 Vpetje in konstrukcija oblikovanih šablon



Sl. 88 Istočasno furniranje dveh robov plošč različnih dimenzij



Sl. 89 Model za istočasno furniranje treh robov

Za pohištvena dela je najpripravnejša stiskalnica, katere stiskalne plošče merijo 2300 . 1100 mm, imajo 1000 mm odprtine pri dvigu v višino in 400 mm hoda tlačnih batov. Imeti morajo 5...6 kg/cm<sup>2</sup> pritiska. Večje stiskalnice imajo hidravlične bate kot običajno.

Za lepljenje furnirja na robove na primer pri vratih pohištva, policah in podobno ter pri lepljenju vseh ozkih ravnih ploskev so primerne pokončne stiskalne naprave, ki jih prilagajamo posameznim vrstam dela in oblikam proizvodov (slika 42, 90, 91, 93). Če furniramo isti kos na obeh nasprotnih straneh, vgradimo grelne elemente na oba tlačna prislonna, s čimer ogrevamo obe strani hkrati. Za pritisk uporabljamo zračne bate ali mehove, priključene na obstoječi kompresor. Ti zračni bati imajo presek 80...120 mm, njihov pomik (hod) pa znaša 50...200 mm, kakor pač zahteva debelina in velikost lepljenega izdelka.

Zaobljene robove n.pr. pri pokrovih in podih omar, nočnih omaric, psih, radijskih ohišij ipd. - furniramo na železni mizi s stranicami 2 800 . 1 300 mm. Na tej mizi je plošča iz 16 mm debele železne pločevine, v katero navrtamo luknje v enkomernih razdaljah, da lahko nastavimo stikalno napravo na poljubne velikosti (slika 88). Pritisk izvajamo z dvema batoma na stisnjen zrak ali pa s posebnimi vzvodi ali ekscentri (slika 47). Prve kot druge postavljamo tako na gosto, da dobimo približno 3...4 kg pritiska na 1cm<sup>2</sup> površine, ki jo lepimo.

Zračni meh je posebno primeren za lepljenje furnirja na robove. To je običajna gasilska cev, znotraj prevlečena z gumo, ki ima dimenzije gasilskih cevi A, B in C. Po dolžini odrežemo cev primerno dolžini izdelka in jo na konceh stisnemo med dve ploščati podložki z vijaki M 10. Na primernem prostem mestu vgradimo v to cev dovod oziroma odvod za zrak. Predhodno vstavimo v to gumirano gasilsko cev še 7 mm debelo letev iz vezane plošče, ki je tolik široka kot notranji premer cevi, pač pa je za 5 cm krajša od dolžine dela cevi, prostega za zrak (slika 46). Ta vložek v cevi preprečuje, da bi se cev uvijala in neenakomerno raztegovala. Take cevi in podobni "mehovi" so poceni, pa vendar izredno praktični,

saj enakomerno porazdelijo pritisk, se lepo prilagodijo predmetu in zavzemajo malo prostora. Resda imajo te cevi majhen hod, to je majhno raztegljivo širino, vendar je moč to pomanjkljivost odpraviti z mehničnimi dodatki ali pa z mehovi večje prostornine.

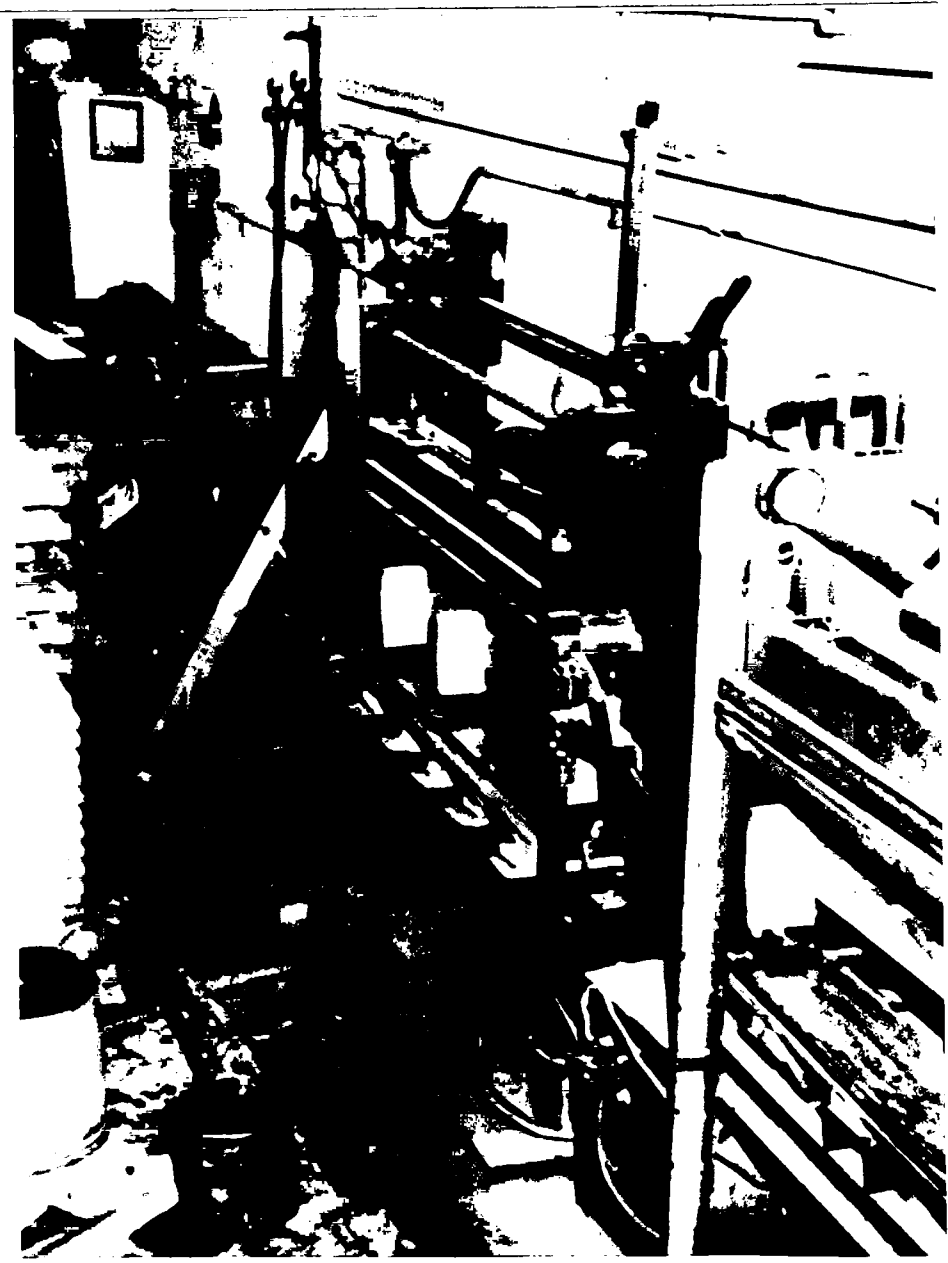
## 7.2 Modeli, šablone, kalupi

Te naprave je lahko izdelati, važno je, le, da so izdelane natančno, da zdrže potrebni pritisk in da drže grelo v položaju za pravilno ogrevanje. Po navadi so izdelane iz lesa, ker je poceni in lahek. Ni pa trajen, ker se zavoljo toplote rad deformira. Za stiskanje ravnih površin, robov in podobno uporabljamo vezan bukov les iz letvic debeline 25 mm, ki ga obdelamo na take mere kot jih zahteva velikost izdelka. Na robovih so žablone od zunaj pritrjene na tlačno ogrodje stiskalnice ali stiskalne naprave. Na notranji strani, ki pritiska ob predmet, so šablone obložene z izolatorjem toplote - asbestom, sintetično gumo, klobučevino, stekleno volno ali podobnim materialom - da se toplota ne bi po nepotrebem izgubljala v maso šablone. To izolacijsko podlogo obložijo ponekod še z gumijasto oblogo, na primer s staro toplotno-odporno gumo iz formatne stiskalnice, ki nevtralizira površinske neravnosti furnirja, katerega lepimo.

Nasproti tej notranji strani šablone je nameščen pomočni tlačni element, preko katerega izvajamo pritisk na lepljeni proizvod, ki ga tako pritiskamo ob šablono.

Pri krivih šablonah za stiskanje raznih oblikovanih predmetov (slike 67, 70 in 97) izdelamo najprej spodaj prečna rebra iz masivnega lesa, zatem pa vzdolžne tanjše letvice, kar oboje daje solidno konstrukcijo temelja - dovolj prošnega, da se prilagaja raztezanju in delovanju lesa pri različnih temperaturah, nastopajočih pri delu. Če imamo tak temelj, lahko izdelamo šablone različnih oblik ter nudi dokaj gladko ploskev, kar je zelo važno za kakovost dela. Vsi žebliji in vijaki ter sponse, s katerimi spajamo šablono, morajo biti na notranji grelni strani poglobljeni pod površino vsaj za 3 mm, da ne pridejo v stik z grelnimi elementi, skozi ka-

tere teče tok. Pri izdelavi šablon za manjše stiskalnice moramo posebno paziti na to, da natančno oblikujemo nagibe in vdolbine; tako se tlak enakomerno porazdeli po vsej površini. Če šablona ni natančno izdelana, drsi pri stiskanju izdelek na stran. Če se kljub skrbno izdelani šabloni pojavi to drsenje, pristavimo ob straneh izdelka in šablone močne lesene ali železne prislone.



Slika 90. - V obratu predelana stara stiskalnica s transformatorjem v sredini.

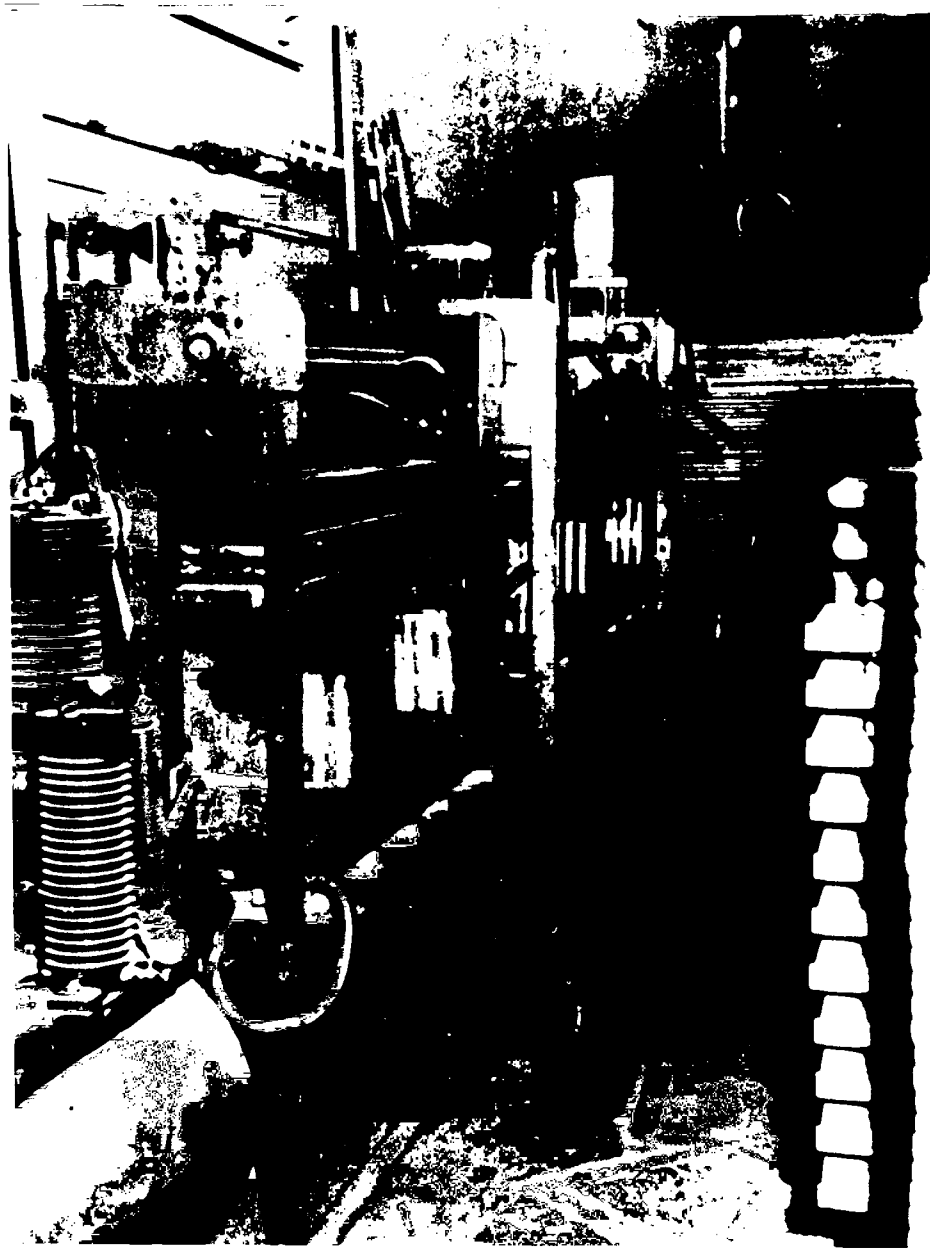
Pri izdelavi šablon moramo paziti, da robovi grela ne segajo čez rob stiskanega proizvoda več kot za 2...3 cm. To je važno posebno pri velikih površinah, ker robovi grela, ki niso stisnjeni med šablone in proizvod, ne morejo oddajati toplote in se zato preveč segrejejo, kar povzroči, da pregorijo šablone in lepenke. Podobne težave nastopijo, kadar se šablone ne prilegajo po vseh površinah. Na teh praznih mestih grelo lebdi in ne oddaja toplote. To se najčešče primeri pri starih, že deformiranih šablonah.

Na tako toplotno izolirano notranjo stiskalno stran šablone pride grelna plast šablone, kije sestavljena (sliki 62, 68) iz:

- spodnje stisnjene lepenke (prešpan ) 1 mm,
- grela (grelnega elementa),
- zgornje stisnjene lepenke (prešpan) 0,5 mm,
- izravnalne aluminijske plošče.

S p o d n j a s t i s n j e n a l e p e n k a je debela 1 mm in je še enkrat debelejša od zgornje. Njena naloga je, da izolira šablono pred električnim tokom in toploto, ki izhajata iz grela. Poleg tega izravnava še manjše površinske razlike, nastajajoče pač zaradi morebitne deformacije letvic šablone in njenih izolacijskih oblog. Te izolacijske plasti lepenke ne moremo pričvrstiti posebej na šablono.

G r e l o pride na ta sloj lepenke. Vrste grel, njihov material in njihove posebne lastnosti obravnavamo že v prejšnjih poglavjih. Grela iz svetle vlečene pločevine premašemo z lojem, da ne oksidira njihova površina, ampak samo potemni. Paziti je treba, da ostane njena površina gladka kljub pogosti uporabi, saj lice izdelka vsakokrat naslonimo nanjo. Grelo iz pocinkane mreže ima to slabo stran, da zaradi menjavanja temperature in drgnjenja odpada cinkova prevleka, ki se nabira v vdolbinah ali na robih šablone ter povzroča izbokline, te pa pušpajo odtis na izdelku. Pogosto prebijejo te izbokline izolacijsko lepenko in povzročijo stik z aluminijsko oblogo, posledica tega pa je neenakomerno ogrevanje.



Slika 91. - Stara pnevmatična stiskalnica, prirejena za elektro-  
uporovno ogrevanje s kompresorjem na levi, ki dovaja  
tlačni zrak.

Pločevino uporabljamo za ravne in ovalne ploskve (slika 5, 8, 10, 40, 60, 62 in 74), pri večjih površinah pa pločevino narežemo, kot to kaže slika 63, da dobimo daljše in ožje grelo, ki ga lažje ogrevamo. Pri grelih, ki jih poleg ogrevanja uporabljamo tudi za natezne pasove, izoliramo od tlačnega (nateznega) bata (slika 43). Da se grelo ne dotika kovinskega

ogrodja mize, položimo na mizno ploščo izolacijski pokrov iz vezane ali kovinske plošče.

Grela pritrdimo na spodnjo plast tlačne lepenke z žeblički, ali bolje kar z navadnimi sponkami za papir. Važno je, da ti žeblički ali sponke ne pridejo v stik z vijaki, ki so v šabloni. Tudi poglobiti jih moramo, da njihove morebitne vzbokline ne bi prišle v dotik z zgornjo aluminijevo oblogo in jo poškodovale.

Pri lepljenju robov namestimo sponke izven lepljene površine, torej izven stisnjene površine. Kadar paralelni trakovi pokrivajo ves model, morajo biti med seboj razmaknjeni za 3 mm. Razdalja med sponami ali žeblički naj bo 30 cm. Čim krajši so žeblički, tem manj toplote odvajajo v leseno šablono.

Z g o r n j a p l a s t t l a č n e l e p e n k e , ki je debela le 0,5 mm, položimo na drugo (notranjo) stran grela, da izolira električni tok, čim manj pa mora ovirati odvajanje toplote iz grela v lepljeni predmet. Če je površina grela večja od formata lepenke, spojimo več kosov lepenke z lepilnim trakom, pri tem pa moramo seveda paziti, da so robovi lepenke tesno drug ob drugem in da se nikjer ne križajo ali prekrivaj, ker bi taka debelejša mesta deformirala aluminijasto oblogo in bi te deformacije puščale znake na izdelku.

Z a i z r a v n a l n i p o k r o v uporabljamo poltrdo aluminijasto pločevino, debelo 2...3 mm, ki mora imeti popolnoma gladko površino. Te pločevine na šablono oziroma na njen grelni del ne pričvrstimo, marveč jo samo položimo in na robovih zavijamo (slika 72). Tako lahko obloga prosto deluje in se giblje pri raztezanju zaradi ogrevanja. V primerih, ko je potrebno te obloge pričvrstiti na eni ali na obeh straneh, zavrtamo na konceh podolgovate luknje za vijake, ki jih privijemo le toliko, da se more obloga gibati, če bi oblogi preprečili gibanje, bi se grbančila in deformirala, zlasti pri večjih površinah. Namen te aluminijaste obloge je dvojen:

- da dobimo gladko, enakomerno naslovno ploskev (lice) površine izdelka, ki jo lepimo;



- da porazdeli toploto enakomerno po vseh površinah.

Pri krivih, upognjenih ali zaobljenih izdelkih ni potrebno, da oblogo izdelujemo oz. izoblikujemo po izdelku, saj se že pri prvem stiku obloga segreje in jo šablona s pritiskom sama pravilno oblikuje po izdelku. To obliko nato obloga zadrži. Pri bolj zamotanih oblikah proizvodov dajemo predhodno oblogi le bolj grobo osnovno obliko in ji izravnamo ostre og-le.

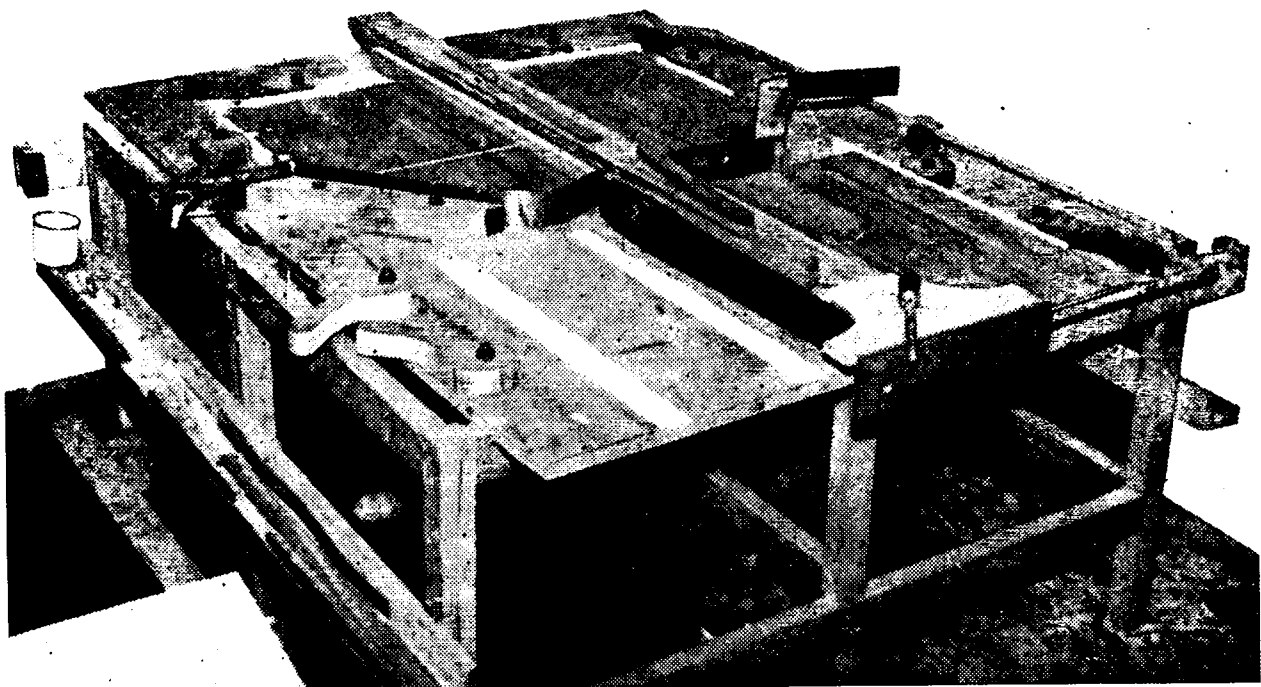
### L e p l j e n j e   r o b n i h   l e t v i c   i n   r o b o v

Robove mizarских, to je pohištvениh izdelkov oblagamo z letvicami in furnirjem še vedno ročno na primitiven način. Ročno nanašamo lepilo in ročno stiskamo obrobļene proizvode v ročnih lesenih okvirih ali kalupih, kjer ostanejo vse dokler se lepilo ne strdi. Z elektroporovnim ogrevanjem pospešimo sušenje, pri čemer uporabljamo sintetična lepila, ki se hitro strjujejo ob povišani temperaturi. Hkrati si izdelamo preproste lesene ali kovinske stiskalne naprave, v katere hitro vpnemo proizvode (slika 92). Med sušenjem, ki traja le nekaj minut, delavec namaše z lepilom in pripravi nove izdelke.

Na enem robu stiskalne naprave je nepomično pritrjena pritisna stena, ki je obložena z asbestom in nato morebiti še z gumo in naposled z grelom. Na nasprotnem robu pa je pomični tlačni element, ki izvaja pritis na proizvod. Pritisnik izvajamo s pnevmatičnimi cilindri, hidravličnimi vzvodi ali ekscentri, ki morajo pritiskati vsaj z  $2 \text{ kg/cm}^2$ . Pri lepljenju dolgih robov položimo tlačni element še z lesenim ali jeklenim ojačevalnim vložkom, da se pri pritisku robovi ne bi krivili in da bi dobili povsod enakomeren pritis. Pritisni in tlačni element naj bosta vsaj 3 mm širša od furnirja in letvic, ki jih lepimo, furnir ali letvica pa naj bo zopet malo širša od roba, na katerega julepimo. S tem si olajšamo hitro nameščanje furnirja in letvic v napravo. Širina grelnega traku naj bo vedno vsaj za 5 mm širša od roba, ki ga lepimo.

Če je treba oblepiti vse štiri robove iste kvadratne plošče, oblepimo s furnirjem najprej dva robova, nato obrnemo ploščo za  $90^\circ$  in oblepimo še

ostala dva robova, kot vidimo na sliki 88. Pri tem ni treba rezati furnirskega traku na točne dolžine, kar bi bilo potrebno, če bi lepili vse



Slika 92. - Lesena naprava s štirimi mesti za uporovno furniranje robov.

štiri robove hkrati. Na isti napravi lahko lepimo robove plošč različnih velikosti, pri čemer menjamo samo položaj tlačnega elementa.

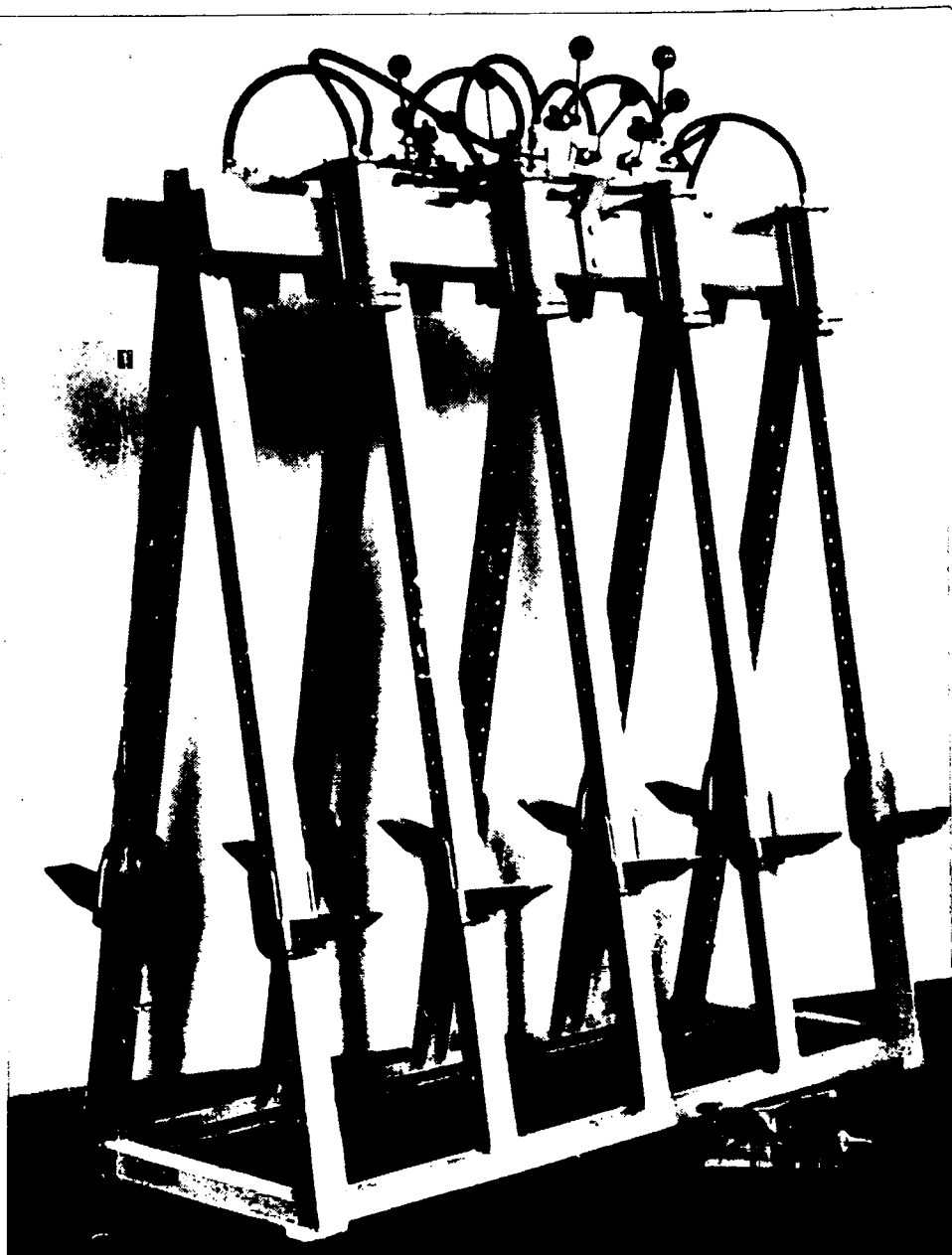
Furniranje plošč z zaobljenimi robovi kaže slika 89. Namesto ostrih oglov ima pritiska stena okrogle ogle ali pa jih sploh nima, pri čemer pritiska na te ogle samo grelo oziroma grelni trak z natezanjem. Grelni trak je pričvrščen na dva ekscentrična vzvoda, s katerima pritismo trak ob ogle. S strani pa nato pritisejo še tlačni elementi, ki pomagajo traku vzdrževati pritisk na oglih.

Na robovih okroglih plošč ali glasbenih instrumentov je zelo težko lepti furnir ali trakove iz plastičnih mas, ker jih moramo po vsej dolžini pri-

tiskati ob rob, dokler se lepilo ne strdi. Doslej smo take robove povijali ali stiskali v številne obroče ali kalupe, kjer so morali ostati izdelki dlje časa. Z uporovnim ogrevanjem grejemo obroč (glej sliko 48!), ki je po potrebi montiran v kalup. Tako je rob zalepljen v eni do dveh minutah, nato pa naredi prostor naslednjim izdelkom in gre takoj že zlep-ljen in suh v nadaljnjo obdelavo. Ker presledek v grelnem traku ni o-grevan, je treba paziti, da ne pride nanj spoj furnirja, ki ga lepimo. Furnir se pa na tem mestu zlepi kasneje zaradi pritiska na obeh straneh, t.j. levo in desno. Za vsako velikost izdelka uporabimo drugačno veli-kost proizvodu prilagojenih grelnih trakov. Za večje pritiske naj bo trak iz debelejšje jeklene pločevine kot sicer, ko trak ni obremenjen na na-teg, marveč le na tlak. Za izredno visoke pritiske in natezne obremenit-ve uporabimo jekleno p l o č e v i n o z a v z m e t i .

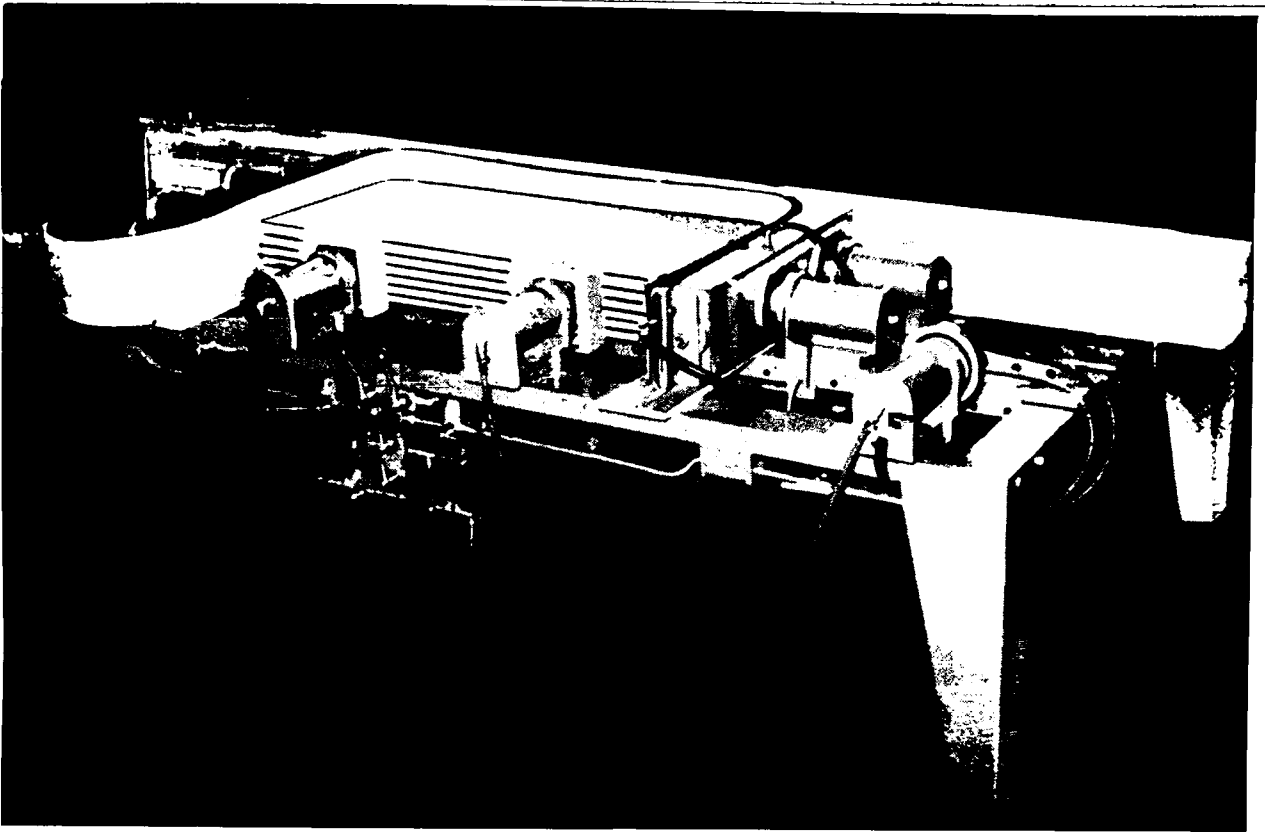
Pri furniranju manjših količin upognjenih robov z različnimi krivinami ni treba izdelati posebnih šablon za vsako krivino. Vsako obliko loka ob-jamemo z jeklenim grelnim trakom, katerega konci so pritrjeni na pomič-ne svornike (slika 53). Da bi bil pritisk po vsej dolžini loka enakome-ren, mora trak zapuščati konce proizvoda v tangenti, kar dosežemo z me-njanjem razdalje obeh koncev s svornikom v reži. Če je kot premajhen, bi bil pritisk traku mnogo večji na konceh roba kot pa na sredini roba izdelka. Če pa bi bil prevelik, bi oba omenjena konca dobila premaj-hen pritisk. Naprava je na močni leseni mizi z režami, obloženimi s ko-vino. Grelni trak je iz jekla visoke kakovosti, za katerega moramo ugo-toviti upor posebej. Njegova debelina je od 0,9... 1,6 mm, mora pa biti za 12 mm širši od širine roba, ki ga lepimo in za najmanj 12 cm daljši od njegove dolžine. Pritisk opravimo z zračnimi cilindri.

Pri omarah, zlasti pa pri kuhinjskih kredencah, oblagamo stranice iz ve-zanih plošč z letvicami, ki jih pribijamo z žebliji. Uporovno lepimo le letvice z grelnim trakom, širokim 25 mm, ki je pritrjen na zgornji tlačni element iznad masivnega okvira. Spodaj je navaden model, ki drži kose v pokončnem položaju, tako da je grelni trak iznad sloja lepila, ko je plo-šča pos tavljena na svoje mesto. Pri tem je čas ogrevanja nekoliko daljši,



ker mora toplota prodreti skozi les letvic do lepila. Je pa kakovost takega izdelka mnogo boljša in zmogljivost proizvodnje večja kakor pa pri postopku pribijanja letvic z žebli.

Zanimivo področje uporabe ozkih grelnih trakov je še pri lepljenju poševnih spojev masivnega lesa na oglih. Čas ogrevanja za vezanje lepila je kratek, ker je les odžagan poševno na smer rasti. Ko veže toliko lepila, da spoj drži, vzamemo kos iz naprave. Ostanek toplote v spoju hitro deluje in dokonča strjevanje plasti lepila, ki je globlje v lesu.



Slika 94.- Kovinska pnevmatična naprava za tristransko uporovno lepljenje robov.

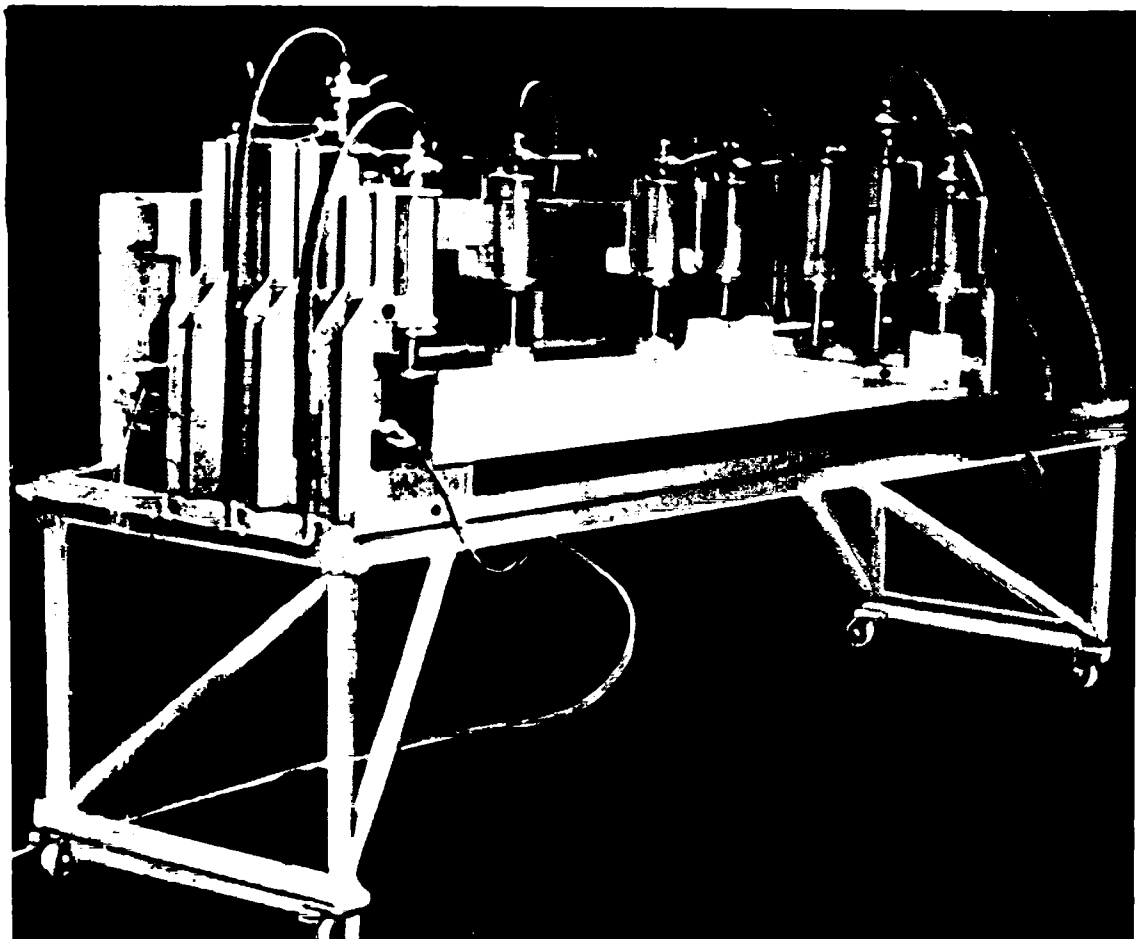
#### 7.4 L e p l j e n j e r a v n i h p o v r š i n

O tem smo na splošno že govorili. Uporaba uporovnega ogrevanja za lepljenje furnirja, plastičnih mas, plošč in podobno na velike površine je pomembno predvsem za obrate, ki nimajo velikih vročih stiskalnic, ali je njihova zmogljivost premajhna, ali pa premajhne obstoječe stiskalne površine. Tlačni element deluje s pomočjo pnevmatičnih ali hidravličnih cilindrov ali pa s pomočjo ekscentričnih vzvodov (glej slike 47, 94, 95 in 100!). Obloge in izolacija so iste kot smo jih opisali na straneh 38 do 40.

Tako lepimo na primer zgornje plošče na komode, psihe in podobno. Noge ležečega ali stoječega proizvoda prislonimo ob čvrsto podlogo, na zgornji strani pa izvajamo pritisk na grelno ploščo. Čas gretja je lahko zelo različen in je odvisen od debeline te zgornje plošče ter od specifične

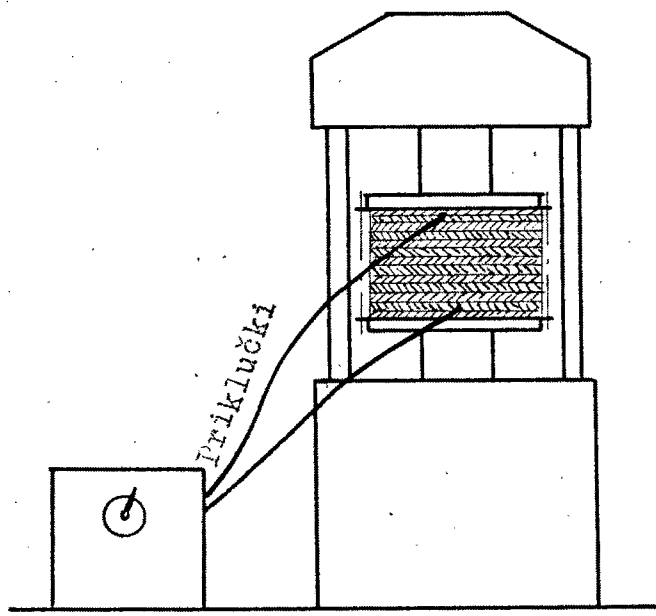
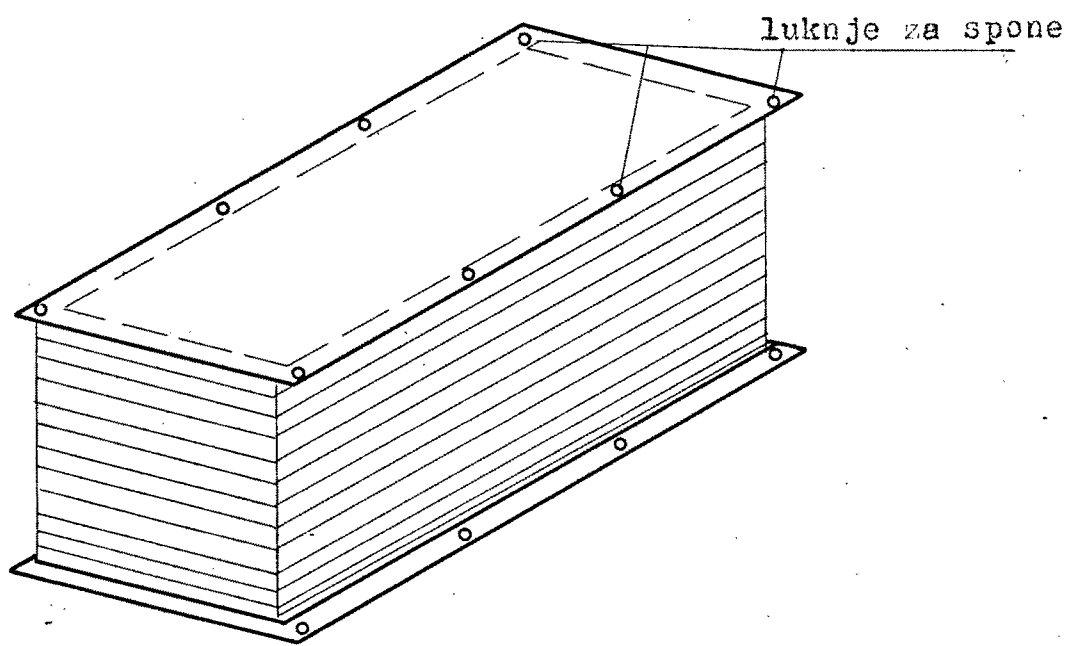
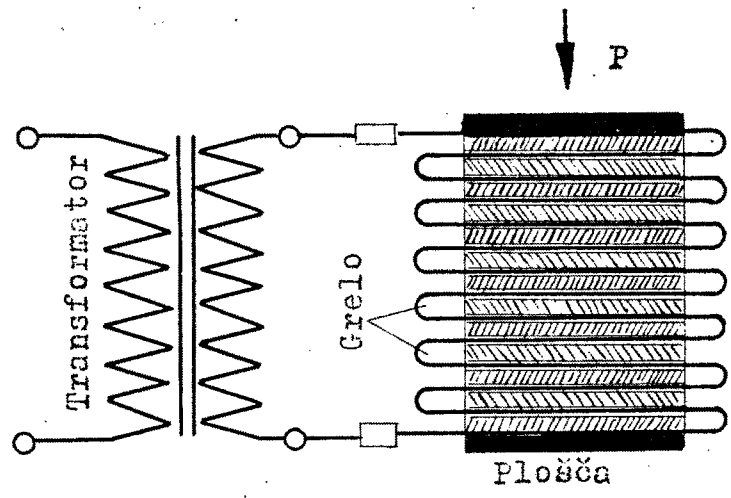
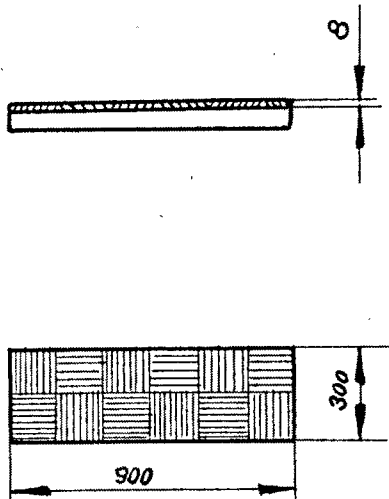
moči grel (glej odsek 2.3!).

Postopek uporovnega lepljenja teh plošč ima to prednost, da ni robov in znakov od žabljev ali klinov (zagozd), ki jih težko skrijemo s kitanjem in se poznajo po površinski obdelavi proizvoda. Poudarjamo, da lahko v te namene uporabimo stare hladne stiskalnice na vijake ali pa hidravlične stiskalnice, ki jih opremimo le s šablonami, greli, oblogami in transformatorji.



Slika 95.- Uporovno lepljenje s pnevmatičnimi cilindri

Glejmo si na sliki 96, kako uporovno lepimo lameliran parket! Desno zgoraj vidimo, kako zložimo parketne plošče v serpentinasto zavito grelo iz enega kosa, ki ima samo dva priključka. Ta sklad nato obložimo spodaj in zgoraj z močnimi kovinskimi ploščami, opremljenih ob straneh z vijaki, ki jih pritegnemo, ko je sklad že stisnjen v stiskalnici. Ta sklad potisnemo po valjkih k enoetažni stiskalnici, ga stiskamo 4 minute in segrevamo do 80°C. Nato ga potisnemo iz stiskalnice na valjke, kjer ostane še kakih 8

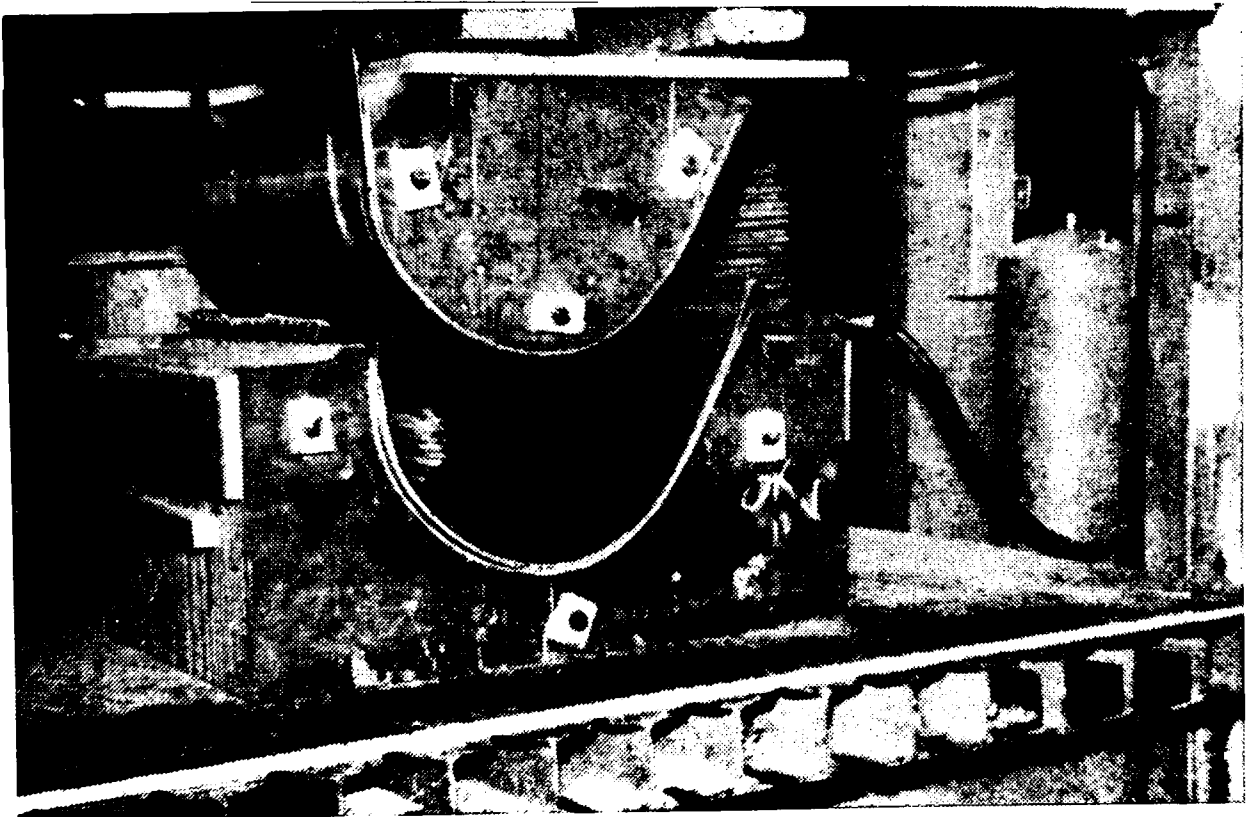


Sl. 96 Lepljenje lameliranega parketa z uporovnim segrevanjem

minut vpet in stisnjen z vijaki. V tem času se lepilo strdi iz akumulirane toplote in parketne plošče se počasi ohlajajo.

#### 7.5 Lepljenje krivih površin in predmetov

V tem primeru je uporaba grel podobna tisti, pri oblaganju ravnih površin, pri čemer uporabimo izrezane plošče ali trakove. Matrica in patrica se morata natanko skladati in enakomerno reagirati na spremembe toplote in pritiska (slika 97). Včasih patrice ni mogoče uporabiti, ker je



Slika 97. - Matrica in patrica pri uporavnem lepljenju oblih površin.

matrica zgoraj ožja kakor na dnu. Zato je treba patrico stisniti tako, da jo po sredi po dolgem prerežemo, med obe polovici pa vtaknemo klin, ki širi še v matrico vloženo patrico in izvaja pritisk, potreben za lepljenje. Ker v takem primeru patrica ni čvrsto pritrjena, je bolj praktično, če pritrđimo grelne elemente in obloge na matrico.



Pri furniranju približno okroglih oblik izdelamo notranji (sredinski) del šablone, na katerega je pričvrščeno grelo. Zunanji del šablone je iz dveh polovic, ki se spajajo z zapiračem in so znotraj obložene z gumo. Ko<sup>2</sup> zunanjim delom pokrijemo notranji del šablone, izvajamo nanj pritisk, potreben za lepljenje.

Pri oblikovanju plošč za radijska ohišja in televizorje izrežemo na mestu krivljenja v vezani plošči ohišja prečne utore do zadnje plasti furnirja. Zunanjo površino nato namašemo z lepilom in jo obložimo s pokrivnim furnirjem, tako da poteka rast tega furnirja pravokotno na smer utorov. Nato postavimo ploščo v šablono, jo ogrevamo in stiskamo z grelnim trakom. Patrica mora imeti na oglih isti radij loka kakor matrica.

Za lepljenje krivih površin vrat, posteljnih končnic in podobno, uporabljamo običajno za grelo pocinkano mrežo št. 16, debelo 0,3 mm. Na koncih mrežo ojačamo z bakreno pločevino ali jo spremimo s primernimi elektrodami, da se tok bolje porazdeli (glej odsek 4.1.3!); pritrdimo jo na šablono iz jelovih masivnih podlog v razdalji 20...25 cm, na katerih so tesno druga ob drugo položene in pribite 8...10 cm široke letvice, v katere zarežemo na spodnji strani 1,5 cm globoke utore, tako da ostane na licu le še 2...3 mm lesa (slika 69). Čas stiskanja je okoli 12 minut. Ta postopek je skoraj petkrat cenejši od postopka na uvoženih formatnih stiskalnicah n.pr. firme "Fritz", pri čemer deviznih investicijskih sredstev in vzdrževalnih stroškov za te naprave niti nismo upoštevali. Stiskalne naprave za uporovno ogrevanje in lepljenje istih proizvodov zpa lahko izdelamo doma in so uporabne v vsaki veliki tovarni, pa tudi v mizarški delavnici. Ta način uporovnega lepljenja je poraben od naslonjal in sedežev stolov do omarastega pohištva za lepljenje slepih in plemenitih furnirjev. Stroški električnega toka za zalepljenje dvojnih vrat velike omare znašajo komaj 19 dinarjev.

16 O s t a l e m o ž n o s t i u p o r a b e u p o r o v n e g a o g r e v a n j a

Za krivljenje in upogibanje kosov masivnega lesa s paro so potrebni posebno urejeni in obsežni sušilni prostori in številne sponje ter šablone, ki

zadostujejo vsaj za dve sušilni dobi. Poskusi, da z elektroporovnim ogrevanjem odstranimo vodo iz parjenega lesa in mu s tem damo obliko, so pokazali, da je dovolj le 15-minutno parjenje za 20 mm debel kos lesa, ki naj se po možnosti pari le na tistih mestih, kjer ga nameravamo upogibati.

Za krivljenje izdelamo šablono ustrezne oblike, jo obložimo z negorljivo plastjo in nanjo postavimo grelo. Vpenjanje in odpenjanje lesa v šablono in iz nje mora biti s pomočjo ročnega pritiskala na gibljiv zglob hitro. Čas ogrevanja za 20 mm debel masivni les znaša do 12 minut. Za ostre krivine kot jih imajo na primer naslonjala na foteljih (glej sliko 86!) se čas ogrevanja podaljša največ na 20 minut. Pri upogibanju tanjših izdelkov (debelih do 10 mm) in širših od 50 mm ogrevamo izdelke z obeh strani, s čemer zmanjšamo čas sušenja ali segrevanja za eno tretjino in preprečimo upogibnost ali valovanje izdelka po širini. Pri tem moramo paziti, da grelo ne prekorači temperature, ki jo les še prenese, ker bi se sicer začel les žgati.

Delavec mora imeti toliko šablon, da lahko vanje brez prestanka vpenja kose lesa in jih spet odpenja. Uporovno ogrevanje pri krivljenju ima še to pomembno prednost, da lahko v blagih krivinah krivimo vezane plošče debele do 10 mm, ne da bi jih morali prej pariti.

Uporovno ogrevanje s pridom uporabljamo tudi za skrajšanje sušenja lesa, česar s posrednim ogrevanjem ni moč doseči. Napravo sestavimo iz manjšega ventilatorja z vgrajenimi elektroporovnimi grelci, nameščenimi v dovodni cevi za zrak. Naprava je preprosta ter obratuje z malenkostnimi stroški, zlasti če toplotno delno izrabljeni zrak spet vračamo v ventilator. Pri kosih, ki jih želimo kriviti, zarezemo na njihovi vbočeni strani utore, da ne bi med krivljenjem pokali in da se laže in pravilneje krivijo. V te utore usmerimo strujo ogretega zraka - ne ogrevamo torej celega sušilnega prostora. Tudi sicer usmerjamo uporovno segreti zrak neposredno na izdelek ali na mesto krivljenja.

7. E l e k t r o t e r m a l n o   g u m i j a s t o   g r e l o

V gumijasto prevleko je vložena pletena uporovna žica. Prevleka je tako prožna in voljna, da se ovija, guba in prilega ravno ali valovito okoli

predmeta poljubne oblike. Poleg tega kompenzira vse površinske nepravilnosti na šabloni in njenih oblogah. Z njo ogrevamo poljubno velike površine in različno oblikovane, tako da ni treba nabavljati za vsako velikost ali obliko posebno gumijaste prevleke, ampak jo preprosto premeščamo iz ene stiskalnice ali šablone v drugo, drugačne velikosti in oblike. Uporabna je za furniranje, sestavljanje lepljenih kosov, za lamelirane konstrukcije, lupinasto stiskanje in drugo.

Tehnične podatke navajamo v poglavju 4.1.2.4.

S pazljivim ravnanjem je trajnost prevleke dolga in doseže brez poškodb najmanj 2000 delovnih ur pri temperaturah do  $180^{\circ}\text{C}$ . Vлага in tekočine ji ne škodijo in je mogoče z njo ogrevati celo v vodi. Da se ne bi zamazala z lepilom, jo prekrijemo s kovinsko pločevino. Prevleka prenese pritisk  $14\text{ kg/cm}^2$ . Pri pritiskih nad  $4\text{ kg/cm}^2$  se debelina prevleke zmanjšuje, hitrost prenosa toplote pa se večja.



Slika 98. - Furniranje okroglih robov omar za gumijastimi vložki in pnevmatičnimi cilindri.

## 7.8 Mreža in žice kot grelo

Namesto kovinske pločevine uporabljamo za grelo žično mrežo, ki ima precej večji upor kot pločevina. Čim lažja je mreža po enoti površine, tem večji upor ima. Po žicah v mreži, ki tečejo pravokotno na dolžino osi, ne teče električni tok, te žice imajo po vsej dolžini enako napetost. Zato moramo upoštevati, da prenaša električni tok in da ogreva samo polovica teže mreže. Razlike v materialu ali razlike v debelini žic ne vplivajo bistveno na enakomernost ogrevanja. Zato ni potrebno, da bi za mreže uporabili dražji material. Zadostuje običajno galvanizirano železo.

O mrežah in žicah podrobno govori poglavje 4.1.2.1 in poglavje 2.1.6.2. Tu najdemo ustrezne tehnične podatke in izračune.

Predmet mreže kot grela je v tem, da se prilagodi krivinam in oblikam površin izdelkov. Ako mreža pušča odtise na proizvodu, jo obložimo z lepenko ali plastiko. Ker je temperatura na robovih nižja kot v sredini, naj gleda nekaj centimetrov mreže iz šablone. Ti robovi mrež se ne bodo pregrevali, saj jih hladi hladen zrak, ki zlahka prehaja skozi zanke mreže. Dogaja se, da se vzdolžne žice pretrgajo na priključkih zaradi pregibanja, ali pa žice razje korozija, če dlje časa niso bile v rabi. V takih primerih se ogreva površina neenakomerno ter so nekatera polja še povsem hladna, druga pa že prevroča. Zato moramo paziti, da so vzdolžne žice vedno nepretrgane. Najboljša zaščita je kompaundiranje grel.

Če ena žična mreža ne ogreva dovolj, dodamo še drugo. Pri velikih površinah sestavlja mrežasto grelo več pasov (glej sliko 66!), tako da se toplota porazdeli enakomerno in je lažje ogrevati površino. Ti pasovi morajo biti razmaknjeni za 4...5 mm in čvrsto pritrjeni na obloge s spojami. Mrežne robove vložimo med letve (slika 69) ali pa jih obrobimo. Preko mreže denemo tlačno lepenko in nato aluminijasto pločevino, katere rob zavijamo ob šablono.

## 7.9 Grelo v plasti lepila

To je način, pri katerem položimo v plast lepila uporabno žico, ki ogreva lepilo in ostane po strjevanju lepila v njem. Glede na širino lepilne

plastu vložimo vanjo eno ali več uporovnih žic, katerih konci molijo iz plasti, tako da jih povežemo s priključki na transformator. Brž ko se lepilo strdi, izklopimo električni tok, prekinemo zveze in odščipnemo ven moleče konce žice čim bliže lesu.

Tako neposredno ogrevanje z uporovno žico je hitro in gospodarno. Pri tem se proizvaja toplota natanko tam, kjer je potrebna in ne izgubljammo toplotne moči za segrevanje lesa.

Čas ogrevanja je izredno kratek - komaj minuto ali pol - pri čemer prav hitro dosežemo  $100^{\circ}\text{C}$ . Najprimernejša je ta metoda za "globoko" strjevanje, to je tam, kjer so sloji lepila globoko v lesu in bi morali dlje časa pregrevati debele plasti lesa, da bi toplota dosegla plast lepila. Čas operacije in strjevanja lepila ugotovimo s praktičnimi poskusi ali pa s tem, da merimo potek dviganja temperature v žici.

Varianto te metode so izvedli v Essenu tako, da so vstavili v plast lepila celo mrežo uporovnih žic namesto posameznih žic. Kasneje so poskušali še z drugo varianto s pomočjo tekstilne mreže, imenovane "tegowirofilm", ki je sestavljena iz tankega sloja fenolne smole, v katerem je vpletena (vtkana) fina žična mreža. Zdaj tudi lepila ni bilo treba nanašati, ker vsebuje tegowirofilm lepilo iz fenolne smole in razen tega še uporovne žice. Potrebno je le ta film vložiti med plasti lesa, priključiti vpleteno žično mrežo na tok in lepilo se zmehta ter vnovič strdi z ogrevanjem. Podrobne tehnične podatke za ta grela obravnavamo v poglavju 4.1.2.6.

#### 7.10 Lepila in njihov čas strjevanja

Dejali smo že, da skrajšamo strjevalni čas pri sintetičnih lepilih z dovajanjem toplote. Uporabljamo lepila, ki imajo dokaj dolgo trajnost skladiščenja pri normalni temperaturi, pri zvišani temperaturi pa se naglo strde. Za vsako vrsto uporabe je treba imeti ustrezen trdilec za lepilo. Pri nekaterih vezavah - na primer pri furniranju robov - lahko segrejemo lepilo preden začnemo s stiskanjem. Taka lepila ne smejo prehitro vezati pri srednjih temperaturah, ker bi sicer nastali mehurji. Počasi trdilec zahteva daljši čas ogrevanja. Smolo in trdilec lepila moramo tako kombini-

rati, da dobimo ustrezen čas vezanja.

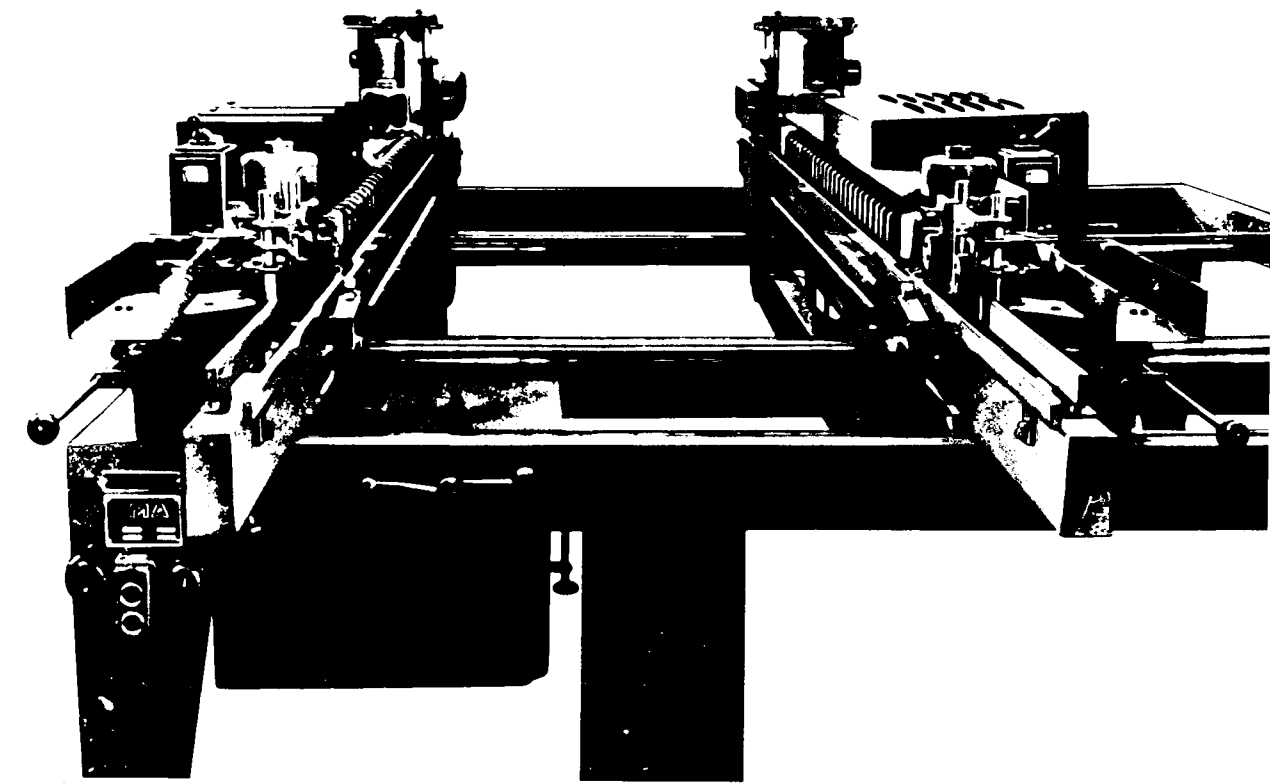
Temperatura elektrouporovnega grela je običajno okoli  $110^{\circ}\text{C}$ , torej precej izpod vnetljivosti lesa, ki je dovolj visoka za hitro strjevanje lepila. Lepilo pri tej temperaturi veže takoj, precej izpod ene minute, če le nismo uporabili specialnega lepila s počasnim strjevanjem kot so fenolna in melaminska lepila.

Normalna lepila ne izpolnijo luknjic v lesu. Ako nanesemo debelejši sloj lepila, utegne razpokati, s čimer se zmanjša trdnost; debelejši sloj lepila lahko nanašamo le, če delamo z visokim pritiskom, ki stisne lepilo v tanko plast. Od gostih lepil uporabljamo tiste, ki izpolnijo luknjice v lesu, ne da bi izgubili svojo trdnost, čeprav njihov sloj ni debelejši od 1,25 mm. Pri manjših pritiskih uporabljamo nižje temperature, da se ne bi začelo lepilo peniti.

Čas strjevanja lepila odredi proizvajalec; odvisen je od količine dodanega trdilca. Netočno dodajanje trdilca podaljšuje čas vezanja. Točno razmerje lepila in trdilca dobimo s tehtanjem ali pa s posodami za merjenje količin. Po vsaki uporabi moramo posodo skrbno očistiti, da ne ostane v njej kaj lepila ali trdilca, ker bi sicer lahko dobili napačne odstotke mešanja pri naslednjem merjenju.

Za določanje segrevanih časov ni mogoče navesti kakih univerzalnih napotkov, saj vpliva na hitrost strjevanja lepila toliko faktorjev, da vseh zarez ne bi mogli zajeti. Kako določamo te čase, obravnavamo v poglavjih 2.3.2 in 2.3.5. Za grela z majhno toplotno kapaciteto velja, da se dviga temperatura na vsakih  $1000 \text{ W/m}^2$  specifične moči s povprečno hitrostjo  $2,5^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$ . Upoštevajoč ta podatek pa lahko seveda za vsako vrsto lepila določimo potrebni strjevalni čas po krivulji ali po podatkih, ki jih moramo zahtevati za vsako vrsto lepila. Uporabljamo lepila, ki vežejo sicer hitro, pa vendarle le prenašajo. -

Važno je omeniti, da je mogoče pri lepljenju panelk skrajšati strjevalni čas za približno četrtino, če jih ogrevamo z obeh strani namesto samo enostransko. Hitrost, s katero se širi toplotni val v globino, namreč upada s kvadratom razdalje.



Slika 99. - Naprava za avtomatično elektrouporovno lepljenje robov.

Pri lepljenju poševnih spojev pri surovem lesu zadostuje 4...5-minutno ogrevanje, da se veže lepilo na ogljih, kjer je les tanjši. Na debelejšem kraju pa veže lepilo akumulirana toplota potem, ko izdelek že vzamemo iz stiskalnice.

#### 7.11 P r i t i s k i

Razen toplote je za vezanje sintetičnih lepil potreben še določen pritisk. Naloga pritiska je dvojna: zapira in stiska lepilo med dvema kosoma lesa, tako da postane plast lepila primerno tanka; druga njegova naloga pa je, da drži lepilo med ogrevanjem pod zadostnim pritiskom, tako da se ne more peniti, ko začne voda v njem vreti. Čim tanjši sloj lepila naneseemo, tem čvrsteje bo vezal, a spoj bo videti lepši in čistejši, posebno še po končani površinski obdelavi. Če bi bil pritisk premajhen, bi začela voda v lepilu vreti, izmetavala bi lepilo iz spoja ali ga kopičila na posameznih

mestih. Preostalo lepilo bi potem vezalo manj trdno. Če pa je lepilo močno stisnjeno, se zviša njegovo vrelišče, tako da se lepilo strdi, še preden doseže točko vrenja.



Slika 100. - Kovinska miza s pnevmatičnimi cilindri za štiristransko uporovno lepljenje.

Velikost pritiska ni omejena do tiste točke, ko premočan pritisk poškoduje les.

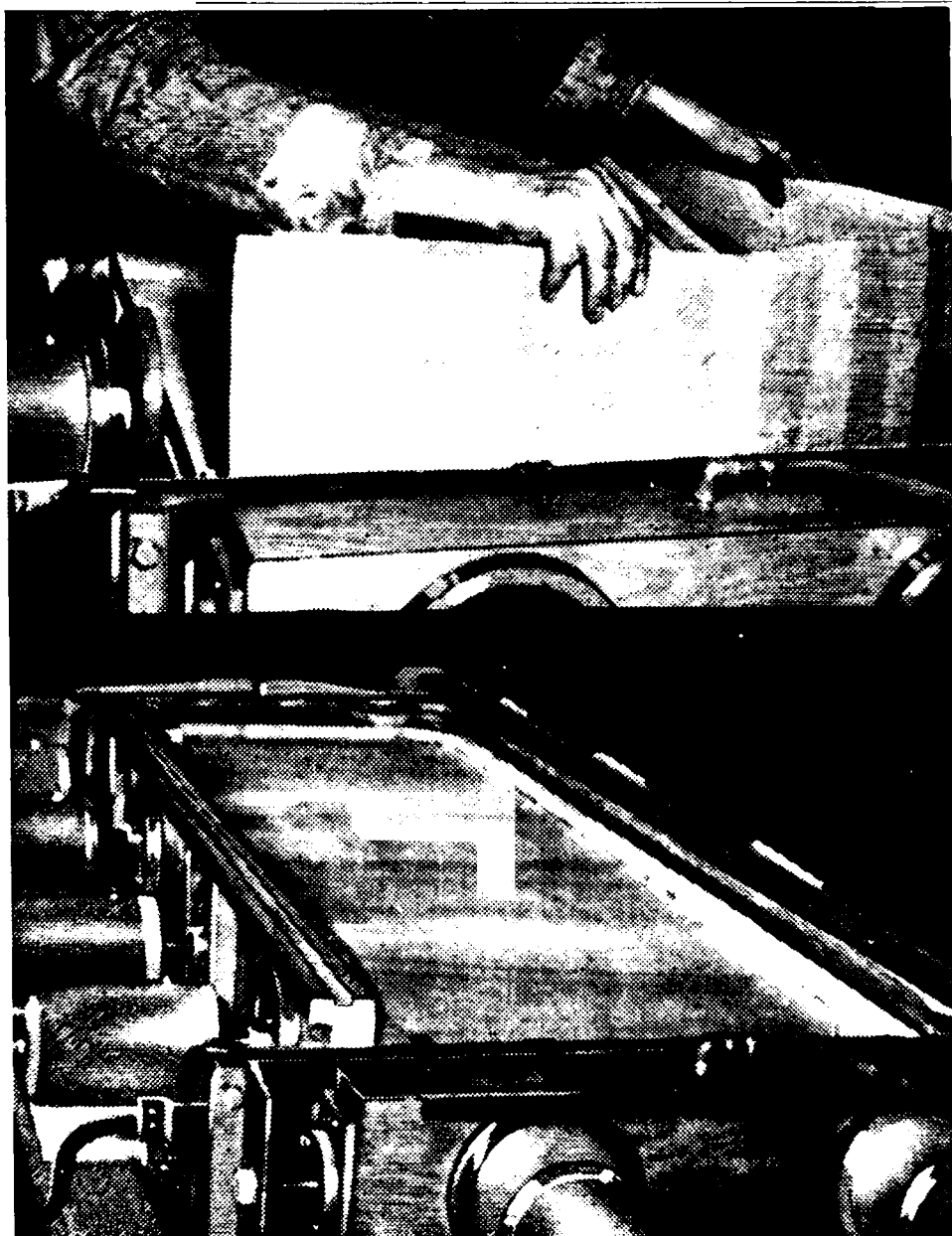
Pri furniranju robov mehkega lesa mora znašati pritisk najmanj  $1,75 \text{ kg/cm}^2$ , vtem ko se mora pri trdem lesu ta pritisk povečati še za toliko. Najpreprosteje izvajamo pritisk s pnevmatičnimi cilindri, ki dajejo vedno enak pritisk. Dimenzije cilindrov ugotovimo tako, da lepljeno površino v  $\text{cm}^2$  pomnožimo s potrebnim pritiskom v  $\text{kg/cm}^2$ . Tako dobimo celokupno potrebno moč pritiska. To potem razdelimo na posamezne cilindre in dobimo moč, ki jo mora dati vsak cylinder. Naposled iz tega izračunamo velikost cilindra.

Če meri lepljena površina  $20 \cdot 5 = 100 \text{ cm}^2$  ter je potrební pritisk  $2 \text{ kg/cm}^2$  (skupaj  $2000 \text{ kg}$ ), uporabimo na primer 4 cilindre s pritiskom po  $500 \text{ kg}$ .



Ako je pritisk zraka 6 atmosfer, mora biti premer cilindra po priloženi tabeli 110 mm (sredina 471 s 100 mm premera in 736,2 s 125 mm premera). Ko bi uporabili namesto štirih le tri cilindre, bi moral vsak izmed njih dajati 667 kg pritiska. Tedaj bi morali vzeti cilinder 125 mm premera (736,2 kg v tabeli na strani 173), ker je 471 kg premalo.

Za majhne pritiske uporabljamo ekscentre na ročne vzvode. Njihova slaba stran je, da so odvisni od spremenljive moči delavca in da pri stiskanju radi povzročajo spodmikanje lepljene površine zaradi trenja med lesom in ekscentrom. Zato vselej postavimo ekscentre tako, da se dva sosednja eksoentra obračata v nasprotni smeri.



Slika 101.- Štiristransko uporovno lepljenje robov in polaganje tlačnih elementov z vložki (debele deske)

Moč pnevmatskih cilindrov raznih velikosti v kg pri različnih  
pritiskih zraka

Premer cilindra mm	P r i t i s k z r a k a v k g / c m <sup>2</sup>								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50	39,2	58,8	78,4	98,0	117,6	137,2	156,8	176,4	196,0
75	88,4	132,6	176,8	221,0	265,2	309,4	353,6	397,8	442,0
100	157,0	235,5	314,0	392,5	471,0	549,5	628,0	706,5	785,0
125	245,4	368,1	490,8	613,5	736,2	858,9	981,6	1104,3	1227,0
150	353,4	530,1	706,8	883,5	1060,2	1236,9	1413,6	1590,3	1767,0
200	628,4	942,6	1571,0	1571,0	1885,2	2199,4	2513,6	2827,8	3042,0
300	1 413,8	2 120,7	3827,6	3534,5	4241,1	4948,3	5655,2	6362,1	7068,0

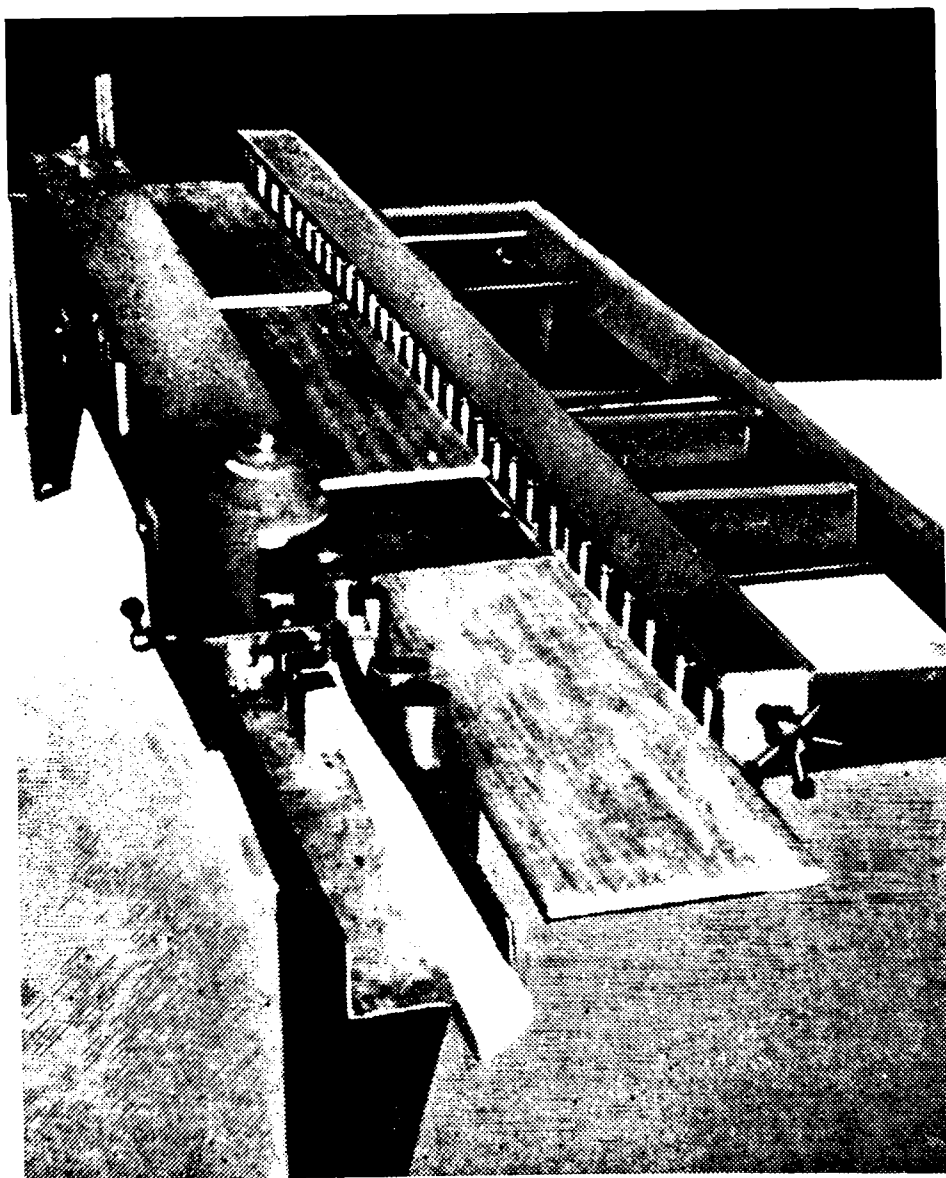
Če uporabljamo več cilindrov, je njihova skupna moč enaka seštevku moči posameznih cilindrov. Pritisk na 1 cm<sup>2</sup> lepljene površine je enak skupnemu pritisku, ki ga dobimo s stisnjeno površino, merjeno v cm<sup>2</sup>.

Pritiske lahko izvajamo tudi s pomočjo ročnih steznikov na vzvod; tako dosežemo več sto kilogramov visoke sile. Vendar je treba steznike prestavljati in prilagajati, če se velikost proizvoda menja. Vedno je bolje izdelati večje steznike kakor pa manjše, ker se večji lažje prilagode raznim velikostim stiskanih proizvodov in imajo večji hod.

Da dosežemo res zadovoljive rezultate lepljenja, moramo pravilnemu pritisku posvetiti vso pozornost. Vedno je bolje delati z nekaj večjim pritiskom od predpisanega kakor pa z manjšim. Posledica premajhnega pritiska je slab spoj in često se napaka pokaže šele kasneje v obliki bele črte na mestu lepljenja. Predvsem kaže upoštevati, da uporabimo tolikšen pritisk, kolikoršnega spoj prenese.

8 ZAKLJUČKI O EKONOMIKI UPOROVNEGA OGREVANJA

Stroški za nabavo ali izdelavo opreme, to je naprav za elektrouporovno ogrevanje (transformatorja, kablov, priključkov, izolacijskih in obložnih plošč) so razmeroma nizki in se gibljejo od 40 000 din za enoto 0,5 kW, ki ogreva element s površino do 0,3 m<sup>2</sup>, pa nekako do 200 000 din za ogrevanje več kvadratnih metrov naenkrat. K temu moramo dodati še stroške za merilne in signalne instrumente. Signalni instrumenti niso nujno potrebni, če je delavec vpeljan v delo.



Slika 102. - Elektrouporovno lepljenje robov na tekočem traku

Tudi obratni stroški so glede na porabo toka in ceno vzdrževanja izredno

nizki. Če ravnamo s transformatorjem in kabli pazljivo, trajajo več let, ceneni grelni in izolacijski elementi pa trajajo vsaj eno leto.

Za dela kot so furniranje robov in podobno, si izdelamo tri stiskalne naprave, ki delajo druga za drugo, tako da vsem trem streže en sam delavec. Ko je prvo pripravil, vpel in vključil tok, je druga naprava že godna za izklop in odvzem zalepljenega izdelka, tretja pa se medtem ogreva in lepi. Pri eni sami napravi bi moral delavec v času ogrevanja brezdelno postajati, Kadar lepimo z večetažno stiskalnico, zadostuje ena sama, ker med ogrevanjem delavec pripravlja in nanaša lepilo na več proizvodov, katere bo vložil v stiskalnico. Če imamo dve etažni hidravlični stiskalnici, je delavec v času ogrevanja proizvodov v prvi stiskalnici popolnoma zaposlen s praznjenjem druge stiskalnice ter pripravo, lepljenjem in vlaganjem v to stiskalnico. Stroški za delovno silo so - izvzemši pri največjih stiskalnicah - precej višji od obratnih stroškov, zato jih je treba čimbolj zmanjšati. Ako ostanejo predmeti kako minuto dlje v stiskalnici kot je potrebno, to ne pomeni praktično nobenega povišanja proizvodnih stroškov.

Stiskalne naprave morajo biti tako konstruirane, da izvedemo njihovo polnjenje in praznjenje čimbolj preprosto in praktično in da to poteka čim hitreje. V nasprotnem primeru izgubimo preveč delovnega časa za ti dve operaciji. Pnevmatični cilinder daje večji in enakomernejši pritisk, deluje hitreje in ima večji hod kakor ekscentrični vzvodi. Nudi tudi več prostega delovnega prostora in omogoča lažjo manipulacijo. Večje stroške za izdelavo cilindrov prihranimo z zmanjšanjem delovnega časa.

L i t e r a t u r a

- (1) Ing. Jaroslav Kopriva, Vyvoj nábytkárshého prumyslu, Brno,  
"Elektrické vyhřívání obkličovacích přípravku malým napetím"  
(Ing. Jaroslav Kopriva, Razvoj industrije pohlštva, Brno,  
"Električno segrevanje lepilnih priprav z nizko napetostjo"),  
Drevo 5/1955, Praha
- (2) Ing. Jaroslav Kopriva, Vyvoj nábytkárshého prumyslu, Brno,  
"Nove zkušenosti s elektrickým odporovým klišením malým na-  
petím"  
(Ing. Jaroslav Kopriva, Razvoj industrije pohlštva, Brno,  
"Nove izkušnje z električnim uporovnim lepljenjem z nizko  
napetostjo")  
Drevo 6/1957, Praha
- (3) Ian Jones B.Sc. "Electrical Resistance Heating for Setting  
Adhesives", Furniture Development Council - Technical Infor-  
mation Service, Information Report No. 8  
("Elektrooporovno ogrevanje pri lepljenju")
- (4) Pound, J.: "Practical low voltage heating", Wood, 22 (1957)  
No. 4, p. 128...131; No. 5, p. 197...200; No. 6, p. 253...258.  
(Pound, J.: "Ogrevanje z nizko napetostjo v praksi")
- (5) P.M.C. Lacey and H.A. Howe: "Electrically-heated cauls for  
veneering"  
(P.M.C. Lacey in H.A. Howe: "Električno segrevani gumijasti  
kalupi za furniranje")  
Wood, Vol. 14, No. 9 (Sept.) 1949, p. 269...274.

