

Unutrašnja naprezanja u polimernim prevlakama

Mr Nikola Mrvoš, dipl. ing.
R. O. CHROMOS — PREMAZI ZAGREB

Znanstveni rad

Prišlo: 21. studenog 1983.
Prihvaćeno 27. prosinca 1983.

UDK 630*829.1:630*812.7

Sažetak

U radu je razmatrana teorija unutrašnjih naprezanja u polimernim prevlakama lakova za drvo, obrađena je konzolna metoda, izrađen je uređaj za količinsko određivanje unutrašnjih naprezanja u polimernim prevlakama konzolnom metodom i izvršena su opsežna ispitivanja unutrašnjih naprezanja nekih kiselootvrđujućih lakova.

Provedena istraživanja različitih utjecajnih činilaca na unutrašnja naprezanja potvrdila su s jedne strane funkcionalnost i praktičnost konzolne metode, a s druge, omogućila su uvid u razvoj i relaksaciju unutrašnjih naprezanja u prevlakama KO lakova za drvo s obzirom na njihov sastav i način primjene.

Pokazano je da slabije plastificirani KO lakovi omjera aminoplasta i alkida 1:0,8, čije su prevlake tvrde, ali i krhke i sklone pucanju, u određenim primjenjskim uvjetima razvijaju relativno niska unutrašnja naprezanja, poput onih normalno plastificiranih omjera aminoplasta i alkida 1:1,2, čije prevlake imaju znatno niže čvrstoće.

Ključne riječi: unutrašnja naprezanja — konzolna metoda — lakovi za drvo — kiselootvrđujućii lakovi.

INTERNAL STRESSES IN POLYMER COATINGS

Summary

In this work a theory of internal stresses in polymer coatings of lacquer for wood has been discussed, a cantilever method analyzed and a device made for quantitative determination of internal stresses in polymer coatings by the cantilever method. Also, extensive examinations of internal stresses in some acid-hardening varnishes have been carried out.

The examinations of different influential factors on internal stresses proved on the one hand the functionality and practicality of the cantilever method and on the other hand made it possible to have in insight into development and relaxation of internal stresses in AH lacquer coatings for wood with regard to their structure and the method of application.

It has been shown that a thinner plastified AH lacquer in proportion of aminoplasts and alkyds 1:0,8 which coatings are hard but also fragile and inclined to split, in a certain conditions of application develop relatively low internal stresses, just like those normally plastified, in proportion of aminoplasts and alkyds 1:1,2 which coatings have remarkably lower hardness.

Key words: internal stresses — cantilever method — lacquers for wood — acid-hardening varnishes (A. M.)

1. UVOD

Za vrijeme otvrdnjivanja laka na čvrstoj podlozi dolazi do isušivanja hlapivih komponenti, do kemijskih reakcija, stapanja i njihovih kombinacija. Ove promjene uzrokuju postepeno smanjenje dimenzija novonastale prevlake, koja se isto-

vremeno adhezijskim silama vezuje uz podlogu. Rezultat tih promjena je nastajanje unutrašnjih naprezanja u prevlaci. Kasnije, u toku korištenja (starenja) sistema prevlaka/podloga, dolazi do daljih kemijskih promjena, isto tako do promjena u dimenzijama prevlake i podloge izazvanih razlikama u dilatacijskim koeficijentima širenja. Nastala naprezanja uslijed dilatacijskih promjena, ili, općenito, starenja, pribrojena onim nastalim

* Rad je skraćeni prikaz magistarske radnje obranjene na Sumarskom fakultetu u Zagrebu, srpnja 1983.

uslijed formiranja prevlake, mogu nadjačati adhezijske sile, pa tako dolazi do pucanja prevlake, u daljoj fazi do ljuštenja ili, općenito, do odvajanja od podloge.

Iz prakse korištenja premaznim sredstvima poznato je, naime, da je često životna trajnost lakova određena narušavanjem površine prevlake, ili, naprosto, raspucavanjem ili odslojavanjem. Unutrašnja naprežanja često izazivaju mehaničku degradaciju prevlaka, koje se koriste za zaštitu proizvoda u uvjetima širokog diapazona temperatura i relativne vlažnosti zraka.

Unutrašnja naprežanja vjerojatno egzistiraju u svim lakovnim prevlakama zbog načina na koji je film formiran. Pod izvjesnim okolnostima, u visokopigmentiranom i debelom filmu, unutrašnja naprežanja mogu proizvesti spontana pucanja i za vrijeme samog otvrdnjivanja filma. Fenomen je u literaturi poznat kao »mud cracking«, u slobodnom prijevodu »nepravilno pucanje«.

Fizikalno gledano, uzroci nastajanja unutrašnjih naprežanja su nejednoličnosti u promjenama dimenzija ploča u sistemu prevlaka-podloga, ako i prevlaku i podlogu zbog jednostavnosti zamislimo kao ploče. Utezanje prevlake u odnosu na podlogu uzrokuje unutrašnje vlačno naprežanje u prevlaci a tlačno naprežanje u podlozi. Bujenje (bujanje, oticanje) prevlake u odnosu na podlogu uzrokuje tlačno unutrašnje naprežanje u prevlaci a vlačno naprežanje u podlozi.

Unutrašnja naprežanja su posebno izražajna na dimenzionalno nestabilnim podlogama, takvim kao što su drvo i drvni proizvodi. Nezaštićeno ili slabo zaštićeno masivno drvo i drvene ploče reagiraju dimenzionalno (bubre ili se utežu) već kod najmanje promjene relativne vlažnosti zraka.

Prevlake koje su kontinuirano u stanju naprežanja sigurno imaju nižu otpornost na većinu vanjskih utjecaja u odnosu prema nenapregnutim slobodnim filmovima.

Sumirajući sve do sada rečeno, dolazi se do konstatacije da su unutrašnja naprežanja negativna pojava, jer teže da snize nivo mehaničkih karakteristika prevlaka.

Izučavanje zakonomjernosti nastajanja, razvoja i relaksacije unutrašnjih naprežanja u prevlakama potrebno je kod razrade receptura lakova i određivanja režima primjene lakova radi dobivanja prevlaka s minimalnim unutrašnjim naprežanjima. Što se tiče grešaka na filmu, ono pomaže da se objasne greške u filmu i omogućuje da se iznađe ključ za njihovo nagovještavanje. A da bi se mogla izučiti unutrašnja naprežanja, neophodno je raspolagati s mogućnostima količinskih metoda za njihovo ustanovljivanje.

Među metodama različitim po svojoj osnovnoj koncepciji posebno se ističu mehaničke metode, a između njih konzolna, koja je, zbog jed-

nostavnosti i pristupačnosti, naročito pogodna za industrijska ispitivanja.

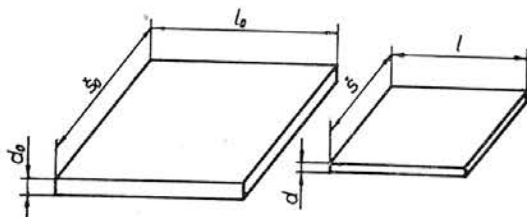
2. TEORIJA NASTAJANJA, RAZVOJA I RELAKSACIJE UNUTRAŠNJIH NAPREŽANJA

Razmatrat će se nastajanje unutrašnjih naprežanja u prevlakama koje se formiraju fizikalnim otvrdnjivanjem iz polimernih otopina. Odmah nakon nanošenja polimerne otopine na čvrstu podlogu, budući da je lak u tankom sloju izložen zraku, počinje isparavanje otapala. Otapalo hlapi ostavljajući »rupe« molekularne veličine u prevlaci. Tako dugo dok je polimerna otopina dostatno tekuća (posjeduje dovoljno niski viskozitet), rupe se odmah ispune polimernim segmentima, i prevlaka se uteže nesmetano, po svemu sudeći, s volumenom gubitaka otapala.

Za vrijeme procesa evaporacije, koncentracija polimera u otopini se sve više povećava, a time se povisuje i viskozitet. Od neke točke viskozitet naraste do takve vrijednosti da je kretanje segmenata spriječeno. Interakcijske sile koje imaju tendenciju proizvesti najzbitije zatvaranje polimernih molekula nisu, naime, dovoljno velike da zatvore praznine nastale izbjeglim molekulama otapala.

S druge strane, utezanje koje prati formiranje prevlake, još je donekle omogućeno po debljini, ali je onemogućeno po dužini i širini, jer adhezija u toku formiranja prevlake jača. Tako će se konačno formirana prevlaka već u samom početku procesa »starenja« naći u napregnutom vlačnom stanju, u tzv. zadržanom naprežanju.

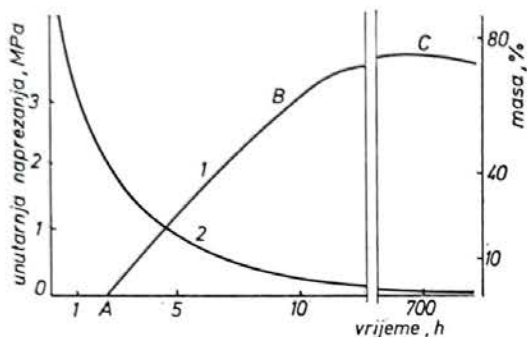
Prevlaka na podlozi može se zamisliti kao elastična folija laka dimenzija $l \cdot s \cdot d$, rastegnuta na dimenziju $l_0 \cdot s_0 \cdot d_0$ i nalijepljena na čvrstu podlogu koja se suprostavlja skraćenju (sl. 1).



Slika 1. — Shema napregnute i nenapregnute prevlake
Fig. 1 — Scheme of stressed and unstressed coating

Tok nastajanja, odnosno razvoj unutrašnjih naprežanja i početak evidentne relaksacije, najbolje se uočava iz sl. 2. Za period OA karakteristično je isparavanje otapala. To dovodi do rapidnog smanjenja mase polimerne otopine nanešene na podlogu. U stadiju formiranja prevlake međumolekularne sile su još male, molekule su dovoljno pokretne, pa se unutrašnja naprežanja

lako relaksiraju. Tek nastala prevlaka još se može slobodno utezati. Tako dugo dok se prevlaka može slobodno kontrahirati, ne razvijaju se unutrašnja naprežanja (O—A, sl. 2).



Slika 2. — 1 — Razvoj i relaksacija unutrašnjih naprežanja
2 — Isparavanje otapala izraženo kroz gubitak mase

Fig. 2 — 1 — Development and relaxation of internal stresses
2 — Vaporization of solvents expressed through loss of weight

Na potezu A—B koncentracija polimerne otopine je već i do 80%, pa se javljaju i brzo rastu unutrašnja naprežanja, dok brzina isparavanja otapala osjetno pada. Ovo vjerovatno odgovara formiranju postojanih više ili manje čvrstih međumolekularnih veza u prevlakama, i zato mobilnost molekula opada. Smanjenje pokretljivosti molekula u visokomolekularnoj otopini dovodi do značajnog usporenja relaksacijskih procesa. Beznačajno dalje isparavanje otapala dovodi dalje do konačne maksimalne vrijednosti unutrašnjih naprežanja (područje C).

Iza područja C, unutrašnja se naprežanja s vremenom smanjuju. Taj se pad može zbivati lagano ili brzo, zavisno od tipa laka i drugih okolnosti.

Maksimalne vrijednosti unutrašnjih naprežanja bit će od značenja u onim slučajevima kada dolazi do totalnog gubitka veze prevlake s podlogom ili do prsnuća prevlake. Za sve ostale slučajeve promatranja i ocjenjivanja životnog vijeka prevlake mnogo je, međutim, interesantniji ostatak naprežanja. Do ostatka (zaostalog, preostalog) unutrašnjeg naprežanja dolazi se odbitkom iznosa relaksacije od maksimalne veličine unutrašnjeg naprežanja.

3. UTJECAJNI ČINIOCI NA UNUTRAŠNJA NAPREŽANJA

Unutrašnja naprežanja u prevlakama nastaju zbog dimenzionalnih promjena prevlake ili podloge. Veličina unutrašnjih naprežanja u nekoj definiranoj prevlaci ovisi o obujmu smanjenja—povećanja dimenzija prevlake ili podloge i o modulu elastičnosti prevlake (podloge). Drugim ri-

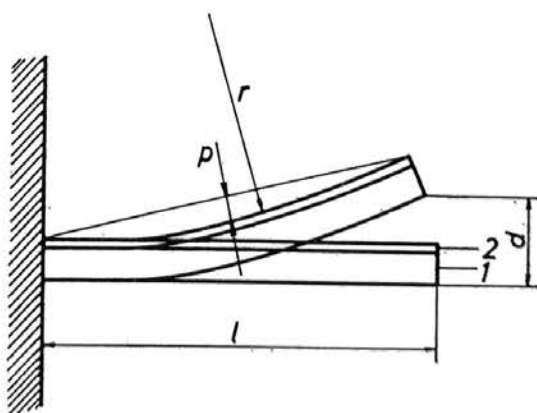
ječima, svi činioci koji prouzrokuju dimenzionalne promjene i promjene modula elastičnosti prevlake (podloge) indirektno utječu na promjene unutrašnjih naprežanja. Ti činioci su brojni. Radi jasnije predodžbe, svrstat ćemo ih u tri grupe. To su u prvom redu činioci s obzirom na sastav laka (vrsta veziva, vrsta i sadržaj pigmenta, punila, omekšivača ili plastifikatora, ubrzivača reakcije i dr.), zatim činioci s obzirom na primjenu (početna koncentracija otopine, vrsta podloge, debljina nanosa, koncentracija otvrdivača, vlažnost podloge i dr.), i na kraju, to su činioci s obzirom na klimatske i druge uvjete upotrebe lakova (temperatura, relativna vlaga, UV zračenje i njihova kombinacija).

4. KONZOLNA METODA ZA KOLIČINSKO ODREĐIVANJE UNUTRAŠNJIH NAPREŽANJA

Od brojnih metoda za količinsko određivanje unutrašnjih naprežanja (interferometrička, Köni-gova, Kariginova, metoda po Colemanu i Weathermaxu, optička po Sreineru i Zubovu, tenzometrička, röntgenska i dr.) izdvaja se konzolna metoda. Konzolna metoda uvjetuje izvjesne teorijske pretpostavke (elastična svojstva prevlake i podloge su izotropna, premaz prijanja uz podlogu i dr.), a bazira na kombinaciji dviju teorija — grednoj i teoriji ploča.

Teoriju konzolne metode postavio je A. T. Sanžarovskij [13] 1960 g. Njenoj razradi, međutim, mnogo je pridonio E. M. Concoran [3] 1969, tako da autorima ove teorije možemo smatrati oba navedena učenjaka. Kasnije su teoriju konzolne metode analizirali još: J. L. Prosser [11] 1971, S. G. Croll [4] 1980, D. Y. Perera i D. V. Eynde [10] 1981 i drugi.

Metoda se sastoji u slijedećem. Na jednu stranu tanke, uske i duge ploče (1) iz elastičnog materijala, čije su dimenzije i elastična svojstva poznata, nanese se otopina polimerne tvari, iz ko-



Slika 3. — Principijelna shema konzolne metode
Fig. 3 — Proposed scheme of cantilever method

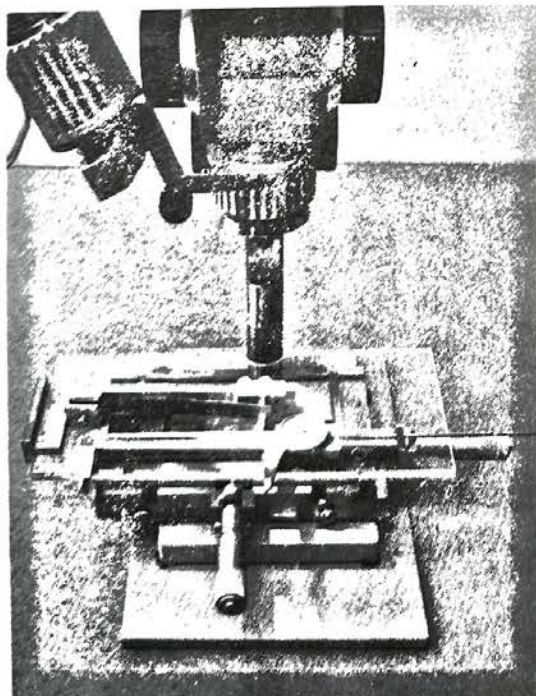
je se nakon procesa otvrdnjivanja formira prevlaka (2) (sl. 3). U procesu otvrdnjivanja prevlaka se želi skratiti, ali joj to onemogućuju adhezijske sile prema podlozi. Rezultat ovakvog trenda prevlaka je nastajanje unutrašnjih naprežanja u njoj. Kako je u slučaju konzolne (odnosno gredne) metode podloga savitljiva, ona prati svaku dimenzionalnu promjenu prevlaka time što se savija. Progib novonastale biploče, izazvan unutrašnjim naprežanjima, može se odrediti: a) radiusom zakrivljenosti r , b) progibom grede p ili c) otklonom slobodnog kraja d , konzolno učvršćene ploče (trake). Između navedenih veličina postoji slijedeća relacija

$$r = \frac{l^2}{8p} = \frac{l^2}{2d} \quad (1)$$

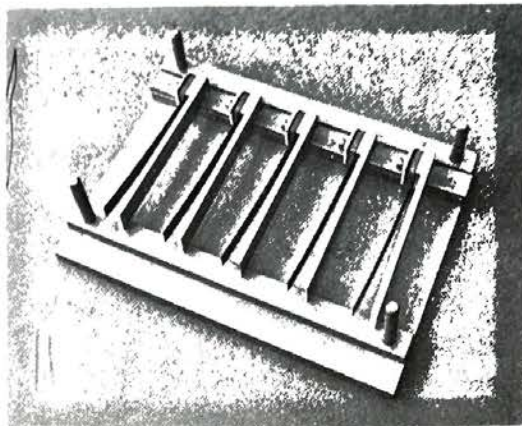
iz kojih proizlazi da je progib konzole kod iste dužine 4 puta veći od progiba grede. Utoliko je i konzolna metoda preciznija od gredne, jer su očitavanja točnija.

Na osnovu određenih teorijskih pretpostavki, *Sanžarovskij* i *Concoran* su izveli proračun unutrašnjih naprežanja u prevlakama formiran na konzoli kao podlozi i dobili slijedeći izraz:

$$S = \frac{d E t^3}{3 c l^2 (t + c) (1 - \nu)} + \frac{d E_c (t + c)}{l^2 (1 - \nu_c)} \quad (2)$$



Slika 4. — Uređaj za količinsko određivanje unutrašnjih naprežanja
Fig. 4 — Device for quantitative determination of internal stresses



Slika 5. — Nosači konzola i stalci
Fig. 5 Console support and stands

gdje je S ... unutrašnje naprežanje ... N/mm^2 , d ... otklon konzole ... mm, E ... modul elastičnosti podloge ... N/mm^2 , E_c ... modul elastičnosti prevlaka ... N/mm^2 , t ... debljina podloge ... mm, c ... debljina prevlaka ... mm, l ... duljina konzole ... mm, ν ... Poissonov omjer podloge, ν_c ... Poissonov omjer prevlaka.

Izraz (2) ovdje je transformiran u pogodniji oblik. Izlučivanjem d iz desne strane jednadžbe dobiva se:

$$S = d \left(\frac{E t^3}{3 c l^2 (t + c) (1 - \nu)} + \frac{E_c (t + c)}{l^2 (1 - \nu_c)} \right) \quad \dots (3)$$

Usvajajući da je izraz u zagradi konstantna veličina, k , tj.

$$k = \frac{E t^3}{3 c l^2 (t + c) (1 - \nu)} + \frac{E_c (t + c)}{l^2 (1 - \nu_c)} \quad \dots (4)$$

izraz (2) poprima novi oblik

$$S = d k \quad \dots (5)$$

Gledano čisto matematički, d je varijabla, a k konstanta. U stvari se i k mijenja, npr. zbog modula elastičnosti, koji je ovisan o temperaturi i nizu drugih činilaca. Međutim, polazeći od toga da su unutrašnja naprežanja, u cjelini gledano, rezultat interakcije mnogih činilaca, od kojih je glavnina obuhvaćena izrazom (2), ide se na izračunavanje S — vrijednosti na način da se promjenjivi d , kao funkcija svih parametara koji se mijenjaju po vremenu, množi s iznosima k , koji se smatraju konstantnim i ulaznim podacima za pojedine skupove uzoraka.

5. ZADATAK ISTRAŽIVANJA

Postavlja se slijedeći zadatak istraživanja:

— projektirati i izraditi uređaj (sa svim svojim pojedinostima) za količinsko određivanje unutrašnjih naprezanja u polimernim prevlakama;

— istražiti utjecaj vrste podloge (drvne i metalne), debljine podloge, debljine prevlake, niskih i povišenih temperatura, naglih promjena temperatura, i na kraju

— istražiti utjecaj koncentracije katalizatora u alkidno-urea-formaldehidnom laku na razvoj unutrašnjih naprezanja u prevlakama formiranim iz tog laka.

6. PROJEKTIRANJE I IZRADA UREĐAJA ZA KOLIČINSKO ODREĐIVANJE UNUTRASJNIH NAPREZANJA

Osnovna postavka kod konstruiranja i izrade uređaja bio je uvjet da se uzorci prilikom mjerenja ne dotiču. Drugi uvjet bio je da se postigne visoki stupanj točnosti mjerenja.

Zamisao je realizirana izradom sistema koji se sastoji od dva osnovna dijela: stereomikroskopa s križnim objektivom i velikom mogućnošću dubinskog izoštravanja objekta i koordinatnog mjernog postolja s mogućnošću pomicanja probnih uzoraka po osima x i y te preciznog mjerenja dužine — i od nekoliko pomoćnih naprava (sl. 4. i 5).

7. PRIPREMA PODLOGA

U eksperimentalnom dijelu, za količinsko određivanje unutrašnjih naprezanja u polimernim prevlakama, korištene su drvne i metalne podloge za nanos lakova. Podloge lakova predstavljaju zapravo konzole, koje su s jedne strane ukliještene u nosačima konzola, a s druge strane slobodne. Na slobodnom kraju konzole, zbog kontrakcije volumena, razlika koeficijentata termičkog rastezanja podloge i prevlake i drugih razloga, dolazi do otklona.

Bitno je za svaku podlogu da je izotropna, da ima znatno veći modul elastičnosti od modula elastičnosti prevlake i da bude što bliže idealno elastičnom tijelu. Jednaka fizička svojstva u sva tri međusobno okomita smjera ili presjeka (izotropnost) su, dakle, kao i elastičnost, osnovni preduvjeti ili polazišta kod određivanja unutrašnjih naprezanja konzolnom metodom.

Kod drvnih podloga odstupilo se od preduvjeta iz prethodnog stavka. Imajući na umu specifičnost drva kao podloge, u prvom redu higroskopsnost i mikrogeometriju površine, drvo je ovdje, i pored njegove izrazite anizotropnosti, svjesno uzeto za podlogu. Treba, međutim, istaći da je pripremi drva kao podloge pridana izuzetna pažnja. Izabran je furnir strogo radijalnog re-

za, ravne žice, jednakih uskih godova, zdrav i ravan. Iskrojani furnirski listići, dimenzija 147 x x 13 x 0,56 mm pobrušeni su brusnim papirom br. 220 i kondicionirani na vlagu od 6,5%.

Određivanje modula elastičnosti E izvršeno je na koordinatnom mjernom postolju, a prema izrazu

$$E = \frac{4 F l^3}{f b d^3} \dots N/m^2 \quad (6)$$

gdje je: F ... sila (N), l ... dužina konzole (mm), f ... progib konzole (mm), b ... širina konzole (mm), d ... debljina konzole (mm).

Modul elastičnosti drvnih podloga, određen prema izrazu (6), iznosi

$$E_d = 7.048 N/mm^2$$

Metalne podloge imaju slijedeće dimenzije: 147 x 12,75 x 0,100 mm, 147 x 12,75 x 0,150 mm i 147 x 12,75 x 0,200 mm. Dobivene su prikraćivanjem beskonačne trake iz kalibriranog čeličnog lima. Modul elastičnosti metalnih podloga, određen prema izrazu (6), iznosi

$$E_m = 200.440 N/mm^2$$

Da ne bi došlo do korozije metala uslijed djelovanja p-toluen sulfonske kiseline kao sastavnog dijela kiselootvrđujućeg laka, metalni listići su obostrano zaštićeni tankim slojem reaktivne temeljne boje (wash-primerom). Boja se nanijela tehnikom finog raspršivanja. Debljina prevlake wash-primer, izmjerena instrumentom »Dermi-tron« (SAD), iznosila je 5—8 μm.

8. PRIPREMA POLIMERNE OTOPINE

Istraživanja su vršena na dvije formulacije kiselootvrđujućeg laka, na laku »A« i na laku »B«, uz dodatak otvrđivača u količinama 9,1%, 13% i 16,7%, razrijeđeni odgovarajućim razređivačem na viskozitet pogodan za nanos tehnikom nalijevanja na laboratorijskoj naljevačici »Bürkle« (SRNJ).

Upotrijebljeni materijali:

1) lak »A«: naziv »Chromin« bb polumat TIM Laško br. 7312, odnos aminoplasta i alkida 1 : 1,2, gustoća 1,01 g/cm³, suha tvar 66,4%

2) lak »B«: naziv »Chromin« bb polumat br. 7311/MN, odnos aminoplasta i alkida 1 : 0,8, gustoća 0,99 g/cm³, suha tvar 58,0%

3) otvrđivač (10%-tna p-toluen sulfonska kiselina): naziv »Chromin kontakt« br. 7395

4) razređivač: naziv »DD razređivač« br. 7680-13

Navedeni materijali (1—4) proizvodi su SOUR-a »Chromos«, RO-e »Chromos-premazi« Zagreb.

Lakovi su nanoseni nalijevanjem na priredene podloge (trake, furnire), koje su nakon 30-tak minuta učvršćivane u nosače konzola.

9. PRIKAZ REZULTATA

Izmjerene vrijednosti otklona konzola po vremenu tokom 50 dana predstavljaju osnovne ulazne podatke za izračunavanje unutrašnjih napreznja u prevlakama. Ovi podaci su obrađeni kompjuterski na »Robotronu 1720« (DDR) u pogledu dobivanja srednjih vrijednosti otklona i standardnih devijacija.

Drugi podaci (izmjerene dimenzije prevlaka i podloga, izmjereni moduli elastičnosti prevlaka i podloga te pretpostavljene vrijednosti Poissonovih omjera drva, $\nu_d = 0,53$; metala, $\nu_m = 0,30$ i prevlaka, $\nu_c = 0,40$) poslužili su za izračunavanje konstantnih veličina za pojedine grupe podataka, prema izrazu (4).

Nakon toga se, uvažavajući sve navedene podatke, prema izrazu (2) izračunavala veličina unutrašnjih napreznja i standardnih devijacija po grupama uzoraka i danima za 1., 3., 5/6., 13., 20., 28., 43. i 50. dan. Konačni rezultati prikazani su tabelarno i grafički. Ovdje se grafički prikazuje jedan dio rezultata.

Na sl. 6 prikazana je dinamika razvoja unutrašnjih napreznja u prevlakama formiranim iz laka B, uz 13% otvrđivača, na metalnim podlogama debljine 0,100 i 0,200 mm. Na sl. 7 prikazan je utjecaj različitih klima i klimatskih promjena na unutrašnja napreznja u prevlakama debljine 40 μm , formiranim na metalnim podlogama debljine 0,150 mm iz laka B, uz dodatak 16,7% otvrđivača. Na sl. 8 prikazana je, na drvnim pod-

logama debljine 0,56 mm, dinamika razvoja unutrašnjih napreznja u prevlakama lakova na bazi aminoplasta i alkida omjera 1:1,2 (lak A) s različitim postocima p-toluen sulfonske kiseline (PTSS) kao otvrđivača, odnosno katalizatora. Na sl. 9 prikazana je na istovjetnim drvnim podlogama dinamika razvoja unutrašnjih napreznja u prevlakama lakova na bazi aminoplasta i alkida, omjera 1:0,8 (lak B), s različitim postocima PTSS i debljinama prevlaka.

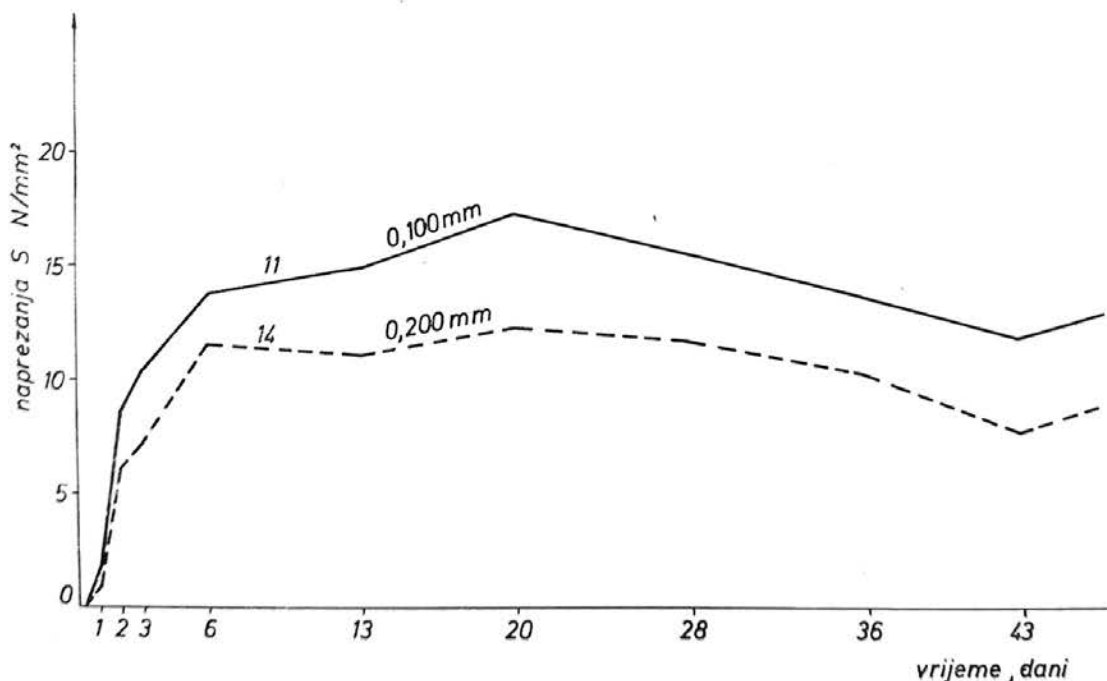
10. ZAKLJUČAK

Izrađen je uređaj za količinsko određivanje unutrašnjih napreznja u polimernim prevlakama konzolnom metodom. Opsežna ispitivanja, provedena na tom području, nekih KO lakova potvrdila su funkcionalnost uređaja i preciznost i praktičnost konzolne metode.

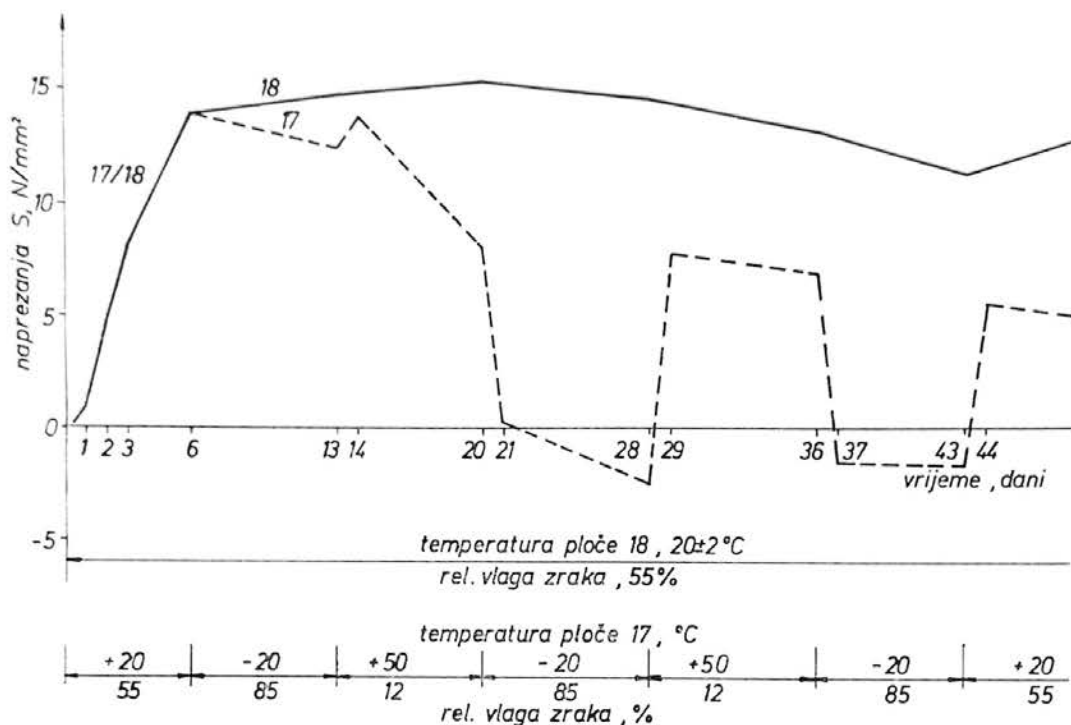
Utjecaji različitih činilaca na unutrašnja napreznja svode se na slijedeće. Istovjetne prevlake pokazale su, prema izrazu (2), veća napreznja na drvnim podlogama nego na metalnim

Tanje metalne podloge (0,100 mm) dale su više vrijednosti unutrašnjih napreznja od debljih (0,200 mm), uz ostale nepromjenljive uvjete (sl. 6).

Uspoređujući prevlake različite debljine utvrđeno je da je prevlaka debljine 20 μm imala snažniji početni rast i brži maksimum napreznja (6. dan) od prevlake debljine 40 μm , koja od

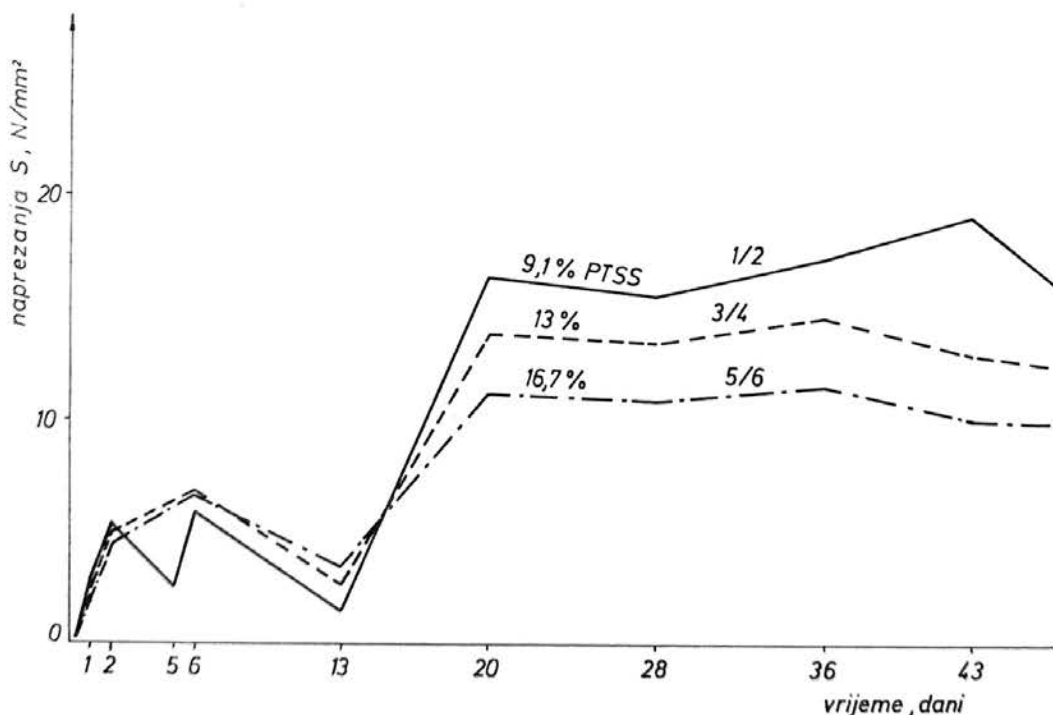


Slika 6. — Utjecaj debljine (metalne) podloge na rezultate mjerenja unutrašnjih napreznja u prevlakama formiranim od laka »B«. Fig. 6 — Effect of thickness of the (metal) substrate on results of measuring internal stresses in coatings formed of lacquer »B«



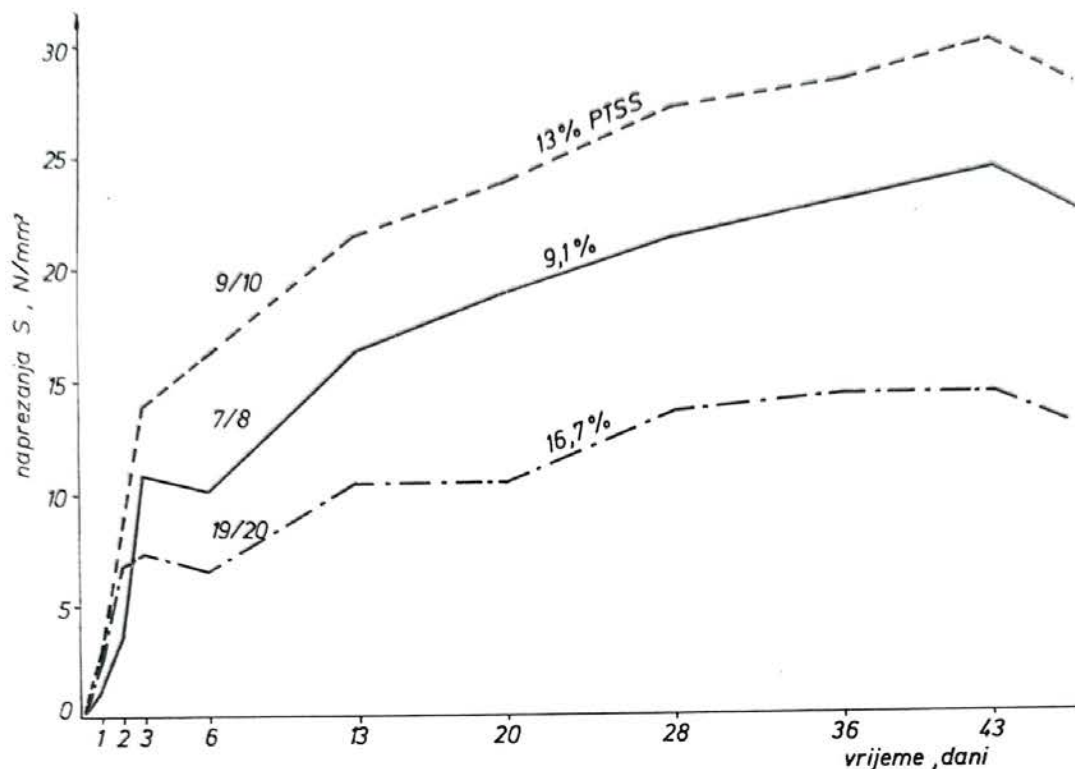
Slika 7. — Utjecaj klimatskih uvjeta na unutrašnja napreznja u prevlakama debljine $40 \mu m$ formiranim na metalnim podlogama $0,150$ mm od laka »B« uz 16,7% otvrđivača.

Fig. 7 — Effect of weather conditions on internal stresses in coatings thickness $40 \mu m$ formed on metal substrates $0,150$ mm of lacquer »B« with 16,7% hardener



Slika 8. — Utjecaj otvrđivača na unutrašnja napreznja u prevlakama formiranim od laka »A« na drvnim podlogama.

Fig. 8 — Effect of hardener on internal stresses in coatings formed of lacquer »A« on wood substrates.



Slika 9. — Utjecaj otvrdivača na unutrašnja napreznja u prevlakama formiranim od laka »B« na drvnim podlogama.
Fig. 9 — Effect of hardener on internal stresses in coatings formed of lacquer »B« wood substrates.

13. dana bilježi veća napreznja s maksimumom 20. dana [9].

Što se tiče utjecaja niskih i povišenih temperatura, očekivalo se da će napreznja na niskim temperaturama porasti, a na višim pasti. Provedena istraživanja (sl. 7) nisu potvrdila očekivane rezultate. Rezultati bi bili nelogični ukoliko se ne bi uzela u obzir relativna vlaga zraka. U konkretnom se slučaju radi o prisutnosti rezultata koji se međusobno preklapaju:

— hlađenja, po kojima se napreznja povećavaju zbog razlika u koeficijentima dilatacije podloge i prevlake i

— bubrenja prevlake (uslijed visoke relativne vlažnosti) koja smanjuju napreznja.

Budući se mjerenja nisu provela u uvjetima stalne relativne vlažnosti zraka — dobili su se takvi rezultati.

Prevlake KO lakova za namještaj na bazi aminoplasta i alkida, omjera 1:0,8 (lak B) u odnosu na isti lak omjera 1:1,2 (lak A), u nekim slučajevima razvijaju gotovo dvostruko veća napreznja, kao što se i očekivalo (sl. 8 i 9). Unutrašnja napreznja u prevlakama iz slabije plastificiranog laka, kod veće koncentracije otvrdivača (10%-tne PTSS), osjetno se smanjuju.

Tablica 1

Br. stalka	Uzorci (konzole)	Debljina prevlake mm	Lak	Tvrdća prevlake po Königu		
				1. dan s	12. dan s	40. dan s
1/2	1 ... 10	0,030	A	110	130	135
3/4	11 ... 20	0,035	A	145	145	145
5/6	21 ... 30	0,040	A	102	140	135
7/8	31 ... 40	0,020	B	175	185	180
9/10	41 ... 50	0,020	B	174	147	180
11	51 ... 55	0,020	B	180	174	190
12/13	56 ... 65	0,025	B	175	184	185
14	66 ... 70	0,025	B	165	145	180
15/16	71 ... 80	0,020	B	174	180	180
17/18	81 ... 90	0,040	B	144	180	170
19/20	91 ... 100	0,035	B	145	175	180

Lak B dao je znatno veće tvrdoće po Königu (tabela I). Zato ovaj lak zaslužuje pažnju. Bilo bi potrebno nastaviti daljnja istraživanja u cilju iznalaženja optimalne formulacije recepture i uvjeta otvrdnjivanja ovih tzv. »krutih« lakova. Međutim, već se i sada lak B, uz 16,7% otvrdivača i debljinu prevlake od 35 μm , može smatrati pogodnim za površinsku obradu stolova, kancelarijskog namještaja i dr. drvnih površina, koje su u primjeni izložene izričitoj habanju (npr. parketa).

Provjeravajući (paralelno) konzolnu metodu na našim primjerima, našli smo da veliki utjecaj imaju vrsta i dimenzija podloge (konzole) i uvjeti kondicioniranja probnih uzoraka.

Metalne podloge imaju prednost pred drvnim zbog izotropnosti materijala, što je uostalom i jedna od teorijskih pretpostavki teorije konzolne metode uopće. Međutim, kada se radi o lakovima za namještaj, onda i drvene podloge, zbog specifičnosti građe drva, imaju stanovite prednosti.

Sve u svemu, na komparabilnost rezultata (što je vrlo važno) može se računati ako se za pojedine lakove, zavisno o njihovoj namjeni, koriste uvijek podloge iste vrste i istih dimenzija i ako se uzorci drže u strogo kontroliranim klimatskim uvjetima.

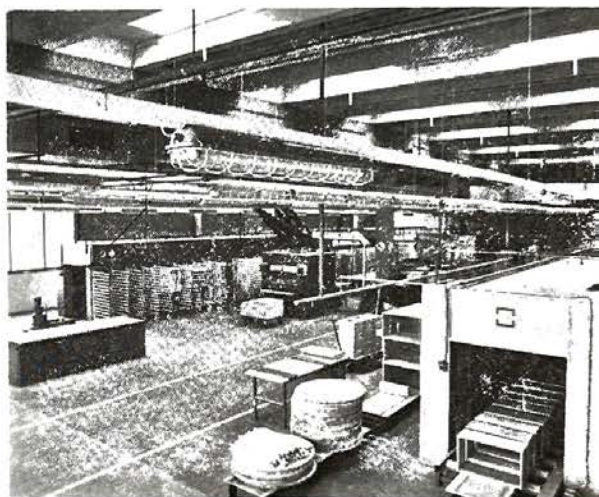
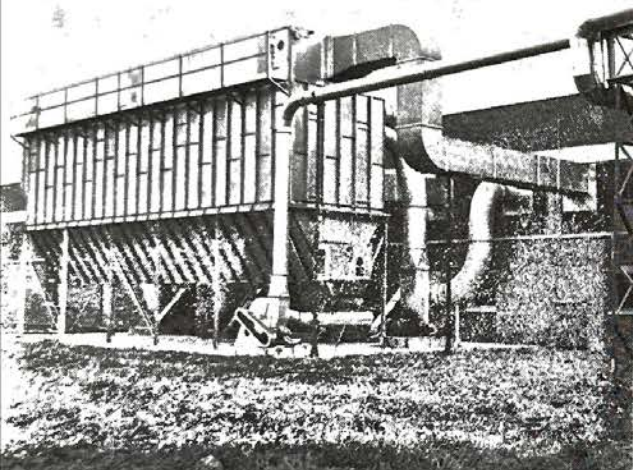
LITERATURA

- [1] Aronson, P. D.: Some aspects of film formation in emulsion paints — part II. Journal of the Oil and Colour Chemists Association (JOCCA), 57, No. 2, 66—82, 1974.
- [2] Campbell, D. S.: Internal Stresses in Thin Films in »Basic Problems in Thin Film Physics«, 223 Göttingen, 1966.
- [3] Concoran, E. M.: Determining Stresses In Organic Coatings Using Plate Beam Deflection. Journal of Paint Technology, 41 (538), 635—640, 1969.
- [4] Croll, S. G.: An overhanging beam method for measuring internal stress in coatings. JOCCA, 63, No. 7, 221—275, 1980.
- [5] Gusman, S.: Studies of the Adhesion of the Organic Coatings. Paint Technology, Vol. 27, No. 1, 17—26, 1965.
- [6] Haagen, H.: Untersuchungen über Ursachen und Zusammenhang von Schwundvorgängen mit inneren Spannungen in Beschichtungen. Farbe und Lack, 85 (2), 94—100, 1979.
- [7] Jakubović, S. V., Maslennikova, N. L.: Izučenie vnutrennih napraženj, vznikajuščih v lakokrasočnyh pokrytijah v processe ih starenija. Lakokras. mater., 5, 27—30, 1961.
- [8] Ljuljka, B.: Površinska obrada drva i drvnih materijala. SIŽ odgoja i usmjerenog obrazovanja šumarstva i drvene industrije SRH, Zagreb, 1980.
- [9] Mrvoš, N.: Istraživanje unutrašnjih naprezanja u polimernim prevlakama. Magistarski rad. Šumarski fakultet, Zagreb, 1983.
- [10] Perera, D. Y., Eynde, D. V.: Consideration on a Cantilever (Beam) Method for Measuring the Internal Stress in Organic Coatings. J. of Coatings Technology, 53 (677), 1981.
- [11] Prosser, J. L.: Internal Stress Studies. Modern Paint and coatings, July, 47—51, 1977.
- [12] Saarnak, A., Nilson, E., Kornum, O.: Usefulness of the measurement of internal stresses in paint films. JOCCA, 59, 427—432, 1976.
- [13] Sanžarovskij, A. T.: Metody opredelenija mehaničeskij i adgezionnyh svojstv polimernyh pokrytij. Nauka, Moskva, 1974.
- [14] Timošenko, S. P.: Teorija ploča i ljuski. Građevinska knjiga, Beograd, 1962.
- [15] Walter, F.: Prüftechnik in der Holzindustrie. VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1977.

Recenzent: prof. dr B. Ljuljka

SOP KRŠKO

SPECIJALIZIRANO PODJETJE
ZA INDUSTRIJSKO OPREMO



tozd IKON
Kostanjevica na Krki
Krška c. 6
telefon (068) 69-748
telex 35790 yu SOPKO

INŽENIRSKI BIRO
Ljubljana
Koblarjeva 34
telefon (061) 442-951
telex 31638 yu SOPIB

**PNEUMATSKO-
TRANSPORTNA
OPREMA:**

- naprave za pročišćavanje SOP-HANDTE za otprašivanje u metalnoj i kemijskoj industriji
- uređaji za galvanizaciju za površinsku obradu i zaštitu metala
- uređaji za čišćenje industrijskih otpadnih voda

tozd OPREMA
Krško
Cesta Krških žrtev 141
tel. 068 71-115
telex 35764 yu SOP

INŽENIRSKI BIRO
Ljubljana
Riharjeva 26
tel. 061 264-791

**OPREMA ZA POVRŠINSKU
OBRADU U DRVNOJ
INDUSTRIJI**

**Oprema za nanošenje
postupcima:**

- prskanja
- oblijevanja
- uranjanja
- nalijevanja
- valjanja

**Oprema za sušenje
prevlaka na principu**

- konvekcije
- infracrvenog zračenja
- ultraljubičastog zračenja

Transportna oprema za:

- pločasti
- viseći
- višetažni transport

OSTALA OPREMA ZA:

- pročišćivanje i dovodenje svježeg zraka
- pročišćivanje odsisivanog zraka
- pomoćne naprave

tozd KLEPAR
Krško

Gasilska 3
tel. (068) 71-506
telex 35766 yu
SOPSTO

INŽENJERSKI BIRO
Zagreb

Siget 18b
telefon (041) 526-472
telex 22264
SOPZG YU

**OPREMA ZA PROČIŠĆIVANJE
ZRAKA:**

- modularni prečišćivači SOP-MOLDOW

- zaštita protiv buke na radnom mjestu
- sistemi za gašenje požara u cjevovodima transporta
- sušionice za drvo

tozd STORITVE

Krško
Gasilska 3
Telefon (068) 71-291
telex 35766 yu
SOPSTO

INŽENJERSKI BIRO
Zagreb

Aleja Viktora Bubnja
tel. (041) 682-620
telex 22264
SOPZG YU

**OPREMA ZA REKUPERACIJU
TOPLINE**

Stakleni cijevni rekuperatori za iskorištenje topline otpadnih plinova, zraka i tekućina.

Završni radovi u građevinarstvu: