

# Indirektno zagrijavanje toplog zraka dimnim plinovima dobivenim izgaranjem krutih fosilnih goriva i biomase

INDIRECT HEAT RADIATION WITH FLUE GASES OBTAINED BY COMBUSTION OF SOLID FOSSIL FUEL AND THE BIOMASS

Boris Golik, dipl. ing.

UDK 630\*83

SOUR »MONTING«, RO »VEMOS«

OOOR Tvornica opreme, uređaja i linija za dehidraciju i fermentaciju Delnice

Prispjelo: 15. svibnja 1985.

Stručni rad

Prihvaćeno: 28. lipnja 1985.

## Sažetak

U članku se, nakon razmatranja dosadšnjeg stanja tehnološko-tehničkih rješenja indirektnih sistema za dobivanje toplog zraka, opisuju razvoj zagrijača toplog zraka bez posrednog nosioca topline. Nadalje se iznose karakteristike indirektnog zagrijača toplog zraka (4 do 20 kJ) domaće proizvodnje.

## Summary

The paper discusses the present state of technological and technical solutions of indirect systems for obtaining the heat radiation. After that describes the progress of a warm air heater without indirect heat bearer. Furthermore, the characteristics of indirect warm air heater (4 to 20 KJ) of Yugoslav production have been outlined (A. M.)

## 1.0 PROBLEMATIKA ZAGRIJAVANJA ZRAKA S OBZIROM NA UTROŠENU TOPLINU I UPOTRIJEBLJENE ENERGENTE

Veliko poskupljenje svih vrsta energetskih sirovina (energenata) i energije općenito u posljednjem deceniju odrazilo se i na razvoj tehnologije i tehnike proizvodnje toplog zraka za najrazličitije potrebe.

Prvenstveno je potrebno zbog ekonomske nužnosti toplinsko-energetske uređaje i postrojenja preorijentirati odgovarajućim rekonstrukcijama i dogradnjom s konvencionalnih tekućih i/ili plinovitih goriva (naftni derivati) na razne vrste krutih goriva. Biomasa šumskog (poljoprivrednog) porijekla, razni industrijski gorivi otpaci i ostaci te briketi proizvedeni na bazi tih energetskih sirovina realni su i dostupni energenti kojima se ta supstitucija može sprovesti.

Potreba za racionalnim ulaganjem financijskog kapitala te visoke kamate također navode na potrebu preispitivanja tehnološke koncepcije i tehničkih rješenja postojećih toplinsko-energetskih uređaja i instalacija u industriji, poljoprivredi i drugoj općoj namjeni.

Sve su to momenti koji opredjeljuju i usmjeravaju na razvoj i osvajanje proizvodnje zagrijača toplog zraka i elemenata toplinsko-energetske op-

reme koji će moći odgovoriti zahtjevima sadašnjeg vremena i energetskog trenutka. Spomenute tendencije imaju trajno obilježje, a vrijeme jeftine energije je iza nas.

## 2.0. SADAŠNJA TEHNIČKA RJEŠENJA

Pri dobivanju toplog zraka za raznovrsne potrebe u industriji i poljoprivredi, prevladavaju poznata tehnološko-tehnička rješenja; to su uglavnom indirektni sistemi s toplinskim posrednikom:

- a) Parom različitog tlaka;
- b) Vrelom vodom, npr. 160/105<sup>0</sup> C;
- c) Toplom vodom, npr. 90/70<sup>0</sup> C;
- d) Sistemi s termouljem;

e) Direktno miješanje dimnih plinova i zraka. Taj sistem ograničeno je upotrebljiv samo za određene industrijske i druge namjene i potrebe, a i u tim slučajevima upotrebljava se kod korištenja konvencionalnim tekućim i plinovitim gorivima;

f) Indirektni zagrijači; dimni plinovi — zrak kod upotrebe konvencionalnih tekućih i plinovitih goriva. Najčešće nalaze primjenu kod sušara u poljoprivredi, ali su neprikladni kod upotrebe biomase i drugih krutih goriva kao energenata. Razlog je brzo onečišćenje površina s dimne strane, i

zbog toga pada faktor iskorišćenja topline. Te plohe su nepodobne za čišćenje.

Jasno je da će većina tehničkih rješenja na tim klasičnim koncepcijama, uz određena prilagođivanja i usavršavanja, ostati u upotrebi i biti ekonomična u eksploataciji.

Loše strane naprijed navedenih sistema su:

- visoka investicijska ulaganja u takav toplinski uređaj,
- skupe instalacije za razvod topline te složenija i skuplja toplinska oprema potrošača,
- viši troškovi održavanja,
- najrašireniji sistemi navedeni pod stavkama a) i b) spadaju pod nadzor inspektorata parnih kotlova, a radno osoblje treba proći posebnu obuku i položiti ispit za rad s posudama pod tlakom.
- duža izgradnja,
- ti su sistemi vremenski inertni i treba im dulje vrijeme rada do postizanja punog kapaciteta. Zbog toga nisu prikladni za češće prekide u radu (npr. svakodnevno),
- viši su ukupni troškovi pogona.

Dobre su im strane:

- pouzdani su u radu,
- imaju visok toplinski stupanj korisnog djelovanja ( $\eta$ ),
- regulacija temperature u toplinskom potrošaču moguća je s većom točnošću i s manjim odstupanjima od zadanih vrijednosti.

### 3.0 RAZVOJ ZAGRIJAČA TOPLOG ZRAKA BEZ POSREDNOG NOSIOCA TOPLINE

Zbog naprijed navedenog, kao i za neke specijalne namjene u industriji i poljoprivredi, na tržištu i među proizvođačima procesne opreme i kompletnih uređaja i tehnoloških linija osjeća se potreba za univerzalnim indirektnim zagrijačima toplog zraka, brutto toplinskog kapaciteta od 1,25 do 21 GJ/h ovih karakteristika:

- da kao gorivo rabe isključivo kruta goriva, prvenstveno sve vrste biomasa, gorive industrijske i druge ostatke i otpatke i tehnološke gorive brikete od biomasa,
- da bude jeftin,
- da uređaj bude kompletan,
- da je jednostavan za rad i održavanje,
- da osigurava niske troškove proizvodnje topline i supstituciju konvencionalnih tekućih i plinovitih goriva biomasom.

Uređaj takvih karakteristika je razvijen u OOUR Tvor. opreme, uređaja i linija za dehidraciju i fermentaciju, RO »Vemos«, SOUR MONTING, u više veličina. Kao ložište za nazivni brutto toplinski kapacitet generatora topline do 4 GJ/h ugrađuje se domaći predložišni uređaj »BIOPLAM« OLT — Osijek, a za toplinske kapacitete od 4 do

20 GJ/h predviđa se ugradnja ložišta proizvedenih u kooperaciji sa stranim poslovnim partnerom kada je u pitanju biomasa, odnosno ložišta razvijena od strane domaće kotlogradnje za druge vrste krutih goriva.

Za pouzdan rad ložišta vrlo je važno odabrati siguran način čišćenja šljake s obzirom na kemijski sastav pepela. Pepeo nekih biomasa ima dosta nisku točku topljenja, što ovisi o vrsti biomase i pedološkom sastavu tla gdje je ona rasla. Praktična iskustva i odgovarajuća tehnička i konstrukcijska rješenja, kako roštilja tako i samog sistema ložišta, neophodna su i često presudna za siguran rad.

Odgovarajući izmjenjivači topline dimni plinovi — zrak, koji se ugrađuju u te uređaje, razvijeni su i izrađuju se u tvornici u Delnicama.

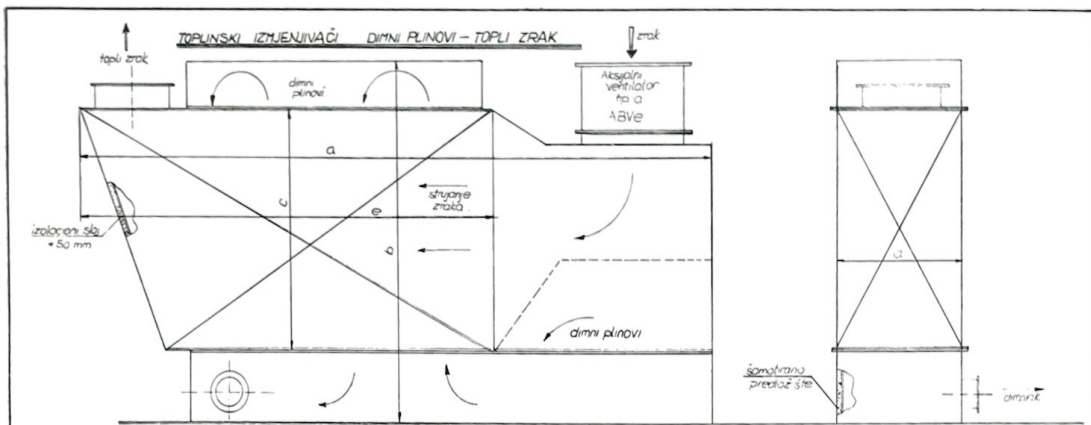
Ostali elementi opreme (ventilatori, pogonski mehanizmi, dimnjak i izolacija) i elementi mjerne i regulacijske tehnike koji se ugrađuju u navedene izmjenjivače topline pretežno su domaće proizvodnje.

### 4.0 RAZVOJ I PROIZVODNJA NOVOG TIPA IZMJENJIVAČA TOPLINE DIMNI PLINOVI —ZRAK

Da bi se mogla kompletirati i ponuditi kompletna postrojenja, prišlo se razvoju prikladnog indirektnog izmjenjivača topline: dimni plinovi krutih fosilnih goriva i biomase-zrak.

Uza sve ostalo, trebalo je riješiti način čišćenja ogrjevnih površina s dimne strane, jer je to osnovni uvjet za pouzdan rad i kontinuirano visok stupanj korisnosti. Dimni plinovi nastali izgaranjem biomase sadrže čestice pepela od kojih se dio nakuplja na dimnoj strani stijenke toplinskog izmjenjivača. Za 3 do 10 dana rada stvori se čvrsta naslaga slična kamencu. Ta pojava je jače izražena kod izgaranja poljoprivrednih biomasa radi visokog sadržaja  $K_2O$  u pepelu. Naslage tog mineralnog sloja, debljine od 0,75 mm do nekoliko mm, bitno smanjuju koeficijent prolaza topline  $k$ , pa zbog toga pada stupanj korisnog djelovanja  $\eta$  i raste temperatura izlaznih dimnih plinova iznad 200—250<sup>0</sup> C. Stoga je, za dobar i pouzdan rad izmjenjivača topline, nužno povremeno čišćenje površina toplinskog izmjenjivača s dimne strane. Tom kriteriju mi smo podredili tehničko i konstrukcijsko rješenje izmjenjivača topline.

Taj izmjenjivač topline je vertikalno cijevni, tro- ili četvero-prolazni s dimne strane, s unakrsnim prolazom zraka s vanjske strane cijevi. Međusobni tok procesnih sudionika izmjenjivača topline može biti nasuprotan (što je nešto povoljnije) ili istosmjernan. Čišćenje vertikalnih cijevi obavlja se po potrebi povremeno hidraulički, pneumatski ili elektro-motorno pokretanim rotacijskim četkama kao alatom. Čestice mineralne naslage padaju u korito ispod izmjenjivača topline, odakle se odstranjuju ručno ili pomoću pužnog transportera.



Red. broj	TIP IZMJENJIVAČA	TIP LOŽIŠTA	BRUTO NAZIVNI KAPACITET		[mm] GABARITI IZMJENJIVAČA					Površina izmjenjivača [m <sup>2</sup> ]	Toplinsko opterećenje	Kapacitet ventilatora (m <sup>3</sup> /h max)	Ugrađena snaga [kW]	Težina G [kg]
			MJ/h	Mcal/h	a	b	c	d	e					
1	C45 - BP	Bioplam B2	252	60	2800	2000	1200	600	1500	8		2400	3	600
2	C75 - BP	Bioplam B3	418	100	3200	2000	1200	600	1500	13		4000	4	800
3	C112 - BP	Bioplam B4	628	150	4700	2500	1500	950	2750	19		6000	5	1100
4	C187 - BP	Bioplam B5	1045	250	4700	2500	1500	950	2750	31		10 000	7	2000
5	C 262 - BP	Bioplam B6	1465	350	5700	2500	1500	950	3750	44		14 000	10	2600
6	C 375 - BP	Bioplam B7	2093	500	5700	3000	2000	950	3750	62		20 000	14	3600
7	C 487 - BP	Bioplam B8	2721	650	6400	3000	2000	1100	3750	81		26 000	18	4700
8	C 675 - BP	Bioplam B9	3767	900	7500	3000	2000	1700	3750	112		36 000	25	6500
9	-	SSF 1000/1400	4186 - 5860	1000 - 1400	prema postojecim situacijama uz navedenu površinu izmjenjivača					124 - 174		40 000 - 56 000		
10	-	SSF 1400/2000	5860 - 8372	1400 - 2000						174 - 248		56 000 - 80 000		
11	-	SSF 2000/3000	8372 - 12558	2000 - 3000						248 - 372		80 000 - 120 000		
12	-	SSF 3000/4000	12558 - 16744	3000 - 4000						372 - 496		120 000 - 160 000		

\* Kapacitet ventilatora ovisi o željenoj temperaturi zagrijanog zraka.

Izmjenjivač topline je izoliran toplinskom izolacijom. Može se postavljati na otvorenom prostoru s nadstrešnicom i podestom za čišćenje, ili u zatvorenom prostoru.

Dimenzije s osnovnim tehničkim karakteristikama razvijenih toplinskih izmjenjivača po tipovima dane su u priloženoj tablici s crtežom.

Bitni parametri izmjenjivača važni za njegov dobar rad optimizirani su i kao takvi uzeti kao osnova kod konstruiranja i dimenzioniranja. To su: raspored i razmještaj cijevi, brzine strujanja procesnih sudionika, razlika tlaka, duljina cijevi i drugi.

### 5.0 OSNOVNI DIJELOVI I TEHNIČKE KARAKTERISTIKE POSTROJENJA ZA ZAGRIJAVANJE ZRAKA

Postrojenje za zagrijavanje zraka sastoji se od ove opreme:

- linija za pripremu goriva (po potrebi),
- bunker krutog goriva,
- uređaj za doziranje goriva u ložište,
- ložišta ili predložnišnog uređaja s ložištem za plinovite produkte nepotpunog izgaranja,

- izmjenjivač topline dimni plinovi-zrak (vidi poglavlje 4.0),

- ventilator za dimne plinove,
- dimnjak,
- ventilator za zrak.

Radi povećanja toplinske djelotvornosti i zaštite okoline, uz generator topline može se dograditi, odnosno u njega ugraditi, ova dopunska oprema [1, 2, 3]:

a) Toplovodni bojler (ekonomajzer) u sklopu dimnjaka,

b) Za veće jedinice u slučaju upotrebe vlažnih goriva alternativno prema točki a) ugrađuje se fluidna sušara za dosušivanje goriva dimnim plinovima,

c) Ciklonska grupa za pročišćavanje dimnih plinova od sitnih čestica pepela.

Najvažnije dopunske tehničke karakteristike uređaja, osim onih koje su dane u priloženoj tablici na crtežu, jesu:

- ulazna temperatura dimnih plinova 800 do 1200<sup>0</sup> C
- temperatura dimnih plinova (ako nema toplovodnog ekonomajzera ili fluidne sušare) 180 do 250<sup>0</sup> C

- toplinski stupanj korisnog djelovanja  
 $\eta = 0,78$  do  $0,82$
- temperatura zagrijanog zraka prema potrebi ili želji naručioca u granicama od  $50$  do  $250^{\circ}\text{C}$

Za posebne potrebe ili zahtjeve izrađuju se izmjenjivači, odnosno nude se kompletni uređaji za zrak temperature preko  $250^{\circ}\text{C}$  (npr. za briketirnice).

## 6.0 ENERGENTI

Kao energenti u naprijed opisanim generatorima topline rabe se sve vrste drvnih (šumskih) i poljoprivrednih (kukuruzovina i slama) biomasa, tehnološki gorivi briketi proizvedeni od biomasa [5, 8], razni industrijski i komunalni gorivi otpaci, treset i slično. Vlažnost goriva (biomasa) određuje izbor optimalnog načina rada i tipa ložišta [4, 6, 11, 12, 13, 14].

Izgaranjem organske gorive tvari kod svih tih energenata oslobađa se u njima sadržana potencijalna toplinska energija. Ona iznosi oko  $18500\text{ kJ}$  ( $4418\text{ kcal}$ ) na  $1\text{ kg}$  suhe gorive tvari u nekoj količini goriva. Iskorišćenje toplinskog potencijala biomase u svakom konkretnom slučaju primjene uvelike ovisi o njezinoj vlažnosti [2, 3]. Na iskorišćenje toplinskog potencijala goriva i ekonomičnost pogona znatno se može utjecati načinom pripreme [2, 3, 5], opremanjem uređaja dodatnom opremom ili općenito koncipiranjem specifične tehnologije manipulacije, izgaranja i upotrebe energetskih sirovina gotovo za svaki uređaj, odnosno primjenu. Za utvrđivanje donje ogrjevne moći  $H_d$  tih energenata u ovisnosti o vlažnosti i sadržaju mineralnih tvari, treba se poslužiti podacima iz stručne literature [3, 6].

## 7.0 PRIMJENA

Naprijed opisani uređaji nalaze primjenu u više grana privrede i industrije:

### 7.1 U drvnoj industriji i šumarstvu:

- u sušionicama za drvenu građu;
- u tunelnim sušionicama lakirnica;
- za grijanje hala i radnih prostora;
- u linijama za briketiranje drvene biomase (kao specijalna izvedba).

### 7.2 U poljoprivredi i prehrambenoj industriji

- u sušionicama za žitarice; u sušionicama za sušenje sjemenskog kukuruza u klipu; u komornim sušionicama za sušenje voća, povrća, ljekovitog bilja, gljiva i drugih proizvoda,
- za grijanje objekata stočarskih farmi;

- za grijanje staklenika odnosno plastenika; i drugo.

### 7.3 U komunalnoj djelatnosti

### 7.4 U drugim granama industrije:

- u tekstilnoj industriji, u industriji celuloze i papira, u farmaceutskoj industriji, u industriji građevinskih materijala.

Naravno da ovakvo dobivanje toplog zraka dolazi u obzir ako se raspolože gorivim otpacima ili lokalnom biomasom.

## 8.0 ZAŠTITA OKOLINE

Radi zaštite okoline od lebdećeg pepela, kojeg ima u određenim (otpadnim) dimnim plinovima, uređaju se dodaju odvajajući (ciklonska grupa). U tom slučaju takvi se uređaji mogu podizati u urbanim sredinama i u blizini drugih industrijskih objekata. Tim uređajima ujedno se djeluje preventivno u protupožarnom smislu. Pitanje protupožarne preventive kod ugradnje generatora toplog zraka vrlo je bitno kod nekih tipova sušionica, ali se uspješno rješava baš kroz indirektni način grijanja zraka. Kod svake konkretne lokacije i primjene tom pitanju treba posvetiti nužnu pažnju.

Budući da u biomasi nema sumpora, zaštita okoline je s tog stanovišta olakšana. Stoga su takvi uređaji prikladni i za rad u urbanim sredinama i turističkim područjima gdje su kriteriji zaštite okoline stroži.

## 9.0 NEKE KARAKTERISTIKE OPISANOG UREĐAJA

U odnosu na klasične toplinske sisteme, nabrojene u poglavlju 2.0, primjena indirektnih zagrijača zraka bez posrednog toplinskog nosioca pokazuje:

### 9.1 Dobre strane:

- znatno niža investicijska ulaganja;
- visok toplinski stupanj korisnog djelovanja;
- jednostavno održavanje;
- mala inertnost sistema i stoga kraće vrijeme za postizanje nazivnog kapaciteta uređaja;
- uređaj nije pod nadzorom inspektorata parnih kotlova za posude pod tlakom;
- radnici poslužujući uređaja ne trebaju proći posebnu obuku i položiti ispite za rad s posudama pod tlakom;
- uređaj je posebno prikladan za sisteme koji rade sezonski, povremeno, s dnevnim ili tjednim prekidima, kako sa tehničkog, tako i s ekonomskog stanovišta;
- postižu se znatno niži troškovi pogona uz visoku pouzdanost uređaja u radu.

## 9.2 Nepodobnosti i loše strane:

— uređaj nije prikladan za primjenu kad su potrebne visoke ili enormno visoke temperature radnog medija za potrošača (za temp. iznad 300<sup>0</sup> C, ali za to postoje spec. izvedbe);

— razvod topline na veći broj potrošača iz jednog uređaja je otežan, tehnički neprikladan i u nekim slučajevima nemoguć.

## 9.3 Druge specifičnosti:

— kod rekonstrukcija postojećih toplinskih sistema uvođenjem ovih generatora topline istovremeno se obavi i supstitucija konvencionalnih energenata biomasaom ili drugim krutim gorivima;

— nema bojazni od havarija dijelova sistema izazvanih niskim temperaturama (pucaње zbog smržavanja);

— izbjegava se nepotrebno zaleđivanje finansijskih sredstava, npr. u poljoprivredi kod žitnih sušara velikih kapaciteta koje rade u kratkim periodima i sezonski.

### LITERATURA

- [1] \*\*\*: Argusfyr Stocker type SSF. Ložišni uređaj za izgaranje biomasa. Chlauhan Danska.
- [2] \*\*\*: »BIOPLAM«. Prospekt predložnog uređaja za izgaranje biomasa OLT Osijek.
- [3] \*\*\*: Fluidna i fluidno fontana sušara i njena primjena u drvnj, prehrambenj i procesnoj industriji. Bilten FS + FFS (04) 1983.

- [4] \*\*\*: Fluidna sušara. Prospekt.
- [5] \*\*\*: Linija za proizvodnju briketa od biomasa šumskog i poljoprivrednog porijekla. Bilten L-Bk./03 1983.
- [6] \*\*\*: Mais — Getriedestroh-Verbrennungsanlage. Chlauhan Danska.
- [7] \*\*\*: Pyrelysesystem (Piroliitički sistemi izgaranja raznih industrijskih i komunalnih otpadaka) Hoval Svicsarska.
- [8] \*\*\*: Tehnologija prerade biomasa u komponente stocene hrane, energente i sirovine. Bilten TB/01, 1983.
- [9] \*\*\*: VDI — Wärmeatlas, III izdanje. VDI-Verlag Düsseldorf.
- [10] Golik, B.: Fluidna sušionica i njena primjena u drvnjoj i procesnoj industriji. »Drvna industrija« 31 (1980), 3—4, s. 87—91.
- [11] Golik, B.: Povećanje toplinskog stupnja korisnosti industrijskih kotlovnica kod izgaranja vlažnih krutih goriva primjenom fluidne sušionice. »Drvna industrija«, 31 (1980), 11—12, s. 313—318.
- [12] Golik, B.: Linija za proizvodnju gorivih briketa iz biomasa i načini njihove upotrebe kod supstitucije naftnih derivata u proizvodnji hrane. Simpozij »Energija u proizvodnji hrane« Zagreb, 1982.
- [13] Golik, B.: Energetske racionalizacije prosušivanjem vlažnih drvnih biomasa kao goriva u drvnjindustrijskim kotlovnicama. »Sunčeva energija«, 5 (1984), 1—2, s. 27—31.
- [14] Golik, B., Viličić, A.: Tehnologija i tehnika supstitucije konvencionalnih energenata biomasaom i otpacima u proizvodnji hrane i turizmu. »Privreda« P. Komora Rijeka, 3 (1984), izv. broj, s. 58—60.
- [15] Golik, B.: Prikaz toplinske energije i toplinsko-energetske opreme na kruta goriva žitnih sušara »MONTING«. Savjetovanje »Sušenje i skladištenje žitarica«, Stubičke Toplice, 1983.
- [16] Hausen, H.: Teploperedači pri protivotoke, pramotoke i prekrasnom toke. Energoizdat, Moskva 1981.
- [17] Ražnjević, K.: Termodinamičke tablice i dijagrami. Zagreb, Školska knjiga 1975.
- [18] Rivkin, S. L.: Termodinamičke svojstva vazduha i produktova sgorenjaja topliv. Gosenergoizdat, Moskva 1962.
- [19] Rivkin, S. L.: Termodinamičke svojstva gazov. Energija, Moskva 1973.
- [20] Tešić, M.: Postupci i mašine za ubiranje, transport i manipulaciju sporednih proizvoda ratarstva. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1983.

Recenzirao: prof. dr Stanislav Sever



# MONTING

# RO

# VEMOS

**OUR TVORNICA OPREME, UREĐAJA I LINIJA ZA DEHIDRACIJU I FERMENTACIJU**

**DELNICE**, Supilova 339 ● Telefon (051) 811-145, 811-146, 811-472

Predstavništvo: ZAGREB, Trg sportova 11 ● Telefon (041) 317-700

● Telex: 21-569 YU MONT



U SURADNJI SA:

CDI — ZAGREB, Ul. 8. maja 82/II; tel.: (041) 449-107 ● PROJEKT 54 — DELNICE, Trg Maršala Tita 1; tel.: (051) 811-231

● TEHPROJEKT — RIJEKA, Fiorello la Guardia 13; tel.: 051/33-411

**za drvnu industriju projektiramo i proizvodimo:**

- sušare za drvo
- predušare za drvo
- fluidne sušare za usitnjeno drvo