

I 1543

Il.

E 102

**RAZVOJ IN KONSTRUKCIJA NAŠE UNIVERZALNE  
SUŠILNICE ZA ŽAGAN LES**

*R. Cividini*

RAZVOJ IN KONSTRUKCIJA NAŠE UNIVERZALNE SUŠILNICE ZA ŽAGAN LES

Dr.Ing.Rudolf Cividini

1. Razvojne poti gradnje sušilnic za žagan les pri nas po vojni
2. Pojem in nastanek univerzalne sušilnice
3. Opis univerzalne sušilnice
4. Nekaj karakteristik dosedaj zgrajenih sušilnic tega tipa
5. Zaključne in primerjalne pripombe

... IAGA... 101- 1625 ...

... 101- 1625 ...



... 101- 1625 ...  
... 101- 1625 ...  
... 101- 1625 ...  
... 101- 1625 ...



1. Razvojne poti gradnje sušilnic za žagan les pri nas po vojni

Po prvi naši petletki je začela naša lesna industrija napore za preusmeritev v industrijo končnih izdelkov. Odgovornim strokovnjakom je postalo jasno da je za tak razvoj ključna naprava: umetna sušilnica za žagan les. Nasprotno pa je stanje obstoječih sušilnic in tedanja praksa umetnega sušenja <sup>bila</sup> v taki meri nazadnjaška in neuspešna da ni nudila naši strokovni javnosti nobene spodbude za nadaljnje uveljavljanje te tedaj škodljive tehnike obdelave lesa v planiranju nove industrije. Spričo takega stanja je na pobudo Koordinacijske komisije pri Vladi LRS v osebi tedanjega poročevalca za lesno gospodarstvo ing. F. Rainerja bil v okvirju Instituta osnovan pod vodstvom <sup>avtorja</sup> pisatelja sektor za sušenje in toplotno obdelavo lesa z nalogo preučevanja tehnike sušenja lesa za naše prilike. Dve leti pozneje je bil osnovan tudi sektor za lesno strojništvo s konstrukcijsko pisarno pod vodstvom ing. <sup>Franja</sup> ~~Kra~~ Flacha in tako je bila organizirana <sup>ki je opravila</sup> grupa za študij in delo na tem problemu v okvirju Inštituta.

Prvi pregled obstoječih sušilnic je nudil naslednjo sliko. Od starih, pred vojno zgrajenih sušilnic smo imeli nekaj kanalskih sistema <sup>(Yelonica, Stoffa, Loh in drat v Bremen)</sup> Schilde in komorskih sistema <sup>(Trüch, Radeis)</sup> Heimpel & Bessler. V. Od novih smo imeli na razpolago importirane komorske sušilnice sistema <sup>(Nova Gorica, Cerkljica)</sup> Janka iz Češke, kanalske sušilnice sistema <sup>(Bolinjska Bistrica)</sup> Evemaskiner iz <sup>(Bolinjska Bistrica)</sup> Svedske, ter doma izdelane kopije kanalskih sušilnic sistema <sup>(Yelonica, Litratovj)</sup> Schilde izdelava tv. Toplovod v Ljubljani in kopija komorske sušilnice sistema "Moore" izdelek tv. "Ventilator" Zagreb z označbo <sup>(Logatec, na "Merila" - Slovenc Gradec)</sup> V-49. V Duplici so imeli zboljšano kopijo komorske sušilnice sistema Heimpel & Bessler, in doma konstruirano in izdelano več komorsko sušilnico za krivljene kose lesa. Očitno je bilo da so tudi te nove sušilnice bile izdelane na osnovah konstrukcij in <sup>stanja</sup> razvoje tehnike daljnje predvojne dobe in da konstrukterji in

izdelovalci niso poznali novega zlasti po II Svetovni vojni naglo se razvijajočega <sup>znanja</sup> stanja tehnike umetnega sušenja lesa in najnovejših konstrukcij sušilnih naprav.

Mnoga podjetja so imela ~~se~~ dobavljeno opremo za sušilnice sistema V-49 katero se pa spričo neuspehov teh sušilnic sploh niso upali montirati in je oprema večinoma ostala ležati v obratnih skladiščih.

Izurjenega sušilničarskega kadra ni bilo na razpolago, vsaj ne takega, ki bi bil v stanju voditi uspešno sušenje katerekoli lesa. Enako so manjkala navodila, režimi sušenja in sušilniški instrumenti. Nobena sušilnica ni imela na razpolago obratnega laboratorija.

Pred nami je torej bila povsem odprta celotna problematika umetnega sušenja pri nas. Kakšne so pa bile naše kondicije? Naša priprava je bazirala na nek~~je~~ stare prakse in nekaj nemške literature. Stara praksa spričo novega povojnega razvoja tehnike umetnega sušenja lesa ni več pomenila nič. Kvečjem je mogla pomeniti cokljo v ~~usvajanju~~ sodobnega znanja in metod. Studij razpoložljive nemške literature nas je kmalu prepričal da nam ne bo nudila potrebnega znanja. Znanje pisateljev je bilo skromno, na predvojnem nivoju, o konstrukcijah sušilnic in o vodenju sušenja je pa bilo povedano bore malo konkretnega. ~~☞~~ ~~☞~~

Tehnika sušenja je največji korak naprej naredila med II.Svet. vojno in v letih neposredno po nji v <sup>ZDA</sup> ~~SAD~~ in Angliji, v katerih deželah se je razcvetelo tudi izredno bogato zadevno publicistično delovanje. Sledila jima je ZSSR. Ta literatura nam je ostala precej časa nedostopna. Medtem pa je razvoj konstrukcij sušilnic v Nemčiji ok. leta 1950 zabeležil ogromen napredek, tako da je za evropske prilike bilo nujno tu iskati vzorcev. Nemčija kot tipična kapitalistična dežela v razvoju, je konstrukcije pri-

Leta 1952 sta nastali prvi konstrukciji naših sušilnic:

- enokomorna v Tovarni igrač v Novem Mestu in
- dvokomorna v Jugoslovanskem kombinatu gume i obuče

v Borovu.

Prva je nastala na osnovi uporabe naprav sušilnice V-49 z obrnitvijo ventilatorjev tako da so gredi ventilatorjev prišle pravokotno na vzdolžno os celice. Druga je bila projektirana na osnovi študija sušenja kopit v Sevnici. Tudi v le-tej so bili ventilatorji (lastne konstrukcije) postavljeni v zgornjem strojnem prostoru nad skladovnico lesa z gredmi pravokotno na vzdolžno os celice. Do gradnje druge sušilnice ni še do danes prišlo. Vendar obe sušilnici nista vsebovali še bistvenih elementov univerzalne sušilnice, čeprav sta bili konstruirani po povsem novih sodobnih principih. Sušilnica v Novem mestu je imela še stare neučinkovite rotorje, pri oni v Borovem so pa ventilatorji bili projektirani na osnovi totalnega pritiska  $25 \text{ kg/m}^2$  kar pomeni 2,5 kratno dejansko potrebo.

Prototip univerzalne sušilnice je nastal leta 1953 z izgradnjo trokomorske sušilnice v Slovenjem <sup>(Se. 33)</sup> Gradcu. Tu je celotni strojni agregat nameščen v strojnem prostoru v sami celici nad skladovnico lesa in vsebuje 5 aksialnih ventilatorjev ki so postavljeni tako da so jim gredi pravokotno na vzdolžno os celice.

Od leta 1953 se je gradnja sušilnic naglo razširila še v drugih smereh. Vzporedno z univerzalno sušilnico smo v Institutu naštudirali tudi konstrukcijo z bočno postavljenim strojnim agregatom po izhodiščni rešitvi Ing. Geula. Ta isti tip so razvili tudi nemška tv<sup>rk</sup>a Hildebrand in po njej avstrijska tv<sup>rk</sup>a Nitsche. Prva naša konstrukcija bočne sušilnice pri kateri sta sodelovala ing. Jelovac ter ing. Šoštarič iz "Ikarusa" je uporabila dvokrilno eliso iz litega silumina. Bila je projektirana l. 1953 za LIP

Slovenj Gradec ni pa prišlo do njene izvedbe. Pozneje je ing. Jelovac s sodelavci na osnovi te konstrukcije razvil kovinske pa tudi zidane sušilnice pri nekaterih lesnoindustrijskih podjetjih v Sloveniji in na Hrvaškem v lastni izvedbi. Mi smo po tem prešli na izvedbo "bočne" sušilnice z večkrilnim rotorjem iz litega silumina katere prototip je zgrajen v Tovarni pohištva v Brežicah. Vendar se ta konstrukcija ni širše uveljavila zaradi razvoja odnosov med našo lesno industrijo in avstrijskim industrijcem Nitschejem, ki je uveljavil pri nas Hildebrandovo izvedbo "bočne" sušilnice.

Tvrška Nitsche se je poleti 1953 leta pojavila pri nas s sušilnico na dimne pline, ki jo je uspelo uveljaviti pri LIP-ih Konjice in Nazarje ter v tovarni "Sora". Ta tip, ki ga je Nitsche s sodelavci bivše tv. Heimpel in Bessler razvil iz predvojne konstrukcije te tvrtke, katere primer smo imeli v "Peti" v Radešah smo ocenili za naše prilike splošno neustreznega ter se ni naprej razvijal. Leta 1954 se je pa Nitsche pojavil z zidano varianto Hildebrandove "bočne" sušilnice z rekonstrukcijo ene celice v sušilnici "Janka" v Cerknici<sup>(2)</sup>. Ta tip so naši industrijci maglo sprejeli zlasti s poznejšo prenosno varianto v kovinski izvedbi ter z vključitvijo tega tipa sušilnice v redni proizvodni program pri "Zičnici" v Ljubljani potom licenčne kooperacije z Nitschejem.

Danes prevladuje pri izgradnji sušilnic v Sloveniji "bočna" sušilnica po konstrukciji "Nitsche" za katere naprave po licenci konstruktorja izvaja "Zičnica" v manjši meri naša "univerzalna" sušilnica za katere naprave lahko dela vsako podjetje po naših delavniških risbah.

krivala s patentno odejo, katero proizvajalci ne odkrivajo niti pred lastnimi instituti.

Zraven vseh teh težav se je Institut znašel pred nerešljivim problemom <sup>romani kranje</sup> merilnih instrumentov, ki jih je bilo treba uvoziti. Se do danes ni uspelo Institutu nabaviti niti najnujnejšega anemometra in ne električnega vlagomera za les. Do danes smo se morali zatekati izposojevanju ali improviziranju.

④

## 2. Pojem in nastanek univezalne sušilnice

O tipih ~~in sušilnicah~~ ki se v Evropi uveljavljajo po vojni je bilo že govora v mojih prejšnjih člankih <sup>(2)</sup>. Ob začetnih korakih našega študija konstrukcij sušilnic je naša pozornost bila predvsem usmerjena k tipu sušilnice s sušilnim agregatom vgrajenim v celico <sup>nad</sup> ~~med~~ skladovnico lesa in <sup>prečnim</sup> kroženjem zraka skozi skladovnico lesa. Temu je pa povod bil obstoj velike množine opreme za sušilnice tipa V-49, ki jo je dobavila zagrebška tovarna "Ventilator", po planski distribuciji. Slabe izkušnje, ki so jih <sup>V-49</sup> s ~~to~~ sušilnicami imeli prvi njihovi investitorji po letu 1951 so povzročile pravi preplah in skepso med onimi ki ~~xxxxxx~~ še niso pristopili k gradnji ter so naprave ostale ležati in večinoma slabo vskladiščene propadati.

Kaj je bilo slabega pri teh konstrukcijah?

Predvsem je bil popolnoma neustrezno za naše razmere izbran sistem sušilnice. Bila je to kopija predvojne izvedbe sušilnice ameriške tvrtke Moor komorskega tipa, s sušilnim agregatom vgrajenim v celico nad skladovnico lesa. Kroženje zraka je bilo gnano z aksialnimi reverzibilnimi ventilatorji nasajenimi na skupno, togo vzdolžno gred. Usmerjevalne stene za zrak so bile tako oblikovane da se je v celici dobilo spiralno kroženje zraka, <sup>a</sup> ker je bila



osnovna konstrukcijska hiba sušilnice (Glej sl.1) Hiba je bila v tem da se je zrak pri kroženju zabijal iz enega konca sušilnice v drugi in so pri tem nastajali mrtvi prostori v prednjem in zadnjem delu celice. Delno se je to pri nekaterih rekonstrukcijah odpravilo s predelavo usmerjevalnih sten ventilatorjev, da bi se povzročilo povratno kroženje zraka v delovnem področju vsakega ventilatorja. Vendar je razen teh principielnih hib obratovanja sušilnica V-49 imela toliko gradbenih in konstrukcijskih hib da ni kazalo ostati pri njej. Naj naštejemo le najosnovnejše:

- Vmesni strop ki nosi sušilni agregat je bil po projektu lesen ( hrastovina). Ta strop ni bil vgrajen suh pa tudi kvaliteta lesa ni ustrezala, tako da se je že po prvih sušenjih celotna konstrukcija deformirala in do skrajnosti obremenila gred ventilatorjev. Lesena konstrukcija tega stropa je morda umestna le v sušilnici ki suši naravno predušen mehak les pri katerega sušenju ni tako velikih klimatičnih sprememb kakor pri sušenju primeroma surove bukovine.

- Strop med celicami je po projektu bil lesen in pokrit z maltom ali celo samo s plastjo ilovice. V razmeroma kratkem času je ta strop predstavljal odkrito rešeto in ni bilo več mogoče z nobenimi sredstvi regulirati klimo zraka v celici. Za slabo tesnitev celice so poskrbeli še drugi nedostatki kot slabi ometi, <sup>metena</sup> vrata, podi itd. Tako je sušilnica postala v kratkem nezasitni potrošnik pare, klimo pa ni bilo mogoče regulirati nobenim prijemom.

Drugo poglavje je hesmotrnost opreme. Od tega je vsekakor najnesmotrnejša ventilatorski agregat in predvsem rotorji, ki so s svojo navadno pločevinsko konstrukcijo z ravnimi krili imeli koristni učinek komaj do 0,2. K temu slabemu koristnemu učinku



1) Konec I. faze sušenja doseže les pri sušenju tedaj, kadar vlažnost zunanjih plasti doseže točko nasičenosti lesnih vlaken t.j. približno 30% vlažnosti; to točko v tehniki sušenja imenujemo za I. kritično točko. V večini primerov pri dovolj debelem lesu bo padec vlažnosti lesa v prečnem prerezu skozi debelino kosa parabolične oblike in sredina lesa bo še pri začetni vlažnosti. Ob tej predpostavki lahko izračunamo katera srednja vlažnost lesa ustreza I. kritični točki t.j. koncu I. faze sušenja po enačbi parabole, ki pri danih predpostavkah rezultira v formulo:

$$V_{I.kr.} = \frac{2}{3} V_z + 10 \%$$

Kjer je  $V_z$  = začetna vlažnost lesa. To seveda velja če les ima vlažnost več kot je točka nasičenosti lesnih vlaken ( $V_z > 30\%$ ). Po prednji formuli je kritična točka za 10% višja od Torgesonove. Jasno je da se bo dejansko stanje materiala ob dosegu kritične točke pri tankih sortimentih zlasti mehkega lesa približalo Torgesonovem kriteriju medtek ko bo pri debelejšem lesu obveljal kriterij zgornje formule. Ta ugotovitev je za tehniko sušenja pomembna ker tolmači zakaj se sušenje debelega lesa začne ustavljati relativno prej <sup>kot tankega</sup> pri ~~stacionarni~~ klimi zraka in iz tega izhaja pravilo, da je treba pri debelejšem lesu prvo spremembo klime napraviti po kriteriju zgornje formule, pri ~~tanke~~ pa po Torgesonovem kriteriju.

- preučiti konstrukcijske in gradbene elemente upoštevajoč popolno tesnitev in zapiranje celice,

- prilagoditev čim večje količine opreme sušilnice V-49 novi konstrukciji ter ustvaritev čim enostavnejše konstrukcije, ki bi nudila možnost izdelave največjega dela opreme v lastnih delavnicah lesno industrijskih podjetij spričo tedanjega nerazumevanja pri kovinski industriji.

Vprašanje količine zraka t.j. njega hitrosti skozi skladovnico je bilo za konstrukcijo in za ekonomiko sušenja bistveno. Hitrost pretoka zraka skozi skladovnico je eden glavnih činiteljev hitrosti sušenja. Pri poskusih se je pokazalo da pri tem največjo vlogo igra čim večja <sup>med posušenimi lesi</sup> ~~tupolena~~ <sup>zrak</sup> zrak. Zato so sušilni konstruktorji težili za vedno večjimi hitrostmi in prišli že do 15 m/sec skozi skladovnico, medtem ko so ameriški strokovnjaki vztrajali na hitrostih 2 - 3 m/sec.

Iskati matematično ~~kakršna~~ zakonitost med hitrostjo kroženja zraka in hitrostjo sušenja je bilo brez pomena, ker se odnos med temi dvema hitrostmi menja od stopnje do stopnje vlažnosti lesa. Poskušali smo se pa oprijeti naslednjih dejstev da bi pršli vsaj do približnih parametrov.

- hitrost zraka ima na hitrost sušenja odločilni vpliv le v prvi fazi sušenja, <sup>1)</sup> ki zajema po Torgesonu izgubo približno 1/3 začetne vlage lesa, <sup>2)</sup> ~~zato je treba količino zraka prilagoditi tej~~ <sup>najzahtevnejši fazi</sup> - najzahtevnejši sortiment za hitrost kroženja zraka, t.j. najhitrejše sušenje bo za naše razmere pri smrekovih deskah debelin 18 mm.

Ceprav gre v tej fazi za izparevanje proste vode ni mogoče uporabiti Bernoullijevega zakona, ker dotok vode k površini lesa ni popolnoma prost niti v tej fazi ampak je podvržen kombinaciji kapilarnih in difuzijskih zakonov. Možna je le eksperimentalna pot, ki nas je v letih opazovanja pripeljala do ugotovitev ki sledijo.

1)  
Dodajto  
na dnu  
strani  
pet.t.

Za osnovno hitrost sušenja smo vzeli čas 15 ur sušenja nominalnega materiala ki je tedaj veljal v nemški literaturi za jelove deske debele 18 mm, začetne vlažnosti 60%, ~~končne~~ <sup>končne</sup> vlažnosti 10%, srednje temperature sušenja 85°C in po normalnem režimu ~~Madisonskega~~ <sup>Madison</sup> instituta. Za preračunavanja za druge materiale in pogoje sušenja naj bi veljala znana Kollmannova razmerja.

Trajanje prve faze sušenja <sup>in obzira na prve 1/3 vode</sup> po točnem logaritmičnem odnosu je ok 3,5 ur.

Če vzamemo da naš normalni element sušilnice ima skladovnico dimenzij: dolžina 4,2 m, širina 1,5m in višina 1,8m znaša volumen lesa v tem elementu pri debelini letvic 15 mm: 5,7 m<sup>3</sup>. Specifična množina izparjene vode iz te količine lesa v I fazi sušenja je 120 kg/h. Po številnih meritvah pri poskusnih sušenjih smo za ta sortiment pri normalnem Madisonskem režimu sušenja ugotovili da prehod vode iz lesa v zrak v tej fazi sušenja znaša <sup>pri naši standardni klimi skladovnice ok.</sup> ~~v dvotirni celici~~  $\Delta x = 3$  g/kg. Pri srednji klimi zraka v tej fazi znaša potrebna količina zraka maksimalno 65 000 m<sup>3</sup>/h. Pri površini prehodov skozi skladovnico  $F = 3,34$  m<sup>2</sup> daje ta količina hitrost zraka skozi skladovnico 5,4 m/sec.

Pretočna količina zraka je različna za a) različne vrste lesa, b) debeline c) padce vlažnosti in faze sušenja.

a) Pri normalnih pogojih sušenja pri istem padcu vlažnosti lesa in pri isti debelini lesa 25 mm je primeroma količina zraka v I. fazi sušenja za smreko 50 000 m<sup>3</sup>/h za bukev pa 25 800 m<sup>3</sup>/h, torej <sup>karaj</sup> ~~niti~~ polovica

b) V tablici <sup>na str. 4</sup> in diagramu je prikazano kako se spreminjajo potrebne pretočne količine zraka in drugi podatki za eno in isto vrsto lesa, smrekovino z istimi pogoji ampak različne debeline lesa. Bukovina debeline 15 mm rabi 20 000 m<sup>3</sup>/h, bukovina debela 27 mm rabi 25 800 in bukovina debela 45 mm rabi 17 600 m<sup>3</sup>/h zraka

v fazi sušenja od 60 na 40 % vlažnosti.

c) Pri poskusnih sušenjih jelovine debele 25 mm smo ugotovili da bi po spremembah zraka na prehodu skozi skladovnico rabili zraka (diagram na št. 4):

v I fazi sušenja 43 800 m<sup>3</sup>/h

v II fazi sušenja 13 750 m<sup>3</sup>/h in

v III fazi sušenja 9 600 m<sup>3</sup>/h

To bi pomenilo da bi pri sušenju jelovine rabili v II fazi le 1/3 (32%) v tretji fazi pa le 1/5 (22,5%) one količine zraka ki jo rabimo v I fazi.

~~1) n. p. ...!~~ V enotirni celici je ugotovljena potreba 2/3 do 3/4 zgornjih količin zraka ~~... terretično ...~~

Peti. t.:

Obravnavane velikosti računamo po naslednjih obraščih.

Za normativni čas sušenja velja po poznejših naših poskusih  $\bar{C} = 22$  ur za nominalni material : jelove normalne deske debele 25 mm, začetna vlažnost 60%, končna vlažnost 10%, ostrina sušenja 3 (gradient sušenja), srednja temperatura sušenja 75°C, hitrost prehoda zraka skozi skladovnico 3,5 m/sek, deske v glavnem radialne, kvaliteta sušenja II (dobra kvaliteta vsebujoča izenačevanje in kondicioniranje ki velja za material za pohištvo, talne obloge in sploh notranjo opremo). Ta čas je ugotovljen z večletnim opazovanjem in s poskusnimi sušenji v sušilnicah naše konstrukcije in korespondira po preračunu prejšnjem nemškem podatku za deske 18 mm.

Vsi preračuni za druge pogoje se lahko opravijo po ~~pred nedavnim spopolnjenem obrazcu ki se glasi:~~

$$C_1 = C \left(\frac{t_{0,4}}{0,4}\right)^{1,5} \left(\frac{d}{25}\right)^{1,25} \cdot \overset{SLP}{0,56} \ln \frac{V_{0,2}}{V_{0,4}} \cdot \frac{0,47712}{\ln 0,4} \cdot \frac{75}{\overset{vQ}{\dots}}$$

Kjer pomenijo:

- $C_1$  = novi čas sušenja
- $C$  = normativni čas sušenja
- $t_{0,4}$  = prostorninska teža novega lesa g/cm<sup>3</sup> in  $f_t$  = faktor vrste lesa
- $d$  = debelina novega lesa mm in  $f_d$  = faktor debeline lesa

$$\bar{C} = \bar{C}_t \cdot f_t \cdot \overset{SLP}{f_{SLP}} \cdot f_{vQ} \cdot vQ$$

\* - -

Če vstaviš vse parametre nominalnega materiala  
lahko shraščtaš formulo v obliki:

$$C = 1,42 C_1 \frac{t^{1,5} d^{1,25} 5 L D V_2 V_Q}{V_2 L n O}$$

Vendar se namreči če formula bolj izteče  
uporaba tabel.

Pod irto u 2) Kollmannova formula;  
str. 9

$$C = \frac{1}{\alpha} (\ln u_z - \ln u_k) \left(\frac{d}{S}\right)^n \frac{65}{t}$$

ne prenese več kritike da ji manjka cela vrsta parametrov, zlasti vpliva klime in hitrosti zraka. Če je ona v časih porajanja tehnologije sušenja pomenila začetni korak v determiniranju časa sušenja, danes iščemo pri tehničnem normiranju storilnosti sušilnice že uvrstitev vseh bistvenih činiteljev časa sušenja. Danes je jasno da je realno edinole primerjalno računanje časa sušenja



z upoštevanjem vseh izmenjalnih faktorjev. Osnova računa torej mora biti eno modelno sušenje s točno definiranimi vsemi činitelji ki rezultira normativni čas sušenja. Za vsak nov primer sušenja, ki bi imel izpremenjene faktorje računa se čas po prej omenjené formuli ki upošteva 10 osnovnih činitelje in sicer:

- 1) vrsta lesa, 2) debelina lesa, 3) širina lesa, 4) dolžina lesa, 5) del hloda iz katerega so izžagane deske (sredinske ali bočne deske), 6) začetna in končna vlažnost lesa, 7) temperatura sušenja, 8) ostrina sušenja (relativna vlaga zraka), 9) hitrost prehoda zraka skozi skladovnico lesa, 10) kvaliteta sušenja z ozirom na namen lesa.

V kratkem podajamo naše kriterije računanja spreminjevalnih faktorjev. Naš normativni čas sušenja je 22 ur in velja za zgornje faktorje.

Razmerja so naslednja:

- 1) Vrsta lesa se kot spremenljivi faktor še vedno najenostavneje reprezentira v razmerju volumenskih ali nominalnih tež. Funkcija razmerja je potencialna in se lahko izrazi z :

$$f_v = \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^n \quad \text{ali} \quad \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^n$$

kjer pomenijo:

$t_1$  in  $t_2$  - volumenska teža primerjalnih materialov

$d_1$  in  $d_2$  - nominalne teže primerjalnih materialov

Čas sušenja je torej sorazmeren potenci teže lesa. Za to potenco je Kollmann sukcesivno predlagal številke 1,25 do 1,5 in končno po nordijskih avtorjih (Tuomolla) 1,7 za razmerje volumenskih tež. Mi smo našli da veljajo potence 1,25 do 1,5 le v primerih če posebej upoštevamo režim sušenja odnosno klimo zraka kot spremenjevalni faktor, kar pa Kollmann upošteva le generično v svojem koeficientu  $\alpha$ . Če različne klime zraka, ki so tudi

spremenljive po vrstah lesa upoštevamo v faktorju vrste lesa smo našli da se  $n$  giblje med 2,4 in 2,8 pri volumenskih težah ali med 2,8 in 3,2 pri nominalnih težah.

V naši primerjalni formuli smo vzeli za smrekovino  $t = 0,4 \text{ g/cm}^3$  in za  $n = 1,5$  ker posebej upoštevamo ostrino (klimo) sušenja.

2) Enako kot s težo lesa je čas sorazmeren z določeno potenco debeline lesa. Tudi v tem faktorju smo odstopili od Kollmannovega splošnega eksponenta  $n = 1,5$  in vpeljali:

$n = 1$  za debelino do 25 mm

$n = 1,25$  za debelino med 25 in 50 mm in

$n = 1,5$  za debelino nad 50 mm

V naši primerjalni formuli za čas sušenja se ta faktor pojavlja v obliki

$$f_d = \left( \frac{d_1}{25} \right)^n$$

ker smo vzeli nominalni čas na nominalno debelino 25 mm.

6) Za spreminjevalni faktor začetne in končne vlažnosti lesa smo zadržali znani Kollmannov odnos :

$$f_{vl} = \frac{\ln V_{1z} - \ln V_{1k}}{\ln V_z - \ln V_k}$$

ki v našem primeru <sup>nominalnega materiala</sup> začetne vlažnosti 60% in končne 10 % dobi obliko

$$f_{vl} = 0,56 \ln \frac{V_z}{V_{1k}} \quad \text{ali}$$

$$f_{vl} = 1,28 \lg \frac{V_z}{V_{1k}}$$

7) Temperatura sušenja kot spreminjevalni faktor sušenja pojavlja se v obratnem linernem sorazmerju in menimo da je dovolj natančno če vzamemo enostavno linearno razmerje samih temperatur torej:

$$f_t = \frac{t}{t_1}$$

Ker v primeru naše formule imamo uračunano temperaturo 75°C je naš  $f$  temperaturni faktor:

$$f_t = \frac{75}{t_1}$$

8) Za uvrstitev relativne vlage zraka odnosno ostrine sušenja v račun kot faktorja časa sušenja doslej niso našli ustrezne sprejemljive, predvsem ne enostavne oblike. V naši primerjalni formuli smo uporabili razmerje ki menimo da je lahko splošno sprejemljivo

$$f_o = \frac{\ln V - \ln \frac{V}{o}}{\ln V - \ln \frac{V_1}{o}}$$

Če bi sušenje lesa potekalo po enostavnem zakonu izparevanja proste vode, bi se faktor vpliva spremembe relativne vlage zraka na čas sušenja v končni obliki lahko izrazil z obratnim sorazmerjem psihrometričnih diferenc. Pri žaganem lesu pa kot vemo kmalu po začetku sušenja preide kapilarno gibanje proste vlage v kombinirano difuzno gibanje, ki se bolj in bolj zavira, tako da funkcija sušenja dobi logaritmično obliko (ekspomencialno). Po nedavnih raziskovanjih (Tuomole, Tuttle) lahko sklepamo, da je sušenje proporcionalno logaritmični diferenci med začetno vlago in ravnotežno vlago (vlago higroskopskega ravnotežja) lesa. Za odnos med časi sušenja bo veljalo nasprotno in za to lahko pišemo:

$$f_o = \frac{\ln V_z - \ln V_r}{\ln V_2 - \ln V_{r1}}$$

Težava pri uporabi te formule je v tem da pri sušenju žaganega lesa ne operiramo s stacionarno klimo temveč jo menjamo sledeč padcu vlage lesa. Iz tega bi sledilo da bi ta faktor morali računati za svako stopnjo padca vlage lesa posebej. Enako

bi morali tudi osnovni čas sušenja deliti na stopnje. Računanje časa sušenja bi torej terjalo seštevanje zneskov časov in vlažnostnih faktorjev po stopnjah:

$$C = c_1 f_{o1} + c_2 f_{o2} + \dots + c_n f_{on}$$

kjer je  $n \geq 6$ . Jasno je da v praksi tako računanje ne pride ~~do~~ ~~upoštevanja~~.

Keylwerthov pojem depresije sušenja, ki smo jo <sup>pri nas</sup> imenovali "ostrino" sušenja ter princip konstantne ostrine sušenja med celotnim potekom sušenja dovoljuje poenostavitev postopka:

Po definiciji je:

$$V_r = \frac{V}{O}$$

V vsaki vlažnostni stopnji lesa pa je:

$$V = V_z$$

ter po uvrstitvi dobimo

$$f_o = \frac{\ln O}{\ln O_1} \quad \text{ali v našem primeru} \quad \frac{0,47712}{\ln 0,1}$$

Ker so ostrine sušenja stalne med celim potekom sušenja velja tako izračunan  $f_o$  za celotni čas sušenja. Če smo proti koncu sušenja spremenili ostrino, ne menja nič na stvari, ker manjše razlike v relativni vlagi zraka v tretji (zadnji) fazi sušenja nimajo bistvenega vpliva na čas sušenja.

9) Zelo težko je določiti enostavno pravilo za odnos med hitrostjo zraka in hitrostjo sušenja ker v ta odnos zajemajo mnogi činitelji kot: vrsta lesa, debelina lesa, širina skladovnice, temperatura, pred vsemi pa faza sušenja. Hitrost zraka, kot vemo ima pretežno vlogo pred vsemi ostalimi činitelji v prvi fazi sušenja; njegova vloga pada z vlago lesa in v tretji fazi lahko rečemo da njegova vloga daleč zaostaja za temperaturo sušenja, ki tedaj dobi daleč predominantno vlogo nad vsemi ostalimi. Poskus reševanja tega

vprašanja na osnovi Bernoullijeve relacije (Vorreiter) se je pokazalo praktično nerealno ravno razadi spredaj omenjenega menjanja vpliva hitrosti zraka z menjanjem vlage lesa. Danes je tudi jasno da pretiravanja s hitrostmi zraka kmalu zadenejo na ekonomsko mejo s tem nižjo čim debelejši in trši je les. Nasprotno mnoga raziskovanja so pokazala da so ekonomske meje kmalu nad mejami prehoda hitrostne meje iz laminarnega v turbulentno gibanje. Jasno je tudi to da je meja med laminarnim in turbulentnim gibanjem zraka pri brzinah med 1,5 do 2 m/sek ter pod te meje ne kaže iti v nobeni fazi sušenja. Za namene praktičnega računanja uporabljamo na osnovi naših opazovanj naslednjo primerjalno tablico koeficientov hitrosti zraka ( $f_v$ ):

Hitrost zraka m/sek	1,5-2	2 - 2,5	2,5-3,5	3,5-6	6 - 10
Mehek les	1,2	1,1	1	0,77	0,67
Trd svež les	1,1	1	0,9	-	-
Trd predsušen les	1	0,9	-	-	-

Zaradi omejitve vplivov tega faktorja danes težimo za projektiranjem specialnih sušilnic za dane primere, ali pa za konstruiranjem tvz. univerzalnih sušilnic, pri katerih je dana možnost menjanja hitrosti kroženja zraka skozi skladovnico lesa, kot je to pri obravnavani naši konstrukciji.

3) Odnos širin nasproti debelinam lesa ima znaten vpliv zaradi sodelovanja stranskih površin v procesu sušenja. Mi smo ga po ruski empiriji prilagodili našim razmeram in zozili v vsega 5 faktorjev  $f_s$ :

Razmerje med širino in debelino lesa	1,0-1,3	1,4-2	2,1-4,0	4,1-7	7,1-15
Koeficient širine	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2

4) Enako smo empirično zajeli vpliv dolžine ( $f_d$ ) z 1 za normalne dolžine, 0,75 za kratice in 0,6 za frize in ostale zelo kratke kose ter

5) položaj desk ( $f_p$ ) v hlodu za ~~radialne~~ radialne in za tangencialne 0,9.

10) Kvaliteto sušenja ( $f_q$ ) smo za preračunavanje časa sušenja zajeli v 4 stopnjah:

I. stopnja; brezhibna kvaliteta ki obvezno vključuje operacije izenačevanja in kondicioniranja z gradientom vlage največ 1% na 1" debeline. Obvezna je za les, ki se uporablja v aeronavtičnih konstrukcijah in zahtevnih plovnih objektih, glasbenih instrumentih, modelih za oblikovanje, strojnih delih, športnih potrebščinah, utenzilijah itd. Koeficient te stopnje je 1,3 do 1,5.

II. stopnja; dobra kvaliteta, ki vključuje operacijo izenačevanja in za debelejšše trde lesove tudi operacijo kondicioniranja. Ta stopnja sušenja velja za les v pohištvu, talnih oblogah, v notranji uporabi, karoserijah itd. Koeficient te stopnje je 1.

III. stopnja: normalno sušenje brez izenačevanja, za debelejšše trde lesove pa vključuje operacijo izenačevanja. Uporablja se najostrejši režim in temperatura sušenja ki je dopusten za obravnavano vrsto lesa. Ta stopnja je uporabna za les v stavbnem mizarstvu, tovornih vozilih vseh vrst, poljedelskem orodju in strojih itd. Koeficient te stopnje je 0,9.

IV. stopnja; forsirano sušenje z režimom za stopnjo ostrejšim od onega, ki se priporoča za obravnavano vrsto in z najvišjo za to vrsto še dopustno temperaturo. Pri mehkih lesovih in naravno predsušeni trdih lesovih je dopustno visokotemperaturno sušenje (najbolje v pregreti pari). Ta kvaliteta sušenja je dopustna za les v nekaterih vrstah ambalaže, barakah in montažnih hišah, v sredicah, mizarških ploščah itd. Koeficient te stopnje je 0,7-0,8.

.....

$S_{f_{sp}}$  = faktor razmerja med širino in debelino lesa novega sortimenta (podan tabelarno)

$V_{42}$  = začetna vlažnost novega materiala % }  $f_{fv}$  = faktor vlažnosti novega materiala

$V_{fk}$  = končna vlažnost novega materiala % }  $f_{fv}$  = faktor vlažnosti novega materiala

$O_{n}$  = nova ostrina sušenja in  $f_{o}$  = faktor ostrine sušenja

$T_{n}$  = nova temperatura sušenja in  $f_{t}$  = faktor temperature sušenja

$v$  = faktor hitrosti zraka pri novem sušenju

$Q$  = faktor kvalitete novega sušenja

$L$  = faktor dolžine novih kosov lesa

$P$  = faktor položaja desk v hlođu.

L glij milogo

\*

Množina vode ki se izpari iz lesa pri začetni vlažnosti nad točko nasičenosti lesnih vlaken računa se po obrazcu:

$$M = N \cdot V \cdot k \text{ /kg/}$$

in specifična množina vode:

$$m = \frac{M}{C^v} \text{ / kg/h/}$$

kjer pomenijo:

N = nominalna teža lesa kg

V = vlažnost lesa v decimalkah

k = količina lesa m<sup>3</sup>

Količina lesa v celici računa se po obrazcu:

$$K = l \times \hat{s} \times h \cdot f_p \cdot \frac{d}{d + \delta}$$

kjer pomenijo:

l = dolžina skladovnice lesa m

$\hat{s}$  = širina skladovnice lesa m

h = višina skladovnice lesa m (čista)

$f_p$  = faktor izpolnitve površine ki za robljen enodolžinski les znaša 0,95, za neobrobljen, reznodolžinski les pa 0,75

d = dejanska debelina lesa

$\delta$  = debelina letvic ki znaša ~~za sortimente 15, 18, 24 mm, letvice 15 mm~~

za sortimente 15, 18, 24 mm, letvice 15 mm

za sortimente 28, 40 mm, letvice 20 "

za sortimente 45-75 mm, letvice 25 "

za sortimente 75 mm, letvice 30 "

Pod robno glij milogo!

Potrebna količina zraka za pretok skozi skladovnico je:

$$V_{zr} = \frac{m}{\Delta x} v_{zr} \quad / \text{ m}^3/\text{h}/$$

kjer pomenijo:

$m$  = specifična množina vode /kg/h/

$\Delta x = x_v - x_i$  = sprememba absolutne vlage zraka na prehodu skozi skladovnico lesa v kg

$v_{zr}$  = specifični volumen zraka pri srednji klimi zraka na prehodu skozi skladovnico /  $\text{m}^3/\text{kg}/$ .

Podatke za  $\Delta x$  in  $v_{zr}$  dobimo iz  $i-x$  diagrama na osnovi podatkov o klimi zraka. Za prikazane rezultate uporabil sem podatke opazovanj "suhih" in "mokrih" temperatur v sušilnicah naše konstrukcije na vstopu v in izstopu iz skladovnice.

Hitrost pretoka zraka skozi skladovnico računa se po obrazcu:

$$v = \frac{V_{zr}}{F \cdot 3600} \quad / \text{ m}/\text{sek}/$$

kjer pomenijo:

$V_{zr}$  = količina pretočnega zraka / $\text{m}^3/\text{h}/$

$F$  = površina prehodov skozi skladovnico ki se računa po obrazcu:

$$F = l_c \cdot h \frac{820}{d + \delta}$$

tukaj  $l_c$  pomeni celo notranjo dolžino celice /m/

Dejansko se razlike v porabi zraka zmanjšajo, t.j. spodnje meje se znižajo če upoštevamo to kar vemo iz teorije o mejnih plasteh pri zračnem toku, ker brzina zraka bi ne smela pasti pod mejo turbulence, t.j. pod 1,5 - 2 m/sek.

Pri visokotemperaturnem sušenju t.j. pri sušenju s temperaturami nad  $100^\circ\text{C}$  imamo posebne pogoje. Ločiti moramo 3 vrste visokotemperaturnega sušenja:



- a) z mokro temperaturo pod  $100^{\circ}\text{C}$
- b) z mokro temperaturo  $100^{\circ}\text{C}$
- c) sušenje v malo pregreti čisti pari

Dokler v primeru a) igra količina pretočnega zraka bistveno vlogo na hitrost sušenja kakor pri normalnotemperaturnem sušenju, pri drugih dveh vrstah sušenja nima tako odločilnega pomena *za* hitrost sušenja ter so različni raziskovalci opetovano ugotovili kot zgornjo ekonomičnost ~~xxx~~ mejo hitrosti zraka (pare) s 3 m/sek. Razlog temu je dejansko vretje vode v celi notranjosti lesa. V tem je tudi glavni element ugodnega ekonomskega efekta vrst sušenj *pred* b) in c).

Po naših opazovanjih za  $1\frac{1}{4}$  mm jelove deske rabimo pri visokotemperaturnem sušenju vrste a) v prvi fazi sušenja ok.  $70\ 000\ \text{m}^3/\text{hek}$  zraka kar je ok. 10% več kot pri normalnotemperaturnem sušenju t.j. z visokotemperaturnim sušenjem se bistveno ne zviša poraba zraka.

Kakor koli vzamemo, vse indikacije kažejo da tudi sušilnica za en sam sortiment bi morala imeti možnost menjanja količine obtočnega zraka. S tem bolj to velja za unive<sup>z</sup>alno sušilnico. *(LIP Pannete LIP-a Slovny Gradec)* že pri prvih konstrukcijah sušilnic ~~Lip Pameče~~ poskušali smo rešiti to nalogo z neparnim številom ventilatorjev, ki naj bi se simetrično vključevali odnosno izključevali iz obratovanja pri menjanju zahtev po količini obtočnega zraka v toku sušenja. V letih ~~xx~~ študijskega in konstrukcijskega udejstvovanja prišli smo končno do lastne štandardne konstrukcije ventilatorja z optimalnim področjem delovanja pri dobavi  $18\ 000$  do  $20\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$  zraka. Na 4 meterski element sušilnice postavljajo se 3 ventilatorji, na 2 elementa, 5 ventilatorjev, na 3 elementa (12 m dolžine) 7 ventilatorjev na itd. Količine zraka torej variirajo na 4 meterski

element sušilnice med 32 000 in 60 000 m<sup>3</sup>/h zraka.

Drugi problem pri dobavi zraka je bil ugotoviti padec pritiska zraka na poti od izstopa do vstopa ventilatorja, ker je to bistveni element za konstrukcijo in ekonomičnost ventilatorja. Omenjene konstrukcije računale so z 25 - 30 kg/m<sup>2</sup> totalnega padca tlaka. Tako nanesejo tudi aerodinamični računi. <sup>Pri</sup> Natančne <sup>in</sup> meritve <sup>ah</sup> v sušilnicah, ki smo jih opravili v sodelovanju s strokovnjaki Instituta za turbinske stroje v novejših sušilnicah smo dognali da so padci pritiska 8-10 kg/m<sup>2</sup>, nikjer celo niti s hladnim zrakom padci pritiska ne prekoračujejo 11 kg/m<sup>2</sup>. Tako smo prišli do povsem določenih elementov za konstrukcijo standardnih ventilatorjev.

Padec pritiska računali smo po obrazcu:

$$P_{tot} = \epsilon_{\Delta p_{tr}} + \epsilon_{p_s} + \frac{\rho v^2}{2g}$$

Kjer pomenijo:

$p_{tr}$  = padec tlaka na ravnem pretoku *vred bronje*

$p_s$  = posamezni upor

$\frac{\rho v^2}{2g}$  = dinamični upor

Moč ventilatorja računamo po obrazcu.

$$N = \frac{V \cdot P_{tot}}{\eta \cdot 3600 \cdot 102} \quad \text{kW}$$

Kjer pomenijo:

$V$  = količina zraka m<sup>3</sup>/h

$P_{tot}$  = totalni pritisk ventilatorja kg/m<sup>2</sup>

$\eta$  = koristni učinek ventilatorja v decimalkah

Tudi problematika grelcev se je pokazala obširno zlasti v zvezi z izredno širokim diapazonom nihanja porabe toplote. V študij smo predvsem seveda <sup>✓</sup> vzeli parne grelce. Kot izhodišče smo morali upoštevati dve dejstvi:

- da so obstojali grelci za sušilnice V-49, ki jih je bilo treba poskušati koristno uporabiti in

- treba je bilo poiskati konstrukcijo grelca odpornega proti koroziji čim enostavnejše ~~zgradbe~~ sestave tako da se omogoči izdelovanje istih v lastnih delavnicah lesno industrijskih obratov.

Kakor pri porabi zraka tako pri porabi toplote obstojajo ogromne razlike po vrstah in debelinah ter po fazah sušenja. V tehnološkem procesu sušenja imamo 3 oblike porabe toplote in sicer:

- a) za segrevanje <sup>sušilnice</sup> lesa <sup>in opreme</sup>
- b) za toplotne izgube na transmisiji <sup>skozi</sup> stene sušilnice in
- c) za izparjenje vode iz lesa.

Pod toploto segrevanja se računa seštevek količin toplote potrebnih za: segrevanje ledu, vode, suhe lesne snovi, zraka, zidu in opreme od začetne temperature do temperature sušenja ter za odtajanje ledu v lesu. Ker je čas potreben za segrevanje časovna izguba v tehnološkem procesu segrevanja, tehnika sušenja gre za tem da ta čas skrajša na minimum. Diagram na Sl.5 prikazuje časovno specifično porabo toplote za segrevanje zmrznjene jelovine in <sup>in bukovine</sup> s 3 različne stopnje <sup>začetne</sup> vlažnosti. Začetna temperatura lesa je  $-10^{\circ}\text{C}$ . Končna temperatura segrevanja pri smrekovini je  $100^{\circ}\text{C}$ , pri bukovini  $80^{\circ}\text{C}$ . Namesto MacLeanovega zakona poslužili smo se za hitrost segrevanja praktičnega podatka 1 h/1 cm debeline lesa. Diagram na Sl.6 predstavlja menjanje specifične porabe toplote za segrevanje sušilnice z jelovino debeline 25 mm začetne vlažnosti 80% na končno temperaturo segrevanja  $100^{\circ}\text{C}$  pri zunanjih temperaturah od  $-20^{\circ}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$ . Kakor koli

bile spremenljive porabe toplote pri segrevanju nimajo praktičnega pomena za določitev kapacitete grelca, ker primanjkljaj toplote med porabo in oddajno kapaciteto grelca lahko krijemo v tej najvlažnejši fazi sušenja z dodajanjem pare v prostor sušilnice ne celice z razpršilcem pare.

Toplota potrebna za izparevanje vode iz lesa se menja s hitrostjo sušenja t.j. z menjanjem količine vode ki se izpari v časovni enoti v manjši meri pa še od stanja zraka. Specifična poraba toplote za izparevanje je torej obratno sorazmerna debelini lesa, njegovi prostorninski teži in dobi sušenja, sorazmerna je pa z začetno vlažnostjo lesa in temperaturo sušenja.

Toplotne izgube zaradi transmisij skozi stene, tla in strop sušilnice menjajo se z letno dobo in s temperaturo sušenja.

Izgube so torej v obratnem sorazmerju z zunanjo temperaturo sorazmerne pa z notranjo temperaturo v sušilnici. Na diagramu Sl. 7 prikazana je specifična poraba toplote na izgube pri sušenju 25 mm debele jelovine pri srednji temperaturi  $90^{\circ}\text{C}$  pri različnih zunanjih temperaturah od  $-20^{\circ}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$ . Diagram na Sl. 8 prikazuje toplotne izgube pri stalni srednji zunanji temperaturi  $+10^{\circ}\text{C}$  in različnih temperaturah sušenja od  $40 - 120^{\circ}\text{C}$ .

Kapaciteta grelca mora biti enaka maksimalnemu seštevk

porabe toplote za izparevanje in transmisijske izgube. Ta seštev

vek je s tem večji s čim manjša je prostorninska teža lesa, s čim tanjši je les in čim višja je začetna vlažnost lesa. Z napredovanjem sušenja pada poraba toplote za izparevanje, raste pa poraba za transmisijske izgube. Ker pa je slednji absolutno in relativno dosti manjši je njih seštev

ek največji v dobi maksimalnega izparevanja, t.j. na začetku sušenja. Tudi pri grelcu se torej pojavlja za umestno projektiranje grelca od primera do primera z ozirom na najzahtevnejši material, ki se bo predvidoma

*(Poraba toplote na izparevanje ni treba upoštevati, ker se za to dobljena para poraba toplote za izparevanje in transmisijske izgube. Ta seštev*

*Toplota, ki se porabi na izparevanje vode je največja v začetku sušenja*

*(kapaciteta)*

*ni treba upoštevati zaradi*

trajno sušil v projektirani sušilnici.

čim različnejši je material, ki se bo v projektirani sušilnici sušil s tem širše bo območje nihanja porabe toplote, kar pomeni da moramo računati z reguliranjem oddaje toplote. Za to obstojata dve možnosti in sicer a) delitev grelca na več baterij ali b) dušenje dotoka pare. Ni dvoma da je z vseh stališč najugodnejši prvi način. Vendar je njegova smotrnost neoporečna le pri konstantni pari <sup>(bolj eni in pristiški)</sup> in konstantnem (enakomernem) materialu. Če delimo grelec na dve bateriji imamo možnost dosega 3 različnih oddajnih količin, kar je praktično dovolj za sušenje mehkega lesa ene debeline. Delitev grelca na 3 baterije odpira možnost 7 kombinacij in s tem 7 različnih sušilnih temperatur kar bi razširilo področje uporabe na ~~na~~ različne sortimente, vendar za navadnega sušilničarja izbira kombinacij postane prekomplicirana. Razen tega se potreba ventilov šestkratno poveča. Navzlic temu anglosaški konstruktorji se trdno držijo tega sistema, za kar sodim da je vzrok enakomernost velikih količin <sup>materiala</sup> /v eni in isti sušilnici. Dejstvo pa je da tudi naši konstruktorji so bolj dostopni nemški tehnični miselnosti kot anglosaški. Nemška tehnična miselnost pa odločno vstraja <sup>nitenu</sup> pri dušenju dotoka ~~xxxxx~~ pare. Pri dušenju dotoka pare se nasproti enostavnosti prijema postavlja delna ohladitev daljšega grelca in nezanesljivost ter neumerjenost dušilnega ventila. Vendar <sup>so konstruktorji</sup> smo do danes dosledno ostali pri sistemu dušenja.

Nadaljnja naloga uporabe obstoječih grelcev predstavljala je projektivni problem v nepoznavanju prehodnega koeficienta za toploto, vendar se je praktično izkazalo da je njihova kapaciteta kot so bili zamišljeni postavljeni obojestransko prekomerno zadoščala za vse primere sušenja.

Na razpolago so bile grelne baterije t.j. lamelni grelci sestavljeni po skici na Sl. 10 z nataknenimi štirioglatimi lame-

lami ali po skici na Sl. 11 s spiralno navitimi lamelami.

Pri obstoječih grelcih je bilo treba rešiti še enakomerno dodeljevanje pare da bi se dosegla enakomerna temperatura vzdolž celice. Tu smo se poslužili največkrat zaporednega odvzema pare iz ene edine cevi ki je obkrožila celico po shemi na Sl. 12a) ali

*Pr sistem alterniranih vstopov kot je na shemi Sl. 12b).*  
Slednja zanimivejša naloga je bila študij konstrukcije novega grelca z upoštevanjem možnosti lastne izdelave in čim lažje borbe proti koroziji. Ta problem je naraščal s postopnim osvajanjem znanja o tehnološkem procesu sušenja s prehajanjem k vse višjim temperaturam sušenja in z razširjanjem tehnike umetnega sušenja od dosušenja zračno sušenega mehkega lesa na sušenje surove bukovine in hrastovine. Medtem ko pri dosuševanju mehkega lesa problema korozij skorajda nismo poznali je hitro propadanje železnih lamelnih grelcev zlasti pri sušenju surove bukovine terjalo nujnih ukrepov. Zaščita obstoječih grelcev s ponovnim pocinkanjem se je pokazala neučinkovito, ker je para ki se izloča zlasti iz surove bukovine vsebovala tudi pare organskih kislin ki so s svojimi prostimi H-ioni razkrajali cink v beli prah - cinkov oksid. *tudi pri mas* Kmalu po Nemcih smo se oprijeli uporabe aluminija in izdelave aluminijskih spiralno lamelnih grelcev. Vendar pri le-teh zasledimo gotove nedostatke kot so:

- če čistoča aluminija ni vsaj 99,8% se obnašajo kot železni, taka čistoča pa v naši produkciji ni vselej garantirana,

- prirobnični stiki z železnimi cevmi so preobremenjeni vsled neenakih dilatacij,

- vsak posamezni grelec je neenako segret zlasti pri dušenju dotoka pare kar povzroča precej neenakomerne temperature vsled koncentracije ogrevalnih površin na razmeroma majhne ploskve.

- vzdrževanje in čiščenje lamelnih grelcev je izredno težko. Grelec sestavljen iz *golič* zaporedno vezanih Mannesmanovih cevi nam je

prinesel najenostavnejšo in najsmotrnejšo rešitev te problematike. }

Računsko lahko pridemo do množine porabe toplote in pare po termodinamičnih zakonih ki smo jih aproksimizirali takole:

$$Q = Q_{gr} + Q_{izp} + Q_{izg} \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{in } E = Q / \Delta i \dots \dots \dots (12)$$

kjer pomenijo:

Q = celoletna poraba toplote sušilnice kcal

Q<sub>gr</sub> = celoletna poraba toplote za segrevanje materiala in zraka

Q<sub>izp</sub> = celoletna poraba toplote izparjene vode iz lesa kcal

Q<sub>izg</sub> = celoletne izgube toplote kcal

E = celoletna poraba pare kg

Δi = količina toplote ki jo odda 1 kg pare v grelcu na zrak.

Toploto segrevanja računam iz formul za segrevanje ledu, vode, suhe lesne snovi, zraka, zidu, za odtajanje ledu itd. po naslednji aproksimativnih formulah:

Za temperature pod ničlo:

$$Q_{segr\ 1} = S N \left\{ 0,69(t_c - t_o) + \frac{V_z - 30}{100} / 0,5(-t_o) + 80 + t_c / \right\} + \\ + \frac{1}{n_1} V_c / 7,2 + x_c (595 + 0,46 t_c) / + 0,3 T_{opr} (t_c - t_o) \dots \dots (13)$$

Za temperature nad ničlo:

$$Q_{segr\ 2} = S N (t_c - t_o) (0,387 + \frac{V_z}{100} + \frac{1}{n_2} V_c / 7,2 + x_2 (595 + \\ + 0,46 t_c) / + 0,3 T_{opr} (t_c - t_o) \dots \dots \dots (14)$$

Kjer pomenijo:

S = količina lesa v skladovnici m<sup>3</sup>

N = nominalno število lesa kg/m<sup>3</sup>

t<sub>c</sub> = temperatura na katero segrevamo les in celico

t<sub>o</sub> = temperatura zunanjega zraka

V<sub>z</sub> = začetna vlažnost lesa (višja kot 30%)

n<sub>1</sub> = število sušenj v dneh z negativnimi temperaturami

n<sub>2</sub> = število sušenj v dneh s pozitivnimi temperaturami

$V_c$  = volumen zraka v celici  $m^3$

$x_c$  = absolutna vlaga zraka kg/kg

$T_{opr}$  = teža kovinske opreme (vozički, tiri, vrata...) kg

Do zgornjih izrazov smo prišli iz osnovnih, doslej objavljenih, z naslednjimi aproksimacijami.

Ni upoštevana količina zraka ki jo vsebuje les. Letvice so vzete v količini 4% od količine lesa, z vlažnostjo 8% in iz mehkega lesa. Za zrak smo vzeli kot poprečno specifično težo  $1 \text{ kg/m}^3$ . Izraz za segrevanje sem poenostavil do skrajne možne mere s tem da sem vzel da je začetna temperatura zraka v celici enaka temperaturi segrevanja ter da je absolutna vlaga zraka v začetku segrevanja izredno majhna. Če tako vzamemo ~~XXXXX~~ dejansko moramo zrak samo navlažiti, da ga iz stanja absolutne vlage  $x_1$  pripeljemo v stanje  $x_2$  ki ustreza relativni vlagi zraka 90 - 95%. Segrevanje zidu stropa in poda odpade po isti predpostavki začetne temperature. To pa je v skladu s tehniko sušenja, ker pri hlajenju ne gremo s temperaturo več kot  $30^\circ\text{C}$  pod zadnjo temperaturo sušenja, ki pa je v primerih obravnavanih vrst isto toliko nad temperaturo segrevanja.

Končno predpostavljamo da je začetna vlažnost lesa nad točko zasičenosti lesnih vlaken in da je vlažnost te točke ok. 30%. Če je ta vlažnost nižja od 30% v lesu ni ledu pa dobimo en sam izraz (druga formula), vendar bi v tem primeru nominalno število  $N$  morali zamenjati z reducirano težo suhe lesne snovi pri dotični vlažnosti, kar pa nima posebnega praktičnega pomena.

Toplota za izparevanje vode se lahko aproksimativno računa za eno sušenje ene vrste materiala:

$$q_{izp} = M \left( \frac{i_2 - i_0}{x_2 - x_0} + 60 - t_{mat} \right) \dots \dots \dots$$
$$M = sN \frac{V_z - V_k}{100}$$



Če nimamo pri roki i-x diagrama lahko aproksimiziramo na izraz:

$$q_{izp} = M \left[ \frac{0,24 (t_z - t_o)}{x_2 - x_o} + 60 - t_{mat} \right]$$

Kjer pomenijo:

- M = množina vode ki se izpari, kg
- $i_o$  = srednja entalpija zunanjega zraka za dneve ko se suši dotični material kcal/kg.
- $i_2$  = srednja entalpija iz celice izhajajočega zraka kcal/kg
- $x_o$  = srednja absolutna vlaga zunanjega zraka g/kg
- $x_2$  = srednja absolutna vlaga iz celice izhajajočega zraka ~~za dneve ko se suši~~ dotični material g/kg
- $t_{mat}$  = srednja temperatura materiala °C
- s = količina enorodnega materiala ki se suši po enem režimu sušenja m<sup>3</sup>
- N = nominalno število materiala kg/m<sup>3</sup>
- $V_z$  = srednja začetna in  $V_k$  = srednja končna vlažnost materiala ki se suši po enem režimu %
- $t_2$  = srednja temperatura iz celice izhajajočega zraka °C
- $t_o$  = srednja temperatura zunanjega zraka v dneh ko se dotični material suši °C.

Faktor 60 je aproksimativno vzeta toplota ki je potrebna da se razbije zveza med vodo in lesom, se pa lahko računa po znani Katzovi formuli. Od tu je celotna količina toplote

$$Q_{izp} = \sum q_{izp}$$

Pri temu pa mora biti

$$S = \sum s$$

Če sušimo celo leto enorodni (enolični) material s približno enakim režimom sušenja bo celotna količina toplote izparevanja torej:

$$Q_{izp} = SN \frac{V_z - V_a}{100} \left( \frac{i_2 - i_o}{x_2 - x_o} + 60 - t_{mat} \right) \dots$$

Posamezni faktorji v formuli za  $Q_{izp}$  se vzamejo v fazi srednje hitrosti sušenja ta pa nastopa približno v prvi tretjini sušenja soglasno s potekom ~~sušenja~~ procesa sušenja po krivulji prirodnega logaritma.

Če vseh teh elementov ne moremo zajeti se odločimo na računanje po približni formuli:

$$q_{izp} = 610 M. . . . .$$

kjer predpostavljam da sušilne temperature znašajo 60-80°C z izparilno toploto vode 550-560 kcal/kg kar vse kakor ustreza običajni tehniki sušenja.

Poraba toplote za izparevanje vode iz lesa podvržena je variacijam v praktičnih prijemih sušenja kar je nemogoče zajeti z matematičnim izrazom. Ob izključitvi nepravilne tehnike sušenja odvisna je poraba toplote od vrste, debeline in začetne vlažnosti lesa. Zato uporabljamo še en faktor ki se giblje od 1,2...1,7 od tankega mehkega surovega lesa do trdega, debelega lesa z začetno vlago lesa <sup>večjo</sup> od 20%. Literatura v glavnem zamolčuje to dejstvo. Le v sovjetski literaturi dobimo podatke o faktorju s katerim pa zvišujejo celotno porabo toplote kar smatram za pretirane.

Toplotne izgube računamo po ~~splošno~~ vpeljani tehniki tega računa na osnovi formule:

$$Q_{izg} = F k ( t_c - t_o ) . . . . .$$

Kjer so:

F = površine posameznih razhlajevalnih ploskev m<sup>2</sup>

k = koeficient provodnosti toplote skozi posamezne razhlajevalne ploskve kcal/m<sup>2</sup> °Ch

t<sub>c</sub> = temperatura zraka v sušilnici

t<sub>o</sub> = temperatura zunanjega zraka odnosno prostorov

Za posamezne ploskve dodajemo še ~~različne~~ dodatke za ekspozicijo in veter po splošnih uzancah (Ritschel).

Pri računanju izgube toplote na tla poslužujem se aproksimacije po sovjetski literaturi: da se kot rashlajevalna ploskev zemlje pas širine 1 m ob zunanjih stenah, za koeficient prevodnosti toplote pa 0,5 k temelja, kar je praktičnejše od ostalih aproksimacij.

Toplotne izgube lahko računamo za obstoječe sušilnice tudi z ohlajevalnim poskusom po aproksimativnem obrazcu

$$Q_{\text{izg}} = \frac{V_c 0,24 (t_2 - t_1)}{\hat{c}_{hl}}$$

Kjer so:

$V_c$  = volumen sušilnice

$t_1$  = začetna,  $t_2$  = končna temperatura v času hlajenja

$\hat{c}_{hl}$  = čas hlajenja h

*petit*  
Ta poskus moramo opraviti pri običajnih sušilnih temperaturah in pri ~~srednji letni~~ *najnižje odzorni letni* temperaturi s prazno celico popolnoma zaprto, z izključenimi grelci in vključenimi ventilatorji.

Porabe električnega toka je možno torej povsem enostavno zajeti, medtem ko je poraba toplote pri umetnem sušenju praktično podvržena kakor empirično tako računsko le približnem ocenjevanju.

Grelec torej mora oddajati toploto ki je enaka seštevku maksimalne toplote izprevanja in maksimalnih toplinskih izgub. Maksimalna toplota izparevanja je v začetni fazi sušenja najvlažnejšega in najhitreje se sušečega materiala v konkretnem primeru predvidenega razmerja sortimentov. Maksimalne toplotne izgube na transmisije so pa pri minimalnih zunanjih temperaturah in najvišjih temperaturah sušenja, ta je pa v zadnji fazi sušenja. Ker pa prevladuje po velikosti toplota izparevanja ki je maksimalna v prvi fazi, je treba tudi izgube računati na to fazo.

Ogrevalno površino kalorifera računamo po obrazcu.

*petit*

$$F_{\text{kcal}} = \frac{Q_{\text{izp}} + Q_{\text{izg}}}{k(t_{\text{pare}} - t_{\text{zr.}})} \quad \sqrt{\text{m}^2} \cdot 7$$

Kjer pomenijo:

$Q_{\text{izp}}$  = maksimalna toplota izparevanja kcal/h

$Q_{\text{izg}}$  = toplotne izgube prve faze sušenja pri minimalni zunanji temperaturi kcal/h

$k$  = toplotnooddajni koeficient grelca kcal/m<sup>2</sup>h°C

$t_{\text{pare}}$  = srednja temperatura pare v grelcu °C

$t_{\text{zr}}$  = srednja temperatura zraka v sušilni celici °C

Pri točnem računu moramo upoštevati pri  $t_{\text{zr}}$  tudi ohladi-  
tev zraka vsled delne izmenjave, kar najlažje dožemo z izdelavo  
poligona sprememb kondicij zraka v i-x diagrama. Najhuje težave  
za izračun kalorifera nudi določanje vrednosti  $k$ . Pri določanju  
te vrednosti za gole cevi smo uporabili formulo

$$k = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_z d_z} + \frac{\ln \frac{d_z}{d_n}}{2 \lambda} + \frac{1}{\alpha_n d_n}} \cdot \frac{1}{F}$$

Kjer pomenijo

$\alpha_z$  = koeficient prehoda toplote od cevi na zrak

$\alpha_n$  = koeficient prehoda toplote od pare na cev

$d_z$  = zunanji premer cevi /m/

$d_n$  = notranji premer cevi /m/

$\lambda$  = Prevodnostni koeficient materiala cevi za toploto

$F$  = zunanja površina 1 tek. m cevi /m<sup>2</sup>/

Z ozirom na to da je ~~xxxx~~ pri nasičeni in kondenzirajoči  
se pari  $\alpha_n = 10\ 000$  in pri železu  $\lambda = 50$  lahko postavimo

$$k \sim \alpha_z$$

Velikost  $\alpha_z$  računamo pa iz odnosa

$$\alpha_z = b \frac{v^{0,69}}{d^{0,31}}$$

*petit* ↑  
kjer je koeficient  $b$  odvisen od števila cevi v struji zraka vlomek se pa lahko direktno odčita iz diagramov, ki jih vsebujejo priročniki. V naših računih je  $k$  nihal med 40 in 50 kcal/m<sup>2</sup>h°C.

Veliko študija je bilo posvečeno velikosti, razporeditvi in konstrukciji *zračnikov* za izmenjavo zraka. Tehnični računi nas v tem vprašanju zapeljejo v komplicirane matematične naloge, ki pa se praktično ne uresničijo. Osnovo smo pa v njih le dobili v dognanju da v najzahtevnejši dobi sušenja, to je v prvi fazi, in pri najzahtevnejšem materialu pri normalnotemperaturnem sušenju maksimalna količina zraka, ki se izmenja ni več kot 1/8 obtočnega zraka. Funkcionalno ni bilo treba drugo kot prevzeti princip vseh modernih sušilnic, da se izmenjava zraka stavi pod delovanje ventilatorjev za obtok zraka in se izključi nesmiselna predvsem pa neekonomična rešitev uporabe posebnega ekshavstorskega ventilatorja kot je n. pr. predvidevala konstrukcija sušilnice V-49. Osnove naše rešitve so:

- lokacija taka da voda, ki se kondenzira v zračniku iz izpušnega zraka ne moči naprave in les,
- enakost odprtih zračnikov tudi v primeru enostranskega kroženja zraka (ker se razmerje regulira samo po sebi),
- tesnost zapiranja lopute,
- enostavnost izvedbe

*petit* ↓  
Pri naši konstrukciji sušilnice smo usvojili princip regeneracije zraka ki v kroženju skozi skladovnico služi kot sredstvo sušenja z delno izmenjavo in segrevanjem vstopnega zraka. Za stanje mešanice pri dodajanju svežega zraka veljajo odnosi:

$$i_0 + i_2 n = (1 + n) i_m$$

$$x_0 + x_2 n = (1 + n) x_m$$

za odnos med množino krožečega in dodatnega zraka pa:

$$\frac{Ge}{Gd} = n$$

in

$$n = \frac{i_o - i_m}{i_m - i_2} = \frac{x_o - x_m}{x_m - x_2} \text{ ali } \frac{x_m - x_o}{x_2 - x_m}$$

Kjer pomenijo

- $x_o$  = absolutna vlaga zunanjega zraka g/kg
- $x_2$  = absolutna vlaga zraka v sušilni celici *na vstopu v sklado* g/kg
- $x_m$  = absolutna vlaga mešanice (željena) g/kg
- $i_o$  = vsebina toplote zunanjega zraka kcal/kg
- $i_2$  = vsebina toplote zraka v sušilni celici kcal/kg
- $i_m$  = vsebina toplote mešanice
- Ge = množina krožečega zraka kg
- Gd = množina dodatnega zraka kg
- n = razmerje mešanja

Razmerje mešanja lahko določimo tudi grafično v i-x diagramu.

Za preseke kanalov veljajo enaki aerodinamični zakoni kot za krožeči zrak računajoč s totalnim pritiskom ventilatorjev, ker je izmenjava zraka pod vplivom le-teh. V našem primeru rešitve rabimo sorazmerno majhno površino presekov zračnikov, ker imamo samo en delni upor, trenje pa se popolnoma anulira z razliko tež zračnih stebrov, ker *je vedno*:

$$h < H (\gamma_z - \gamma_2)$$

Kjer so:

- $h$  = padec pritiska na trenje *v zračniku* /kg/m<sup>2</sup>
- $H$  = višina zračnega kanala (višina stebra zraka) m
- $\gamma_z$  = specifična teža zunanjega zraka g/m<sup>3</sup>
- $\gamma_2$  = specifična teža zraka v celici g/m<sup>3</sup>

V računih vzamemo za ~~kot~~  $x_m$  absolutno vlago zraka ki jo režim sušenja predvideva na vstopu v sklado za  $x_2$  pa absolutno

vlago zraka na izstopu iz skladovnice. Najzahtevnejša faza za izmenjavo zraka bo proti koncu sušenja ko so spremembe zraka v skladovnici majhne pa n s tem narašča. Kot oprijemališče za račun vzamemo hitrost zraka v zračniku obr. 3m/sek nikakor pa ne večjo kot je v prehodih med strojnim in sušilnim prostorom.

Ena osnovnih nalog konstrukcije je tudi tesnost sten in ostalih elementov. O tesnosti sten je bilo govora. Rešitve za vrata so podane v 3 poglavju. Za prodore skozi stene za gredi ventilatorjev in cevi smo konstruirali posebne tesnilne elemente ki so opisani v 3 poglavju. Enako se pridružujemo onim, ki menijo da je neobhodno sifoniranje tal sušilne celice kar nam je tudi potrdila sušilna praksa. Zato mora nujno biti poskrbljeno da so tla izdelana z nakloni proti sifonskem jašku.

Končno smo poskrbeli tudi za lastno konstrukcijo psihrometra, t.j. instrumenta ki nakazuje klimo krožečega zraka.

V primerih kjer je bila na razpolago avtomatična regulacijska aparatura "Foxboro" za klimo zraka smo uredili konstrukcijo sušilnice po zahtevah instaliranja le-te.

*Opis univerzalne sušilnice*  
 3. Princip in karakteristika standardne sušilnice

~~Standardne izmere in gradbena izvedba~~

*Standardna celica je gradljena v različnih velikostih in vrstah, odvisno od namena uporabe. Dolžina elementa sušilne celice je 4,2 m ali večkratnik*

te dolžine. Ta dolžina je določena z ozirom na najpogostejše sortiment, ki ima normalno dolžino 4 m. Običajno se suši nečeljen les pa je računati tudi z nadmero. Dodavši še eventualno nepravilnosti pri zlaganju /razstoj med vozički smo dodali standardni normalni dolžini žagan lesa še 20 cm.

Širina sušilne celice je 2,2 do 2,5 m, kar se prilagaja danim okolnostim. Pri širini 2,2 m je širina skladovnice 1,4 m pri širini 2,5 m je skladovnica 1,5 m. Širine obojestranskih med-

*Širina sušilne celice je namenjena staganju sušilnice, torej, staganje ali aparatni prostor je namenjena nameni, ki v delovanju celotne sušilne opreme odvrne sušilnega aparata, tj. ventilatorja, grelnika, odvlečenega zraka in naprave za izmenjavo zraka.*

prostorov med skladovnico in vzdolžnima stenama je pri 2,2 m širini celice 40 cm pri 2,5 m širini pa 50 cm. Standardno najprimernejša je širina celice 2,5 m, zlasti zaradi tega ker 0,5 m široka stranska medprostora nudita boljše razporeditev zraka in ugodnejše prehod za manipulacijo s kontrolnimi deskami.

Višina celice je 2 ali 2,2 m za skladovnico, plus debelina vmesnega stropa in višina potrebna za namestitev ventilatorjev in grelcev v strojnem prostoru nad vmesnim stropom. Običajno to vse skupaj zavzema višino 1,2 m, tako da celotna notranja višina sušilne celice znaša 3,2 - 3,4 m.

Če je višina vozička za nakladanje skladovnice 0,4 m je koristna višina za nakladanje skladovnice 1,6-1,8 m.

Kot standardne bomo v nadaljevanju tretirali naslednje dimenzije: dolžina 4,2 m, širina 2,5 m in višina  $2 + 1,2 = 3,2$  m. Notranja prostornina celice je torej  $33,6 \text{ m}^3$ .

Pri rekonstrukcijah se dimenzije prilagajajo obstoječim dimenzijam v kolikor jih je možno adaptirati.

Celica dolžine 4,2 m predstavlja element sušilnice. Njegova koristna vkladalna prostornina je  $4 \cdot 1,6 \cdot 1,5 = 9,6 \text{ m}^3$

Standardne debeline letvic so 15, 20 in 25 mm, skoblane v suhem stanju pri vlažnosti 8%.

Razpredelnica prikazuje vkladalno kapaciteto in izkoristek prostornine elementa celice za različne sortimente.

Nominalna debelina lesa mm		24	38	48
Debelina letvic mm		15	20	25
Obrobljen les dolžine 4 m	kapaciteta $\text{m}^3$	5,53	5,8	5,9
	izkoristek celice %	16,5	17,3	17,6
Neobrobljen les različnih dolžin	kapaciteta $\text{m}^3$	4,1	4,3	4,4
	Izkoristek celice %	12,2	12,8	13,1



Gradbeno je celica enostavne sestave in se izvaja po splošno veljavnih gradbenih predpisih, Posebnosti so naslednje. Za tlak mora biti pripravljena osnova iz lomljenega kamena in gramoza vsaj 25 cm debeline. Tlak iz betona je izdelan tako da ob straneh visi proti tiru med tirom pa je koritasto nagnjen z naklonom 1-2 % proti sifonskemu jašku. Tlak mora biti prekrit še z 2 cm debelo plastjo cementnega ometa.

Stene je najbolje izdelati dvojne z vmesno zračno rego debelo 4-5 cm. Zunanje stene primeroma izdelamo v sestavi 25+5+25 ali 25+5+12 cm vmesne pa 12+5+12 cm. Tudi vmesne stene naj imajo čim boljšo toplotno izolacijo zaradi tega da se eliminira vpliv klime sosednjih celic. Zunanje stene imajo koeficient odpora provodnosti toplote  $k = 1 - 1,3 \text{ kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{h}$ . Zidovi se izdelajo iz polne opeke ker se je votla pri našem zidarskem kadru za ta namen pokazala nesmotrno. Malta mora biti podaljšana. Od zunaj se stene omečejo z običajnim ometom.

Posebna pozornost se posveča ometom vertikalnih sten ki morajo ustrezati težkim zahtevam odpornosti proti koroziji, neprodušnosti in impermeabilnosti.

\*

Strop je železobetonska plošča statično izračunana na velike temperaturne spremembe, na nošenje zgornje plasti, na hojo in na eventualno obremenitev npr. šenja ventilatorjev, grečev in vertikalnih prezračevalnih kanalov. Pri večjem številu celic ima vsaka celica svojo lastno ploščo. Pri daljših celicah se plošča izdelava z dilatacijskimi prekinitvami, ki se zaprejo s ploščevino in pokrijejo z desko <sup>ali</sup> s 3 plastmi strešne lepenke (Sl. 13.) Plošča je pokrita s plastjo ugaskov ali maltona debelo 30-35 cm za toplotno izolacijo, ki se še na površini prekrije s plastjo leš-betona ali pustega betona da se lahko po stropu hodi. Direktni kontakt ugaskov z <sup>lesnimi deli strešne</sup> konstrukcije se preprečuje z ustrezno

Malto je izdelati iz čistega cementa. Izključiti je vsako tudi najmanjšo primes mavca ali apna, nasprotno se priporoča dodajanje trdilca kot je na pr. Ceresit. Mešanica cementa in peska je 1 : 3; pesek je rečni, opran, granulacije 1-3 mm. Pesek iz kamnoloma ne velja za to delo. Debelina ometa je 3 cm in se izvaja sukcesivno v petih plasteh. Vsaka plast mora biti dobro nabita, najbolje je če se brizga pod pritiskom kot torkret in se pušča 12 - 24 ur da se delno prime nikakor pa se ne sme pustiti da se popolnoma strdi. Površine posameznih plasti se ne smejo gladiti (peglati) ampak samo zaribati, kar velja tudi za zadnjo plast. Med prvo in drugo ter med četrto in peto plastjo se vlaga Rabitz mreža s širino vozlov 15 mm in debeline žice 0,8-1 mm. V vogalih mora biti omet lepo zaokrožen. Po dokončanju zadnje plasti pustimo omet, da se počasi naravno suši tako, da ga na površini stalno držimo malo vlažnega v prid preprečevanju razpokanja. Sušenje ometa traja 14-20 dni. Šele na popolnoma posušen omet nanašamo katranski lak. V začetku nanesemo 3 plasti laka, vsakega po popolnem dosušenju predhodnega. Sušenje laka lahko izvajamo tudi umetno vendar naj temperatura zraka ne prekorrači 50°C in relativna vlaga zraka naj ne pade pod 65 %. Nadaljnje premaze nanašamo: teden dni po zadnjem premazu, mesec dni po tem, 3 mesece po tem in dalje po potrebi najmanj pa vsakega pol leta če je sušilnica stalno v obratovanju, ker se lak obrablja. Vsako poškodbo laka je treba takoj po vsakem sušenju popraviti, za kar je treba imeti pri roki vedno manjšo zalogo. Za omete na stropnih ploščah in tleh ni potrebno vlagati Rabitz mreže, zadošča debeli na 2 cm, vendar je omet nanašati dokler je beton še v stanju da ga sprejme. Dilatacijske rege izvajamo po Eisenmannovem priporočilu kakor je prikazano na Sl. 14. Vzdolž dilatacijskih reg v stropu ali na zidovih polagamo najprej folije debele 0,2 do 0,3 mm in široke 70 mm iz lauminija čistega vsaj 99,8 %. Na te

27/2

polagamo letve iz jelovine, trapezoidnega prereza, skoblane, ki jih na zid pritrdimo z aluminijsko žico zasidrano v malo ometa. Ko je omet popolnoma izdelan in suh se žice s klešči odščipnejo in letve se odstranijo. Po odstranitvi letev ostanejo v ometu odprte rege (kanalčki) ki se izpolnijo na sledeč način: Na dno rege položimo palico trdega katrana ki ga zalijemo in pritrdimo s tekočim katranom. Na površino te mase položimo lanen trak, ki je predhodno dobro natopljen s katranom da je neprodušen. Na križanjih in sestavih se trakovi zapertlajo. Trak ne sme štrleti iz rege. Končno se v rego stlači 3 cm debela vrv iz koplje, ki je predhodno bila obilno natopljena s katranom. Vrv in rego premazujemo po večkrat še s katranom in končno z istim katranskim lakom kot omete.

Vzdolžne stene se izdelajo v sušilnem prostoru poševno tako da se proti dnu skladovnice prostor zožuje. To se izvaja zaradi zmanjšanja količine zraka na dnu skladovnice in zvišanja hitrosti zraka v zgornjih plasteh skladovnice. Najnovejše meritve so pokazale da ta ukrep ne more v celoti zadovoljiti ter je v primerih kjer se zahteva popolnoma enakomerna hitrost zraka v skladovnici nujno montirati v o. optino med vmesnim stropom in vzdolžno steno še pločevinske deflektorje. To pa bo nujno le v primerih zelo hitrega sušenja ali tam kjer ni časa za izenačevanje. Meritve so tudi pokazale da ta ukrep ni nujen v dvotičnih celicah kar bomo razložili pozneje.

Poševna stena se pri enotirnih celicah izdeluje samo na oni strani kjer zrak vstopa v skladovnico. Pri celicah z reverziranjem kroženja zraka je pa nujno izdelati poševni steni z obeh strani.

Poševna stena končuje pri dnu skladovnice s pokončno bankino ki sega do tal celice. Krona bankine mora biti zavarovana s kotnim železom. V primerih sušilnice v Pamečah, Prevaljah in

27/17

Ravni Gori urejena je bankina s stopničko za odlaganje skladovnice na njo ker uvažamo les za sušenje na tirnem dvigalnem vozičku v celico ( glej slike )

gradbeno izvedbo. Znotraj se stropna plošča obloži z 2 cm debelo plastjo čistega cementnega ometa. Koeficient odpora prevajanja toplote takega stropa je:

$$k = 0,4 - 0,5 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

*da se v laminarnem prostoru izolirava da na stropni plošči ne pride do kondenzacije vode in povečanja vlage.*

↓  
petit

Na konstrukcijo stropa se postavlja zahteva da se v celotnem poteku sušenja <sup>ne</sup> kondenzira na njem ~~voda~~ voda iz krožečega zraka. Tej zahtevi je zadoščeno če je:

$$k \leq \frac{t_{\text{cel}} - t_{\text{rose}}}{t_{\text{cel}} - t_0} \alpha_n$$

Med sušenjem so najneugodnejši pogoji pozimi (pod streho  $t_z = -10^\circ\text{C}$ ), pri sušenju trdega surovega lesa, ki zahteva zelo vlažno začetno klimo krožečega zraka na začetku sušenja; <sup>v tem primeru</sup> tako da moramo računati s temperaturo izstopnega zraka  $50^\circ\text{C}$  in njegovo relativno vlago 90%. Po teh podatkih mora biti:

$$k \leq \frac{50 - 48}{50 + 10} \cdot 12 = 0,4 \text{ kcal/m}^2\text{Ch}$$

~~a to je manjše od našega k.~~

Debelino izolacijske plasti izračunamo iz izraža za koeficient prehoda toplote:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{d_b}{\lambda_b} + \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_z}$$

Od tu:

$$d_i = \lambda_i \left( \frac{1}{k} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \frac{d_b}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha_z} \right) \right)$$

Če uvrstimo:

$$k = 0,4$$

$d_b$  = debelina betonske plošče je običajno z ometom ok 15 cm tj. 0,15 m

$d_i$  = debelina izolacijske plasti m

$\lambda_b$  = prevodnostni koeficient železobetona, ~~in~~ znaša 1,75 (Ritschel)

$\lambda_i$  = prevodnostni koeficient izolacijske plasti ki za ugaske premoga ~~in~~ znaša 0,16 (Ritschel)

$\alpha_n$  = prehodni koeficient toplote od notranjega zraka na stropu in ga pri hitri cirkulaciji zraka računamo z  $12 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

$\alpha_z$  = je prehodni koeficient toplote od stropa na zunanji zrak in znaša  $25 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ .

$$d_i = 0,16 / 2,5 - (0,0834 + 0,0857 + 0,04) /$$

dobimo za izolacijsko plast debelino:

$$d_i = 0,366 \text{ m}$$

Dovolj je če vzamemo  $d_i = 35 \text{ cm}$ .

*peti*

Vmesni strop predstavlja posebno problematiko pri gradbeni izvedbi. Njegova glavna naloga je nošenje ventilatorjev in grelcev ter ustvarjanja zaprtega prostora med ventilatorji in grelci. Glavne lastnosti tega stropa morajo biti nizka cena, dobra nosilnost in taka konstrukcija, da prehod za zrak iz strojnega v sušilni <sup>izsušilni prostor</sup> ostane ~~odprt~~, toliko kolikor je širina praznega prostora med skladovnico in obema vzdolžnima stenama.

V mnogih primerih ta strop je izveden montažno za montiranje ventilatorjev in grelcev <sup>tako z odvijanjem pločevine</sup> in da <sup>in</sup> nudi možnost prihoda v prostor med grelci in ventilatorji zaradi kontrole in vzdrževalnih del.

V slikah so prikazane razne izvedbe tega stropa. Na sl. je prikazana zadnja izvedba železobetonskega vmesnega stropa združenega z ventilatorsko steno v eno konstrukcijsko enoto v sušilnici pri podjetju "Elan"- Begunje. Strop pomagajo nositi enostranski horizontalni nosilci. Na sl. je prikazan železobetonski strop ki ga nosi en sam vzdolžni nosilec armiran z železom p-ofila I. Na sl. je prikazan kovinski montažni strop <sup>in vent. kolombo steno</sup> v katerem je tudi odprtina zavstop med ventilatorje in grelce. Prečni nosilci počivajo na železobetonskih konsolicah <sup>ali na stenskih konzolah</sup> ki omogočajo dilatacijo (Sl. ).

Ventilatorji se vgradijo v ventilatorsko steno, ki z ohišji ventilatorjev tvori povezano enoto, ~~ki je~~ <sup>ventilatorska stena</sup> vmesnim stropom in stropom tvorijo zaprt kanal proti grelcem. Le-ta je lahko <sup>tudi</sup> zidane ali kovinske konstrukcije.

Vse zidane ploskve se <sup>napuhta</sup> premazujejo 3 krat z bitumenskim lakom odpornim ~~na~~ proti pari in netopljivim do 130°C. Ta lakirana prevleka se vzdržuje neprestano v nerazpokanem stanju in se v določenih časovnih razdobjih obnavlja v celoti, običajno po prvem sušenju, po 1 mesecu, po 3 mesecih in vsakih nadaljnjih 6 mesecev. Metalne konstrukcije se izdelujejo iz aluminija čistoče 99,8 % jeklene deli se pa premazujejo z najboljšo marko minija in pečnega laka. Vijaki, zakovice in ostalo je iz aluminija, bakra ali medenine.

~~izvedena po al. 14 (sl. 14)~~  
Vrata so v principu kovinska. Odprtina za vrata ima širino 10 cm večjo kot je širina skladovnice, višino pa do vmesnega stropa. Odprtina je od zunaj obložena z močnim okvirjem iz kotnega železa 75x75x7 mm, znotraj pa iz kotnega železa 50x50x5 mm, ki sta medseboj povezana. Najbolje je da se ti okvirji skupaj z vrati montirajo že med zidanjem celice da se izognemo poznejšim deformacijam. Zunanji okvir nosi vrata. Vrata so kovinska s skeletom iz profilnega železa ki je obložen na obeh ploskvah z aluminjsko pločevino, votlina je pa napolnjena s stekleno volno. Debelina vrat je 6 cm in imajo odpornostni koeficient za provajanje toplote  $k = 0,6 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ .

Ploskev vrat obrnjena v notranjost celice je iz enega kosa. Če se sestavlja iz več kosov morajo sestavi biti varjeni pertlani, vodonepropustno zakovičeni ali pa privijačeni na podlago zatesnjeno s klobučevino. Vsi vijaki ali zakovice so iz aluminija, bakreni ali ~~medeninasti~~.

V principu so vrata enokrilna, šarnirana. Šarnirji kakor tudi zapirala so tesnilni tako, da je možna obojestranska zatesnitev.

Možna je ~~dvojna izvedba tesnilnih zapiral (Sl. 14)~~.

Rob vrat nosi tesnilni obroč ki je iz klobučevins-  
stega ali traku bune debele 1 cm. Pritezuje se z medeninastimi  
vijaki. V polovici debeline traku so vložene podloške za boljšo  
pritrditev (Sl. 15). Klobučevinast trak se lahko izdelata iz  
dveh trakov debeline 5 mm ki se ~~z~~lepijo s kakim sintetičnim,  
temperaturno in vlago odpornim lepilom in v plast lepila se  
vložijo podloške. Vijaki in podloške so aluminijski, medenina-  
sti ali bakreni.

Pri vratih poseben problem predstavlja tesnitev na pragu,  
zaradi prehoda tira čez prag. Skice na sl. 16 kažejo 3 rešitve  
te tesnitve. Za primer zalitega tira v beton se je izkazal naj-  
uspešnejšega sistem na Sl. 16 a). V tem primeru se odprtine za  
prehod kolesc zapirajo z zagozdami. V naši praksi večinoma pre-  
vladuje sčasoma zanemarjanje vlaganja tesnilnega praga kot je  
na Sl. 16 b) <sup>in</sup> stalno prenašanje prestavljivega tira kot je na Sl. 16 c)  
pa tudi v obratovanju ni najugodnejše. V primeru zagozd ostanejo  
~~neoperabilne~~ <sup>normalne</sup> odprtine če se tudi pozabi vložiti zagozde. Vendar na  
modernih obratih, kjer je dobro poskrbljeno za strokovno vodstvo  
sušilnice in kjer se suši dragocenejši les in uporabljajo višje  
temperature sušenja je treba izključiti pozabljanje <sup>(Trenimo k izvedbi)</sup> vlaganja pre-  
nosnega praga in je težiti k tej izvedbi (Sl. 16 b).

Notranji okvir v odprtini vrat se vzida ~~na~~ zaradi zaščite  
notranjega roba zidu.

Kontrolna in montažna vratca izdelujemo na podoben način  
(Sl. 17) <sup>kot glavna vrata v dnevni sobi</sup>  
120 x 170 cm.

V bližini izhoda se v tleh izdelata sifonski jašek s sifonem  
skim odtokom. Sifonski odtok se izdelata lahko iz kopalniškega <sup>sifona</sup>  
lahko pa se izdelata po skici na Sl. 18. Sifonski jašek je izde-  
lan kot taložnik za zbiranje blata, ki nastajata v glavnem iz žagovine



da se ne ustavlja v sifonu. Le-tega je treba od časa do časa očistiti. Sifon se <sup>S</sup>pelje v obratno kanalizacijo ali v ponikovalnico. Ponekod se zanemarja ta del opreme sušilnice, je pa zlasti pomemben pri sušilnicah kjer se suši pretežno surov les, zlasti v zimski sezoni ko se kondenzacija vode na lesu pridružuje še voda kondenzirana <sup>v načinu izpustitve</sup> iz zraka. Stagniranje vode v celici preprečuje pravilno reguliranje in enakomernost sušenja. Nikakor ni dovoljen prost odtok, ker le ta dovoljuje nekontrolirano zvezo celice z zunanjim zrakom.

Ventilatorje in grelce izračunamo od primera do primera z ozirom na specifikacijo materiala predvidenega za sušenje ker se le tako lahko izdelata ekonomična in zares univerzalna sušilnica,

Pri ventilatorjih je standardna izvedba prenosa, premer ventilatorja in število ventilatorjev. Na 4 m element celice pridejo 3 ventilatorji na 8 m dolžine 5 ventilatorjev, na 12 metrov pa 7 ventilatorjev. Čim daljša je celica s tem večje je število različnih brzin zraka skozi skladovnico lahko dosežemo s simetričnim kombiniranjem števila ventilatorjev. V 4 m elementu celice lahko kombiniramo 3 brzine, v 8 meterski 4 v 12 meterski pa 5 brzin. Razen tega se lahko v vsaki manjši brzini kombinirajo ventilatorji simetrično zaradi izenačevalnega učinka. S tega vidika je vsekakor najugodnejša dolžina 12 m (3 elementa po 4 m). Osnova računa je največja potreba brzine zraka ki jo diktira najhitrejše sušenje. Količina pretočnega zraka se izračuna z aproksimativnim izračunom na osnovi predvidene hitrosti sušenja in klime zraka na vstopu v in izstopu iz skladovnice lesa. Pri naravno predsušenem lesu vzamemo kot maksimalno hitrost sušenja 1,5 kratno poprečno hitrost, pri sušenju surovega lesa pa hitrost prve 1/3 izgube začetne vlažnosti lesa. Čas sušenja računamo po ~~Kollmannovi formuli iz Keylwerthovega diagrama ali pa iz doseda-~~

njih naših poskusnih sušenj v podobnih primerih. V primeru počasno sušečega se materiala jemljemo kot najmañjšo maksimalno hitrost zraka skozi skladovnico lesa 1,5 m/sek, da bi hitrost zraka ne padla v področje laminarnega gibanja.

~~Diagram na Sl. 11 prikazuje funkcije ventilatorja~~ *(fotografija na diaprazonu)* projektiranega v Institutu za turbinske stroje, izdelek Instituta za gozdno in lesno gospodarstvo. Ventilator je dvosmerni iz litega silumina s profiliranimi lopaticami. Premer ventilatorja smo vzeli z 900 mm, ker je to premer ventilatorjev omejene sušilnice V-49, tako da istočasno ustreza za nadomestilo ali da se lahko uporabljajo obstoječa ohišja in ogrodja. Pozneje se je pokazalo da ta premer ustreza zahtevam optimalne ekonomije. V prid ekonomiji smo si postavili nalogo da naj bi ta ventilator imel koristni učinek vsaj 50%, t.j. da poraba moči ne bi prekoračila 1,1 kW. Meritve so pokazale da se je dosegel koristni učinek 45-50% in s tem poraba moči variira med 1,1 in 1,25 kW, Vgraditev dvosmernega ventilatorja se priporoča pri dvotirnih celicah ali pri enotirnih, kjer je širina skladovnice več kot 1,5 m. Zadnje čase se je ta ventilator pokazal primerne tudi za vgraditev v male sušilnice za krivljene dele.

Obstoja tudi ena naša konstrukcija enosmernega ventilatorja po projektih Instituta za turbinske stroje, z naslednjimi elementi.

Prav dobrega se je izkazal tudi standardni enosmerni ventilator Betz izdelek tovarne "Ventilator" Zagreb / s funkcionalnim odnosom parametrov prikazanim / na diagramu Sl. . Pri dobavi 18 000 m<sup>3</sup>/h zraka ima ventilator naslednje, ostale elemente:

Grelci so šli skozi precejšnje spremembe. Pri prvih delih so bili na razpolago grelci iz cevi z navitimi spiralnimi rebri ali z nataknenimi ploščicami izdelek tv. "Ventilator". Grelci so bili v celoti železni in pocinjeni. Iz razlogov ki so že omenjeni smo prešli na grelce iz golih Mannesmanovih cevi 3/4" <sup>ali</sup> ~~in~~ 1". Prvotno je bil grelec zgrajen po skici na Sl. 20 ("Elan" Begunje) t.j. cevi ene vertikalne vrste so zaporedoma vezane tako da se dobi dejansko popolnoma enakomerna temperatura zraka tudi pri najbolj reduciranem dovajanju toplote. Nedostatek tega grelca se je pa manifestiral v tem da so ga morali sestavljati v sami celici. Pozneje smo prešli na montažni grelec in grelno baterijo sestavljeno po Sl. 21. Baterija je sicer priročna za montažo, vendar pri reduciranem gretju nastanejo motnje z neenakomernim zagrevanjem. Zadnje čase se prehaja ponovno na grelec z zaporedno vezanimi cevmi pri katerem so pa vertikalne vrste ločene, da se olajša montaža v baterijo. Taka izvedba ima prednost tudi v tem da je omogočena uvedba ločene regulacije vsake posamezne vertikalne vrste.

Grelec se zgradi tako da zapre celo višino strojnega prostora med vmesnim stropom in pravim stropom. Čeprav je za grelec boljša lokacija nad odprtim prostorom med vmesnim stropom in vzdolžnim zidom tej izvedbi se v naših konstrukcijah izogibljemo zaradi odprtih zračnikov iz katerih kaplja voda kondenzirana v izpušnem zraku. Možna je seveda izvedba da se izpušni zračniki prestavijo bolj proti sredini celice (Sl. 39) kar bi bilo smotrnejše tudi z ozirom na nekaj manjše toplotne izgube, vendar je v tem primeru nujno poskrbeti za lovljenje in odvod vode ki se kondenzira na stenah zračnikov. Večjim količinam kondenzacije se bomo v tem primeru izognili s primerno toplotno izolacijo zračnikov. Običajna izvedba te izolacije

je plast žilindrine volne debela ok 4 cm od zunaj ovita s tanko aluminijasto pločevino.

Oshovne dobre lastnosti golocevnih grelcev so visoka odpornost proti koroziji, ki se zlasti zviša s premazom pečnega laka, dalje lahko vzdrževanje in lahka dostopnost do vseh delov ter visok oddajni koeficient toplote. Premaz pečnega laka ne sme biti predebel ker deluje kot toplotni izolator in zmanjšuje korisni učinek grelca. Grelec postavljamo običajno enostransko tudi v primeru dvotirne celice. Čeprav nastajajo manjše razlike <sup>v kondicijah</sup> pri ~~prizraku~~ pri reverziranju, odtehta enostavnost konstrukcije, ker proti koncu sušenja se itak razlike izgubljajo.

Razpršilec pare za ovlaževanje zraka je v običajni izvedbi vodoravna cev 1" s perforacijama  $\emptyset$  2-3 mm na razdaljah 10-15 cm. Cev je obrnjena s perforacijami poševno navzgor tako da para brizga nasproti krožečemu zraku. Pobrigitati se je treba za odtok kondenzata, ki se nabira v cevi tako da ne prši po lesu. Cev zato nagnemo proti zadnjem koncu ki je sicer zaprt ima pa na spodnjem koncu navarjeno cev, ki kondenzat spelje v sifon. V primeru enotirne celice postavljamo samo na eni strani razpršilec pare, v dvotirnih pa na obeh straneh.

Zračnike izvajamo v 3 delih. Spodnji del je kvadratičnega preseka in je s svojim spodnjim koncem s prirobnico iz kotnega železa zasidran v stropno ploščo. Ta del štrli nad strop ok 0,5 m in v svojem zgornjem delu nosi loputo. Sedež lopute je okvir iz kotnega železa zakovičen v zračnik. Loputa je iz pločevine obrobljena s klobučevinastim trakom zaradi tesnitve, os lopute je vležajena po sl.22 in ima pritrjeno na enem koncu vzvodje za odpiranje in zapiranje. Pri enotirnih celicah imajo ostala dva dela samo izpušni zračniki. Srednji del je prehodni kos iz kvadratičnega na okrogli presek, zgornji del je pa cev okroglega

preseka ki se prebija nad streho v višino vsaj 1 m nad sleme strehe. To največ zaradi tega da veter ne zabija pare v streho in jomoči, kar je zlasti pozimi škodljivo za opeko. Vrh te cevi ima kapo da se krije od padavin.

Na 4 m element celice postavljam oobičajno en sam izpušni in vstopni zračnik. Nasproti si stoječa izpušni in vstopni zračnik sta premaknjena kot je razvidno na sl. .

Za zapiranje in odpiranje loput v zračnikih se poslužujemo enostavne ročne naprave povezane na osi loput potom vzvodja in jeklenih vrvi in protiuteži obešenih naravnost na osovinah loput. Ročka za regulacijo je urejena po sl. 23 na tak način da omogoča pritrditev v poljubni poziciji. Uteži kakor tudi sistem pritrditve vrvi so urejene na poljubno regulacijo. Od časa do časa je treba kontrolirati tesnitev loput. Zgornji del zračnika je fiksno pritrjen na strešno konstrukcijo tako da se srednji prehodni kos lahko snema za popravilo lopute. Vsi kosi so medsebojno spojeni s prirobnicami iz kotnega železa na maticne vijake in tesnjeni s klobučevinastim trakom. Na Sl. 24 je prikazan sistem priključka membranskega vzvoda regulacijske naprave "Foxboro".

Kot že omenjeno, originalni so tudi tesnilni elementi v zidovih, ki tesnijo predore parovodov in gredi ventilatorjev. Navadno zazidanje postane vsled dilatacijskih deformacij parovodov in rotacije gredi kmalu produšno in se pojavijo razpoke. Osnova elementa je širša cev s prirobnico in notranjim prstanom. Prstan služi kot upora za grafitiran azbestni trak ki se med obe cevi natlači in pritisne z zunanjo prirobnico.

Elektromotorski pogon ventilatorjev je individualen. Elektromotor se namešča v odprtinah ali na konsolah zunanjih sten odnosno nad odprtinami v vmesnih stenah pri večjem številu

kot 2 celice. V mnogih primerih se pri večjem parnem številu celic rešuje to vprašanje z vmesnim hodnikom ("Elan"). Motor se nasadi na natezne tračnice. Vendar mi dajemo prednost naši originalni rešitvi podložne vrtljive plošče po sl.25. Pri motorjih na zunanjih stenah ima ta izvedba prednost samotežnega napenjanja jermenov pri montaži na vmesnih stenah pa hitro simetrično napenjanje jermenov z navijanjem matice na nateznem vijaku. Odprtine z motorji na zunanjih stenah se pokrivajo s pločevinskimi omaricami.

Psihrometri ki se izdelujejo v lastni delavnici so na osnovi dveh L termometrov dimenzije 25 x 25 cm po skici na Sl.26. Sistem vlaženja "mokrega" termometra je s prevrnjeno steklenico v odprti posodici iz katere cevka pelje v manjšo posodico pod bučko termometra. Za črpanje vode služi hidrofilna tkanina. Cela naprava je pritrjena na plošči, ki se privijači na okvir iz kotnega železa zasidranega v psihrometrični linici. Linica se zapira še z navadnim okencem, če tega ni, je pa plošča dvojna z medprostorom napolnjenim s stekleno volno. V linico se montira še ladijska (vodotesna) luč. Ves kovinski material psihrometra je iz bakra ali iz aluminija vsaj 99,8% čistega. Psihrometer nameščamo v zadnji steni celice ki meji na komandni hodnik tako da bučke segajo v prostor med skladovnico lesa in vzdolžno steno najmanj 10 cm od vsake in sicer na oni strani kjer zrak v kroženju vstopa v skladovnico. Višina bučk mora biti vsaj v poloviči višine skladovnice. V dvotirnih celicah se postavlja psihrometri na obeh straneh zaradi reverziranja kroženja zraka. Če imamo na razpolago "Foxboro" aparaturo za avtomatično reguliranje klime zraka ne opuščamo montiranje navadnih psihrometrov, zlasti v sušilnicah za surov trd les, zaradi tega ker indikatorji "Foxboro" pri temperaturah pod

80°C ne nudijo natančnosti, ki jo postavlja režim sušenja za to vrsto sušenja v začetnih fazah sušenja..Pri "Foxboro" sistemu regulacije je psihrometer urejen na reverzivno kroženje zraka s tem da instrument indicira samo višjo suho temperaturo, ta je pa seveda vedno na strani kjer ~~je~~ zrak vstopa v skladovnico. Za ta namen ima indikatorski sistem 2 termoptroni povezani tako da instrument indicira samo temperaturo toplejše patrone. Bučka mokrega termometra je samo ena, ker sistem deluje po predpostavki da je mokra temperatura, t.j. temperatura izparevanja vode na obeh straneh skladovnice enaka, kar v praktičnih mejah drži, ko je les popolnoma segret, če so temperature sušenja konstantne in če se upošteva da se vsebina toplote zraka na prehodu skozi skladovnico bistveno ne menja. Bučke se montirajo čimbolj v sredo celice vsaj 10 cm od stene. Posebno pozornost je treba posvetiti rednem dovajanju vode v posodico pod bučko za "mokra" temperaturo. Vodo dovajamo po cevkah iz skupnega rezervoarja, reden dotok pa ~~kontroliramo~~ s pretokom iz posodice, ki ga napeljemo nazaj v komandni prostor. Voda za psihometre mora biti čimbolj mehka, zato je najbolje uporabiti kar kondenzat iz kondenzacijskih odvodov grelnega sistema sušilnice. Polnjenje skupnega rezervoarja lahko rešimo na različne načine ter smo tuči mi uporabili različne v posameznih primerih.

Pri zadnjih konstrukcijah izdelali smo psihometre tudi iz kovinskih termometrov proizvod tv. TIO v Lescah po skici na Sl. . Uporaba teh termometrov naj bi se omejila le na sušilnice za mehek les ker termometri te vrste ne nudijo zahtevne natančnosti v drugih primerih. V splošnem je treba težiti k uporabi navadnih tekočinskih termometrov oblike L.

Parovodni sistem s komando in instrumenti nameščamo v komandni prostor. Komandni prostor gradimo v obliki hodnika

širine ok. 2,5 m na nasprotni strani vstopnih vrat v celice, torej ob zadnjih prečnih stenah celice. Celotno komando klime zraka montiramo na steno ki meji na celice kot je označeno v primeru na Sl.29. Električno komando montiramo posebej na razvodno ploščo. V primeru ročne komande uredimo celotno regulacijo po shemi na Sl.30. Prikazan je primer uporabe izpušne pare. Para prihaja po dovodni cevi v razdelilnik. Za primer pomanjkanja izpušne pare predviden je avtomatični dovod sveže pare reducirane na pritisk izpušne. Na razdelilniku je montiran avtomatični pretočni ventil za odvečno paro. Izpušno paro predno pride v razdelilnik peljemo skozi razoljevalec da jo razoljimo in skozi kondenčni lonec da odstranimo kondenzat. Tudi sam razdelilec mora imeti kondenčni lonec ali vsaj membranski izpraznjevalec kondenzata. Iz razdelilca peljejo parovodi na vsa potrošna mesta v sušilne celice. Odvečna izpušna para preko avtomatičnega pretočnega ventila gre v drugi razdelilec in od tu na druga potrošna mesta sekundarnega pomena ali se pa kondenzira in pelje nazaj v kotlovnico, odnosno na prosto. V primeru uporabe pregrete pare je treba za vlaženje zraka napeljati ločen sistem zasičene pare. Enako se izdelata ločena sistema v primeru ogrevanja z vročo vodo, ker za vlaženje zraka rabimo paro, ki se odvzame iz kotla nad nivojem vode. Če ogrevamo z elektriko ali z izgorilnimi plini moramo za vlaženje zraka proizvajati paro posebej v bojlerju.

Avtomatično regulacijo na pnevmatski pogon urejamo po splošni shemi podani na sl.31 regulacijo na električni pogon pa po shemi na sl.32.



#### 4. Nekaj karakteristik doslej zgrajenih univerzalnih sušilnic

Podajam prikaz najbistvenejših karakteristik naših doslej zgrajenih sušilnic univerzalnega tipa le zaradi vpogleda v razvoj nekaterih njih elementov da bi po nepotrebnem ne razširjal prikaza.

Na tem mestu naj se posebej zahvalim kolektivom in vodstvom podjetij navedenih v nadaljevanju, ki so navzlic naše kronične nezaupljivosti do lastnih moči zaupali ureditev tega ključnega oddelka domačemu institutu in s tem dokazali visoko zavest in čut odgovornosti do napredka doma.

Za gradbeno projektivo dolgujem priznanje ing. Srečku Cerarju, asistentu Tehnične fakultete v Ljubljani. Za študij in projektivo strojnih konstrukcij in instalacij gre priznanje mojim sodelavcem ing. F. Flachu in osebju njegovega sektorja v Inštitutu.

V tabeli so po kronološkem zaporedju razvrščene samo doslej zgrajene univerzalne sušilnice po opisanem tipu ter podani njih osnovni kapacitetni in energetski elementi. Od teh prvi kot že omenjeno nima univerzalnega karaktera. Prva univerzalna sušilnica je bila zgrajena leta 1953/4 na porajajočem se novem obratu LIP-a Slovenj Gradec v Pamečah /Sl.33/. Uporabljena je bila skoraj v celoti oprema za sušilnice V-49 skupaj z njenimi rotorji. Le-ti so pozneje bili zamenjani z rotorji BETZ tv. "Ventilator" - Zagreb. V sušilnici je bilo ~~zadržano~~ <sup>možljivo</sup> reverzibilno kroženje zraka čeprav je širina skladovnice le 1,2 m predvsem zaradi sušenja materiala za sredice. Le-ta se naglo suši in pri enostranskem kroženju ostanejo precej velike razlike v vlažnosti lesa v skladovnici. Posebne konstrukcijske odlike te sušilnice so naslednje:

-Vmesni strop in ventilatorje nosi vzdolžna betonska greda armirana z močnim I profilom, tako da so prehodni za zrak ob straneh med tem stropom in stenama popolnoma odprti. Oblike poševnih sten za enakomerno razdelitev zraka so določene z meritvami ob različno fofmiranih modelih. Strop celice je lupinast izveden v loku. Zgornja plošča stropa je armirano-betonska s termoizolacijskim zasutjem.

- Za gretje se uporablja izpušna para in je celotni sistem dobave pare urejen po shemi na Sl.30 in po prej podanem opisu.

- Bankine v celicah so bile urejene za odlaganje skladovnic s tirnega dvigalnega vozička.

Sušilnica v Prevaljah Sl.34 je sestavljena iz 2-veh celic z opremo sušilnice V-49. Vmesni strop je armirano-betonske konstrukcije s prečnimi nosilci. Strop je ravna armirano-betonska plošča s termoizolacijskim nasutjem. Pod stropom so za razliko od oboka lupine v Pamečah z obeh strani ventilatorjev poševne usmerjevalne plošče iz lesa z odprtini za izmenjavo zraka.

*ki je nastala na osnovi obstoječih celic*  
Tudi v sušilnici Drveno Industrijskega Kombinata Ravna Gora Sl.35 so take poševne stene kakor v Prevaljah namesto oboka v loku vendar iz aluminijske pločevine. V teh so nasproti vsakemu ventilatorju odprtine za prehod zraka za to steno katerih velikosti se dajo regulirati. Tako ta poševna stena s stropom in pokončno steno celice ustvarja zračni kanal od odprtini do zračnikov. Sušilnica v Ravni Gori je nastala z rekonstrukcijo obstoječe ~~z opremo, tv. "Ventilator" za sušilnice "V-49"~~ ter je bilo možno vplivati na nje gradbeno izvedbo le v omejenem obsegu. Vmesni strop je predalčne betonske konstrukcije, bankine so urejene za odlaganje skladovnic iz tirnega dvigalnega vozička. V večjih celicah so se uporabili obstoječi lamelirani grelci, v manjših pa golocevni grelci izdelani doma. Tudi oprema za ventilatorje je bila uporabljena obstoječa razen rotorjev, ki so bili zamenjani z novimi izdelanimi po naših zahtevah v Institutu za turbinske stroje. V 12 meterski celici je uporabljeno samo 5 ventilatorjev in je predvidena za sušenje vglavnem trdega lesa, medtem ko so v krajših celicah montirani po 4 ventilatorji ker so predvidene za sušenje vglavnem mehkega lesa. Srednja hitrost kroženja zraka skozi skladovnico je pri velikih celicah

ok 3,5 m/sek pri manjših pa ok 4 m/sek. Celotno kondicioniranje klime v sušilnici je urejeno z avtomatično regulacijsko napravo "Foxboro" po shemi na Sl. .

Sušilnica v Ravni Gori pomenila je preobrat v naših naziranjih o prednostih ki jih je pripisovati enotirni celici. Normalna slika kroženja zraka v enotirni celici je taka kot je prikazano na Sl.36 a) t.j. največje količine zraka prehajajo skozi spodnji del skladovnice in v zgornjih delih imamo skoraj mrtve cone. To neprimerno razporeditev zraka moramo popravljati z zoževanjem prostora med skladovnico in zidom proti dnu skladovnice ali pa z deflektorji, ki usmerjajo del zraka v zgornji del skladovnice. Vendar z vsemi temi ukrepi ni mogoče doseči željene enakomernosti kroženja zraka skozi skladovnico kar seveda povzroča podaljšanje faze izenačevanja pri sušenju. Pri dvotirni celici je razporeditev zraka v skladovnicah taka kot je prikazano na Sl.36 b) Imamo torej v prvi skladovnici sliko kot v enotirni celici, v drugi skladovnici pa se zrak premika v zgornji del skladovnice že v vmesnem hodniku, večje količine zraka prehajajo skozi zgornje plasti in je hitrost kroženja najmanjša v spodnjih plasteh skladovnice. Pri reverziranju ventilatorjev se slika obrne narobe in tako pride do izenačevanja brzin. S tem je tudi odpadla potreba po poševnih stenah in deflektorjih v dvotirnih celicah. To dejstvo so potrdile ne samo aerodinamične meritve ampak tudi dosežena enakomernost sušenja. Dvotirna celica zahteva dejansko 20-25 % daljši čas sušenja pri isti količini zraka (zaradi dvójnega prehoda istega zraka skozi skladovnico) ampak doseže enakomernejšo končno vlažnost lesa. Tudi ekonomija dvotirne celice je ugodnejša kot enotirne, ker pri isti količini zraka t.j. pri isti porabi toka imamo efekt za 50-60% večji kot je pri enotirni. To pa je zaradi tega ker zamuda v hitrosti su-

šenja v dvotirni celici nastane samo v prvi fazi sušenja pri surovem lesu. Med izgradnjo te sušilnice je nastal tudi preobrat v konstrukciji grelcev. V prvi rekonstruirani celici so po prvih sušenjih mokre bukovine mnogi lamelni grelci propadli. Novo cinjenje grelcev se je pokazalo neefikasno in je tu nastala misel o golocevnih grelcih.

*petit*

Hitrost kroženja zraka skozi skladovnico lesa, širina skladovnice (1 ali 2 tira) ter gradient absolutne vlage zraka na prehodu skozi skladovnico (hitrost sušenja) so v medsebojni korelaciji. Za <sup>enako</sup> hitrost sušenja s širino skladovnice raste premo-sorazmerno hitrost zraka. To pomeni da za isti gradient vlage zraka bi dvotirna celica morala imeti dvojno hitrost zraka skozi skladovnico. Lahko pa operiramo tudi drugače, da pri isti hitrosti zraka zvišamo gradient vlage kar pomeni zvišati ostrino sušenja. Ta ukrep je najekonomičnejši vendar v primerih sušenja mokrega trmega lesa ne bomo mogli riskirati da v prvi fazi sušenja les na vstopni strani podvržemo znatno ostrejšem režimu kot je normalno predvideno. Ker je ta pojav kritičen samo v prvi fazi sušenja smo ugotovili da je čas sušenja v dvotirni celici pri isti hitrosti zraka in pri istem režimu sušenja naravno predsušenega lesa enak, mokrega pa <sup>največ</sup> samo za 20-25% daljši nasproti enotirni. Če pa pri sušenju mokrega lesa pazimo na to da režim sušenja uredimo tako da izstopni zrak mi popolnoma nasičen ( $\varphi < 100\%$ ) se tudi pri tem lesu lahko približamo enakem času sušenja.

Obstoja še ena možnost reguliranja zgornjih činiteljev da bi čas sušenja ostal isti kot pri enotirni celici pri enaki količini zraka in enaki ostrini sušenja a to je delna regeneracija zraka med skladovnicami s pomočjo vmesnega grelca. Nazorno je to prikazano v i-x diagramih na Sl.37 v idealnih malo pretiranih razmerjih.

Trikotnik 1-2-3 na diagramu a) predstavlja spremembe zraka na prehodu skozi skladovnico v enotirni celici. Točka 1 predstavlja kondicije vstopnega zraka z elementi  $t_1, \varphi_1, x_1, i_1$ . Na prehodu skozi skladovnico zrak sprejema vlago, raste torej njegov  $x$  in  $\varphi$  pada pa  $t$ ; njegova vsebina toplote ostane približno ista kar pomeni da se meja po črti  $i_1 = \text{const}$  in na vstopu iz skladovnice doseže točko 2 z elementi  $t_2, \varphi_2, x_2, i_2$ . Zaradi poenostavitve tolmačenja bomo zanemarili neznatne spremembe  $i_1$ , ki nastajajo vsled toplotnih izgub na transmisije in na osvobajanje vezane vlage. Z dodatkom zunanjega zraka, ki ima kondicije točke 0 ga spravimo v stanje točke 3 ( $t_3, \varphi_3, x_3$  in  $i_3$ ). S segrevanjem lahko spravimo ta zrak spet v kondicije točke 1 t.j. v kondicije vstopnega zraka.

Pri dvotirni celici, če hočemo zadržati enako hitrost sušenja pri istem procesu sprememb, moramo zvišati hitrost zraka na dvojno. Ker bi to bilo neekonomično odnosno ne bi nudilo prednosti dvotirni celici se lahko poslužimo drugega prijema t.j. da podvojimo prevzem vlage na enem prehodu skozi obe skladovnici. Ta proces je prikazan na istem diagramu s trikotnikom 1', 2', 3. Vendar kakor vidimo smo s tem ukrepom morali postriti režim sušenja ker nam vstopni zrak ima namesto prejšnjih 35% relativne vlage sedaj 20 %, kar vsekakor ni vedno dopustno. ~~zlasti pri sušenju mokrega trdega lesa.~~

Na diagramu b) prikazane so spremembe zraka v dvotirni celici z vmesnim grelcem med skladovnicama z dvema trikotnikoma 1, 2, 3, 4, 5. Zrak s kondicijami točke 1 ( $t_1, \varphi_1, x_1, i_1$ ) vstopa v prvo skladovnico in iz nje izstopa s kondicijami točke 2 ( $t_2, \varphi_2, x_2, i_2$ ). Pred vstopom v drugo skladovnico se sgreje tako da doseže kondicije točke 3 ( $t_3, \varphi_3, x_3, i_3$ ). Na izstopu iz druge skladovnice prihaja s kondicijami točke 4 ( $t_4, \varphi_4, x_4, i_4$ ). Z

pet

dodajanjem zunanjega zraka ga spravimo v kondicije točke 5 ( $t_5, \varphi_5, x_1, i_5$ ) in s segrevanjem nazaj v začetne kondicije točke 1. V primerjavi s prejšnjim primerom dvotirne celice vidimo da smo pri isti hitrosti zraka skozi skladovnice dosegli dvojni gradient absolutne vlage zraka pri isti porabi toplote pri enaki ostrini sušenja v prvi in drugi skladovnici.

O tem ni dvoma da je sistem dvotirne celice z vmesnim grelcem tisti optimum našega univerzalenga tipa sušilnice h kateremu je težiti, vendar pri naših dosedanjih konstrukcijah nismo uspeli prodreti s tem. Vmesni grelec komplicira izvedbo naprave kakor tudi samo obratovanje ter ne more preveč navdušiti ne konstrukterjev in ne tehnologov. Njegova smotrnost in upravičenost upada nasproti kombinirani rešitvi z malo povečano hitrostjo zraka in malo ostrejšim režimom tam kjer se suši že naravno predsušen les. Pri obratovanju ne bomo nikoli mogli tako natančno regulirati vmesnega grelca da bi dobili tako idealne slike regeneracije zraka med skladovnicama, kot je prikazano na sl.37 b). Zato menimo da je vprašanje umestnosti vmesnega grelca pri dvotirni celici odprto za raziskavo.

*delovna osvajenja iz dvotirni h celici pr 12 m*

Sušilnica v Zavidovičih je zrasla na skušnjah z Ravno-gorsko sušilnico. Oprema je razen ventilatorskih rotorjev v celoti izdelana v podjetju samem po naših delavniških ~~načrtih~~ risbah. Osnovne ~~ob~~like te sušilnice so:

- Vmesni strop je montažne izvedbe v metalni konstrukciji. Le ta je prosto ležeča v zidnih odprtinah zaradi dilatacije. Prvotno je bilo predvideno kritje z deskami kar pa je zaradi bojazni pred poznejšimi deformacijami spremenjeno v aluminjsko pločevino. Enako je kovinska ventilatorska stena s celotno konstrukcijo ventilatorskih ohišij.

- Ventilatorska ohišja so montažna in se montirajo v

zaporedju pri montaži vmesnega stropa s cevnimi nastavki v montažne luknje puščene za ta namen v stropni plošči. Ventilatorji so reverzibilni iz litega aluminija, izdelek našega Instituta.

- Grelci so v montažni izvedbi izdelani iz golih cevi po skici na Sl. .

- Psihrometri so izdelani iz kovinskih termometrov tovarne TIO Lesce po skici na Sl. .

Celotna regulacija kondicioniranja klime zraka je avtomatična s pnevmatično aparaturo "Foxboro".

V tovarni montažnih hiš tega podjetja so po naših detajlnih načrtih ( po osnovi ing. Barišiča) rekonstruirali tudi obstoječe sušilnice V-49.

Primer "Elana" v Begunjah je predstavljal najširši diapazon potrebe po univerzalnosti sušilnice od vseh doslej obravnavanih sušilnic. *varnost varnosti materiala in celotne kvalitete.* Tu imamo primere od hitro sušечеga se surovega mehkega lesa do izredno počasi in previdno sušече naravno predušene jesenovine. Ni treba posebej poudarjati da je pri jesenovini osnovna zahteva enakomerna dosušitev in največ možno obvarovanje vseh trdnosti zaradi česar je treba iti na nizke temperature sušenja in zadržan tempo s popolno izključitvijo zaskoritve (t.j. notranjih napetosti v lesu). Iz podrobne preučitve teh elementov in njih konsekvenc na konstrukcijo je nastala štirikomorska sušilnica z enotirnimi celicami dolžine 8,4 m po skici na sl. 38. Opremo je izdelalo podjetje "Klima" Celje. Karakteristična je po naslednjih elemntih:

- Stropna plošča, ventilatorska stena in vmesni strop tvorita povezano celoto v armiranobetonski konstrukciji. Vmesni strop je nošen z armiranobetonskim nosilčki enostransko, tako da je odprtina za istop zraka iz agregatnega prostora v sušilni popolnoma odprta. Žal je pri gradbeni izvedbi popustila natančnost

ter so izdelali odprtine različnih širin ki so zlasti na vstopih zožene.

- Ventilatorji imajo enosmerne rotorje premera 740 mm s pločevinastimi krili ki smo jih za ta primer dali posebno konstruirati v Institutu za turbinske stroje.

- Grelec je <sup>postavljen in v dveh baterij</sup> fiz zaporedno vezanih golih cevi postavljen nad vstopno odprtino kot je razvidno na sl. 39. To je bil naš prvi golocevni grelec po sklepu ki smo ga prinesli ob primeru propadanja lamelnih grelcev v Ravni Gori.

Sušilnica v D.I.Vrbovsko, ki je pravkar dokončana, je dejansko temeljita rekonstrukcija sušilnice konstrukcije V-49. To je sušilnica s tremi enotirnimi celicami dolžine 12 m rekonstruirana po osnovnem univerzalnem tipu. Njena sedanja izvedba je predstavljena na Sl. 40. Njene osnovne karakteristike pa so:

- Vmesni strop je ostal v prejšnji izvedbi ki pa povzroča zaradi nizkih gred in nizke vratne preklade nastanek 60 cm visokega praznega prostora med skladovnico lesa in ploščo. Ta prostor je bilo nujno zapreti s pločevinasto zaveso katera se avtomatično dviga in spušča z vrati potom mehanizma zvezanega na vrata.

- Ventilatorski rotorji so reverzibilni iz litega silumina, izdelek našega Instituta.

- K obstoječim grelcem, ki so se skoraj vsi uporabili je vložen še dodatni golocevni grelec montažne izvedbe iz ene vertikalne vrste cevi vezanih baterijsko (v grupo).

Celotno kondicioniranje klime zraka je tudi tu urejeno na "Foxboro" aparaturu. Sušilnica je univerzalna v polnem pomenu besede.

Od Ravnogorske sušilnice naprej so odpadle poševne usmerjevalne stene v agregatnem prostoru in z njimi zračni kanal.



Razen tega ~~so~~ grelci so premaknjeni proti sredini 10 cm od roba vmesnega stropa. Predpostavlja se da je ta stena nepotrebna vsled ustvarjanja zračne blazine v vogalu na prehodu zraka v sušilni prostor. Predviden je za nadaljnje sušilnice prehod na baterijske zaporedno vezane golocevne grelce.

Pri gradnjah je osnovna težava v izdelavi ometov in bitumenskih premazov, največkrat vsled neustreznih materialov, kjerkrat pa tudi vsled odstopanj od recepture. Pri opremi skoraj v vseh primerih nastopajo odstopanja v izvedbi od projektiranih zamisli ker je mnogih primerih skazilo namen konstrukterja. Vendar je zaslediti da si opremo najbolj skrbno izdelajo lesnoindustrijska podjetja sama.

Po opustitvi usmerjevalne poševne plošče ki je tvorila kanal k zračnikom prestavili smo zračnike proti sredini celice da bi kondenzat ne kapljajal na grelce vendar je voda ki je kapljala na vmesni strop odtekla na skladovnico. Pri zadnjih konstrukcijah smo prešli na postavitvev zračnikov nad prehodne odprtine med vmesnim stropom in zidom da kondenzat iz zračnika direktno kaplja na bankino. Grelec pa izdelujemo v celotni višini agregatnega prostora in ga postavljamo na vmesni strop 10 cm od roba le-tega proti sredini celice. Pojavljajo se ugovori tudi tej rešitvi, čes da grelec v taki poziciji ni optimalno izkoriščen, zato se nanovo preučuje postavitvev grelca nad odprtino med vmesnim stropom in zidom ter simetričnost grelcev na obe strani ventilatorjev v primeru dvotirne celice.

##### *5. Zaključne pomenjalne pripombe*

Dnevno prakso zanima odnos med to in drugimi sodobnimi sušilnicami zaradi izbire tipa sušilnice za namenjen material.

Najširšo publiciteto zlasti v Sloveniji in tudi največ sušilnic v Sloveniji je zgrajeno po sistemu "bočne" sušilnice, in sicer Nitschejeve konstrukcije. \*Upoštevajoč dejstvo da ~~ob~~ ~~steja~~ naša konstrukcija "bočne" sušilnice kakor tudi Jelovčeva

elisna bočna sušilnica, ~~ki vse več kot zaostajata za Nitschejevo konstrukcijo~~ <sup>prodajama v madževanji bratov</sup> ne bomo postavili našo univerzalno sušilnico ~~\* primerjavo/~~ <sup>ne</sup> z "Nitschejevo" ampak z "bočno" sušilnico kot sistemom sušilnice na splošno (Sl. 41)

Bočna sušilnica deluje z ventilatorjem premera vsaj 1500 mm in zrak recirkulira vodoravno, kakor je prikazano na Sl. 42. Zrak ima skozi skladovnico 2 prehoda, torej podobno kot je pri naši dvotirni celici, ima pa po navadi še vmesni grelec na nasprotni strani od ventilatorja. Velik ventilator deluje ekonomično pri dobavi velike količine zraka, ~~kot je pri našem ventilatorju od 40-000 m<sup>3</sup>/h.~~ Njegova ekonomija je torej optimalna pri sušenju hitro se sušečega materiala z izparevanjem velikih količin vode iz lesa v časovni enoti. To je primer pri tankem surovem mehkem lesu pri visokotemperaturnem sušenju. Očitno je nemogoče da bi stopnjevali hitrost zraka v eni in isti celici tega sistema. Prilagoditev kapacitete ventilatorja sortimentu ki se lahko doseže z menjanjem števila vrtljajev rotorja pomeni zmanjševanje njegovega koristnega učinka, t.j. poraba pogonske energije ne pada sorazmerno z zmanjšanjem količine zraka, kot je razvidno tudi na diagramu našega ventilatorja. K temu se pridružuje še posebno ugoden učinek turbulencije in podtlaka ki ga povzroča ta ventilator pri velikih hitrosti zraka. Izenačevalni učinek turbulence je tudi razlog sorazmerno enakomernemu <sup>najšemu</sup> sušenju lesa, ~~čprav~~ <sup>ker bi prišlo do dejstva da</sup> so hitrosti zraka v skladovnici zelo različne <sup>je svedala</sup> (nujno vgrajevanje deflektorjev). ~~- tudi~~ <sup>je tudi</sup> položaj grelcev ki so vertikalni in so zlasti pri dušenju dotoka pare na spodnjih koncih hladni. Ker se pa k temu efektu pridruži še najmanjša hitrost zraka v spodnjih plasteh skladovnice se to odraža na zaostajanje sušenja v teh plasteh. Očitno je torej, da ta sušilnica ni univerzalna in se najbolje iskaže v primerih suše-

nja samo surovega mehkega lesa. Pa tudi v tem področju po kapaciteti lahko konkurira samo enotirni univerzalni sušilnici medtem ko ji je dvotirna vsaj ekvivalent.

Razen tega bistvenega elementa razločanja so še naslednji.

Bočna sušilnica je enostvnejše konstrukcije brez nevšečnega vmesnega stropa ter je za ok. 20 % bolj poceni nasproti naši enotirni, neznatno pa je dražja od naše dvotirne celice. Prostorno je neugodnejša ker gre v širino in je med pari sušilnic nujen hodnik. Bočna sušilnica ne dovoljuje pristopa v celico za kontrolo. Vendar v primeru malih kapacitet bočna sušilnica ravno zaradi enostavne konstrukcije in lahke dostopnosti do naprav ima nedvojbene prednosti. ~~Če primerjamo celice s približno istimi kapacitetami (isključno Verž, Ravna Gora in "Jelovica") sledi da imajo sušilnice z zgornjimi ventilatorji za 40% večji notranji volumen celic kot sušilnice z bočnim agregatom ter da se (po iskazanih investicijah) za 22% dražje od slednjih.~~

Primerjavo variabilnih stroškovnih elementov podajamo tabelarno na osnovi ~~natančnejših~~ poskusnih sušenj. Med sušilnicami z zgornjim agregatom (konstrukcija "IGLG") in z bočnim agregatom (konstrukcija "Nitsche"), za normalno-temperaturno in visokotemperaturno sušenje smreke-jelke in normalnotemperaturno sušenje bukovine. Podatki so po veljavnih odnosih med debelinami, temperaturami sušenja in področja vlažnosti izenačeni na nominalni material definiran v tablici. V primerjavo nismo mogli v vseh primerih vzeti iste sušilnice zato ni mogoče tretirati to primerjavo za enotno sušilnico enega ali drugega tipa. Primerjalnost zlasti trpi zaradi uporabe neenako velikih sušilnic. Vendar lahko iz primerjave povzamemo nekaj splošno veljavnih sklepov.

Kot interesantne stroškovne elemente smo primerjali samo cene energiji in stroške v zvezi z investicijo ker se le-ti edini merodajni in ker se bistvene menjajo s storilnostjo sušilnice. Bistveno se menja s storilnostjo sušilnice tudi postavka stroškov za vodstvo sušilnice, predpostavljamo pa da se v primerih obeh sistemov sušilnic enaki, ali vsaj neznatno različni, ker se na eni in drugi strani zajete srednje kapacitete. Postavka za delo je nespremenljiva. Ostali stroški, ki varirajo s storilnostjo so neznatnega vpliva za primerjavo.

a) Pri normalno-temperaturnem sušenju smreke-jelke je hitrost sušenja pri obeh sistemih približno enaka, približno enaki so stroški za porabo pare in stroški v zvezi z investicijo. Poraba toka je pri sušilnici z bočnim agregatom za 140 % višja vendar to ne vpliva bistveno na ceno sušenja ker znaša komaj 10-30 % cene pare. Pri visoko temperaturnem sušenju smreke-jelke je poraba toka na sušilno enoto pri sušilnici z bočnim agregatom še večja in sicer za 180 %. Vendar sodim da bi razlika ostala v mejah razmerja kot pri primeru normalnotemperaturnega sušenja če bi primerjali vse tiste sušilnice kot pri le-temu. Hitrost sušenja je v obeh sistemih skoraj enaka.

b) Pri sušenju bukovine je hitrost sušenja v sušilnici z bočnim agregatom izkazana za 18 % višje kot v sušilnici z zgornjim agregatom. Vendar je sušenje v sušilnici z bočnim agregatom za 50 % dražje kot v univerzalni sušilnici z zgornjim agregatom in sicer zaradi 225% večje porabe električnega toka. To dejstvo v celoti opraviča smotrnost naše konstrukcije univerzalne sušilnice.

Teh nekaj primerjalnih pripomb izhaja iz dosedanjih opazovanj in ni izključeno kako zmotno stališče. Vprašanje izbire med dvema tipa sušilnic z ozirom na namene lesa je

vprašanje na katero bo težko določno odgovoriti brez širše zasnovanega raziskovanja.

Pri izbiri med enotirno in dvotirno celico bomo po vsem kar je bilo prej povedano dali absolutno prednost drugi, kakor v ekonomskem, tako v kvalitetnem oziru. O kvalitetni prednosti je bilo govora že spredaj. Pri dvotirni celici z vmesnim grelcem bodo stroški sušenja po enoti nominalnega materiala nasproti enotirni celici znižani v postavki investicij za ok. 10 % v postavki porabe toka pa v idealnem primeru za 50 %. Če vmesnega grelca ni, se stroški v postavki investicij znižajo za 15 % se pa sušenje po-daljša za ok 20 %. Spodnja razpredelnica podaja pregled približnih stroškovnih indeksov za sušenje enote nominalnega materiala po čistih obratovalnih stroških (brez davkov in režije) v enotirni in dvotirni celici:

Stroškovna postavka	Indeks za celico		
	Enotirna	Dvotirna z vmesnim grelcem	Dvotirna brez vmesnega grela
Anuiteta	130	115	110
Toplota	200	200	200
Pogonska energija	200	100	120
Delo	100	100	100
	630	515	530

Dvotirna celica torej nudi v celoti za ok. 18% v primeru vmesnega grelca in za ok. 16 % če tega ni ekonomičnejše obratovanje. Po višini investicije se izenači z bočno sušilnico tako da tudi v tej postavki, kjer je bočna sušilnica imela prednost pred univerzalno izgubi to prednost nasproti dvotirni celici univerzalne sušilnice.

Iz tega bi lahko izvajali namenske sklepe za izbiro tipa sušilnice, vendar je zadeva aktualna v raziskavi iz katere

bomo lahko dognali natančnejše primerjalne podatke. V izbiri med enotirno in dvotirno celico odloča kapaciteta in elastičnost obratovanja odnosno razmerje sortimentov kar se določa od primera do primera: enotirna celica za male kapacitete in za različnejše materiale, dvotirna za večje množine in ~~enakomerniji~~ enakomernjši material.

## T a b e l e

1. Količine zraka
2. Dôslej zgrajene sušilnice univerzalnega tipa.
3. Primerjava stroškov sušenja po sušilnicah.

Primerjava glavnih variabilnih stroškov sušenja po sušilnicah in vrstah sušenja

Sušilnice	Vrsta sušenja	Sred. sor-timent	Tempe-ratu-ra suš. t°C	Vlažnost lesa %		Za nominalni material *					Stroški v zvezi z inv. din/m <sup>3</sup>	Skupaj glavni stroški din/m <sup>3</sup>
				V zač.	V konč.	Čas suše-nja ur	Elektr. tok		Para			
							kWh/m <sup>3</sup>	din/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	din/m <sup>3</sup>		
<b><u>Smreka - jelka</u></b>												
"IGLG" zg.a. (Pameče, Prevalje, Rav. G., "Hrast"-Ljublj.)	N.T.	23,3	72	65	12	19,5	5	100	398	960	97	1 157
"Nitsche" boč.a. (Verd, Postojna)	N.T.	21,3	88	60	22	20,2	13,5	260	364	873	96	1 229
<b><u>Bukovina</u></b>												
"IGLG" zg.a. (Pameče, Rav. G., "Hrast"-Ljublj.)	V.T.	18	106	151	8,5	14,5	1,8	40	480	1 150	100	1 290
"Nitsche" boč.a. (Verd, Postojna)	V.T.	24	106	91,5	5,6	15,5	17,1	340	481	1 153	125	1 618
<b><u>Bukev</u></b>												
"IGLG" zg.a. (Pameče, Rav. G., "Hrast"-Ljublj.)	N.T.	36,5	67,5	35	8,2	139	29,3	580	590	1 420	666	2 666
"Nitsche" boč.a. (Verd, Radomlje)	N.T.	32	65,0	51,5	13	110	91,0	1 820	632	1 510	578	3 908

+ Nominalni materiali:

Smreka-jelka, 24 mm, N.T.,  $V_z = 60\%$ ,  $V_k = 10\%$ ,  $t = 85^\circ\text{C}$

V.T.,  $V_z = 100\%$ ,  $V_k = 10\%$ ,  $t = 106^\circ\text{C}$

Bukev 35 mm, N.T.,  $V_z = 50\%$ ,  $V_k = 10\%$ ,  $t = 65^\circ\text{C}$



		kg/m <sup>3</sup> h		kg/h		
	Čas sušenja	Čas I. faze	Specifična hitrost sušenja	V celici lesa m <sup>3</sup>	hitrost izparevanja na celico	Potreba zraka m <sup>3</sup> /h
19	51	3,39	21	5,7	120	65 000
25	20	4,53	16,3	6,43	105	50 000
30	25	5,66	13,1	6,18	81	
35	30	6,78	10,9	6,55	71,5	41,500
40	36	8,14	9,1	6,87	62,5	
45	42	9,50	7,8	6,62	51,6	
50	48	10,86	6,8	6,86	46,6	34 000
75	104	23,53	3,15	7,5	23,6	
100	160	36,18	2,04	10,0	20,4	

Tabl.1 Podatki o potrebah pretočnega zraka za sušenje različnih debelin žagane smrekovine.

## S l i k e

1. Shematičen prikaz kroženja zraka v sušilnici V-49
2. Kroženje zraka v sušilnici V-49 po predelavi ventilatorskih usmerjevalnih sten.
3. Kroženje zraka v celici ki ima ventilatorje postavljene tako da so njih gredi pravokotne na vzdolžno os celice
4. Diagram količin zraka
5. Diagram porabe toplote za segrevanje zmrznjene jelovine in bukovine s 3 različne stopnje začetne vlažnosti lesa.
6. Diagram - Specifična poraba toplote za segrevanje sušilnice z jelovino debeline 25 mm na 100°C.
7. Diagram - Specifična poraba toplote na izgube pri sušenju 25 mm debele jelovine, pri srednji temperaturi sušenja 90° in pri zunanjih temperaturah - 20 do + 40°C.
8. Diagram - Specifična poraba toplote na toplotne izgube pri stalni srednji zunanji temperaturi + 10°C in različnih temperaturah sušenja od 40 do 120°C.
9. Diagram. Slika porabe toplote enega sušenja
10. Skica grelca s nataknenimi lamelami
11. Skica grelca s spiralno navito lamelo.
12. Detok pare v grelce.
13. Dilatacija v stropni plošči
14. Vrata.
15. Podloške v izolacijskem traku.
16. Rešitve tesnitev vrat pri tleh.
17. Kontrolna in montažna vratca.
18. Skice sifonskih jaškov.
19. Diagram ventilatorja Ø 900 IGLG
20. Grelec Elan
21. Montažni grelec Zavidovići
22. Zračnik in loputa.
23. Ročica za odpiranje in zapiranje loput.
24. Foxboro priključek na loputo.

25. Elektromotorski pogon.
26. Psihrometri.
27. Foxboro
28. TIO
29. Komandna stena.
30. Shema ročne komande.
31. Shema pnevmatske komande
32. Shema električne komande
33. Sušilnica Pameče.
34. Sušilnica Prevalje.
35. Sušilnica Ravna Gora.
36. Slika kroženja zraka v dvotirni in enotirni celici.
37. Prikaz različnih možnosti sušenja v dvotirni celici na i-x diagramu.
38. Sušilnica v tovarni "Elan"- Begunje
39. Položaj grelca v tovarni "Elan"
40. Sušilnica Vrbovsko.
41. Naša konstrukcija "bočne" sušilnice
42. Princip kroženja zraka v bočni sušilnici.

Klišé sl.3, "Les" št.3/VI, str.3.

## L i t e r a t u r a

1. Bošnjaković, F.: Nauka o toplini, Tehnička knjiga, Zagreb 1950
2. Cividini, R.: "O gradnji novih sušilnih naprav za žagan les"  
LES 1-2/1954
3. Cividini, R.: "Ob dograditvi prvih modernih sušilnic za žagan les v Sloveniji" LES 1954/3
4. Cividini, R.: Condotta dell'Essiccazione artificiale di Segati, Centro Nazionale del Legno, Firenze, 1961
5. Cividini, R.: Su alcune caratteristiche tecniche del legno di faggio dell'Appennino Toscano con speciale riguardo al suo condizionamento di umidità,  
Dis., Centro Nazionale del Legno, Firenze 1961
6. Eisenmann, E.: Kleiner Holzrocknungskurs in konstrukcijska navodila, Stuttgart, 1960
7. Kollmann, F.: "Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe"  
Zweite Auflage, I Band, Springer 1952
8. Krpan, J.: Sušenje i parenje drva, Zagreb, 1958
9. McMillen, J.M.: Accelerated Kiln Schedules, Rpt.No.D 1901,  
F.P.L. Madison, Wisc., 1951
10. Rechnagel-Sprenger: Taschenbuch für Heizung u. Lüftung, 49  
Jahrgang, Verlag v.R.Oldenbourg, München 1956
11. Ritschel
12. Seljugin, N.S.: Suška drevesiny, Goslesbumizdat, Moskva-Leningrad,  
1949
13. Torgeson, O.W.: Schedules for the kiln drying of wood, Rpt. No. 179,  
1951, U.S. Dep. Agric., For. Serv., F.P.L. Madison  
Rens. 1959.
14. Vorreiter, L.: Holztechnologisches Handbuch, Band II., Verlag  
Georg Frome & Co., München, 1958.

24. 8. 4.  
222

No.	Obrat	Cibica				Ventilator				Gedung	Tahun grubungi	Dibantef opname	Papan
		Baru	Mandi dibina	Ekstensi dibina	Meladalu kapasitas	Baru	Baru	Baru	Baru				
1	Pamete	4	8	1	33,2	20	12	0,36	lamelun	1913	Ventilator 3/4		
2	Prawaji	2	8	1	17	8	4,8	0,28	4	1914	4		
3	Pama Gora	3	12	2	146	12	10	0,34	lamelun golceami	1917	Ventilator larbua		
4	Ykrast, Ljub.	1	5	2	7,3	3	3,8	0,38	lamelun	1916	Ventilator		
5	Krivaja, Zavid.	6	12	2	400	42	92,1	0,23	golceami lamelun	1960	larbua	rekonstruksi	
6	Elan, Dapung	4	8	1	33,2	20	16	0,48	golceami	1918	'Khima' cegi		
7	DI Krbrosky	3	12	1	120	21	25,2	0,21	lamelun rean	1969	larbua, vent. latropi, dit. t. t.	Rekonstruksi	
8	STF Serajev	1	4	1	8	3	3,6	0,41	golceami	1961	dit. t. t.		
9	Tovarna uent Ibr. Gradec	3	8	1	100	3	12,0	0,12	lamelun	1960	Ventilator dit. t. t.	Rekonstruksi	
10	FI N Horvath	1	5	2	12				lamelun	1913	Ventilator 3/4		
11	Topol M. B. it.	2	5	1	14	6	4,8	0,34	lamelun		Ekstensi Ljub.	rekonstruksi	
12	Krivaja, Ben gradec	3	12	1	100	11	22,1	0,23	4	1918	Ventilator 3/4	Rekonstruksi dibina	
* ma	in meladalu kapasitete									1912			
4	Meluzja												
5	Novo mesto									1917			
6										84 11	84 89 729		