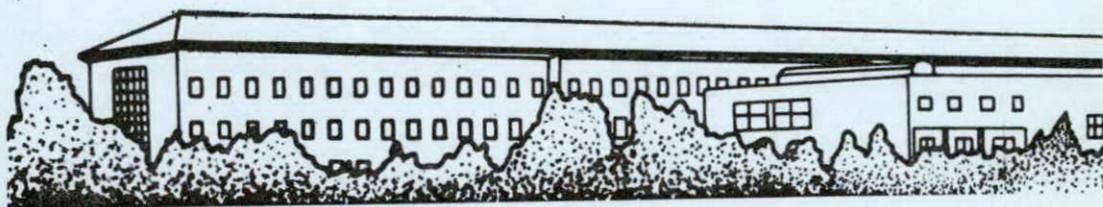


ŠUMARSKI FAKULTET ZAGREB  
ZAVOD ZA ISTRAŽIVANJA U DRVNOJ INDUSTRIJI

# BILTEN



DIGITALNI REPOZITORIJ ŠUMARSKOG FAKULTETA  
2018.

ZAGREB

---

GOD. 3.

ZAGREB 1973

BROJ 2.

---

S a d r ž a j

- |  | str.  |
|--|-------|
| 1. Doc. dr Mladen Biffi, Katedra za kemijsku preradu drva:<br>REFRAKTOMETRIJSKO ODREĐIVANJE FURFURALA .....  | 1-9   |
| 2. Mr. ing Zdenko Pavlin, Katedra za mehaničku preradu drva:<br>SVOJSTVA GRADJEVNE STOLARIJE SA STANOVIŠTA<br>KLIMATSKIH UVJETA U GRADJEVNOM OBJEKTU ..... | 10-18 |

Redaktori:

Dr. STANKO BADJUN

Mr. BORIS LJULJKA

Tehnički urednik:

IVAN MIČUDA

---

Šumarski fakultet Zagreb, Zavod za istraživanja u drvnoj industriji.  
41001 Zagreb, Šimunska 25, pp 178.

# SAVJETOVANJE PROIZVODJAČA GRADJEVNE STOLARIJE

Zagreb 10.IV.1973

Privredna komora Jugoslavije (Savjet za šumarstvo i drvnu industriju) Privredna komora SR Hrvatske (Savjet za šumarstvo i preradu drveta), Institut za drvo Zagreb organizirali su Savjetovanje pod gornjim naslovom. Materijali sa Savjetovanja umnoženi su kao prigodno izdanje i dostavljeni učesnicima.

U nastavku će se dati pregled naslova referata koji su bili obradjeni i referirani na Savjetovanju:

- Mihelić, F. - Biro za lesnu industriju, Ljubljana  
PRIJEDLOG PRIVREMENOG PROPISA O PROZORIMA  
ZA STANOVE, BALKONSKIM I UNUTRAŠNJIM VRATIMA
- Blumenan, I. - GCS predstavništvo, Beograd  
PRAVILNIK O TEHNIČKIM MJERAMA I UVJETIMA  
ZA PROJEKTIRANJE I IZVODJENJE GRADJEVNE STOLARIJE
- Tomasević, J. - Institut za drvo, Zagreb  
ORGANIZACIJA I FINANCIRANJE IZRADE NOVOG  
STANDARDA ZA GRADJEVNU STOLARIJU
- Pavlin, Z. - Šumarski fakultet, Zagreb  
SVOJSTVA GRADJEVNE STOLARIJE SA STANOVIŠTA  
KLIMATSKIH UVJETA U GRADJEVINSKOM OBJEKTU
- Skopal, B. - Zavod za tehnologiju drva, Sarajevo  
ORGANIZACIJA ISPITIVANJA KVALITETA GRADJEVNE  
STOLARIJE
- Ribnikar, Z. - Lesna ind. "Jelovica", Škofja Loka  
TENDENCIJA RAZVOJA TEHNIKE I TEHNOLOGIJE  
PROIZVODNJE GRADJEVNE STOLARIJE
- Rosić, A. - PK Jugoslavije, Beograd  
OSVRT NA PROBLEMATIKU GRADJEVNE STOLARIJE
- Kirin, P. - Reprokoop, Zagreb  
PROBLEMATIKA GRADJEVNE STOLARIJE - PRIMJENA  
I NJEZINA SVOJSTVA
- Čatić, P. - Drvni kombinat "Beograd", Makuš  
PROBLEMI PLASMANA GRADJEVNE STOLARIJE

Opširniji prikazi pojedinih referata tiskani su u časopisu "Drvna industrija", 24 (1973), br 7/8, 9/10. Savjetovanju je prisustvovalo oko 130 stručnjaka iz cijele Jugoslavije.



## REFRAKTOMETRIJSKO ODREĐJIVANJE FURFURALA

### U V O D

Furfural postaje sve traženija kemikalija, koja se najviše koristi za rafinaciju ulja i plastične mase. Dobiva se iz drvnih otpadaka, detaniniranog drva, predhidrolize drva, poljo - privrednih otpadaka i dr., tj iz jeftinih sirovina bogatih pentozanima. To znači da kao drvena sirovina dolazi u obzir samo drvo listaća sa sadržajem pentozana od oko 20-26%, odnosno sa oko 10-14% furfurala u suhoj tvari. Međutim, prilikom konverzije pentozana u furfural iskorištenje iznosi svega 40-50% /bez katalizatora/. Prednost drva u odnosu na ostale biljne sirovine je u tome da se radi bez dodavanja katalizatora, odnosno kao katalizator djeluju kiseline iz drva:

Konverzija pentozana u furfural odvija se u dvije istovremene reakcije i to:

1. Hidrolizom pentozana s razrijeđenim kiselinama u pentoze /1/.
2. Transformacijom pentoza u furfural /2/.

Iz drvnih sirovina furfural se dobiva kao sporedni produkt kod slijedećih kemijskih prerada drva:

- a. Predhidrolizom drva, pri čemu se izdvajaju pentozani, a kasnije se izvrši hidroliza mineralnim kiselinama heksozana na etanol i krmni kvasac. Predhidroliza se također izvodi ako se iz drva želi tehnološkim postupcima dobiti oplemenjenu celulozu.
- b. Iz detaniniranog drva kestena i hrasta, dok se izlučeno iiverje može koristiti za daljnju preradu, npr. za građevinske ploče i slične materijale.

Tehnološke operacije za proizvodnju furfurala su slijedeće /1/:

- a. Digestija drva u autoklavu, kojom se dobije digestijski sok koji je vodena otopina s 2-4% furfurala, organskih kiselina, metanola i acetona.
- b. Frakciona destilacija digestijskog soka u slijedećim frakcijama:
  1. Tvari niskog vrelišta /metanol, aceton/.
  2. 95,2%-tni furfural i voda s 8,3% furfurala.
  3. Voda s organskim kiselinama.
- c. Vakuum destilacija, koja se izvodi zato da bi se iz 95,2%-tnog furfurala dobio 98-99%-tni.

### 2.0. KVANTITATIVNO ODREĐJIVANJE FURFURALA

Za kvantitativno određivanje furfurala postoji cijeli niz metoda, koje se temelje uglavnom na reakcijama aldehidne grupe ili furanskog prstena.



Metode za određivanje furfurala mogu se podijeliti na gravimetrijske, volumetrijske i fizikalno-kemijske.

Od volumetrijskih metoda u praksi se najčešće koriste dvije i to:

1. Bromid-bromat metoda /3/.
2. Hidroksilamin metoda /4/.

Gravimetrijski se furfural može odrediti sa floroglucinom, tiobarbiturnom kiselinom, 2,4 dinitrofenilhidrazinom i dr. /5/.

Kolorimetrijski se furfural može odrediti s nizom reagensa, ali najčešće se u tu svrhu koriste anilin, ksilidin i orcinol /5/.

Od fizikalno-kemijskih metoda u novije vrijeme sve se češće spominje polarografsko određivanje furfurala, kao brza i točna metoda /6/, a također i refraktometrijsko određivanje koje će se ovdje razmatrati.

Konačno, treba spomenuti i spektrofotometrijska i plinsko-kromatografska određivanja furfurala niza autora, navedenih u jednom radu autora ovog članka /7/.

### 3.0. REFRAKTOMETRIJSKO ODREĐIVANJE FURFURALA

Razumljivo je, da mogućnost brze kontrole furfurala u toku njegove proizvodnje predstavlja nužnu tehnološku mjeru u pogonu proizvodnje furfurala. Spomenuta kvantitativna određivanja furfurala su ili relativno dugotrajna ili vezana uz skupu laboratorijsku opremu i stručno osoblje.

Kvantitativno određivanje furfurala pomoću refraktometra, naprotiv, veoma je brzo. Zbog svoje jednostavnosti, određivanje furfurala refraktometrom, prikladno je za praćenje cijelog toka digestije i destilacije. Praktički se količina (%) furfurala nakon mjerenja otopina može očitati direktno s baždarne krivulje, koja se jednom odredi za tu svrhu. Mjerenje indeksa loma svjetla ne predstavlja samo određivanje karakteristične konstante neke čiste tvari, nego se pomoću njega, između ostaloga, može odrediti i koncentracija neke otopine, jer se indeks loma svjetla mijenja proporcionalno s koncentracijom otopljene tvari.

Ova refraktometrijska određivanja furfurala izvršena su kao orijentacijska i to s nedrvnom sirovinom /klipovi kukuruza/ zbog interesa industrije /poljoprivrede/, jer je u to vrijeme trebala početi s proizvodnjom tvornica furfurala u Novom Sadu. U međuvremenu se tehnologija dobivanja furfurala kod nas sasvim preorijentirala na drvene sirovine, a poljoprivredne su napuštene. Radi ovih razloga za daljnja ispitivanja koristiti će se samo sokovi dobiveni iz drvnih sirovina.

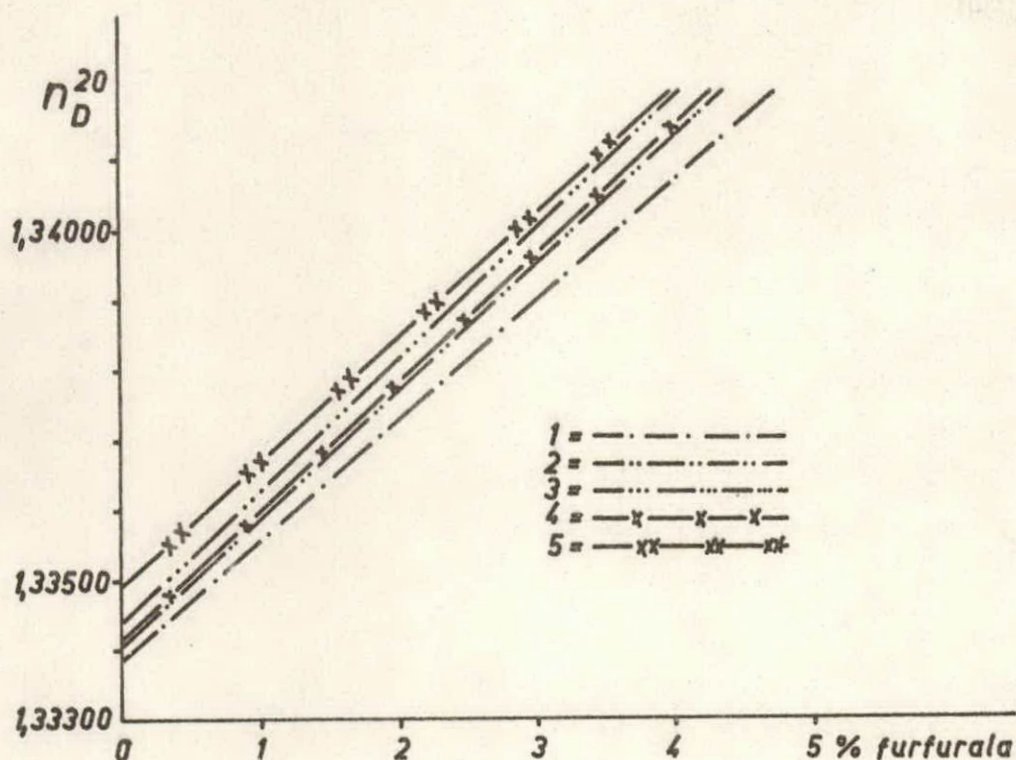
U novijoj literaturi nalazimo neke radove u kojima se opisuje refraktometrijsko određivanje furfurala u vodi i u otopinama, čiji sastav približno odgovara destilatu koji se dobije hidrolizom biljnih otpadaka uz sumpornu kiselinu i tlak /8/.



### 3.1. EKSPERIMENTALNI DIO

Mjerenja indeksa loma svjetla izvršena su Pulfrichovim refraktometrom pri  $20^{\circ}\text{C}$  i uz svjetlo valne dužine 589,3 nm. Prije mjerenja indeksa loma destilata, određeni su indeksi loma sistema prikazanih na slici 1., tj. onih tvari koje dolaze u digestijskim sokovima. Ispitani su slijedeći sistemi:

1. Voda - furfural. Količina furfurala u vodi izražena je u %-cima.
  2. Voda - aceton - furfural. Količina furfurala u 0,50 %-tnoj otopini acetona u vodi izražena je u %-cima.
  3. Voda - octena kiselina - furfural. Količina furfurala u 1 %-tnoj otopini octene kiseline u vodi izražena je u %-cima.
  4. Voda - octena kiselina - aceton - furfural. Količina furfurala u smjesi otopina 0,50 %-tne octene kiseline i 0,25 %-tnog acetona u vodi izražena je u %-cima.
  5. Voda - octena kiselina - aceton - furfural. Količina furfurala u smjesi otopina 1 %-tne octene kiseline i 0,50 %-tnog acetona u vodi izražena je u %-cima.
- Svi postotci su težinski, a furfural od firme "ERBA".



Slika 1. Indeksi loma u ovisnosti o koncentraciji slijedećih sistema:

1. Voda - furfural
2. Voda - aceton - furfural
3. Voda - octena kiselina - furfural
4. Voda - octena kiselina - aceton - furfural
5. Voda - octena kiselina - aceton - furfural

### 3.2. MJERENJE INDEKSA LOMA PRI DESTILACIJI FURFURALA

Destilacije furfurala izvršene su pod sljedećim uvjetima:

A. Kukuruznih klipova 220 kg uz dodatak 200 litara vode

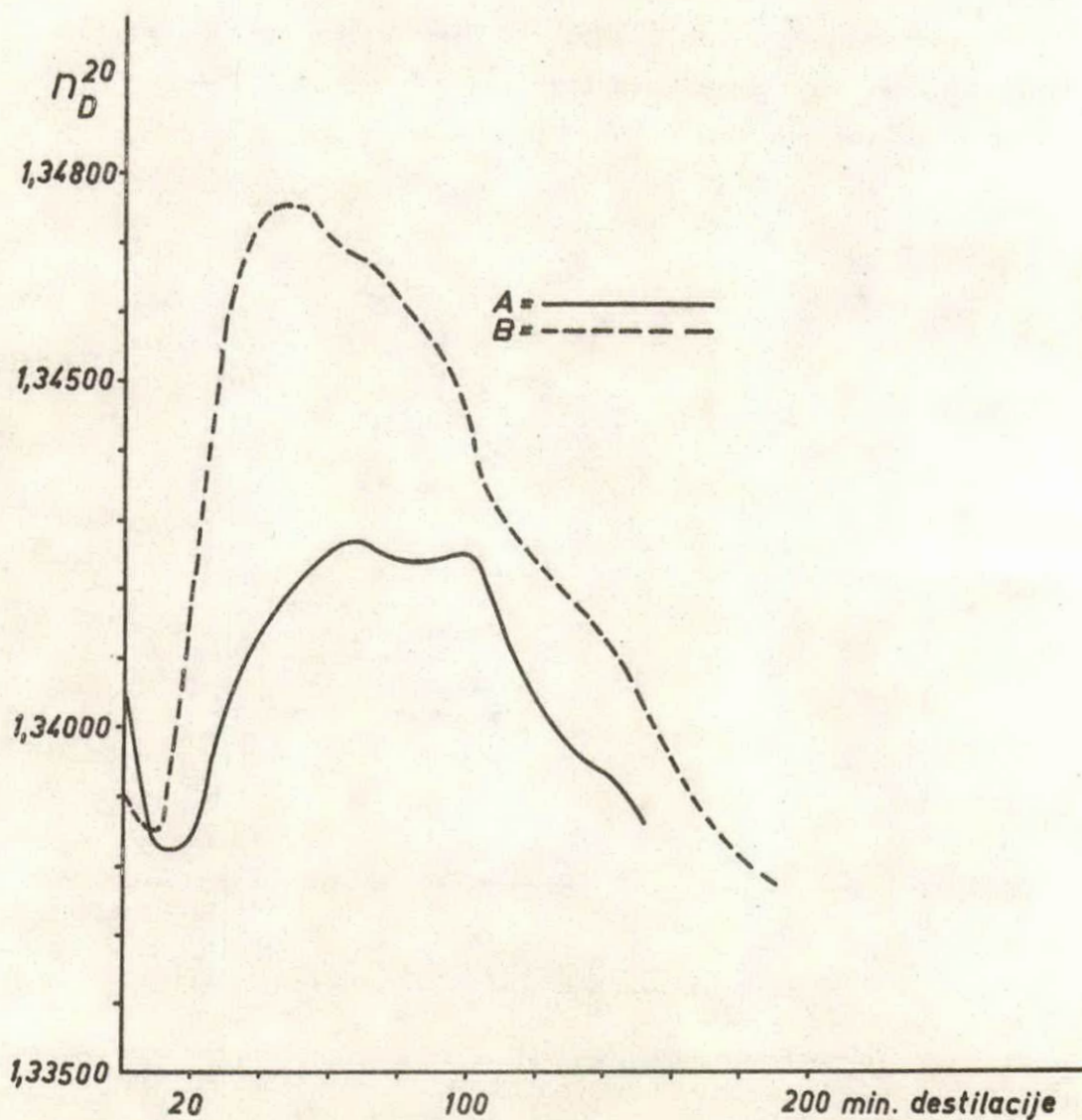
/ na svim slikama krivulje ove destilacije označene su sa "A"/.

B. Kukuruznih klipova 220 kg uz dodatak 200 l vode i 2 kg konc.  $H_2SO_4$

/ na svim slikama krivulje ove destilacije označene su sa "B"/.

Kod obje destilacije tlak je iznosiò 9 atp, a destilacija je trājila po tri sata. Uzroci destilata uzimani su svakih 5 ili 10 minuta, a kasnije je svima izmjeren indeks loma.

Tok destilacije A i B u donosu na indeks loma prikazan je na slici 2.



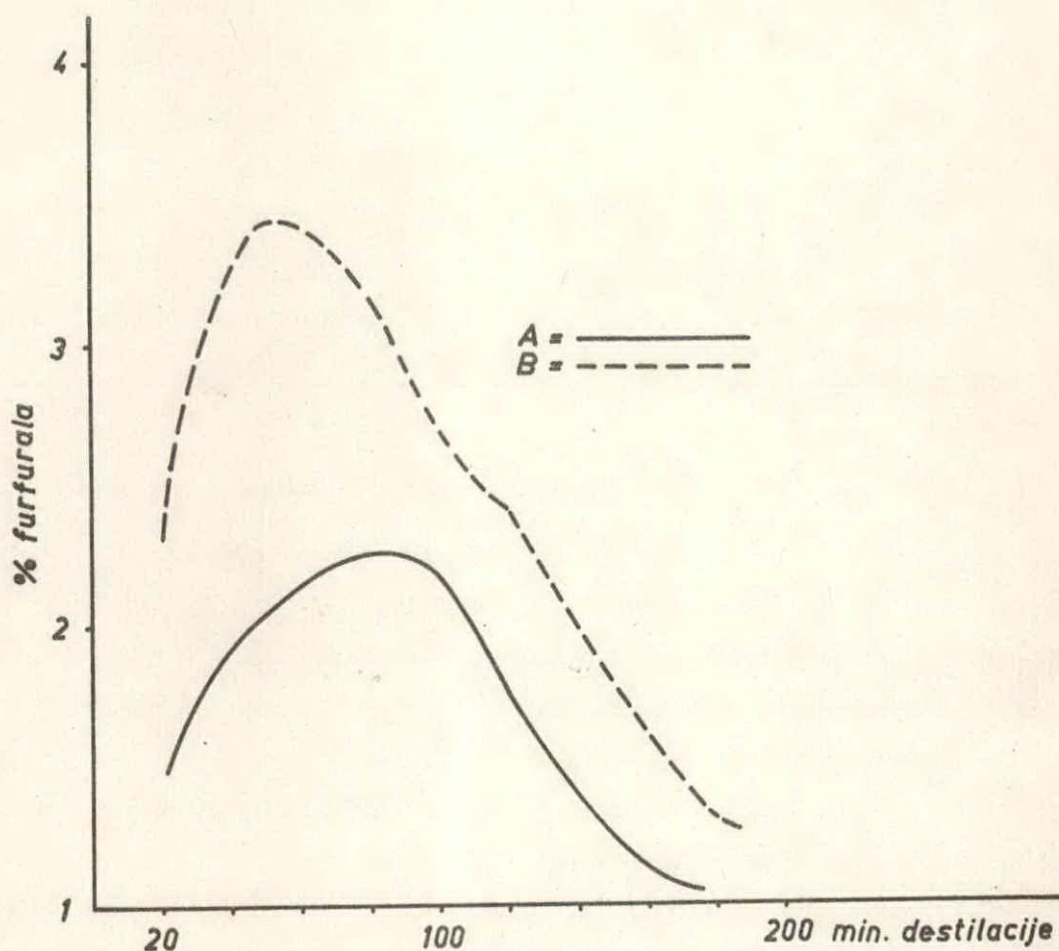
Slika 2. Ovisnost indeksa loma destilata o vremenu trajanja destilacije



U istim uzrocima određen je i postotak furfurala bromid-bromat metodom, a rezultati si prikazani na slici 3. Krivulje A i B na slici 3 u usporedbi sa krivuljama A i B na slici 2 pokazuju da je koncentracija furfurala u destilatu razmjerna sa indeksom loma.

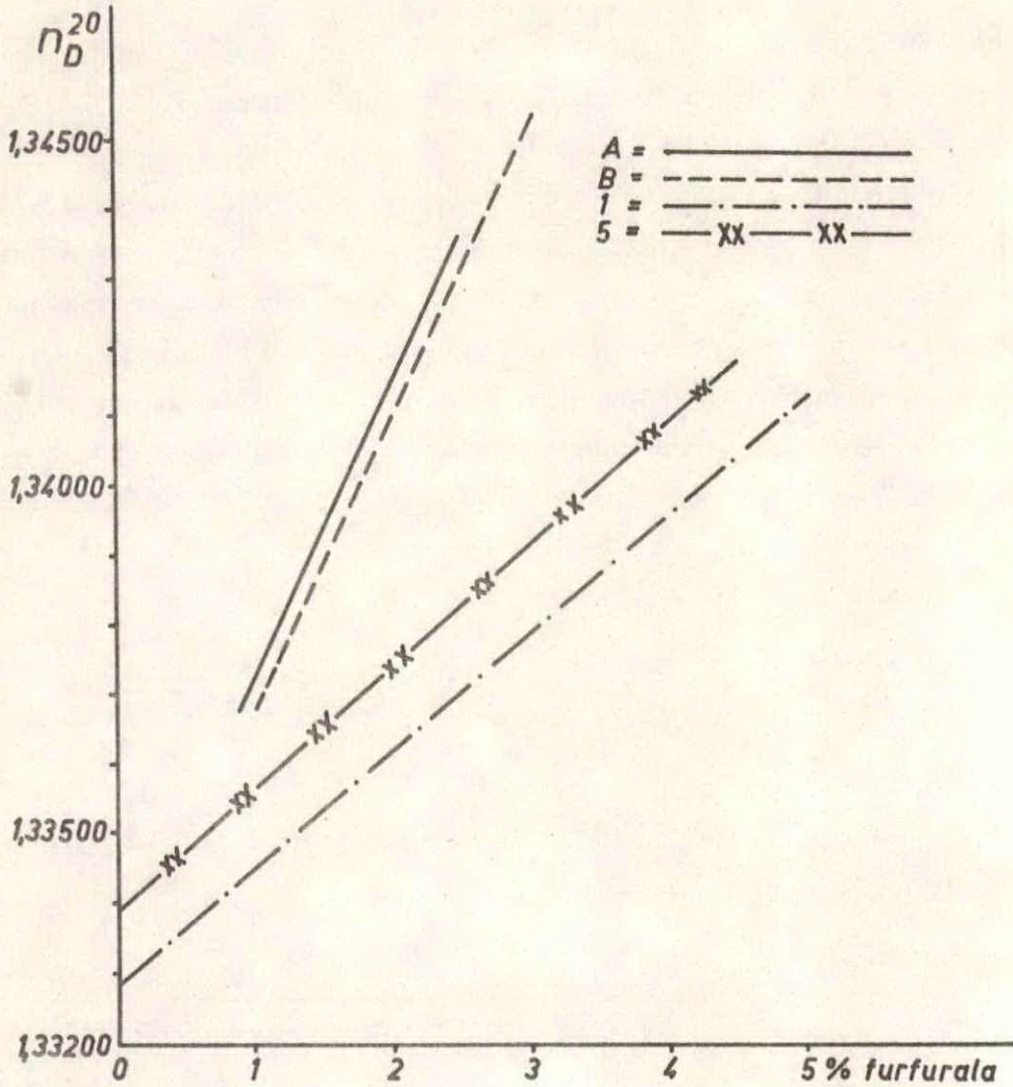
Odnos indeksa loma i postotka furfurala određenog bromid-bromat metodom lako je uočljiv iz krivulja A i B na slici 4. Radi usporedbe na istoj slici je prikazan i odnos indeksa loma i otopine furfurala u vodi (krivulja 1. na slici 1./, kao i odnos indeksa loma i furfurala u vodenoj otopini 1,5%-tne smjese octene kiseline i acetona (krivulja 5. na slici 1/.

Te krivulje ukazuju na mogućnost da se tok destilacije furfurala, odnosno količine furfurala u destilatu, prati sa relativno velikom tačnošću. Ta se tačnost može znatno povećati, ako se izradi krivulja za ujednačenu sirovinu, odnosno za ujednačen tehnološki postupak.



Slika 3. Ovisnost koncentracije furfurala u destilatu o vremenu trajanja destilacije



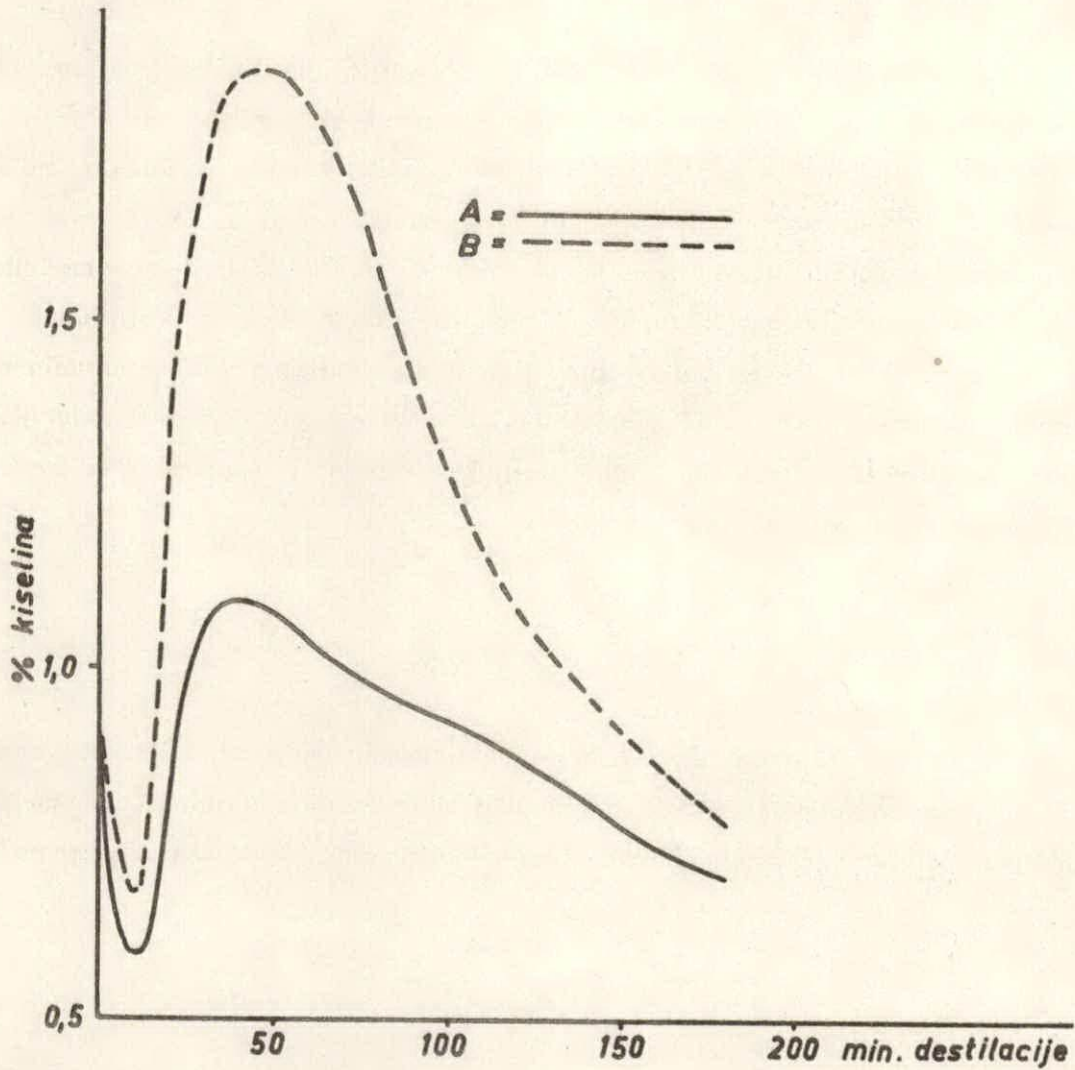


Slika 4. Ovisnost indeksa loma furfurala o njegovoj koncentraciji.  
Krivulje 1. i 5. su baždarne krivulje sa slike 1.  
Krivulje A i B su određene bromid-bromat metodom.

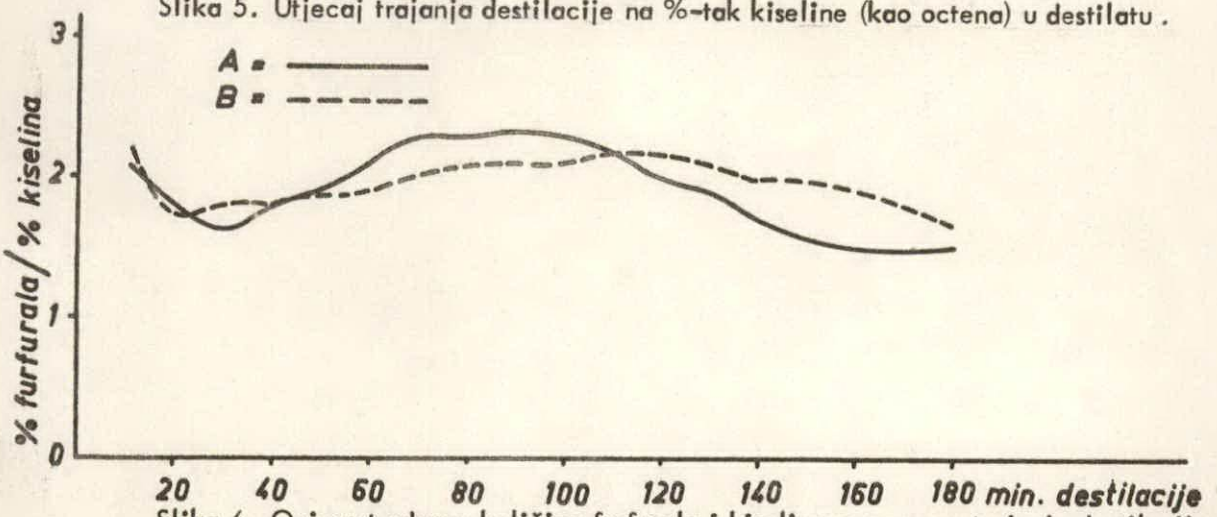
Takodjer je ispitano dali je različita kiselost destilata faktor koji bi mogao ometati kvantitativno određivanje furfurala pomoću indeksa loma. Zbog toga je u svim uzorcima određena kiselost titracijom sa NaOH, a preračunata na octenu kiselinu. Sadržaj kiselina u destilatu prikazan je krivuljama A i B na slici 5.

Iz slike 5 se vidi da su krivulje koje prikazuju količinu kiseline u toku destilacije analogne s krivuljama indeksa loma.

Kod ovih je destilacija količina kiselina otprilike dvostruko manja od količina furfurala, a odnos im je praktički konstantan, kao što se vidi na slici 6.



Slika 5. Utjecaj trajanja destilacije na %-tak kiseline (kao octena) u destilatu.



Slika 6. Ovisnost odnosa količine furfurala i kiseline o vremenu trajanja destilacije.



Prisutnost kiseline očituje se međutim na krivuljama destilacije /usporedi krivulje A i B na slikama 2 i 4/ u tom smislu da uzrokuje samo paralelan pomak krivulje. Taj utjecaj, što je važno, nije bitno ovisan o odnosu količine furfurala i kiseline /usporedi krivulje 1-5 na slici 1/. Isto tako, što je još važnije, niti promjene koncentracije kiseline u toku destilacije ne uzrokuju deformaciju baždarne krivulje /vidi A i B, slika 4/. čemu je vjerojatno uzrok više ili manje stalan odnos /slika 6/ koncentracija furfurala i kiseline u destilatu.

Iz svega izloženoga može se zaključiti da je određivanje količine furfurala refraktometrom, naročito u praćenju toka destilacije, vrlo brzo i pogodno obzirom na svoju jednostavnost. Kvantitativno određivanje furfurala refraktometrom zahtijeva samo određivanje jedne ili prema potrebi više baždarnih krivulja.

#### 4.0. S A Ž E T A K

Tok destilacije furfurala iz kukuruznih klipova praćen je refraktometrom. Rezultati pokazuju da se pomoću jednostavne baždarne krivulje može brzo i sa dovoljnom točnošću odrediti postotak furfurala u destilatu. Prisutne kiseline ne smetaju dobivanju točne baždarne krivulje.

## 5.0. LITERATURA

1. Opačić, I.: (1968) Kemijska prerada drva, Zagreb.
2. Wolfrom, M.L., Schmetz, R.D., Calvalieri, L.F.: (1948) J. Am. Chem. Soc. 70, 514-518.
3. Kullgren, C., Tydén, H.: (1929) Ing. Vetenskaps Akad. Handl., 94, 3.
4. Bryant, Smith: (1935) J. Am. Chem. Soc., 57, 57.
5. Dunlop, A.P., Peters, F.N.: (1953) The Furans, Reinhold Publishing Corp., New York.
7. Biffli, M.: (1968) Spektrometrijsko i plinsko-kromatografsko ispitivanje furfurala, habilitacijski rad, Zagreb. (rukopis)
6. Stepan, R.A., Holkin, Ju.I. Počapskaja N.P.: (1963) Gidroliznaja i lesohimi-českaja promišljenost, 16, 23.
8. Ščebakov, A.A. Pustovoit, L.V.: (1972) Lesnoi žurnal, No. 5, 139.



SVOJSTVA GRADJEVNE STOLARIJE SA STANOVIŠTA KLIMATSKIH  
UVJETA U GRADJEVNOM OBJEKTU\*

Upotreba drva kao sirovine u velikoj mjeri ovisi o njegovom sadržaju vode. Drvo je higroskopan materijal, te se njegov sadržaj vode stalno mijenja s promjenama atmosferskih uvjeta. Sadržaj vode u drvu mijenja se, sve dok se ne postigne ravnoteža između vanjskog (atmosfera) i unutarnjeg (drvo) pritiska pare. Pri konstantnim uvjetima temperature i relativne vlage zraka, takva ravnoteža može se postići. Sadržaj vode koji drvo u tim uvjetima sadržava naziva se ravnotežni sadržaj vode. U slobodnoj atmosferi ravnoteža nikad ne nastupa, iako može biti više ili manje približna.

Sušenje drva, koje je ovdje prisutno, treba promatrati kao dinamičku ravnotežu između prelaza topline iz cirkulirajućeg zraka na drvo, isparavanja vode s površine drva, difuzije vode kroz drvo i toka slobodne vode u drvu.

Prilikom sušenja drva troši se toplota na razdvajanje vode od drvene tvari, za kretanje vode kroz drvo, te za isparavanje vode s površine drva.

Kretanje vode kroz drvo je vrlo kompliciran proces. U glavnom, voda se može kretati kroz drvo u tri oblika:

- kao vodena para kroz stanične šupljine i pore jažičnih membrana, kao slobodna voda kroz iste elemente i kao vezana (higroskopska) voda kroz provodne kapilare u staničnoj membrani.

Kod niskog sadržaja vode, kretanje vode je isključivo kretanje vodene pare kroz stanične šupljine ispunjene zrakom. Kretanje vezane vode kroz celuloznu tvar smanjuje se smanjenjem u sadržaju vode. Posljednji tragovi (ostaci) vezane vode u drvu vrlo se teško pokreću. Sa smanjenjem sadržaja vode u drvu, zbog toga dolazi do relativnog povećanja difuzije vodene pare. Tako da kod dovoljno niskog sadržaja vode u drvu, difuzija vode može biti čista difuzija vodene pare, kroz pore jažičnih membrana i kroz zrakom ispunjene stanične šupljine.

Vodena para i slobodna voda ne tvore čvrstu vezu s drvnom tvari. Vezana (higroskopska) voda zbog velike privlačnosti čvrsto je vezana za strukturu stanične membrane.

Poznata su tri mehanizma, obzirom na adsorpciju vode:

- monomolekularna adsorpcija (dominira kod niske relativne vlage)
- polimolekularna adsorpcija (dominira u srednjem i visokom području relativne vlage)
- kapilarna kondenzacija (kondenzacija vodene pare s obzirom na relativni pritisak vodene pare i veličinu kapilara). Kapilarna kondenzacija ograničena je volumenom slobodnog prostora u staničnoj membrani.

Sadržaj vode drva, kod kojeg su stanične membrane još uvijek zasićene vodom, a lumeni stanica sadrže samo mješavinu zraka i vodene pare nazivamo točka zasićenosti žice. Ona u prosjeku za sve ispitane vrste drveta iznosi 29,3%, no u praksi se uzima da točka zasićenosti iznosi pro-

\* Referat na Savjetovanju proizvođača građevne stolarije



sječno 30%, s tim da joj je donja granica 20%, a gornja 40%. Točka zasićenosti ne odnosi se na drvo kao cjelinu, jer komad drva može imati srednji sadržaj vode 30%, ali u pojedinim staničnim šupljinama može biti i slobodne vode.

Razlika u postotku sadržaja vode kod točke zasićenosti uzrokovane su razlikama u kemijskom sastavu, kristalizaciji celuloze, gustoći stanične membrane, volumnoj težini i sadržaju ekstraktivnih tvari. Svježije drvo (koje nikada nije bilo sušeno) ima višu točku zasićenosti od drva koje je već bilo sušeno.

Kapacitet zraka s obzirom na sadržaj vode raste naglo kod povišenih temperatura. Zrak koji sadrži maksimalnu količinu vode u obliku vodene pare, kod određene temperature je zasićen. Smanjenjem temperature dolazi do kondenzacije.

Drvo postiže ravnotežni sadržaj vode, ukoliko je dovoljno dugo održavano u zraku kod konstantne temperature i relativne vlage. Relativna vlaga zraka utvrđuje se prilikom sušenja pomoću temperatura suhog ( $t$ ) i vlažnog ( $t_v$ ) termometra. Očitavanje na vlažnom termometru ( $t_v$ ) je depresija uzrokovana isparavanjem, za što se troši određena količina topline.

Ravnotežni sadržaj vode koreliran je kod svih relativnih vlaga zraka s temperaturom (u području od  $25^{\circ}$  do  $100^{\circ}\text{C}$ ) tako da povećanje temperature smanjuje ravnotežni sadržaj vode u drvu.

Iverice i vlaknatice se obično upotrebljavaju u relativno uskom području temperatura, od  $15$  do  $32^{\circ}\text{C}$ . I njihov se sadržaj vode mijenja s promjenom relativne vlage zraka. Zbog raznih dodataka ukomponiranih u ove proizvode, te zbog povišene temperature prilikom prešanja, njihov ravnotežni sadržaj vode je signifikantno niži od normalnog (kompraktog) drva.

Promjene u sadržaju vode uzrokuju promjene dimenzija u staničnoj membrani kad se količina vode u drvu mijenja u higroskopskom području (ispod točke zasićenosti žice), tj. kad se njegov sadržaj vode povećava i smanjuje. Izvor poteškoća u upotrebi drva leži u činjenici da uz to što je drvo higroskopno, ono je i anizotropno. Njegove promjene dimenzija su različite u longitudinalnom, radijalnom i tangencijalnom smjeru. To može uzrokovati u normalnom drvu pojavu pukotina, vitlanja (vitoperenja) i ostalih pojava degradacije, koje mogu biti povećane prisustvom nepravilnosti u strukturi (reakcijsko drvo, usukanost žice).

Kako se drvo suši od točke zasićenosti do standardno suhog stanja ono se uteže, i obrnuto, kod navlaživanja suhog drva, ono bubri. Zbog nejednolikog utezanja po dužini i poprečnom presjeku, daske (piljenice) se vitlaju prilikom promjena sadržaja vode. Precizno određivanje promjena u sadržaju vode prosušenog drva izloženog promjenama atmosferskih uvjeta praktički je nemoguće. Faktor kontrole takovih promjena je atmosferski pritisak pare, koji se stalno mijenja.

Drvo u upotrebi mijenja tokom godine ravnotežni sadržaj vode, ovisno o promjenama relativne vlage i temperature zraka. Zbog toga je u zagrijavanim prostorijama zimi niži



ravnotežni sadržaj vode nego ljeti. Zagrijavanjem zraka smanjuje se njegova relativna vlaga. Atmosfera unutar zagrijvanih objekata je zimi obično mnogo suhlja i toplija s obzirom na vanjsku atmosferu. Oba ova faktora utječu na ravnotežu sadržaja vode. U nezagrijanim prostorijama je obrnuta situacija, tj. ljeti je niži ravnotežni sadržaj vode drva.

Utjecaj dodatne relativne vlage u zraku koji je različit u pojedinim prostorijama, zavisno o namjeni, zahtjeva dodatni oprez pri odradivanju najpovoljnijeg sadržaja vode u drvu. prilikom ugradnje.

Ravnotežni sadržaj vode unutar drva pojedinog objekta, uvijek je niži od ravnotežnog sadržaja vode iste vrste drva izvan objekta. Razlike variraju vjetojatno od = 1% (za vrijeme vrućeg i suhog razdoblja) do = 15% (zimski uvjeti). Kao što je vidljivo postoji godišnji ciklus vrijednosti, koji je uzrokovan sezonskim promjenama u atmosferi (relativna vlaga i temperatura zraka). Promjene unutar objekta nisu tako velike kao one izvan objekta.

Kondenzacija u stambenim objektima, do koje dolazi zimi primarni je problem u pojedinim krajevima. Sprečavanje kondenzacije drenažom i ventilacijom je za sada najuspješnija. Najveća oštećenja javljaju se u "vlažnim" prostorijama, iako se mogu javljati i u zidovima između hladnih soba i zagrijvanih kuhinja, kupaonica i praonica. Sprečavanje se sastoji od smanjenja vlage i umjerenog zagrijavanja. Barijere (zapreke) protiv kretanja vodene pare i toplinska izolacija su također uspješne, no stvaraju teškoće prilikom izvedbe i održavanja. Treća vrsta kondenzacije nastaje zbog radijacije topline za vrijeme vedrih noći. Oštećenja ove vrste pojavljuju se na pregradama i vratima.

Pojava mrlja, pljesni, gljiva i bakterija vezana je s različitim vrstama kondenzacije, razgradnja drva ovisi o vrsti gljiva, sadržaju vode u drvu i temperaturi.

Prevelik sadržaj vode u različitim oblicima, čest je uzrok problema kondenzacije, u stambenim objektima i ostalim građevinama, što uzrokuje oštećenja koja se mogu lako spriječiti, a nastaju zbog kretanja vodene pare kroz zidove i stropove. Ovi problemi mogu rezultirati u prekomjenim troškovima održavanja, kao što je potreba za prečestim obnavljanjem premaza građevne stolarije. Postavljanje odgovarajućih zapreka pari, upotreba odgovarajuće izolacije, te odgovarajuća ventilacija uklonit će većinu takovih poteškoća.

Rezultati dugogodišnjih istraživanja u FPL Madison - USA, kao i ostalih naučnih radnika s velikim iskustvom na području rješavanja problema kondenzacije, dali su mnogo dragocjenih informacija. Ove sadrže, informacije i prijedloge za ispravan način postavljanja zapreka pari, toplinske izolacije i ventilaciju u stambenim objektima.

Kondenzaciju možemo opisati kao promjenu iz stanja pare u tekuće stanje. Kako molekule pare u prosjeku imaju veću potencijalnu energiju od molekula tekućine koja je u ravnoteži s parom, očito je da proces isparavanja mora biti praćen apsorpcijom, a kondenzacija oslobodjenjem energije. Apsorbirana toplina, kod isparavanja određene količine tekućine, naziva se latentna toplina isparavanja.



Ukoliko se proces odigrava pri konstantnom volumenu, tada je toplinska promjena ravna energiji koja je potrebna da se savlada sila privlačenja u tekućini.

Vodena para unutar stambenog objekta, ukoliko nije spriječena, može se kretati kroz zidove ili strop, za vrijeme sezone zagrijavanja, prema hladnim površinama gdje kondenzira.

Drvo i razni materijali izradjeni iz drva mogu bubriti zbog te dodatne vlage što rezultira u pojavi vitlanja (koritavost, izbočenost, vitoperenje).

Troškovi premazivanja, ponovnog uredjenja, skupocjeno održavanje i eventualna zamjena pojedinih dijelova uzrokovanih kondenzacijom za vrijeme hladnog vremenskog razdoblja, mogu se lako smanjiti ili čak eliminirati upotrebom odgovarajućih konstrukcijskih detalja.

Relativna vlaga zraka u još nenastanjenim objektima uglavnom je veća od one u objektima sagradjenim pred više godina. Stari objekti uglavnom su veći, s visokim stropovima, njihovi prozori nisu toliko izloženi vremenskim nepogodama, a njihovi konstrukcijski detalji dopuštaju kretanje zraka u oba smjera.

Relativna vlaga kreće se prema hladnim površinama i ukoliko je to kretanje ograničeno, ona će kondenzirati na tim hladnim površinama.

Načini sprečavanja problema kondenzacije su različiti. Oni uglavnom uključuju odgovarajuću upotrebu zapreka pari i dobru ventilaciju. Daleko je jeftinije i jednostavnije te mnogo uspješnije uvesti to za vrijeme gradnje objekta nego naknadno u već naseljenim objektima.

Kondenzacija nastaje kada temperatura zraka padne ispod temperature rosišta (100%-tna zasićenost zraka vodenom parom). Obično, u ovakvim uvjetima su neke površine hladnije od rosišta i dostupne vlažnom zraku, te se vlaga kondenzira na tim površinama.

Normalno se dvije vrste kondenzacije javljaju u stambenim objektima. Za vrijeme hladnog vremena vidljiva kondenzacija se prvo primjećuje na prozorskom staklu, a može se pojaviti i na hladnim površinama (zidovi i strop). Ostale površine, gdje se vidljiva kondenzacija može javljati su podrumski prostori (ispod stambenih površina). Kada je relativna vlaga zraka u stanovima povećana, površinska kondenzacija se javlja već i kod više vanjske temperature.

Kondenzacija u skrivenim područjima, kao što su međuprostori u zidovima, mnogo je štetnija od vidljive kondenzacije. Vodena para koja se kreće kroz porozne zidove i stropove odgovorna je za takva oštećenja.

Vodena para takodjer se kreće kroz stalne otvore (napukline i raspukline) oko vratiju i prozora, te ventilacijom, no to smanjenje u koncentraciji vodene pare obično je nedovoljno za eliminiranje problema kondenzacije.



Vlaga, koja nastaje u stambenim objektima ili koja ulazi izvana, mijenja postotak relativne vlage. Stanovanjem u objektima nastaje vlaga pranjem, kuhanjem, kupanjem, disanjem ljudi i isparavanjem biljaka.

Površinska kondenzacija na prozorskim staklima, hladnim zidovima (s ograničenim kretanjem zraka) ukazuje na preveliku koncentraciju vlage u zraku.

Izrada temelja, zidova, stropova, kao i žbukanje, zahtijevaju velike količine vode za vrijeme gradnje. Veći dio te vode isparuje s površine, za što je potrebna odgovarajuća količina topline, sve dok se ne postigne ravnotežni sadržaj vode s okružujućom atmosferom. Ta dodatna količina vode povećava pritisak vodene pare prema hladnim površinama potkrovlja ili zidova.

Čest je slučaj da nastaju problemi u vezi vlage, prilikom završetka gradnje samog objekta. Ovi se problemi normalno smanjuju nakon prve sezone zagrijavanja objekta. Za smanjenje, te prekomjerne vlage, najjednostavniji način je zagrijavanje i ventilacija ovakvih objekata.

Stepen kondenzacije, koja nastaje u zidovima, zavisi o otpornosti materijala, prolazu pare, o razlici o pritisku pare i o vremenu. Visoka temperatura i relativna vlaga zraka u objektu u kombinaciji s niskom vanjskom temperaturom, rezultirati će u kretanju pare kroz zidove ukoliko ne postoje zapreke kretanju pare. Pogodan način kontrole uvjeta za kondenzaciju, moguće je određivanjem akumuliranog sadržaja vode u drvenoj oplati.

U FPL, Madison, USA proveden je ekstenzivan program za dobivanje informacija o prosječnom sadržaju vode različitih drvnih proizvoda, koje će ovi postići u upotrebi. Za dobivanje informacija, potrebnih zbog adekvatnije upotrebe drvnih proizvoda korišteni su uz uobičajene vlagomjere za drvo i osjetljivi elementi, nalik na vilice vlagomjera koji se mogu stavljati i po potrebi ostavljati u pojedinim mjestima u drvnim proizvodima u upotrebi. Na taj način izvršena su mjerenja sadržaja vode tokom godine. Preko 100 ovakvih elemenata upotrebljeno je za određivanje gradijenta sadržaja vode u zidovima od drva tokom godine, oko 1000 za određivanje gradijenta sadržaja vode u lameliranim elementima ugradjenim u raznim konstrukcijama, a nekoliko stotina za određivanje gradijenta sadržaja vode u lamelarnim elementima mostova.

Istraživanja u vezi promjena u sadržaju vode prosušenog drva, vode se u dva smjera:

1. Uzorci drva stavljaju se na različita mjesta ( u različite dijelove građevinskih objekata i izvan objekata - u šupe ili izvan njih). Povremeno se važu uzorci i gravimetrijskom metodom određuje se sadržaj vode.
2. Bez uzoraka drva. Očekivani sadržaj vode izračuna se ili odredi grafički na osnovu atmosferskog stanja (temperature i relativne vlage zraka) kao ravnotežni sadržaj vode.



Druga metoda je jednostavnija, ali je pitanje njene točnosti, u usporedbi s prvom metodom.

Provedeno je komparativno istraživanje vrijednosti ravnotežnog sadržaja vode jednom i drugom metodom na osnovu mjesečnih, tjednih i dnevnih rezultata. Rezultati pokazuju dobro podudaranje osobito kod mjesečnih srednjih vrijednosti. Prosječni mjesečni rezultati, koji su od veće praktične važnosti, dani su u tabeli 1. Podaci su dovoljno točni za praktičnu primjenu. Prosječni mjesečni podaci temperatura i relativnih vlaga zraka dobiveni su iz 239 evropskih meteoroloških stanica.

Slična istraživanja vode se i drugdje. Tako je npr. svrha jednog istraživanja bila ustanoviti kako brzo daske za podove primaju vodu, ako su osušene na 9% sadržaja vode, a postavljene su na različita mjesta u objektu. Uz to trebalo je još ispitati utjecaj različitih metoda zaštite za vrijeme uskladištenja. Istraživanja su provedena na daskama od 3,6 do 4,9 m dužine. Svežnjevi dasaka stavljeni su na različita mjesta u objektu ili su bili izloženi vanjskim uvjetima. Prosječni sadržaj vode određivan je vaganjem svežnjeva svakog tjedna. Rezultati pokazuju da način uskladištenja jako utječe na promjenu sadržaja vode u drvu. Izveden je zaključak da je poželjno da se daske umjetno osuše na sadržaj vode koji je u ravnoteži s klimom u objektima.

Prema mjerenju njemačkih instituta za ispitivanje materijala, relativna vlaga zraka u pojedinim razdobljima od izgradnje objekta pa nadalje, jako varira na samom objektu. Na osnovu tih podataka i prosječne temperature od 20°C izračunate su vrijednosti za ravnotežni sadržaj vode, koji bi drvo postiglo da je bilo izloženo toj klimi kroz određeno vrijeme.

Ekstremne promjene sadržaja vode u drvu u uvjetima gradnje mogu biti izazvane raznim faktorima a glavni su:

- vlaga koju absorbira drvo tokom sušenja betona, žbuke i ostalog materijala iz kojeg je objekt izgradjen,
- vlaga adsorbirana od žbuke, vode itd. koja može doći u direktan kontakt s drvom tokom gradnje.
- gubici u sadržaju vode drva, izazvani nedovoljnim sušenjem drva prije ugradnje.

U svijetu se daju samo općenite upute za postupak s drvom gradjevne stolarije kao npr.:

- Drvo u nezagrijavanim objektima te vanjskim dijelovima objekata treba ugraditi sa sadržajem vode koji odgovara ravnotežnom sadržaju vode za prosječne vanjske uvjete, npr. 9% u suhoj regiji i 12% u vlažnoj regiji.
- Upotrijebiti drvo koje je osušeno na sadržaj vode srednje vrijednosti, s obzirom na promjene vlažnosti koje će drvo postići u upotrebi.
- Ukoliko nije unaprijed poznato u kojem će mjestu proizvod biti upotrebljen, drvo treba



osušiti do sadržaja vode koji je blizu prosječnoj pretpostavljenoj vrijednosti za suhu i vlažnu regiju.

- Prosušeno drvo podesno je za dijelove koji obično nisu izvrgnuti zagrijavanju ili za upotrebu u konstrukcijama u kojima se mogu dozvoliti utezanja drva.
- Svježe drvo treba ograničiti u upotrebi samo tamo gdje može sadržati visoki sadržaj vode. Kada se upotrebi svježe drvo, potreban je oprez zbog opasnosti od pojave truleži.

Tabela 1.

## PRORAČUNSKI I STVARNI\* RAVNOTEŽNI SADRŽAJ VODE U %

VRIJEDNOST UZORAKA RAZLIČITIH VRSTA DRVA I DIMENZIJA, KROZ RAZDOBLJE OD 18 MJESECI

Mjeseci	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
R.S.V.	11,1	9,8	9,1	8,0	8,4	10,6	14,6	15,4	13,5	14,9	15,0	12,1	10,1	9,9	8,7	7,7	8,1	9,2

## UZORCI DIMENZIJA 1 x 10 x 25 (cm)

Bukovina	13,1	10,9	10,4	8,8	8,7	10,4	13,1	15,9	14,0	14,7	14,4	13,1	11,6	10,6	9,5	8,3	8,2	8,6
Hrastovina	14,2	12,0	11,2	9,6	9,4	10,9	13,3	14,9	14,3	14,9	14,7	13,7	12,6	11,5	10,4	9,2	9,0	9,3
Kestenovina	13,9	11,7	11,2	9,5	9,4	10,8	12,9	14,3	13,8	14,3	14,1	13,3	12,3	11,2	10,2	9,1	8,8	9,2
Borovina	13,8	11,4	10,9	9,4	9,2	10,9	13,6	15,3	14,4	15,0	14,7	13,4	12,0	11,0	10,0	8,7	8,8	9,0

## UZORCI DIMENZIJA 2,5 x 10 x 25 (cm)

Bukovina	13,4	11,4	10,5	9,0	8,8	10,2	12,6	14,4	13,8	14,8	14,3	13,3	12,1	10,7	9,8	9,6	8,3	8,6
Hrastovina	14,6	12,8	11,7	10,1	9,7	10,6	12,2	13,6	13,4	13,9	14,0	13,4	12,6	11,4	10,6	9,7	9,1	9,3
Kestenovina	13,8	12,0	11,1	9,6	9,3	10,2	11,8	13,1	12,9	13,4	13,4	12,7	12,0	11,0	10,2	9,2	8,8	9,0
Borovina	13,7	11,7	10,8	9,3	9,0	10,6	13,0	14,7	14,1	14,8	14,6	13,4	12,3	11,0	10,0	8,9	8,5	8,9

## UZORCI DIMENZIJA 5 x 5 x 25 (cm)

Bukovina	13,7	11,7	10,7	9,1	8,8	10,0	12,2	13,9	13,6	14,2	14,2	13,3	12,2	10,9	10,0	8,9	8,3	8,7
Hrastovina	15,3	13,5	12,4	10,8	10,3	10,8	12,1	13,3	13,3	13,7	13,8	13,4	12,7	11,8	11,0	10,1	9,9	9,6
Kestenovina	14,4	12,8	11,8	10,3	9,9	10,5	11,8	12,9	12,9	13,3	13,3	12,9	12,3	11,4	10,7	9,9	9,3	9,4
Borovina	14,1	12,2	11,2	9,6	9,3	10,6	12,3	14,5	14,1	14,7	14,7	13,7	13,6	11,4	10,5	9,3	8,9	9,2

R.S.V. - ravnotežni sadržaj vode u %.

\* Mjesečni srednjaci (osnivaju se na tjednim mjerenjima) 12 uzoraka veličine 1 x 10 x 25 (cm), 12 uzoraka 2,5 x 10 x 25 (cm) i 6 uzoraka 5 x 5 x 25 (cm).



LITERATURA

1. STEVENS, W., MECH, A. and HODG E, R.: (1946) Moisture changes in timber exposed to normal weather conditions. F.P.R.L. - Reprinted from "Timber News", Novemb., Vol LIV. No. 2089, pp 400/402.
2. HODG E, R. and MECH, A.: (1947) The moisture content of roof timbers F.P.R.L., Princes Risborough,
3. WOOD, L.: (1954) Structural performance requirements in housing codes. American society for testing materials.
4. STEVENS, W. and MECH, A.: (1954) Softwood floors in new building Wood, Vol. 19. pp. 194-195.
5. WOOD, L.: (1957) Recommended building code requirements for wood or wood - base materials. F.P.L. Madison, No. 2075,
6. SWEET, C. and JOHNSON, R.: (1958) Selection of lumber for farm and home building U.S. Departm. of Agriculture, No. 1756.
7. LUXFORD, R.: (1958) Prefabricated house system developed by the F.P.L., Rept. No 1165 (Revised).
8. TEESDALE, L.: (1958) Thermal insulation made of wood - base materials F.P.L., No. 1740, (Revised).
9. TARKOW, H.: (1960) Interaction of moisture and wood F.P.L., No 2198.
10. FLEISCHER, H.: (1960) The use of wood in tomorrow's house. For. Prod. Journal,
11. PECK, E.: (1961) Moisture content of wood in use F.P.L., No. 1655,
12. \* \* \*: (1962) Proceedings of the Symposium on fastenigs for wood in house construction F.P.L., No. 2241.
13. PAVLIN, Z.: (1963) Sadržaj vode u drvu gradjevne stolarije. Drvna industrija, god. XIV, broj 1-2, 3-10
14. NOACK, D.: (1963) Der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes während der Verarbeitung, Moderne Holzverarbeitung, No. 24.
15. HEYER, O.: (1963) Study of temperature in wood parts of Houses throughout the United States. F.P.L., No. 012.
16. TSOUMIS, G.: (1964) Estimated moisture content of sir-dry wood exposed to the atmosphere under shelter, especially in Europe. Holzforschung, Bd. 18, H.3. 76-81.
17. ANDERSON, L.: (1965) Guides to improved framed walls for houses F.P.L. No. 31.
18. DUFF, J.: (1966) A probe for accurate determination of moisture content of wood products in use F.P.L., No. 0142.
19. WILKINSON, T.: (1966) Moisture cycling of trussed rafter joints F.P.L., No. 67.
20. ANDERSON, L.: (1968) Construction of NU-frame research house. F.P.L., No. 88.
21. LEWIS, W.: (1968) Thermal insulation from wood for buildings; effects of moisture and its control F.P.L., No. 86.
22. ANDERSON, L.: (1969) Low-cost wood homes for rural America - construction manual Agriculture Handbook, No. 364.
23. ANDERSON, L.: (1970) Wood - frame house construction. Agriculture Handbook, No. 73.
24. ANDERSON, L.: (1972) Condensation: problems, their prevention and solution. F.P.L., No. 132.