

# Usporedba svojstava OSB ploča izlaganih ubrzanom starenju u skladu s EN 321 i ASTM D 1037 normama

---

**Plečko, Marcela**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:917682>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-04**



*Repository / Repozitorij:*

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE  
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**PREDIPLOMSKI STUDIJ  
STRUČNI STUDIJ DRVNA TEHNOLOGIJA**

**MARCELA PLEČKO**


**USPOREDBA SVOJSTAVA OSB PLOČA IZLAGANIH  
UBRZANOM STARENJU U SKLADU S EN 321 I ASTM D  
1037 NORMAMA**

**ZAVRŠNI RAD**

**ZAGREB, rujana 2023.**

## PODACI O ZAVRŠNOM RADU

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>AUTOR:</b>                  | Marcela Plečko<br>18.03.1994. Zagreb, Hrvatska<br>0034061237   |
| <b>NASLOV:</b>                 | Usporedba svojstava OSB ploča izlaganih ubrzanom starenju u skladu s EN 321 i ASTM D 1037 normama  |
| <b>TITLE:</b>                  | Comparison of the properties of OSB boards exposed to accelerated aging in accordance with EN 321 and ASTM D 1037 standards  |
| <b>PREDMET:</b>                | Tehnologija ploča od usitnjenog drva   |
| <b>MENTOR:</b>                 | Izv. prof. dr. sc. Nikola Španić   |
| <b>IZRADU RADA JE POMOGAO:</b> | -  |
| <b>RAD JE IZRAĐEN:</b>         | Sveučilište u Zagrebu – Fakultet šumarstva i drvne tehnologije<br>Zavod za tehnologije materijala  |
| <b>AKAD. GOD.:</b>             | 2022./2023.  |
| <b>DATUM OBRANE:</b>           | 15.09.2023.  |
| <b>RAD SADRŽI:</b>             | Stranica: 28<br>Slika: 17<br>Tablica: 2<br>Navoda literature: 19   |
| <b>SAŽETAK:</b>                | <p>Od svih tipova drvnih ploča, upravo su OSB ploče najčešće korištene u graditeljstvu. S obzirom na to da su izrađene križnim uslojavanjem makro iverja, njihova su mehanička svojstva iznimno visoka, dok korištenje izocijanatne smole i površinska zaštita tekućim parafinom/stearinom osiguravaju niske vrijednosti debljinskog bubrenja. Ipak, ove ploče često bivaju korištene u uvjetima diferencijalne klime, koje je relativno jednostavno simulirati laboratorijskim testovima ubrzanog starenja ploča. S ciljem usporedbe rigoroznosti testova uobičajeno korištenih na području Europske unije i Sjeverne Amerike, u ovom su završnom radu, komercijalne OSB/3 ploče podvrgnute cikličkom izlaganju u skladu s EN 321 i ASTM D 1037 normama i utvrđena su njihova fizikalna svojstva kroz tri tjedna izlaganja. Rezultati ispitivanja pokazali su značajnu razliku u intenzitetu („oštrini“) pojedinih koraka cikličkog ispitivanja ploča, što je iznimno naglašeno u slučaju ispitivanja prema ASTM normi. Ipak, konačne vrijednosti (nakon tri ciklusa izlaganja) mase, gustoće, apsolutnog i relativnog upijanja u slučaju uzoraka izlaganih u skladu s EN normom veće su od onih izlaganih prema ASTM normi. Debljina uzoraka je podjednaka, a samo u slučaju debljinskog bubrenja uzorci izlagani prema ASTM normi pokazali su veće vrijednosti. Mahom je to posljedica zahtjeva EN norme za značajno duljim vremenskim periodom u kojem uzorci moraju biti u direktnom kontaktu (potopljeni) s vodom.</p> |

|   |                                |                      |
|---|--------------------------------|----------------------|
|  | <b>IZJAVA</b>                  | <b>OB FŠDT 05 07</b> |
|   | <b>O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI</b> | Revizija: 2          |
|   |                                | Datum: 29.04.2021.   |

„Izjavljujem da je moj završni rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 15.09.2023. godine

---

*vlastoručni potpis*

Marcela Plečko

# SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD.....   | 1  |
| 2. CILJ RADA.....  | 2  |
| 3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA.....   | 3  |
| 3.1. Općenito o OSB pločama.....   | 3  |
| 3.2. Karakterizacija upijanja vode OSB ploča u uvjetima dugotrajne cikličke izloženosti vlazi..... | 4  |
| 3.3. Debljinsko bubrenje OSB ploča u uvjetima dugotrajne cikličke izloženosti vlazi.....           | 7  |
| 4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA.....   | 14 |
| 4.1. Ispitni uzorci.....   | 14 |
| 4.2. Metode ispitivanja.....   | 14 |
| 4.2.1. Ciklički EN 321 test.....   | 14 |
| 4.2.2. Ciklički ASTM D 1037 test.....  | 15 |
| 4.3. Ispitivanje fizikalnih svojstava.....   | 16 |
| 4.3.1. Određivanje dimenzija.....  | 16 |
| 4.3.2. Određivanje gustoće.....  | 16 |
| 4.3.3. Ispitivanje debljinskog bubrenja i upijanja vode.....                                       | 17 |
| 4.4. Mjerna oprema korištena u istraživanju.....   | 18 |
| 5. REZULTATI ISPITIVANJA.....  | 21 |
| 5.1. Debljina ploča.....   | 21 |
| 5.2. Masa ploča.....   | 22 |
| 5.3. Gustoća ploča.....  | 23 |
| 5.4. Debljinsko bubrenje ploča.....  | 24 |
| 5.5. Apsolutno upijanje vode ploča.....  | 25 |
| 5.6. Relativno upijanje vode ploča.....  | 26 |
| 6. ZAKLJUČAK.....  | 27 |
| 7. LITERATURA.....   | 28 |

## 1. UVOD

Ploče od usitnjenog drva predstavljaju inovativan materijal koji danas sve više dobiva na popularnosti. Proizvode se od usitnjenog, recikliranog drva bez tehničke vrijednosti, te od industrijskih drvnih ostataka primarne i finalne obrade drva, čime se smanjuje potreba za sječom šuma, a ujedno se na njih mogu projektirati svojstva bez osjetnog gubitka mehaničkih svojstava i štetnog utjecaja na čovjeka.

Od svih ploča, najzastupljenije drvene ploče su ploče iverice. Osnovni razlog za to jest velika sirovinaska baza, relativno jeftina osnovna sirovina, pretežna uporaba jeftinih sintetskih veziva, pogodna svojstva za unutarnju uporabu, mogućnost uporabe u graditeljstvu te niska cijena u odnosu na druge pločaste materijale.

Kao posebnu skupinu ploča s vodoravnim položajem iverja čine ploče iverice američkoga podrijetla, namijenjene prvenstveno uporabi u graditeljstvu. U tu skupinu pripadaju OSB (Oriented Strand Board) ploče, čija je proizvodnja rezultat zamjetnog manjka furnirskih trupaca i pada svjetske proizvodnje furnirskih ploča za potrebe graditeljstva. Njihova proizvodnja usavršavala se razvojem znanosti i tehnologije te sve većom potražnjom za građevinskim materijalom koji je ujedno i ekonomski i ekološki prihvatljiv. One su danas nesumnjivo najčešće korišteni pločasti materijal u graditeljstvu te zbog toga njihova mehanička svojstva moraju biti iznimno visoka (Jambrečković 2004).

U ovom će se radu utvrditi i usporediti svojstva OSB/3 nosivih ploča za primjenu u uvjetima povećane vlage, koje su ciklički izlagane ubrzanom starenju u skladu s EN 321 i ASTM D 1037 normama, kroz tri tjedna. Rezultati ovih ispitivanja pokazati će koja od korištenih norma je stroža, odnosno po kojoj normi će rezultati ispitivanja fizikalnih svojstava ploča biti lošiji.

## 2. CILJ RADA

Cilj ovog rada je utvrditi fizikalna svojstva OSB/3 ploča nakon cikličkih izlaganja ubrzanom starenju, odnosno, usporediti rigoroznost cikličkih testova u skladu s normama HRN EN 321 i ASTM D 1037, uobičajeno korištenih na području Europske unije i Sjeverne Amerike. Uzorci ploča ispitivani su u tri ciklusa, kroz tri tjedna, kako bi se moglo doći do što točnijih zaključaka i zapažanja.

Ciljevi rada realizirani su kroz slijedeće faze:

- uzorkovanje uzoraka OSB/3 ploča,
- krojenje ploča na uzorke dimenzija 50 x 50 mm,
- mjerenje dimenzija i mase uzoraka prije cikličkih tretmana s ciljem dobivanja referentnih vrijednosti potrebnih za izračun promjena fizikalnih svojstava nakon izlaganja cikličkim tretmanima,
- izlaganje uzoraka cikličkim tretmanima ubrzanog starenja prema odrednicama odgovarajućih normi,
- mjerenje mase i debljine uzoraka nakon izlaganja tretmanima,
- obrada podataka dobivenih provedbom eksperimenta,
- donošenje zaključaka.

## 3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

### 3.1. Općenito o OSB pločama

OSB ploče, odnosno ploče orijentiranog iverja, koje su se koristile za potrebe eksperimenta, troslojne su izvedbe pri čemu je iverje srednjeg sloja unakrsno orijentirano s obzirom na iverje vanjskih slojeva. Iverja vanjskih slojeva usmjerena su po duljini ploče, dok su iverja srednjeg sloja usmjerena po širini ploče. Upravo takav raspored iverja daje ovim pločama visoka mehanička svojstva. Veziva u njihovoj proizvodnji uglavnom su fenolne, rezorcinske i izocijanatne smole uz dodatak hidrofobnih sredstava, najčešće parafina ili stearina, što im osigurava niske vrijednosti debljinskog bubrenja. Europske norme EN 300 za OSB ploče prihvaćene su u Ožujku 1997. godine, a službeno su prihvaćene u Hrvatskoj kao HRN EN 300. Prema EN 300, razlikuju se četiri stupnja kakvoće ploča s makroiverjem:

- OSB/1, nenosive ploče za opću uporabu u suhim uvjetima
- OSB/2, nosive ploče za uporabu u suhim uvjetima
- OSB/3, nosive ploče za primjenu u uvjetima povećane vlage
- OSB/4, nosive ploče za primjenu u uvjetima povećanih mehaničkih opterećenja i povećane vlage.

EN 300 propisuje dopušten sadržaj vode za OSB/1 i OSB/2 ploče od 2 do 12 %, a za OSB/3 i OSB/4 od 5 do 12 %. OSB ploče su relativno nove na europskom tržištu pa je njihova primjena u Europi, za razliku od primjene u Americi, nešto drugačija. Dok se u Sjevernoj Americi prije svega primjenjuju za građevinske svrhe, na europskom tržištu vrlo je važna njihova dekorativna primjena. Koriste se za unutrašnje uređenje, kao podni paneli ili vrata, važnu ulogu imaju u uređenju trgovina, ali i u stambenim objektima gdje se upotrebljavaju kao elementi za gradnju, te za izradu namještaja, posebno tapeciranoga. Nadalje, mogu se koristiti kao materijal za pakiranje gdje zamjenjuju furnirske ploče i masivno drvo. U graditeljstvu najčešći primjeri primjene su za krovne konstrukcije te zidne i podne obloge (Jambrečić, 2004).

Autori Wu i Lee (2002) smatraju kako je upravo zbog takve raznovrsne primjene, okruženje kojima su OSB ploče izložene povezano s različitim klimatskim uvjetima. Posebno su zanimljivi uvjeti okoline s ponavljajućim promjenama relativne vlage i temperature u vanjskim primjenama, poput fasada iz OSB ploča, koji su često uzrok



velike varijacije u sadržaju vlage ploča. Prilikom takve primjene ploče se moraju premazati zaštitnim slojem, no i tada su promjene u sadržaju vlage prilično velike. To može dovesti do deformacija ploča (npr. savijanje), izbijanja vijaka ili čak strukturnog oštećenja. Kako bi se spriječile takve deformacije na OSB pločama, potrebne su temeljne informacije o promjenama sadržaja vlage ploče i međusobnom odnosu s promjenom dimenzija ploča.

### **3.2. Karakterizacija upijanja vode OSB ploča u uvjetima dugotrajne cikličke izloženosti vlazi**

Autori Wu i Ren (2000) u svojem su istraživanju mjerili ravnotežni sadržaj vode OSB ploča proizvedenih pri različitim uvjetima obrade, izloženih cikličkim uvjetima relativne vlage, pri 25 °C. Ciljevi njihova rada bili su odrediti sorpcijske izoterme OSB ploča pod cikličkim uvjetima izloženosti relativnoj vlazi, uskladiti podatke o sorpciji s analitičkim modelom, istražiti utjecaje varijabli obrade (gustoća, sadržaj smole, stupanj usmjerenosti iverja, omjer mase iverja unutrašnjeg sloja i vanjskih slojeva) na parametre modela te predvidjeti raspodjelu ravnotežnog sadržaja vode kao i njegovu funkciju položaja u ploči s vertikalnim gradijentom gustoće te promjene srednjeg ravnotežnog sadržaja vode pod cikličkim uvjetima izloženosti.

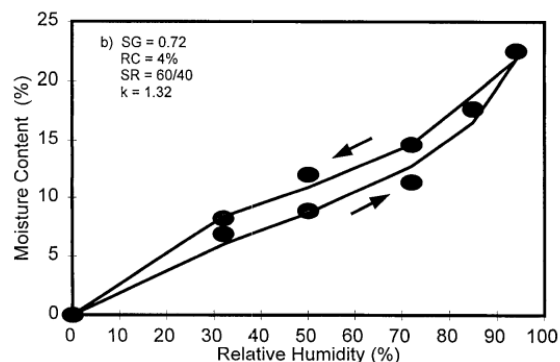
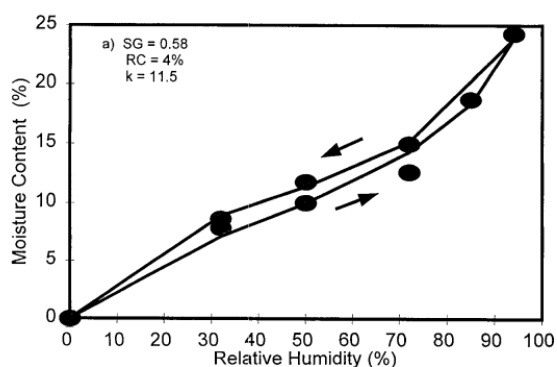
Odnosi između ravnotežnog sadržaja vode, relativne vlage i temperature poznati su kao sorpcijske izoterme. Raniji radovi drugih autora (Suchsland, 1972; Richards i sur., 1992; Wu i Suchsland, 1996; Wu, 1999) pokazali su da drveno kompozitni materijali imaju sorpcijske izoterme koje se razlikuju od onih kod masivnog drva. Ta razlika pripisivala se toplinskim tretmanima i tlaku koji se pojavljuju prilikom proizvodnje kompozitnih materijala. Dodatna istraživanja (Halligan i Schniewind, 1972; Geimer, 1982) pokazala su da gustoća ploče i sadržaj smole utječu na ravnotežni sadržaj vode pri zadanoj relativnoj vlazi. Međutim, malo je kvantitativnih i sistematskih informacija dostupno za analizu utjecaja parametara obrade ploča na sorpcijske izoterme i za predviđanje dugotrajnog sorpcijskog ponašanja OSB ploča pri različitim uvjetima izloženosti.

OSB ploče proizvode se tako da im površinski slojevi imaju veću gustoću od unutrašnjeg sloja kako bi se poboljšala njihova savojna svojstva (Harless i sur., 1987). Zbog utjecaja gustoće ploče na ravnotežni sadržaj vode, površinski slojevi i unutrašnji

sloj ovih proizvoda će doseći različite razine sadržaja vode kada se ploča izjednači pri određenoj relativnoj vlažnosti i temperaturi (Jorgensen i Odell, 1961). To stvara raspodjelu ravnotežnog sadržaja vode kroz debljinu ploče, što utječe na karakteristike bubrenja (npr. linearno širenje) ploče. Teoretska analiza bubrenja i trajnosti ploče zato zahtijeva detaljno poznavanje raspodjele ravnotežnog sadržaja vode kroz debljinu ploče s vertikalnim gradijentom gustoće.

Nelson (1983) razvio je model koji precizno opisuje sorpcijske izoterme. Međutim, učinak varijabli obrade na parametre modela za različite proizvode nije istražen. Utvrđivanje ovih učinaka omogućit će predviđanje raspodjele ravnotežnog sadržaja vode kroz debljinu ploča i dugotrajno sorpcijsko ponašanje drvenih kompozita pod cikličkim uvjetima izloženosti vlazi.

Tipične sorpcijske izoterme iz prvog ciklusa izloženosti vlazi prikazane su na slici 1a za jednoslojne i na slici 1b za troslojne ploče.

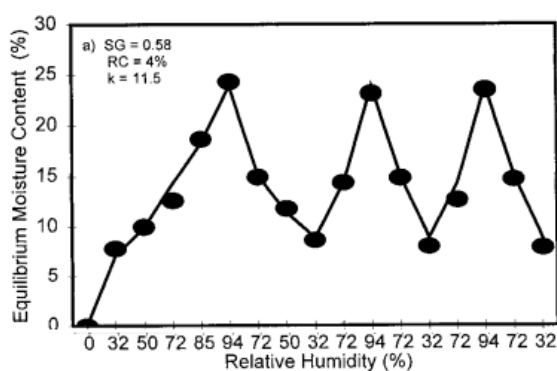


**Slika 1a.** Sorpcijska izoterma za jednoslojne ploče     **Slika 1b.** Sorpcijska izoterma za troslojne ploče  
\*točke- dobiveni rezultati istraživanja, linija- predviđanja prema Nelsonovom modelu  
(Izvor: Wu i Ren, 2000)

Krivulja adsorpcije koja je niža od krivulje desorpcije ukazuje na nižu vrijednost ravnotežnog sadržaja vode pri stalnoj razini relativne vlažnosti (sorpcijska histereza). Kod jednoslojnih ploča, ploče s većom gustoćom dosegle su niže vrijednosti ravnotežnog sadržaja vode pri jednakim razinama relativne vlažnosti. Za troslojne ploče, razlika u ravnotežnom sadržaju vode između adsorpcije i desorpcije pri određenoj razini relativne vlažnosti bila je veća u usporedbi s jednoslojnim pločama. Međutim, gustoća ploče, udio smole, razina usklađenosti iverja i omjer veličine iverja imali su malo utjecaja na oblik krivulje sorpcije. Stoga je opći oblik svih krivulja sorpcije

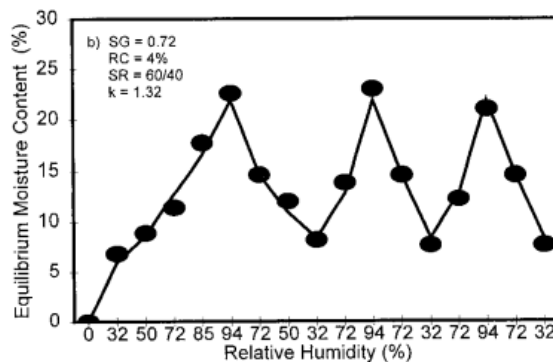
suštinski isti. Gustoća je glavna varijabla koja je utjecala na vrijednosti ravnotežnog sadržaja vode jednoslojnih ploča pri određenoj razini relativne vlažnosti. Također, učinak gustoće varirao je s razinama relativne vlažnosti. Na višim razinama, veća gustoća ploče rezultirala je nižim vrijednostima ravnotežnog sadržaja vode ploče. To je pripisano činjenici da je više mjesta za sorpciju vode dostupno u pločama niske gustoće nego u pločama visoke gustoće. Veće količine drvnog materijala u pločama visoke gustoće ne bi trebale smanjivati ravnotežni sadržaj vode jer je higroskopsnost drva ista, međutim (Kelly, 1977) dodatno vrijeme zagrijavanja i prešanja potrebno za ploče visoke gustoće moglo je smanjiti higroskopsnost drva. Kako je vidljivo sa slike 1, Nelsonov model dobro se prilagođava eksperimentalnim podacima sa procijenjenim koeficijentom determinacije koji varira od 0,92 do 0,99.

Tipične sorpcijske izoterme OSB ploča pod uvjetima dugotrajne cikličke izloženosti relativnoj vlazi prikazane su na slici 2a za jednoslojne i na slici 2b za troslojne ploče. Vrijeme izloženosti bilo je 12 mjeseci za prvi ciklus te po 6 mjeseci za dva sljedeća ciklusa.



**Slika 2a.** Usporedba izmjerenih i predviđenih sorpcijskih izoterma pod cikličkim uvjetima za jednoslojne ploče

\*točke- dobiveni rezultati istraživanja, linija- predviđene sorpcijske izoterme (Izvor: Wu i Ren, 2000)



**Slika 2b.** Usporedba izmjerenih i predviđenih sorpcijskih izoterma pod cikličkim uvjetima za troslojne ploče

Predviđene izoterme (linije) kako za ploče s jednim slojem tako i za ploče s tri sloja temelje se na parametrima modela koji su prilagođeni iz prvog ciklusa izloženosti za svaki tip ploče. Za ploče s jednim slojem i za ploče s tri sloja, vrijednosti ravnotežnog sadržaja vlage dosegnute tijekom sljedećih ciklusa izloženosti bile su praktički iste kao one dosegnute tijekom prvog ciklusa izloženosti na istoj razini relativne vlage. To ukazuje da su izoterme za OSB ploče ponovljive. U praksi, OSB ploče se često izlažu

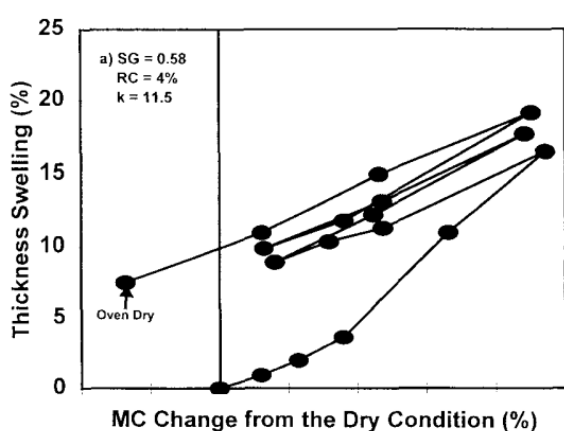
dugotrajnim cikličkim uvjetima izloženosti relativnoj vlažnosti koji dovode do ponovljenog utezanja i bubrenja. Nadalje, sposobnost predviđanja promjene ravnotežnog sadržaja vode pod dugotrajnim cikličkim uvjetima izloženosti može pomoći u razvoju kontrolnih mjera za poboljšanje dugoročnih svojstava izdržljivosti OSB ploča. Rezultati ove studije pokazali su da se dugotrajno ponašanje sorpcije OSB ploča može predvidjeti temeljem podataka o sorpciji iz prvog ciklusa izloženosti. Iz studije su doneseni sljedeći zaključci:

1. Nelsonov model sorpcije može se koristiti za precizno opisivanje podataka o sorpciji OSB ploča. Parametri koji definiraju izoterme sorpcije varirali su ovisno o načinu sorpcije (adsorpcija naspram desorpcije) i varijablama obrade ploča.
2. Gustoća ploče je osnovna varijabla koja utječe na veličinu vrijednosti ravnotežnog sadržaja vlage OSB ploča dosegnute pri određenoj razini relativne vlažnosti, a njezin učinak varira s razinama relativne vlažnosti.
3. Kod ploče s vertikalnim profilom gustoće, površinski slojevi s većom gustoćom obično dosežu niže vrijednosti ravnotežnog sadržaja vlage u usporedbi s unutrašnjim slojem ploče pri određenoj razini relativne vlažnosti.
4. Pod uvjetima cikličke izloženosti, izoterme sorpcije u OSB pločama su reproduktivne i mogu se predvidjeti Nelsonovim modelom i parametrima iz prvog ciklusa izloženosti. Njihova studija pruža bolje razumijevanje dugotrajnog ponašanja sorpcije OSB ploča.

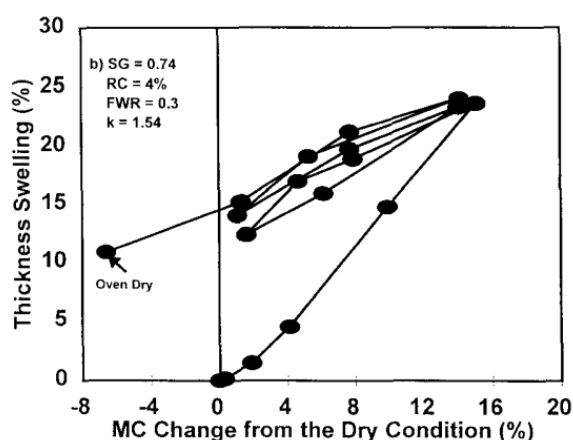
### **3.3. Debljinsko bubrenje OSB ploča u uvjetima dugotrajne cikličke izloženosti vlazi**

Autori Wu i Lee (2002) u svom su istraživanju mjerili ravnotežni sadržaj vode i debljinsko bubrenje OSB ploča, različitih izvedbi, prouzročeno cikličkim uvjetima relativne vlage pri 25 °C tijekom dvogodišnjeg perioda. Vrijeme izloženosti bilo je 12 mjeseci za prvi ciklus te po 6 mjeseci za dva sljedeća ciklusa. Ciljevi njihova istraživanja bili su ispitati debljinsko bubrenje i stopu bubrenja OSB ploča različitih izvedbi pod dugotrajnom cikličkom izloženosti relativnoj vlazi te razviti model koji bi predvidio debljinsko bubrenje i raspodjelu bubrenja ploča sa gradijentom gustoće po debljini na temelju izmjerenih svojstava slojeva.

Grafovi koji prikazuju debljinsko bubrenje kao funkciju promjene sadržaja vode prikazani su na slici 3a za jednoslojne i na slici 3b za troslojne ploče. Na oba grafikona, krivulja bubrenja počinje s nula postotnom promjenom sadržaja vode (tj. početno suho stanje). Posljednja točka podataka (tj. stanje suhog pečenja uzorka) pokazuje negativnu promjenu sadržaja vode, što ukazuje na smanjenje vode u odnosu na početno suho stanje. Dakle, apsolutna vrijednost posljednje promjene sadržaja vode bila je početni sadržaj vode za ploče. Utjecaj bubrenja uslijed cikličkog tretmana promjene vlage jasno je vidljiv na grafovima. Za svaki ciklus adsorpcije, bubrenje se povećavalo s porastom sadržaja vode ploče. Za svaki ciklus desorpcije, bubrenje se smanjivalo s padom sadržaja vode ploče. Međutim, debljina ploče se nije vraćala na početnu vrijednost nakon svakog ciklusa, što pokazuje zaostalo bubrenje na sličnoj razini ravnotežnog sadržaja vode između adsorpcije i desorpcije. Ovo ponašanje slično je sorpcijskoj histerezi koje je prikazano u prethodnom radu (Wu i Ren, 2000) te je zbog toga definirano kao histereza bubrenja.



**Slika 3a.** Grafički prikaz bubrenja kao funkcija promjene sadržaja vode kod jednoslojnih OSB ploča (Izvor: Wu i Lee, 2002)



**Slika 3b.** Grafički prikaz bubrenja kao funkcija promjene sadržaja vode kod troslojnih OSB ploča (Izvor: Wu i Lee, 2002)

Najveća histereza bubrenja, odnosno zaostalo bubrenje, dogodilo se nakon prvog ciklusa adsorpcije. Nakon svakog od dva dodatna ciklusa adsorpcije došlo je do manjeg porasta zaostalog bubrenja. Kao rezultat toga, petlja histereze bubrenja pomakla se prema gore kako se povećavao broj ciklusa. To jasno ukazuje na štetan utjecaj cikličke izloženosti vlazi na kvalitetu ploče. Kako se trajno zaostalo bubrenje povećavalo, veze u ploči su oslabljivale.

Provedena je i statistička korelacijska analiza kako bi se prikazao učinak različitih izvedbi ploča na ukupno bubrenje pri različitim razinama izloženosti relativnoj vlazi. Rezultati ispitivanja sažeti su u tablici 1 za jednoslojne i u tablici 2 za troslojne ploče.

**Tablica 1.** Utjecaji sadržaja smole, specifične gustoće i orijentacije iverja na bubrenje pri 93 % i 32 % relativne vlažnosti za jednoslojne OSB ploče, ujednačene gustoće (Izvor: Wu i Lee, 2002)

| Factor <sup>b</sup> | 1st Cycle      |                | 2nd Cycle      |               | 3rd Cycle      |                |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
|                     | 93% RH         | 32% RH         | 93% RH         | 32% RH        | 93% RH         | 32% RH         |
| SG                  | 0.1026<br>(-)* | 0.0001<br>(-)  | 0.9752<br>(+)* | 0.0001<br>(-) | 0.8253<br>(+)* | 0.0001<br>(-)  |
| RC                  | 0.0001<br>(-)  | 0.0001<br>(-)  | 0.0002<br>(-)  | 0.0001<br>(-) | 0.0001<br>(-)  | 0.0001<br>(-)  |
| k                   | 0.0208<br>(-)  | 0.0824<br>(-)* | 0.0749<br>(-)* | 0.0392<br>(-) | 0.4073<br>(-)* | 0.3055<br>(-)* |

<sup>a</sup> The “-” sign means negative effect, the “+” sign means positive effect, and the “\*” sign means that the effect is not significant at the 0.05 significance level.

<sup>b</sup> SG—specific gravity, RC—resin content, and k—flake orientation concentration parameter.

**Tablica 2.** Utjecaji sadržaja smole, specifične gustoće, orijentacije iverja i omjera težine iverja između vanjskih slojeva i unutarnjeg sloja na bubrenje pri 93 % i 32 % relativne vlažnosti za troslojne OSB ploče sa gradijentom gustoće po debljini (Izvor: Wu i Lee, 2002)

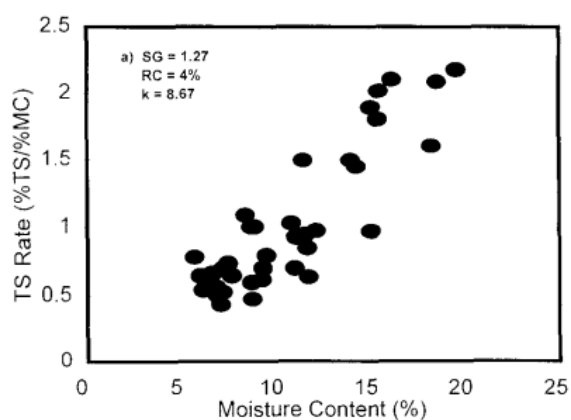
| Factor <sup>b</sup> | 1st Cycle      |                | 2nd Cycle      |                | 3rd Cycle      |                |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                     | 93% RH         | 32% RH         | 93% RH         | 32% RH         | 93% RH         | 32% RH         |
| SG                  | 0.0287<br>(+)  | 0.3478<br>(+)* | 0.2741<br>(+)* | 0.6171<br>(+)* | 0.0003<br>(+)  | 0.0976<br>(+)* |
| RC                  | 0.0001<br>(-)  | 0.0001<br>(-)  | 0.0001<br>(-)  | 0.0001<br>(-)  | 0.0001<br>(-)  | 0.0001<br>(-)  |
| k                   | 0.2466<br>(+)* | 0.0080<br>(-)  | 0.0133<br>(-)  | 0.0032<br>(-)  | 0.0224<br>(-)  | 0.0043<br>(-)  |
| FWR                 | 0.1608<br>(+)* | 0.0985<br>(+)* | 0.1658<br>(+)* | 0.4258<br>(+)* | 0.2309<br>(+)* | 0.4694<br>(+)* |

<sup>a</sup> The “-” sign means negative effect, the “+” sign means positive effect, and the “\*” sign means that the effect is not significant at the 0.05 significance level.

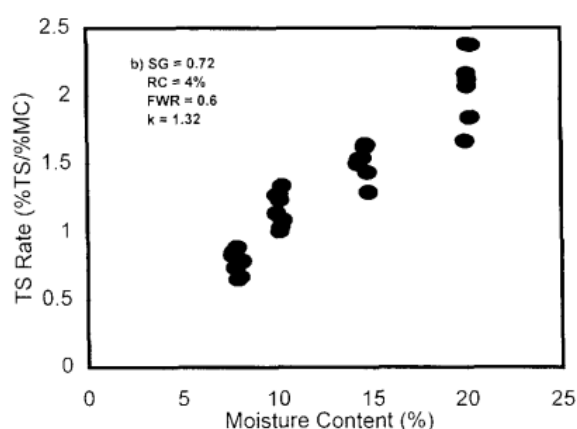
<sup>b</sup> SG—specific gravity, RC—resin content, k—flake orientation concentration parameter, and FWR—flake weight ratio between face and core layers used to manufacture three-layer boards.

Iz tablice 1 vidljivo je da učinak gustoće na ukupno bubrenje jednoslojnih ploča jednake gustoće nije bio značajan na razini od 93 % relativne vlage u sva tri ciklusa. To je bilo zato što, iako su ploče visoke gustoće imale tendenciju većeg bubrenja zbog njihovog većeg potencijala bubrenja, razina sadržaja vode ploče postignuta pri zadanoj razini relativne vlage, posebno na razinama relativne vlage iznad 85 %, bila je niža u usporedbi s pločama niske gustoće (Wu i Ren 2000). Kao rezultat toga, ukupno bubrenje koje je postignuto na tim pločama visoke gustoće nije bilo nužno veće. Na razini relativne vlage od 32 %, utjecaj gustoće na zaostalo bubrenje bilo je značajno za sva tri ciklusa. Ploče visoke gustoće imale su znatno manje zaostalog bubrenja. Utjecaj udjela smole na ukupno bubrenje bilo je značajno pri svim uvjetima izloženosti.

Dakle, povećanje udjela smole smanjilo je količinu bubrenja. Utjecaj razine orijentacije iverja na bubrenje nije bilo od većeg utjecaja. Za sve troslojne ploče, gustoća ploče imala je tendenciju pozitivnog učinka na bubrenje, ali utjecaj nije bio značajan osim na dvije razine izloženosti relativnoj vlazi. Zaključeno je kako nema određenog odnosa između debljinskog bubrenja i gustoće ploča. Slično kao kod jednoslojnih ploča, utjecaj udjela smole bio je značajan na svim razinama izloženosti, što ukazuje na to da su ploče napravljene s većim udjelom smole manje bubrile za zadani uvjet izloženosti. Razina orijentacije iverja imala je negativan učinak na bubrenje. To znači da će povećanje razine usmjerenosti iverja (tj. bolje formiranje tepiha) rezultirati manjim bubrenjem i stoga stabilnijom pločom. Omjer težine iverja koji se koristio za izradu troslojnih ploča, nije pokazao značajan utjecaj na bubrenje. Stopa bubrenja iz prvog ciklusa adsorpcije izračunata je za svaki tip ploče. Grafovi koji prikazuju stopu bubrenja kao funkciju sadržaja vode prikazani su na slici 4a za jednoslojne i slici 4b za troslojne ploče.



**Slika 4a.** Grafički prikaz razine bubrenja iz prvog adsorpcijskog ciklusa kao funkcije sadržaja vode jednoslojnih ploča (Izvor: Wu i Lee, 2002)

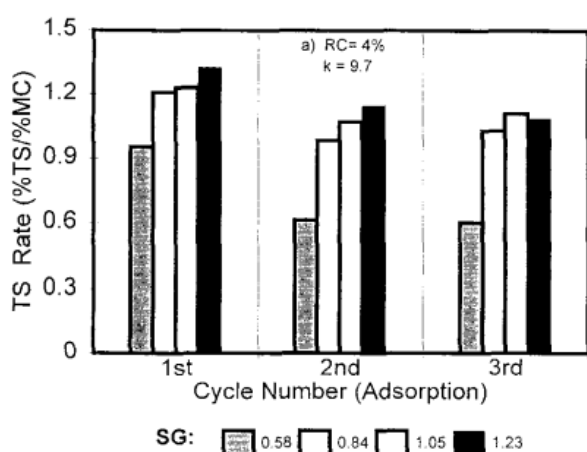


**Slika 4b.** Grafički prikaz razine bubrenja iz prvog adsorpcijskog ciklusa kao funkcije sadržaja vode troslojnih ploča (Izvor: Wu i Lee, 2002)

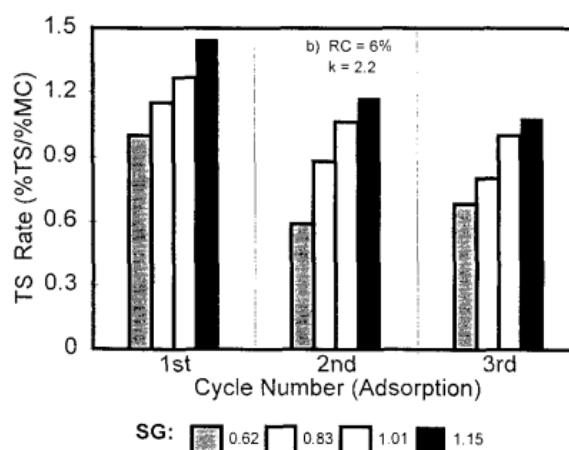
Kao što je vidljivo iz grafova, stopa bubrenja je dostigla više od 2 % na promjenu postotka sadržaja vlage za neke ploče. Općenito se povećavala s povećanjem razine sadržaja vode ploče. To ukazuje na to da povećanje sadržaja vode u višem rasponu, npr. iznad 15 %, dovodi do većeg bubrenja. Kod jednoslojnih ploča jednake gustoće, ploče visokih gustoća imale su veću stopu bubrenja u usporedbi s pločama nižih gustoća na istoj razini sadržaja smole. Krivulje stope bubrenja za neke ploče, posebno

za jednoslojne ploče niske gustoće, izjednačile su se na razinama sadržaja vlage iznad otprilike 15 %, što ukazuje na sličnu stopu bubrenja u tom rasponu sadržaja vlage.

Usporedili su i prosječne stope bubrenja iz tri ciklusa adsorpcije prikazanih na slici 5a i 5b za jednoslojne ploče jednolične gustoće sa različitim gustoćama. Sa slike je vidljivo da, iako ploče visoke gustoće nisu pokazale značajno veće ukupno bubrenje, njihova stopa bubrenja, odnosno njihov potencijal bubrenja, bio je veći u usporedbi s pločama niske gustoće te da je prosječna vrijednost razine bubrenja iz prvog ciklusa adsorpcije bila najveća za sve tipove ploča. Naknadni ciklusi adsorpcije doveli su do značajno manjih vrijednosti. Iz toga zaključuju, budući da su ploče niske gustoće pokazale manji potencijal bubrenja one imaju bolje svojstvo otpornosti na dugotrajno bubrenje od ploča visoke gustoće.



**Slika 5a.** Grafički prikaz usporedbe razine bubrenja iz tri adsorpcijska ciklusa za jednoslojne OSB ploče pri 4 % sadržaja smole i visokom stupnju usmjerenosti iverja (Izvor: Wu i Lee, 2002)



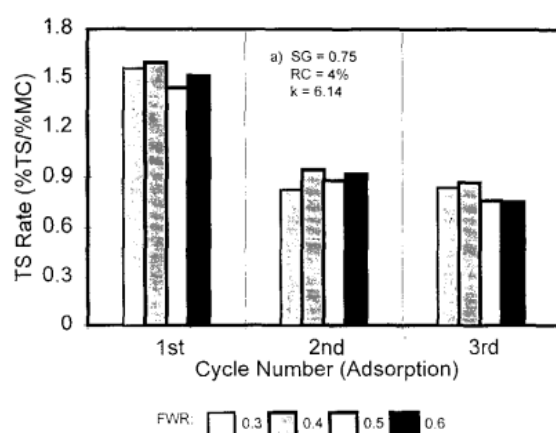
**Slika 5b.** Grafički prikaz usporedbe razine bubrenja iz tri adsorpcijska ciklusa za jednoslojne OSB ploče pri 6 % sadržaja smole i niskom stupnju usmjerenosti iverja (Izvor: Wu i Lee, 2002)

Stoga smanjenje gustoće ploče ne smanjuje samo troškove proizvodnje (sirovine i troškove prešanja), već također dovodi do stabilnijeg proizvoda. Nadalje, zaključuju da se mora izuzetno paziti da se ploča ne navlaži tijekom početnog procesa adsorpcije. Adsorpcija vlage tijekom početnog ciklusa adsorpcije dovodi do velikog ukupnog zaostalog i nepovratnog povećanja debljine proizvoda.

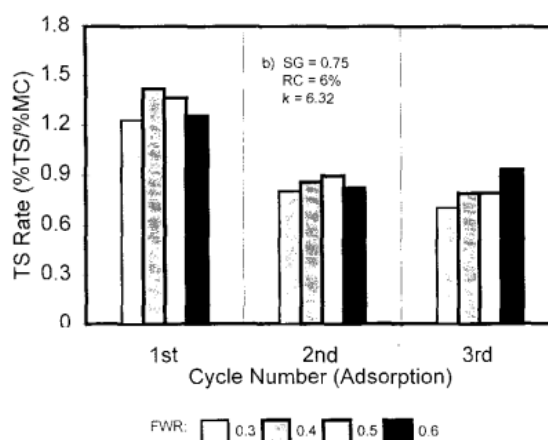
Usporedne vrijednosti razine bubrenja iz tri ciklusa adsorpcije za troslojne ploče s gradijentom gustoće prikazane su na slici 6a i 6b. Slično kao i kod jednoslojnih ploča, prosječna vrijednost razine bubrenja iz prvog ciklusa adsorpcije bila je najveća za sve



tipove ploča. Svaki od dva naknadna ciklusa adsorpcije rezultirao je značajno manjom vrijednošću razine bubrenja. Ploče izrađene s 6 % udjela smole imale su značajno manju razinu bubrenja iz svih tri ciklusa izloženosti u usporedbi s onima izrađenima na razini udjela smole od 4 %. Omjer težine iverja koji kontrolira strukturu slojeva za troslojne ploče, nije imao značajan utjecaj na prosječnu razinu bubrenja u sva tri ciklusa izloženosti. Predviđanje bubrenja provodilo se samo za prvi ciklus adsorpcije zbog njegovog dominantnog utjecaja na kontroliranje bubrenja debljine ploča.

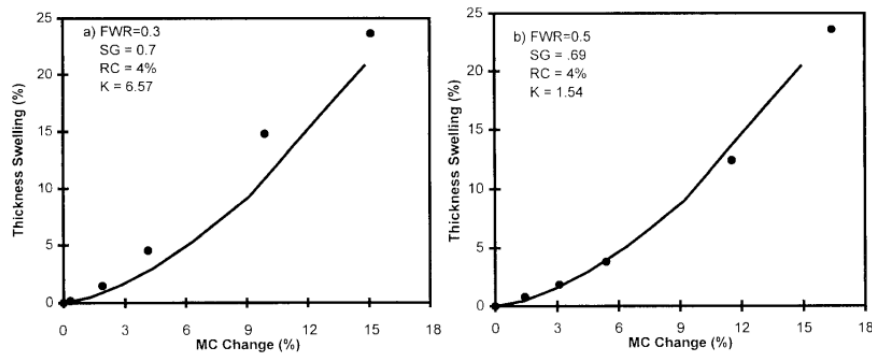


**Slika 6a.** Grafički prikaz usporedbe razine bubrenja iz tri adsorpcijska ciklusa za troslojne OSB ploče pri 4 % sadržaja smole i visokom stupnju usmjerenosti iverja (Izvor: Wu i Lee, 2002)



**Slika 6b.** Grafički prikaz usporedbe razine bubrenja iz tri adsorpcijska ciklusa za troslojne OSB ploče pri 6 % sadržaja smole i niskom stupnju usmjerenosti iverja (Izvor: Wu i Lee, 2002)

Tipične krivulje predviđenog bubrenja kao funkcije promjene sadržaja vlage prikazane su na slici 7 u usporedbi s eksperimentalnim podacima. Kao što je prikazano, predviđeno bubrenje se dobro slagalo s mjerenjima preko cijelog raspona sadržaja vlage. Budući da je predviđanje bubrenja temeljeno na zbroju bubrenja pojedinačnih slojeva, usklađenost između predviđenog i mjerenog bubrenja ukazuje na to da interakcija među slojevima preko debljine ploče igra manje značajnu ulogu u konačnoj veličini bubrenja kod OSB ploča.



**Slika 7a.** Usporedba predviđene i izmjerene srednje vrijednosti bubrenja kao funkcije uzorka sadržaja vode za troslojne OSB ploče pri niskoj razini usmjerenosti iverja (Izvor: Wu i Lee, 2002)

**Slika 7b.** Usporedba predviđene i izmjerene srednje vrijednosti bubrenja kao funkcije uzorka sadržaja vode za troslojne OSB ploče pri visokoj razini usmjerenosti iverja (Izvor: Wu i Lee, 2002)

Iz studije autora Wu i Lee (2002) doneseni su sljedeći zaključci:

1. Histereza bubrenja se razvijala u svim pločama kao rezultat cikličke izloženosti vlažnosti zraka. Najveća je bila tijekom prvog ciklusa adsorpcije.
2. Stopa bubrenja tijekom prvog ciklusa adsorpcije povećavala se s porastom razine sadržaja vode i gustoće ploče, a smanjivala se s porastom sadržaja smole. Za ploče s jednoličnom gustoćom i jednim slojem, razina usmjerenosti iverja također je pokazala značajan negativan utjecaj na stopu bubrenja. Za ploče s tri sloja i gustoćom koja varira, nijedan utjecaj razine usmjerenosti niti omjera iverja nije bio značajan na stopu bubrenja.
3. Stopa bubrenja bila je najveća tijekom prvog ciklusa adsorpcije, a značajno se smanjivala tijekom naknadnih ciklusa adsorpcije. Opći trend sličan je i za ploče s jednim i tri sloja.
4. Predviđeno ukupno bubrenje dobro se slagalo s eksperimentalnim podacima. Predviđena distribucija bubrenja preko debljine ploče više je slijedila distribuciju promjene ravnotežnog sadržaja vode nego vertikalni profil gustoće. Za određeni uvjet izloženosti vlažnosti zraka, bubrenje je manje na površinskom području visoke gustoće u usporedbi s jezgrom niske gustoće zbog manjih promjena ravnotežnog sadržaja vlage na površini. Dobiveni postupak koristan je za analizu utjecaja faktora obrade ploča na ponašanje bubrenja OSB ploča.

## 4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

U ovom radu analiziran je te uspoređen utjecaj pojedinih metoda ubrzanog starenja OSB/3 ploča na njihova fizikalna svojstva. Istraživanje je provedeno na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije. Uspoređene metode su ASTM D 1037 test i metoda normirana prema EN 321.

Istraživanje je provedeno kroz iduće faze:

- priprema uzoraka za ispitivanje te mjerenje inicijalnih dimenzija,
- provedba cikličkih testova,
- analiza dobivenih rezultata,
- zaključak.

### 4.1. Ispitni uzorci

Istraživanje je provedeno na troslojnim OSB/3 pločama namijenjenim za uporabu u uvjetima povećane vlage, kao predstavnik građevinskih ploča koje često dolaze u doticaj s povećanom vlagom zraka. Za svaki ciklički test uzeto je po 30 ispitnih uzoraka, kvadratnog oblika dimenzija 50 x 50 mm.

### 4.2. Metode ispitivanja

#### 4.2.1. Ciklički EN 321 test

Ova metoda normirana je prema odrednicama norme EN 321 (2001) i kao takva prihvaćena je i od strane Hrvatskog zavoda za norme (HZN), kao HRN EN 321. Metoda je opće prihvaćena u Europi i iz tog razloga uzeta je kao jedna od ispitivanih. Ovom metodom se, pločama na bazi drva, ispituje otpornost na vlagu u cikličkim uvjetima. Sama metoda ispitivanja sastojala se iz:

- uranjanja uzoraka u vodu temperature  $20 \pm 2$  °C, u trajanju  $72 \pm 1$  h,
- smrzavanja uzorka na temperaturi između -12 i -20 °C u trajanju  $24 \pm 0,25$  h,
- sušenja uzorka na temperaturi  $70 \pm 1$  °C u trajanju  $72 \pm 1$  h.

Pri uranjanju uzorci moraju biti potpuno potopljivi u vodu, postavljeni jedan do drugog s minimalnim razmakom od 15 mm. Po isteku vremena uzorci se vade iz vode te se cijede, nakon čega im se mjeri masa i debljina. Nakon toga smještaju se u zamrzivač vertikalno postavljeni jedan do drugog, pri čemu se obraća pozornost na to

da se uzorci međusobno ne dodiruju. Tretman zamrzavanja traje 24 h nakon isteka vremena vadi ih se iz zamrzivača te im se mjeri masa i debljina. Zatim odlaze u sušionik gdje se polažu vertikalno s obzirom na njihova lica sa dovoljnim međusobnim razmakom. Po isteku vremena sušenja, suhi uzorci proveli su kraće vrijeme u eksikatoru te su nakon toga bili spremni za ponovno mjerenje debljine i mase. Jedan ciklus izlaganja trajao je otprilike 168 sati (1 tjedan) te je ukupno ponavljan tri puta.

#### **4.2.2. Ciklički ASTM D 1037 test**

Ova metoda ispitivanja uobičajena je u Sjevernoj Americi. Metoda se općenito smatra jednom od najrigoroznijih i gotovo uvijek se primjenjuje za ploče namijenjene primjeni u graditeljstvu, odnosno općenito za konstrukcijske svrhe. Sama metoda ispitivanja sastojala se iz:

- uranjanja uzoraka u vodu temperature 49 °C u trajanju 1 h,
- kuhanja (parenja) uzoraka na pari temperature 93°C u trajanju 3 h,
- smrzavanja uzoraka na temperaturi -12 °C u trajanju 20 h,
- sušenja uzoraka na temperaturi od 99 °C u trajanju 3 h,
- kuhanja (parenja) uzoraka na pari temperature 93 °C u trajanju 3 h,
- sušenja uzoraka na temperaturi od 99 °C u trajanju 18 h.

Na početku ciklusa uzorke se uranja u zagrijanu vodu prilikom čega je potrebno obratiti pozornost da uzorci budu potpuno uronjeni u vodi. Po isteku vremena uzorci su izvađeni, te im je bez brisanja viška vode izmjerena masa i debljina, nakon čega su postavljeni na žičanu rešetku koja se nalazila 3 cm iznad razine vode u vodenoj kupelji zagrijanoj na temperaturu od 93 °C. Na taj način uzorci su pareni kroz ukupno 6 sati (dva koraka po 3 sata). Faza sušenja uzoraka također je bila identična kao u ranije opisanoj metodi. Puni ciklus izlaganja trajao je 48 sati i ponavljan je tri puta, dakle cijeli tretman od 3 ciklusa trajao je 6 dana. Nakon svake završene faze i ciklusa uzorcima je izmjerena masa i debljina.

### **4.3. Ispitivanje fizikalnih svojstava**

Svojstva pločastih materijala utvrđuju se ispitivanjem, najčešće prema odrednicama normi zemlje u kojoj se vrši ispitivanje. Fizikalna svojstva koja su se ispitivala u ovom radu, a koja su bila bitna za obradu navedene teme bila su: dimenzije uzorka s naglaskom na debljinu, masa, gustoća, debljinsko bubrenje te apsolutno i relativno upijanje vode.

Ispitivanja su provedena prema odrednicama sljedećih normi:

- dimenzije – HRN EN 324-1:1993 Ploče na osnovi drva – Određivanje dimenzija ploča – 1. dio: određivanje debljine, širine i duljine,
- gustoća – HRN EN 323:1997 Ploče na osnovi drva – Određivanje gustoće,
- debljinsko bubrenje – HRN EN 317:2000 Ploče iverice i vlaknatice – Određivanje debljinskog bubrenja nakon potapanja u vodu
- apsolutno i relativno upijanje vode – ispitivanje izvršeno paralelno s ispitivanjem debljinskog bubrenja prema HRN EN 317:2000.

#### **4.3.1. Određivanje dimenzija**

Dimenzije su mjerene na uzorcima 50 x 50 mm primjenom digitalnih instrumenata. Debljina uzorka mjerena je mikrometarskim vijkom (mikrometrom) čije su obje dodirne plohe paralelne i ravne, okruglog oblika određenog promjera, točnošću od tisućinke milimetra. Mjerenje debljine vrši se umetanjem uzorka i laganim pritezanjem ploha mjernog instrumenta. Duljina i širina uzorka mjerene su digitalnim pomičnim mjerilom kojim je ostvarena mogućnost mjerenja točnošću od stotinke milimetra. Mjerenje je izvršeno pomicanjem i laganim stezanjem ploha mjernog instrumenta na mjerni uzorak prije izlaganja uzoraka tretmanima.

#### **4.3.2. Određivanje gustoće**

Svim grupama eksperimentalnih uzoraka, kvadratnog oblika, sa stranicama dimenzija 50 x 50 mm najprije su izmjerene sve dimenzije prema ranije opisanim metodama. Uzorcima se, prije no što su izlagani tretmanima, mjerila masa vaganjem na tehničkoj vagi s točnošću od 0,01 g. Na osnovi tako dobivenih podataka izračunata je inicijalna gustoća, a promjene gustoća uzoraka određene su naknadnim mjerenjem

mase uzoraka i debljine istih nakon pojedinog ciklusa izlaganja, kao i nakon pojedine faze u ciklusu, neovisno o primijenjenoj metodi. Duljina i širina uzoraka nakon izlaganja djelovanju cikličkog testa smatrana je konstantnom i nije se naknadno mjerila. Gustoća uzoraka izražena je kao odnos mase i volumena ploče i izračunata je prema izrazu:

$$\rho = \frac{m_u}{V} \quad \dots (1)$$

$\rho$  – gustoća ispitnog uzorka,  $g/cm^3$

$m_u$  – masa ispitnog uzorka,  $g$

$V$  – volumen ispitnog uzorka,  $cm^3$

#### 4.3.3. Ispitivanje debljinskog bubrenja i upijanja vode

Debljinsko bubrenje i upijanje vode utvrđuju se zbog spoznaje o ponašanju ploča pri promjenama vlage zraka ili direktnog utjecaja vode, u uvjetima uporabe. Utvrđivanje debljinskog bubrenja ( $Q$ ) izmjereno je na 60 uzoraka (30 uzoraka po metodi) dimenzija 50 x 50 mm nakon svakog ciklusa. Debljinsko bubrenje razlika je debljine ispitnog uzorka prije tretmana i njegove debljine nakon tretmana. Računa se prema formuli:

$$Q = \frac{d_o - d_u}{d_u} \times 100 \quad \dots (2)$$

$Q$  – debljinsko bubrenje, %

$d_o$  – debljina ispitnog uzorka nakon tretmana,  $mm$

$d_u$  – debljina ispitnog uzorka prije tretmana,  $mm$

Apsolutno upijanje vode ( $U_a$ ) odnos je mase ispitnog uzorka nakon tretmana i mase klimatiziranog uzorka, odnosno inicijalne mase. Rezultat se izračunava se prema formuli:

$$U_a = m_v - m_u \quad \dots (3)$$

$U_a$  – apsolutno upijanje vode,  $g$

$m_v$  – masa ispitnog uzorka nakon tretmana,  $g$

$m_u$  – masa ispitnog uzorka prije tretmana,  $g$

Relativno upijanje vode ( $U_r$ ) odnos je apsolutnog upijanja vode i mase ispitnog uzorka prije tretmana, a računa se prema formuli:

$$U_r = \frac{m_v - m_u}{m_u} \times 100 \quad \dots (4)$$

$U_r$  – relativno upijanje vode, %

$m_v$  – masa ispitnog uzorka nakon tretmana, g

$m_u$  – masa ispitnog uzorka prije tretmana, g

#### 4.4. Mjerna oprema korištena u istraživanju

Uzorci ploča, tijekom ispitivanja u skladu s obje metode, potapali su se u vodu posloženi u metalnom kavezu koji je spriječio njihovo isplivavanje na površinu, dok je cijeli kavez bio potopljen vodom u plastičnoj posudi. Pritom su uzorci, u slučaju ispitivanja prema EN 321 normi potapani u metalnom kavezu uronjenom u plastičnu posudu (tretman na sobnoj temperaturi), dok su u slučaju ispitivanja prema ASTM D 1037 normi uzorci potapani u kavezu, u termostatiranoj kupelji proizvođača Memmert, model WNE 10.



**Slika 8.** Metalni kavez s plastičnom posudom (Foto: Žutić, 2021.)

Sušenje uzoraka kod obje metode izvršeno je u laboratorijskom sušioniku sa prisilnim strujanjem zraka, proizvođača INKO, model ST120.



**Slika 9.** Laboratorijski sušionik s uzorcima (Foto: Žutić, 2021.)

Za tretman uzoraka niskom temperaturom (smrzavanje) korišten je zamrzivač s mogućnošću postizanja temperature između  $-12$  i  $-20$  °C u roku jednog sata nakon umetanja uzoraka i održavanja te temperature, dok je za kuhanje (parenje) uzoraka kod ASTM metode korištena vodena kupelj proizvođača Cole-Parmer, model WD28C12E.



**Slika 10.** Vodena kupelj s uzorcima (Foto: Plečko, 2023.)



Debljina uzoraka mjerena je digitalnim mikrometrom s pomakom mjernih površina po načelu vijka, mjernog područja od 0-25 mm, s točnošću mjerenja na tri decimale.

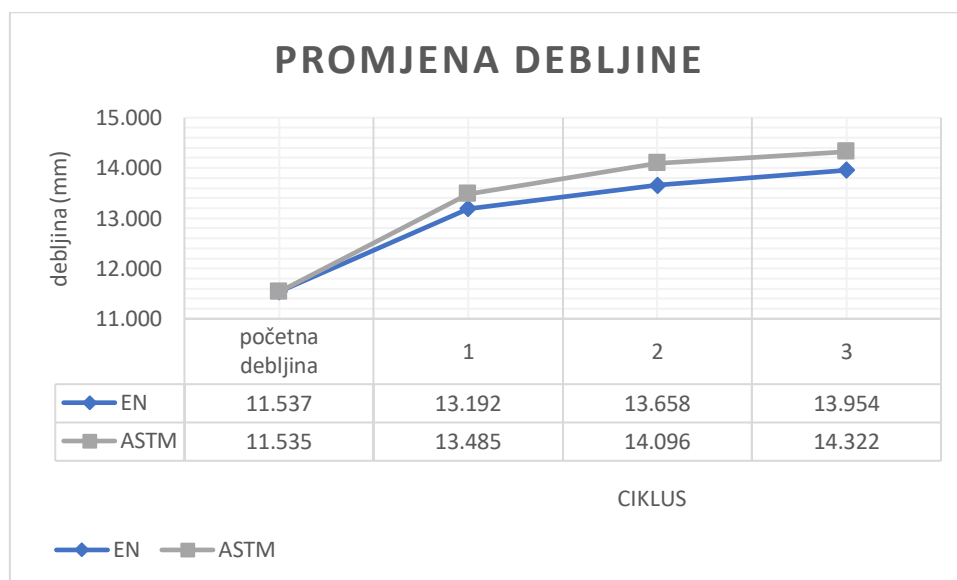


**Slika 11.** Digitalni mikrometar i pomično mjerilo (Foto: Maleta, 2011.)

Duljina i širina uzoraka mjerene su digitalnim pomičnim mjerilom mjernog područja od 0-150 mm. Digitalni mikrometar i mjerilo umjereni su i ovjereni markicom odgovarajućeg nadzornog tijela. Masa uzoraka mjerena je tehničkom vagom s točnošću mjerenja na dvije decimale, proizvođača Sartorius, model TE 612-L.

## 5. REZULTATI ISPITIVANJA

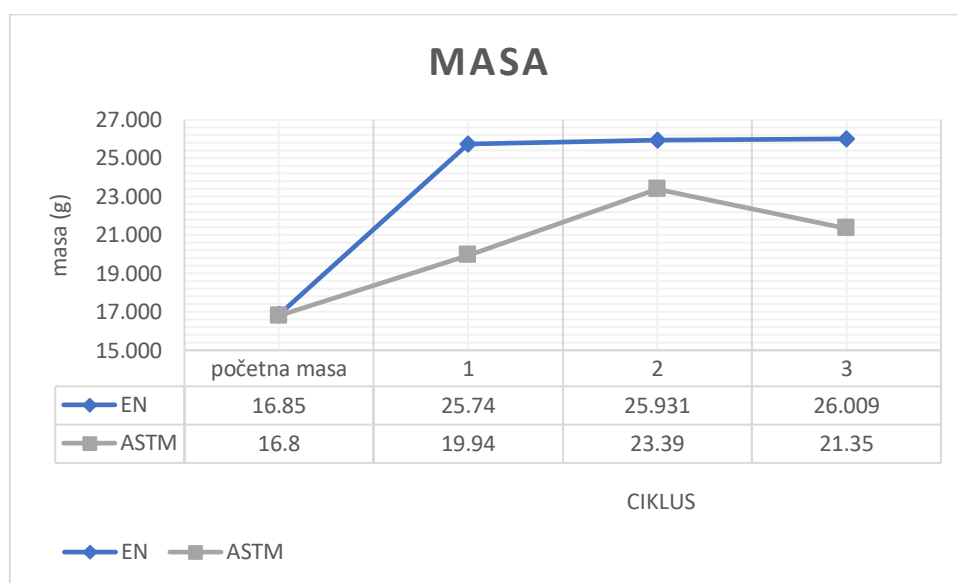
### 5.1. Debljina ploča



**Slika 12.** Grafički prikaz promjena debljine ploča ovisno o ispitnoj metodi i ciklusu izlaganja

Iz grafičkog prikaza promjene debljine uzoraka izlaganjem cikličkim testovima EN 321 i ASTM D 1037 (Slika 12.) može se primijetiti kako je konačna promjena debljine kod ASTM metode nešto veća od konačne promjene debljine kod EN metode. Što znači da je ASTM test imao jači utjecaj na promjenu debljine ploče od EN 321 metode. Navedeno ne treba čuditi budući da su faze izlaganja i njihov intenzitet, kod ASTM metoda značajno intenzivnije (strože), pa slijedom toga izazivaju i bitno drugačiji rezultat u pogledu unutrašnje strukture ploča, a bitno intenzivnije utječu i na kohezijsko-adhezijsku vezu drva i ljepila. Zanimljivo je da debljina ploča intenzivno raste u prvom ciklusu, dok je taj porast bitno manji u naredna dva ciklusa. Porast vrijednosti debljine ploča nakon prvog ciklusa je značajan i iznosi gotovo 2 mm u slučaju obje analizirane metode, što govori da su analizirane ploče pogodne za uporabu u diferencijalnim uvjetima, a nikako u izravnom kontaktu s vodom. Navedeno uostalom i jest definicija OSB/3 ploča i njihovo projektirano mjesto uporabe.

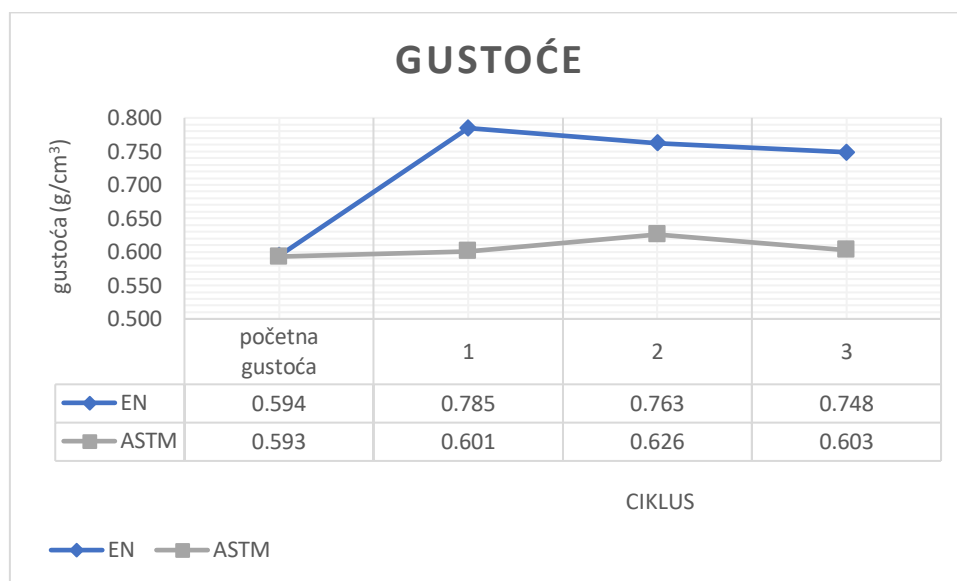
## 5.2. Masa ploča



**Slika 13.** Grafički prikaz promjena mase ploča ovisno o ispitnoj metodi i ciklusu izlaganja

Iz grafičkog prikaza promjene mase uzoraka izlaganjem cikličkim testovima EN 321 i ASTM D 1037 (Slika 13.) može se primijetiti kako se kod EN 321 metode najveći rast mase dogodio nakon prvog ciklusa te je poslije toga masa ostala skoro pa nepromijenjena. Kod ASTM metode, masa uzoraka bila je najveća nakon drugog ciklusa, no i tada je bila manja od mase uzoraka kod EN metode, a nakon trećeg ciklusa masa uzoraka se čak i smanjila. Svakako najzanimljivije je upravo potonje navedeno smanjenje vrijednosti mase uzoraka u iznosu od gotovo 2 grama. Navedeno se može pripisati varijabilnosti strukture ploča, ali i činjenici da su kod pojedinih ispitnih uzoraka, uslijed relativno žestokih uvjeta izlaganja već nakon 2 ciklusa izlaganja ploča prema ASTM normi iz ploče počeli ispadati dijelovi sitnijeg iverja središnjeg sloja, odnosno dio iverja s površine uzoraka. U suštini, rezultati promjena mase u skladu su sa ranije opisanom promjenom debljine uzoraka, karakterističnom za OSB/3 ploče i njihovo projektirano mjesto uporabe.

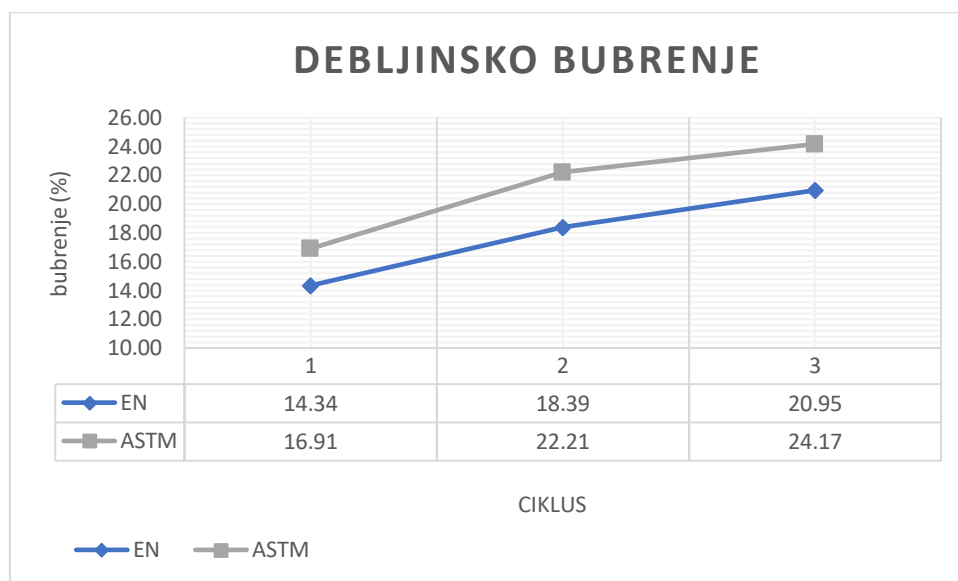
### 5.3. Gustoća ploča



**Slika 14.** Grafički prikaz promjene gustoće ovisno o ispitnoj metodi i ciklusu izlaganja

Iz grafičkog prikaza promjene gustoće uzoraka pri izlaganju EN 321 i ASTM D 1037 metodi (Slika 14.) može se vidjeti kako se nakon prvog ciklusa kod EN metode gustoća značajno povećala, nakon čega se počela smanjivati. Što bi značilo da je promjena povećanja mase bila veća od promjene debljine uzoraka, odnosno upijanje vode uzoraka više je utjecalo na masu nego na promjenu debljine. Kod ASTM metode gustoća se nije značajnije mijenjala upravo zbog toga što je ta metoda imala veći utjecaj na promjenu debljine, nego na promjenu mase uzoraka. Ipak, zanimljiva je međusobna razlika promjene gustoće ovisno o metodi, koja sugerira da je potapanje u vodu kroz tri dana kod EN metode imalo značajno veću utjecaj na strukturu ploča u odnosu na relativno kratak proces potapanja i parenja uzoraka ploče kod ASTM metode. Ovi su podaci zanimljivi iz razloga što je opće poznato da upravo para iznimno destruktivno djeluje na strukturu ploča, što u ovom slučaju nije toliko izraženo. Možda bi korekcija temperature (iznad temperature vrenja vode) ili produljenje vremena parenja, imalo izraženiji učinak kako na gustoću, tako i na masu i debljinu uzoraka. No, ovu bi tvrdnju trebalo još dodatno laboratorijski ispitati.

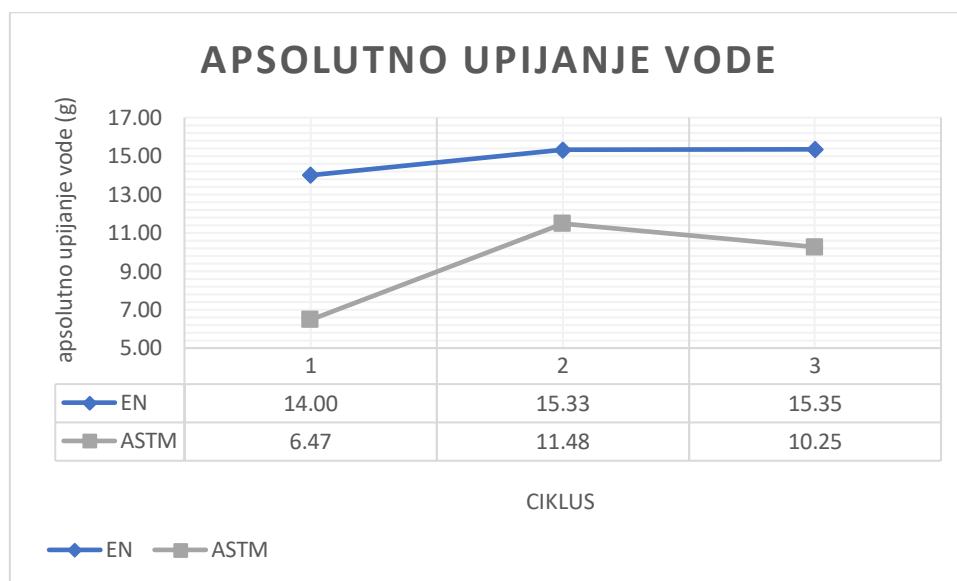
## 5.4. Debljinsko bubrenje ploča



**Slika 15.** Grafički prikaz debljinskog bubrenja ovisno o ispitnoj metodi i ciklusu izlaganja

Iz grafičkog prikaza promjene debljinskog bubrenja (Slika 15.) može se vidjeti kako su iznosi bubrenja kod obje metode očekivano rasli, dok je kod ASTM metode rast nešto izraženiji. Debljinsko bubrenje povezano je sa promjenom debljine uzoraka, zbog toga ovdje ASTM metoda pokazuje veće rezultate bubrenja od EN metode jer je i promjena debljine bila veća kod uzoraka izloženih ASTM metodi. Navedeno je svakako očekivano, obzirom na „oštrinu“ pojedinih koraka izlaganja ploča u skladu s ASTM normom, ali i obzirom na to da su za izračun debljinskog bubrenja korištene vrijednosti debljine uzoraka dobivene nakon koraka u kojem su uzorci potapani u vodu (tzv. mokrih koraka). Zanimljivo je također da su u oba slučaja promjene debljinskog bubrenja gotovo linearne i stoga bi svakako bilo zanimljivo vidjeti što bi se dogodilo kad bi se cikličko izlaganje uzoraka ploča produljilo još koji tjedan.

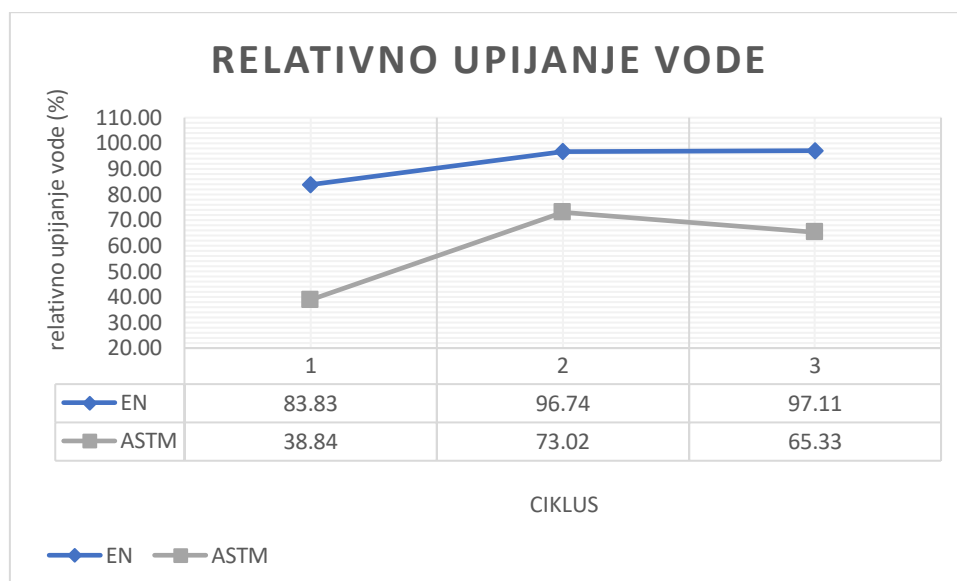
## 5.5. Apsolutno upijanje vode ploča



**Slika 16.** Grafički prikaz apsolutnog upijanja vode

Grafički prikaz apsolutnog upijanja vode (Slika 16.) prikazuje nam da je kod ASTM metode najveći rast prisutan nakon drugog ciklusa, dok se nakon trećeg ciklusa apsolutno upijanje vode smanjilo. Kod EN metode nema značajnije razlike, odnosno apsolutno upijanje vode lagano raste te je skoro pa jednako nakon svakog ciklusa. Ovakva distribucija rezultata ne čudi jer je apsolutno upijanje vode razlika između masa prije i poslije tretmana uranjanja uzoraka u vodu, a kod grafa promjene mase distribucija rezultata bila je upravo ovakva. Nadalje, iznosi apsolutnog upijanja vode su veći kod EN metode upravo zbog toga što su uzorci u toj metodi bili izloženi potapanju 72 h u jednom ciklusu dok su kod ASTM metode bili potopljani samo 1 h.

## 5.6. Relativno upijanje vode ploča



**Slika 17.** Grafički prikaz relativnog upijanja vode

Relativno upijanje vode (Slika 17.) usko je vezano uz apsolutno upijanje vode, te je očekivano da je distribucija rezultata slična onoj kod apsolutnog upijanja vode. Dakle, kod ASTM metode najveća razlika je poslije drugog ciklusa, dok se nakon trećeg ciklusa relativno upijanje vode smanjilo. Kod EN metode relativno upijanje vode lagano raste te je veće nego kod ASTM metode, upravo zbog razloga navedenog kod apsolutnog upijanja vode.

## 6. ZAKLJUČAK

Na osnovi dobivenih rezultata istraživanja mogu se donijeti slijedeći zaključci:

- rezultati promjene debljine uzoraka sugeriraju da je ASTM metoda izlaganja uzoraka značajno intenzivnija (stroža) od EN metode,
- u slučaju promjene mase uzoraka, EN metoda više je djelovala na masu uzoraka od ASTM metode. Uzorci izloženi cikličkom tretmanu prema EN metodi bili su teži (upili su više vode) od uzoraka izloženih prema ASTM metodi, što se može protumačiti duljim vremenskim periodom koji su uzorci proveli potpuno uronjeni u vodu,
- u slučaju promjene gustoće, ASTM metoda nije pokazala veći utjecaj na gustoću uzoraka, dok su uzorci pod djelovanjem EN metode imali značajniji porast gustoće,
- rezultati debljinskog bubrenja potvrđuju pretpostavku strožeg režima izlaganja prema ASTM metodi jer su i (očekivano) rezultati debljinskog bubrenja veći u odnosu na one dobivene izlaganjem uzoraka prema EN metodi,
- rezultati apsolutnog i relativnog upijanja vode pokazuju da je ASTM metoda rezultirala nižim vrijednostima upijanja vode od EN metode, a sve iz jednostavnog razloga što kod EN metode uzorci dulji vremenski period kontinuirano bivaju potopljeni u vodu.



## 7. LITERATURA

1. Geimer, R. L., 1982: Dimensional stability of flakeboards as affected by board specific gravity and Aake alignment. *Forest Prod. J.* 32(8):44-52.
2. Halligan, A. E.; Schniewind A. L., 1972. Effect of moisture on physical and creep properties of particleboard. *Forest Prod. J.* 22(4):41-48.
3. Harless, T. E. G.; Wagner E.G.; Short P. H.; Seale R. D.; Mitchell P. H.; Ladd D. S., 1987: A model to predict the density profile of particleboard. *Wood Fiber Sci.* 19(1):81-92.
4. Jambrečić, V., 2004: Drvne ploče i emisija formaldehida. Šumarski fakultet, Zagreb.
5. Jorgensen, R. N.; Odell R. L., 1961: Dimensional stability of oak flake board as affected by particle geometry and resin spread. *Forest Prod. J.* 11(10):463- 466.
6. Kelly, M. W., 1977: Critical literatures review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard. Gen. Tech. Rep. FPL-20. USDA Forest Serv., Forest Prod. Lab. Madison, WI. 65 pp.
7. Maleta, N., 2011: Analiza utjecaja debljine komercijalnih OSB ploča na otpornost djelovanju vode. Završni rad. Šumarski fakultet, Zagreb.
8. Nelson, R. M., 1983: A model for sorption of water vapor by cellulosic materials. *Wood Fiber Sci.* 15(1):8-22.
9. Richards, R. E.; Burch D. M.; Thomas W. C., 1992: Water vapor sorption measurements of common building materials. *ASHRAE Trans.* 98:475-485.
10. Suchsland, O., 1972: Linear hygroscopic expansion of selected commercial particleboard. *Forest Prod. J.* 22(11): 28-32.
11. Wu, Q.; Suchsland O., 1996: Prediction of moisture content and moisture gradient of an overlaid particleboard. *Wood Fiber Sci.* 28(2):227-239.
12. Wu, Q., 1999: Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. *Wood Fiber Sci.* 31(2)187-191.
13. Wu, Q.; Ren, Y., 2000: Characterization Of Sorption Behavior Of Oriented Strandboard Under Long-Term Cyclic Humidity Exposure Condition. *Wood and Fiber Science*, 32 (4): 404-418.
14. Wu, Q.; Lee, J. N., 2002: Thickness Swelling of Oriented Strandboard Under Long Term Cyclic Humidity Exposure Condition. *Wood and Fiber Science*, 34 (1): 125-139.
15. Žutić, S., 2021: Sorpcijska svojstva ploča iverica ciklički izlaganih nepovoljnom djelovanju vode i temperature. Završni rad. Šumarski fakultet, Zagreb.
16. \*\*\* HRN EN 317:2000 Ploče iverice i vlaknatice – Određivanje debljinskog bubrenja nakon potapanja u vodu.
17. \*\*\* HRN EN 321:2008 Ploče na osnovi drva – Otpornost na vlagu u uvjetima cikličkog ispitivanja.
18. \*\*\* HRN EN 324-1:1993 Ploče na osnovi drva – Određivanje dimenzija ploča- 1. dio: određivanje debljine, širine i duljine.
19. \*\*\* HRN EN 323:1997 Ploče na osnovi drva – Određivanje gustoće.