

UDK: 630*862.2

Izvirni znanstveni članek (Original Scientific Paper)

Vpliv zgradbe zunanega sloja na sorpcijo in trdnost iverne plošče

Influence of structure of surface layer composition on sorption and strength of the particleboard

Sergej MEDVED*

Povzetek

Lesna vrsta s svojimi lastnostmi močno vpliva na lastnosti iverja in iverne plošče. Za ugotavljanje vpliva zgradbe zunanega sloja na trdnostne in sorpcijske lastnosti smo uporabili iverje smreke (*Picea abies* Karst. L.), bukve (*Fagus silvatica* L.), hrasta (*Quercus robur* L.), topola (*Populus nigra* L.) in njihovih mešanic. Zgradbo iverja smo spreminjali samo v zunanjem sloju. Za izdelavo plošč smo uporabili urea-formaldehidno lepilo. Ugotovili smo, da je iverje iz lesnih vrst z nizko prostorninsko maso tanjše od iverja iz lesnih vrst z visoko prostorninsko maso. Najtanjše iverje smo dobili pri smreki, nekoliko debelejša pri topolu in hrastu, najdebelejša pa pri bukvi. Z večanjem debeline iverja se vitkost, specifična površina iverja in specifična površina oblepljanja večajo. Z uporabo tanjšega iverja dobimo tanjše plošče z višjo prostorninsko maso. Na trdnostne lastnosti negativno vpliva uporaba iverja bukve, medtem ko iverje drugih treh drevesnih vrst deluje pozitivno, pri čemer je vpliv hrastovega in topolovega iverja večji kot vpliv smrekovega iverja. Na sorpcijske lastnosti vpliva pozitivno iverje hrasta in topola, negativno pa iverje bukve in smreke. Prostorninska masa zunanega sloja se večja z manjšanjem debeline zunanega sloja. Z večanjem prostorninske mase oz. z manjšanjem debeline se večata upogibna trdnost in modul elastičnosti, medtem ko se debelinski nabrek manjša. Masni atenuacijski koeficient, pri uporabi radioaktivnega izotopa Am-241, je največji pri smrekovini, najmanjši pa pri topolovini.

Ključne besede: iverna plošča, geometrija iverja, mehanske in fizikalne lastnosti, debelina in prostorninska masa sloja, vertikalna porazdelitev prostorninskih mas

Abstract

*Wood species with their characteristics have a strong influence on properties of wood particles and particleboards. Wood particles of spruce (*Picea abies* Karst. L.), beech (*Fagus silvatica* L.), oak (*Quercus robur* L.), poplar (*Populus nigra* L.), and of their mixtures were used to determine the impact of the structure of the surface layer on strength and sorption properties; the particle composition being altered in the surface layer only. Urea formaldehyde adhesive was used for the manufacturing of the boards. Particles of wood species of lower density are thinner than those of wood species of high density. Wood particles of spruce are the thinnest, those of poplar and oak are a bit thicker, and those of beech the thickest. By decreasing the particle thickness, slenderness ratio, specific surface area and specific gluing area of particles increase. The use of thinner particles results in thinner boards with a higher density. Beech particles have a negative influence as regard strength properties, while particles of other three wood species exert positive influence. The effect of oak and poplar particles is higher compared to spruce particles. Oak and poplar particles have positive impact on the sorption properties, while beech and spruce negative. Surface layer density increases by decreasing the surface layer thickness. Increasing density and decreasing thickness increase the bending strength and modulus of elasticity, and decrease thickness swelling. Using radioactive isotope Am-241, the mass attenuation coefficient of the spruce is the highest; that of the poplar the lowest.*

Keywords: particleboard, particle geometry, mechanical and physical properties, layer thickness and density, vertical density distribution

1. UVOD

Pomembnejše mehanske in fizikalne lastnosti ivernih plošč so odvisne od številnih dejavnikov. Če izvzamemo surovino samo, lahko opazimo, da proizvajalci ivernih plošč niso vezani samo na domačega dobavitelja, ampak lah-

ko kupujejo surovino tudi v drugih državah. Tako lahko pridejo do surovine, ki je cenovno ugodnejša ali pa z njo dosegajo boljše lastnosti plošč. Že KOLLMANN IN SOD. (1975), MOSLEMI (1974), HALIGAN (1970), LIIRI IN SOD. (1977), SCHNEIDER IN SOD. (1982), NIEMZ (1982), PANJKOVIĆ IN BRUČI (1991) (če naštejemo samo najpomembnejše) so ugotovili, da uporaba različnih lesnih vrst različno vpliva na mehanske in fizikalne lastnosti plošč.

V današnjem času v svetu proizvedejo največ trislojnih ivernih plošč. V srednjem sloju se uporablja iverje debeline med 0,4 in 0,8 mm, v zunanjem sloju pa debeline med 0,1 in 0,3 mm. Posamezne lastnosti so odvisne tudi od lastnosti posameznih slojev. Tako sta upogibna trdnost in modul elastičnosti odvisni od lastnosti zunanega sloja, medtem ko je razslojna trdnost odvisna od lastnosti stanja srednjega sloja.

* mag., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Ljubljana, Rožna dolina c. VIII/34

1.1 HIPOTEZA

Osnovni elementi ivernih plošč so iveri, oblepljene s sintetskimi lepili ter stisnjene pri visoki temperaturi in tlaku. čeprav je lepilo pomembna surovina pri izdelavi ivernih plošč, pa je lesna surovina vsekakor najpomembnejša. Ker pri proizvodnji ivernih plošč ne uporabljamo samo ene lesne vrste ampak mešanice iz več vrst, lahko zaradi nenadzorovane uporabe nastanejo razlike v nekaterih njihovih mehanskih in fizikalnih lastnostih. V nadaljevanju bomo dokazali, da uporaba različnih lesnih vrst povzroči spremembo nekaterih mehanskih in fizikalnih lastnosti.

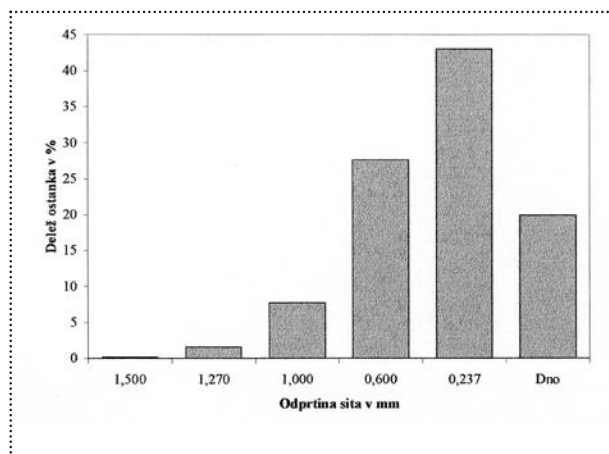
2. MATERIALI IN METODOLOGIJA

2.1. MATERIALI

Za izdelavo iverja za zunanji sloj smo uporabili oblovino iz smreke (*Picea abies* Karst. L.), bukve (*Fagus silvatica* L.), hrasta (*Quercus robur* L.), topola (*Populus nigra* L.).

Ker nas predvsem zanima, kako sprememba zgradbe zunanega sloja vpliva na nekatere lastnosti plošč, smo se odločili, da je zgradba srednjega sloja enaka za vse različice. Iverje za vse tri sloje referenčne plošče smo odvzeli iz redne proizvodnje pred strojem za oblepljanje.

Za oblepljanje iverja smo uporabili urea-formaldehidno lepilo LENDUR 105 in 60 % parafinsko emulzijo.



Slika 1. Sejalna analiza iverja v industrijskem postopku

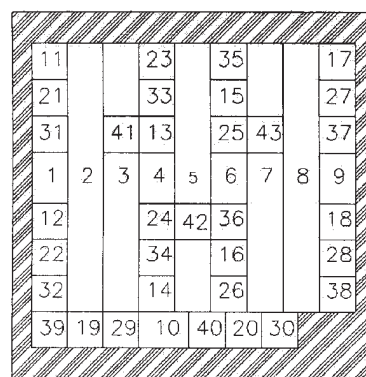
2.2. METODE

2.2.1. Izdelava plošč in vzorčenje

Iverjenje sveže oblovine je potekalo na valjčnem iverilniku, na katerem je bila nastavljena razdalja med nožem in proti nožem 1,0 mm. Pri tako veliki razdalji med nožem in proti nožem smo dobili velik delež iverja večjih frakcij, ki ga za izvedbo naloge nismo potrebovali, zato smo morali iverje dodatno pomleti v laboratorijskem križnem mlinu. Ker smo želeli imeti enake pogoje pri pomlevanju, smo iverje v laboratorijskem sušilniku posušili. Po pomlevanju smo iverje presejali na laboratorijskem sejalniku. Ker smo morali opraviti sejnalno analizo velikih količin iverja, smo se na podlagi preskusa odločili za spremembo običajnih parametrov za opravljanje sejnalne analize. Tako smo namesto 100 g iverja uporabili 300 g, čas sejanja pa je bil 15 minut namesto 10 minut. Po sejnalni analizi iverja smo iverje za zunanji sloj "sestavili" po lesnih vrstah in frakcijah. Zgradba iverja po lesnih vrstah je prikazana v preglednici 1.

Zgradba iverja po frakcijah je enaka kot v industrijski proizvodnji (glej sliko 1).

Iverje smo nato oblepili in ročno natresli v okvir dimenzij 500×500 mm, ki je nameščen na natresno pločevino. Stiskanje pogače smo opravili pri temperaturi 180°C in specifičnem tlaku 3 N/mm². Čas stiskanja je bil 4 minute. Po končanem stiskanju smo plošče ohlajali, nakar smo jih dali v klimatizacijsko komoro, v kateri je bila standardna klima. Plošče smo klimatizirali do konstantne mase, nakar smo pripravili vzorce za preskus upogibne trdnosti in modula elastičnosti. Po končanem preskusu upogibne trdnosti in modula elastičnosti smo iz teh vzorcev izžagali še vzorce za druge lastnosti (slika 2).



Slika 2. Prostorska shema odvzema vzorcev iz poskusnih plošč za preskušanje raznih lastnosti

Preglednica 1. Zgradba poskusnih plošč glede na lesno vrsto

Različica	Srednji sloj		Zunanji sloj		Hrast (Hr)	Topol (To)
	Iverje iz proizvodnega procesa	%	Smreka (Sm)	Bukav (Bu)		
V ₁	100		100	0	0	0
V ₂	100		0	100	0	0
V ₃	100		0	0	100	0
V ₄	100		0	0	0	100
V ₅	100		50	50	0	0
V ₆	100		50	0	50	0
V ₇	100		50	0	0	50
V ₈	100		0	50	50	0
V ₉	100		0	50	0	50
V ₁₀	100		0	0	50	50
V ₁₁	100		0	33	33	33
V ₁₂	100		33	0	33	33
V ₁₃	100		33	33	0	33
V ₁₄	100		33	33	33	0
V ₁₅	100		25	25	25	25

Legenda:

- 1->10 upogibna trdnost in modul elastičnosti [20
d+50mm×50mm]
11->20 prostorninska masa in vsebnost vlage
[50mm×50mm]
21->30 razslojna trdnost [50mm×50mm]
31->40 debelinski nabrek in vpijanje vode
[50mm×50mm]
41->43 profil prostorninskih mas [50mm×50mm]
0-> smer odvzema plošče iz stiskalnice

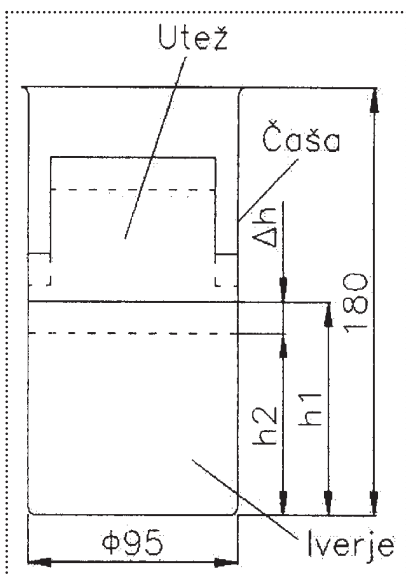
2.2.2. Preskušanje elastomernih in fizikalnih lastnosti ivernih plošč

Preskuse mehanskih in fizikalnih lastnosti ivernih plošč smo opravljali po standardih SIST EN. Preskušali smo prostorninsko masa, debelino, upogibno trdnost, modul elastičnosti, razslojno trdnost in debelinski nabrek.

2.2.3. Določanje stisljivosti iverja

V čašo premera 95 mm in višine 180 mm smo stresli 100 g iverja za zunanji sloj ter izmerili višino natresenega iverja. Iverje smo nato obremenili s tlakom 0,0034 Pa. Po 15 sekundah smo izmerili višino iverja. Iz višine pred obremenitvijo in po njej smo izračunali stisljivost iverja v mm. Shema določanja stisljivosti iverja je prikazana na sliki 3.

2.2.4. Določanje geometrije iverja



Slika 3. Shema določanja stisljivosti iverja

V proizvodnji najbolj pogosto uporabljen način določanja velikosti iverja je sejalna analiza iverja. Pri tem sicer ločujemo iverje po velikosti, vendar je to ločevanje zelo grobo in omejeno s številom frakcij oziroma razpoložljivih sit. S sejalno analizo ne dobimo nobenih podatkov o specifični površini in vitkosti iverja. Zato smo poleg sejalne analize opravili še slikovno analizo iverja in določitev površine iverja z absorpcijsko metodo.

2.2.4.1. Slikovna analiza iverja

Slikovno analizo iverja smo izvedli z mikroskopom. 100 g iverja posamezne frakcije smo razdelili po križni metodi na štiri dele. Iz vsakega dela smo naključno izbrali pet iveri. Izbrane iveri smo nato namestili pod mikroskop. Na okularju projicirani sliki iverja smo izmerili debelino in dolžino. Iz dobljenih podatkov smo izračunali zunanjo specifično površino A_S v $m^2/100$ g (MEINECKE IN KLAUDITZ (1962)), vitkost iverja λ v mm/mm (MEINECKE IN KLAUDITZ (1962)) in specifično porabo lepila G_S v g/m^2 (MEINECKE IN KLAUDITZ (1962)).

2.2.4.2. Absorpcijska metoda določanja površine iverja

Določevanje površine iverja po absorpcijski metodi smo opravili na napravi GEMINI 2360. Absorpcijska metoda temelji na vpijanju plina v

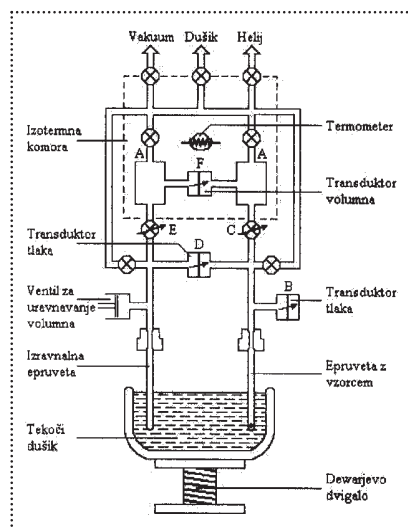
površino iverja, pri čemer se plin vpije tudi v pore, skratka tudi v notranjo površino in ne samo na zunanjo. Kot absorpcijski plin se uporablja dušik. Naprava za merjenje površine ima dvojni sistem. Eden je sistem z vzorcem, drugi pa je tako imenovani izenačevalni sistem. Oba sistema sta povezana (slika 4) med seboj, in s pospeševalnikom plina, ki rabi za analizo. Stopnja dotoka plina je nadzorovana in odvisna od količine plina, ki ga vpije vzorec.

Izravnalni sistem in sistem z vzorcem sta izpostavljena enakim pogojem. Da so pogoji v obeh identični, skrbi sistem izenačevalnih ventilov. V komori, v kateri je konstantna temperatura, sta tako za izravnalni sistem kot tudi za sistem z vzorcem rezervoarja (A), napolnjena z enako količino plina, ki rabi za analizo vzorca. Izravnano količino in tlaka plina v rezervoarjih uravnava transduktor volumna (F) med rezervoarjema. Plin iz rezervoarjev potuje po izravnalni epruveti in epruveti z vzorcem. Želeni tlak v epruveti z vzorcem se uravnava prek transduktorja tlaka (B). Z vpijanjem plina v vzorec tlak v epruveti pada. Tlak v epruveti se uravnava z izravnalnim ventilom C, v izravnalni epruveti pa z izravnalnim ventilom E. Razlika med tlakoma v eprugetah se uravnava prek izravnalnega transduktorja tlaka D. Specifična površina iverja se izračuna po večtočkovni metodi BET (GEMINI - Analysis technique...1998).

2.2.5. Merjenje vertikalne porazdelitve prostorninskih mas

VPPM^a smo določevali z merilnikom za določanje vertikalne porazdelitve prostorninskih mas MGP 201, ki je zasnovan na merjenju spremembe intenzitete žarkov gama pri prehodu skozi vzorec. Kot vir sevanja je bil uporabljen radioaktivni izotop Am-241. Podrobnejša princip delovanja so opisali PIRKMAIER IN BUDNAR (1989) ter MEDVED, PIRKMAIER IN MIHEVC (1997).

Pred določanjem VPPM smo določili masni atenuacijski koeficient. Masni atenuacijski koeficient smo določili tako, da smo najprej izmerili intenziteto žarkov pri prehodu skozi zrak in



Slika 4. Shematski prikaz naprave za določanje specifične površine - GEMINI 2360 (GEMINI - Analysis technique...1998)

nato še pri prečnem prehodu skozi vzorec. Čas izpostavitve je bil ena sekunda, kolikor je tudi čas meritve enega odseka. Iz razlike v intenziteti ter povprečne debeline in prostorninske mase vzorca smo izračunali masni absorpcijski koeficient po enačbi:

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)}{\rho \cdot t}$$

kjer je:

- * I intenziteta sevanja po prehodu skozi vzorec
- * I₀ intenziteta sevanja po prehodu skozi zrak
- * ρ povprečna prostorninska masa vzorca v g/cm³ določena gravimetrično
- * t povprečna debelina vzorca v cm

Na osnovi števila impulzov na časovno enoto in števila impulzov, ki so registrirani po absorpciji žarkov gama, ter masnega absorpcijskega koeficienta za posamezno različico smo izračunali prostorninsko maso v 0,1 mm debelom odseku vzorca po enačbi:

$$\rho_{odsek} = \frac{\ln\left(\frac{I - I_B}{I_0 - I_B}\right)}{\mu \cdot t_{odsek}}$$

kjer je:

- * I intenziteta sevanja po prehodu skozi vzorec,
- * I₀ intenziteta sevanja po prehodu skozi zrak,
- * I_B intenziteta sevanja po prehodu skozi kovino (ozadje),
- * μ masni atenuacijski koeficient v cm²/g za izbrano različico plošče (določen po enačbi 15),
- * t_{odsek} debelina odseka v cm (0,01 cm).

Celotni VPPM za vzorce dobimo z zaporedjem meritev na posameznih odsekih.

2.2.6. Določanje debeline zunanjega sloja

Debelino zunanjega sloja smo izračunali iz podatkov, dobljenih z merjenjem VPPM. Na srednji sloj pri trislojni iverni plošči debeline 16 mm odpade 60 %, na zunanja pa 40 % absolutno suhe mase iverja. Iz podatkov o prostorninski masi in dimenzijah posameznega odseka smo izračunali maso odseka po enačbi:

$$m_{odsek} = \rho_{odsek} \cdot t_{odsek} \cdot b_1 \cdot b_2$$

kjer je:

- * ρ_{odsek} prostorninska masa odseka v g/cm³
- * t_{odsek} debelina odseka v mm (t_{odsek} = 0,1 mm)
- * b₁ širina odseka oziroma vzorca in
- * b₂ dolžina odseka oziroma vzorca

S seštevanjem mas posameznih odsekov smo dobili maso enega zunanjega sloja. število odsekov, potrebnih za doseganje želene mase, je predstavljalo debelino enega zunanjega sloja.

2.2.7. Določanje debelinskega nabreka posameznega sloja

Za določanje debelinskega nabreka posameznega sloja smo ponovno uporabili podatke o VPPM. Iz profilov, dobljenih za vzorce po sušenju, smo prostorninsko maso odseka pretvorili v maso. Med maso zunanjega in maso srednjega sloja smo vzeli razmerje 40/60. S seštevanjem mas posameznih odsekov smo dobili debelino posameznega sloja v absolutno suhem stanju.

Debelino sloja po potapljanju smo nato izračunali tako, da smo za oba sloja domnevali enak skrček, ki je nastal pri sušenju vzorca, in je enak skrčku celotnega vzorca. Nato smo iz izračunane debeline posameznega sloja izračunali število odsekov, ki sestavljajo posamezen sloj pri vzorcih. Iz teh podatkov smo izračunali debelino in prostorninsko maso posameznega sloja po potapljanju ter debelinski nabrek posameznega sloja.

3. REZULTATI MERITEV IN DISKUSIJA

3.1. LASTNOSTI IVERJA

Debelina iverja je odvisna od velikosti odprtine sita, iz katerega smo vzeli iverje uporabljene vrste lesa. Z večanjem velikosti odprtine se večja tudi debelina iverja, kar lahko vidimo na sliki 5.

Specifična površina iverja se zmanjšuje s povečujočo odprtino sita, medtem ko je vitkost iverja skoraj enaka ne glede na velikost odprtine sita. Samo pri lesnih vrstah z

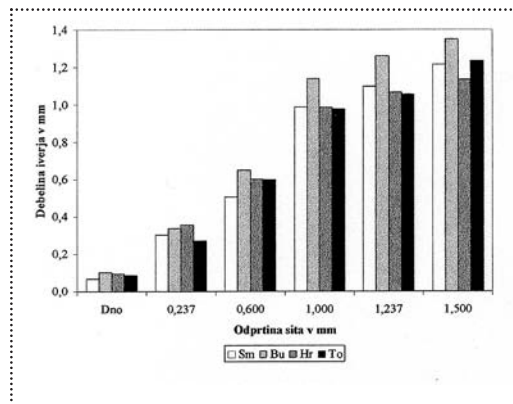
nižjo prostorninsko maso se s povečanjem velikosti odprtine sita vitkost iverja zmanjša. Debelina iverja se večja z večanjem prostorninske mase uporabljene drevesne vrste (preglednici 2).

Preglednica 2. Povprečna debelina, dolžina, vitkost, specifična površina, stisljivost iverja in specifična poraba lepila glede na vrsto lesa

	Smrekovina	Bukovina	Hrastovina	Topolovina
t _{iverja} v mm	0,35	0,44	0,40	0,36
b ₁ iverja v mm	2,02	1,91	1,99	2,00
A ₃ v m ² /100 g *	3,49	2,46	2,48	2,65
A ₃ v m ² /100 g **	65,00	51,00	57,00	68,00
λ v mm/mm	6,64	4,81	5,30	6,15
G ₃ v g/m ² ***	8,74	16,53	14,88	8,40
Stisljivost v mm	15,68	3,79	1,24	13,23

* Podatki dobljeni s slikovno analizo
 ** Podatki dobljeni z absorpcijsko metodo
 *** Kot specifična površina iverja je bila upoštevana zunanja specifična površina

Kljub nižji prostorninski masi topola, glede na prostorninsko maso smreke, smo pri topolu ugotovili nekoliko večjo debelino kot pri iverju smreke. Smreka ima namreč pri frakcijah 0,6 in na dnu okoli 15 % tanjše iverje kot topol. Hrastovo iverje je tanjše kot bukovo zato, ker ima hrast nižjo prostorninsko maso. Vitkost in specifična površina se zmanjšujeta s povečujočo debelino iverja, medtem ko se specifična poraba lepila s povečujočo debelino iverja povečuje. Razlike nastanejo predvsem zaradi raz-



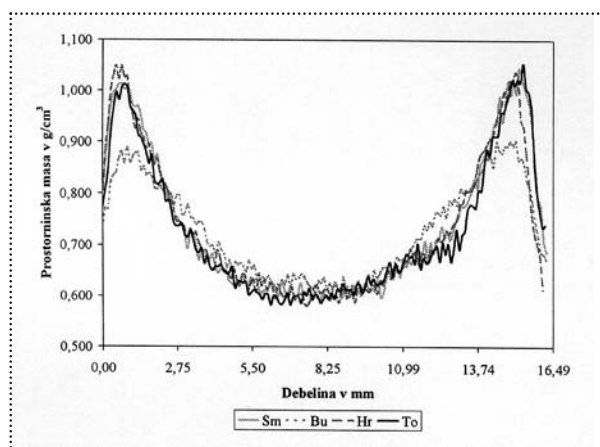
Slika 5. Debelina iverja v odvisnosti od velikost odprtine sita in lesne vrste

lične prostorninske mase uporabljene vrste lesa, saj bi bile razlike v vitkosti, specifični površini in specifični porabi lepila vidne, tudi če bi bilo iverje enake debeline.

3.2. LASTNOSTI PLOŠČ

3.2.1. Debelina in prostorninska masa

Debelina plošč je odvisna od uporabljene vrste lesa v zunanem sloju, medtem ko prostorninska masa ni. To se vidi na preglednici 3. Tanjše plošče



Slika 6. Vertikalna porazdelitev prostorninskih mas (VPPM) glede na uporabljeno lesno vrsto v zunanem sloju

Preglednica 3. Lastnosti plošč

Zgradba iverja v zunanem sloju	t mm	t _Z mm	ρ g/cm ³	ρ _Z g/cm ³	f _m N/mm ²	E _m N/mm ²	f _t N/mm ²	G _t %
Sm	16,24	5,25	0,661	0,915	14,53	2771	0,44	26,31
Bu	16,24	5,68	0,671	0,829	9,61	1762	0,36	32,77
Hr	16,10	5,33	0,668	0,900	13,29	2323	0,50	18,05
To	16,19	5,26	0,666	0,900	13,05	2603	0,45	20,23
Sm, Bu	16,26	5,56	0,671	0,863	12,16	2567	0,35	28,33
Sm, Hr	16,22	5,34	0,667	0,891	13,37	2297	0,38	19,45
Sm, To	16,28	5,26	0,671	0,917	14,52	2752	0,44	24,51
Bu, Hr	16,18	5,56	0,664	0,858	12,12	2358	0,48	20,04
Bu, To	16,23	5,48	0,657	0,879	11,96	2245	0,41	26,12
Hr, To	16,20	5,37	0,660	0,905	13,76	2404	0,41	16,91
Bu, Hr, To	16,17	5,42	0,665	0,870	11,22	2316	0,49	19,41
Sm, Hr, To	16,19	5,30	0,680	0,903	14,45	2482	0,45	18,26
Sm, Bu, To	16,24	5,38	0,666	0,869	12,04	2476	0,40	24,22
Sm, Bu, Hr	16,23	5,41	0,667	0,891	12,70	2354	0,39	18,12
Sm, Bu, Hr, To	16,27	5,39	0,660	0,885	10,91	2298	0,31	16,46

smo dobili z uporabo iverja hrasta, nekoliko debelejša pa z uporabo iverja smreke. Glede na dobljene rezultate prostorninske mase lahko ugotovimo, da nobena vrsta lesa nima prevladujoče vloge. Razlike zaradi uporabe iverja različnih lesnih vrst so vidne pri različnih VPPM (slika 6).

Iz VPPM lahko opazimo razlike predvsem v področju zunanjega sloja. Tako lahko že iz profilov ugotovimo, da je prostorninska masa zunanjega sloja pri uporabi iverja bukke nizka. Razlike zaradi uporabe različnih vrst lesov pa nismo zaznali samo pri VPPM ampak tudi pri različnih masnih atenuacijskih koeficientih (preglednica 4).

Različni masni atenuacijski koeficienti so posledica različne kemijske sestave, predvsem glede na delež ogljika, kisika in vodika v uporabljenih lesnih vrstah. Čeprav na masni atenuacijski koeficient ne vplivajo samo

Preglednica 4. Masni atenuacijski koeficient glede na uporabljeno lesno vrsto v zunanem sloju

	Sm	Bu	Hr	To
ρ v cm ² /g	0,1747	0,1738	0,1714	0,1698

ti trije elementi, zaradi njihovega deleža v lesu predvidevamo, da je njihov vpliv največji. Vodika, ki ima največji masni atenuacijski koeficient, je največ pri smreki in najmanj pri hrastu, medtem ko imata topol in bukev enak delež vodika. Kisika je najmanj pri smreki in topolu, tema sledi hrast, največ pa ga je pri bukvi. Ogljika, ki ima najmanjši masni atenuacijski koeficient, je največ pri topolu, nekoliko manj pri smreki in hrastu, najmanj pa pri bukvi.

Debelina in prostorninska masa zunanjega sloja sta torej odvisni od v zunanem sloju uporabljene vrste lesa, kar je vidno tudi v preglednici 3. Zunanji sloj je najtanjši pri uporabi iverja smreke, nekoliko debelejši pri uporabi iverja topola in hrasta, najdebelejši pa pri uporabi iverja bukke.

Ugotovili smo tudi, da je prostorninska masa zunanjega sloja odvisna od njegove debeline (preglednica 3). Prostorninska masa zunanjega sloja se večja z manjšanjem njegove debeline. Tanjše iverje, pri enaki masi, namreč zasede manj prostora, zato je tudi debelina zunanjega sloja pri uporabi tanjšega iverja manjša. Ker je tanjše iverje, zaradi nižje prostorninske mase, bolj stisljivo kot debelejša iverje, je prostorninska masa zunanjega sloja pri uporabi tanjšega iverja večja. Zaradi večje stisljivosti iverja zunanjega sloja se je srednji sloj stisnil manj, če smo v zunanem sloju uporabili tanjše iverje. Ker je srednji sloj praviloma zgrajen iz debelejšega iverja, bolj stisljiv zunanji sloj iz tanjšega iverja ni vplival na prostorninsko maso srednjega sloja, saj je razlika med minimalno in maksimalno vrednostjo majhna. Kljub temu pa smo ugotovili, da debelina uporabljenega iverja v zunanem sloju vpliva tudi na debelino in prostorninsko maso srednjega sloja. S povečevanjem debeline zunanjega sloja se debelina srednjega sloja zmanjšuje. Z zmanjševanjem prostorninske mase zunanjega sloja pa se

prostorninska masa srednjega sloja povečuje. Pri uporabi tanjšega iverja za zunanji sloj je razmerje med debelino iverja srednjega in zunanjega sloja večje. Pri večjem razmerju je večja tudi povratna sila v srednjem sloju, ki povzroči, da se po odprtju stiskalnice zunanji sloj bolj stisne, kar povzroči povečanje debeline srednjega sloja in zmanjšanje debeline zunanjega sloja (preglednica 3).

Tanjše in bolj stisljivo iverje je bilo izdelano iz lesnih vrst z nižjo prostorninsko maso, zato ne smemo pri vplivu na debelino in prostorninsko maso sloja pozabiti na uporabljeno lesno vrsto. Vpliva posamezne vrste lesa torej ne smemo opazovati zgolj skozi geometrijo in stisljivost iverja, ampak

moramo upoštevati tudi druge faktorje. Pomemben vpliv na debelino in prostorninsko maso posameznega sloja ima v fazi stiskanja hidrotermična obdelava lesa. Bolj kot se lahko les plastificira, višja je lahko prostorninska masa, npr. hrastovina. Vpliv anatomske zgradbe lesa se kaže predvsem v debelini celičnih sten in velikosti celičnih. Tanjše kot so stene in večji kot so lumni, bolj stisljivo je iverje, večja je dosežena prostorninska masa in manjša je debelina sloja.

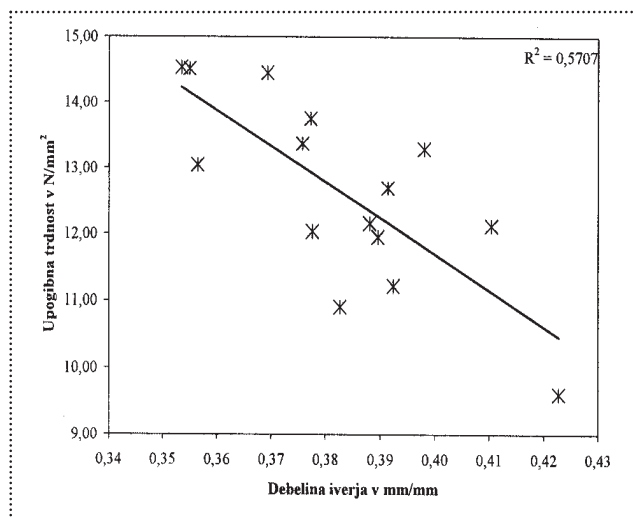
3.2.2. Upogibna trdnost in modul elastičnosti

Največje razlike med dobljenimi podatki smo ugotovili pri upogibni trdnosti in modulu elastičnosti (preglednica 3). Ti

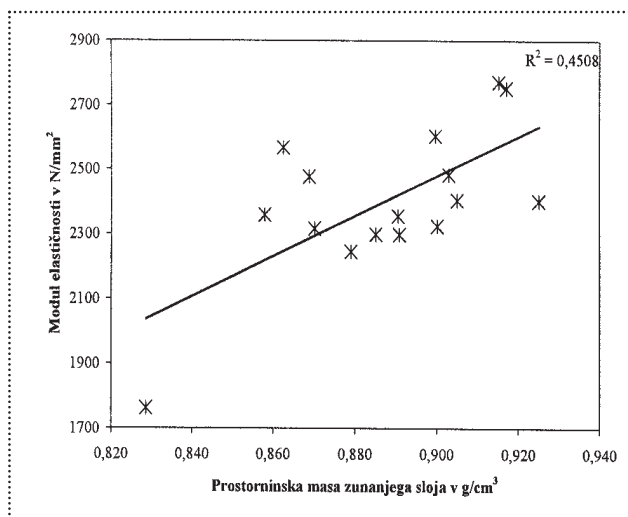
dve lastnosti sta tudi najbolj odvisni od stanja zunanjega sloja. Na upogibno trdnost negativno vpliva uporaba iverja bukke, pozitivno pa uporaba iverja smreke. Tudi iverje hrasta in topola vpliva pozitivno na upogibno trdnost.

Če primerjamo dobljeno upogibno trdnost in parametre, s katerimi podajamo geometrijo iverja, potem lahko ugotovimo, da se z večanjem debeline (slika 7) oz. z manjšanjem vitkosti in specifične površine upogibna trdnost plošč manjša.

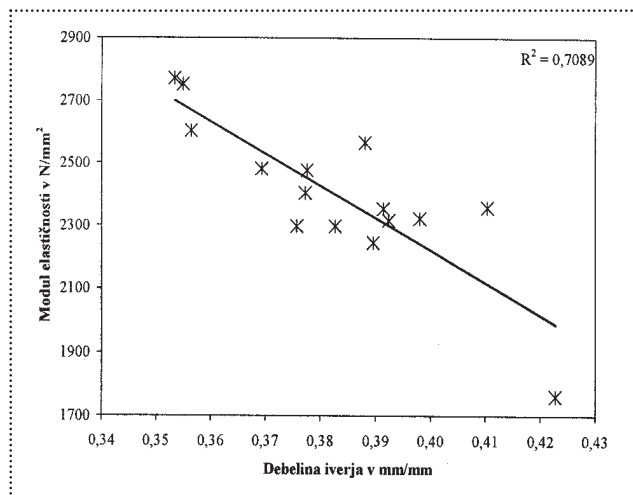
Uporaba tanjšega iverja, večje vitkosti in specifične površine vpliva na upogibno trdnost predvsem prek dosežene prostorninske mase zunanjega sloja, saj se lahko tanjše iverje



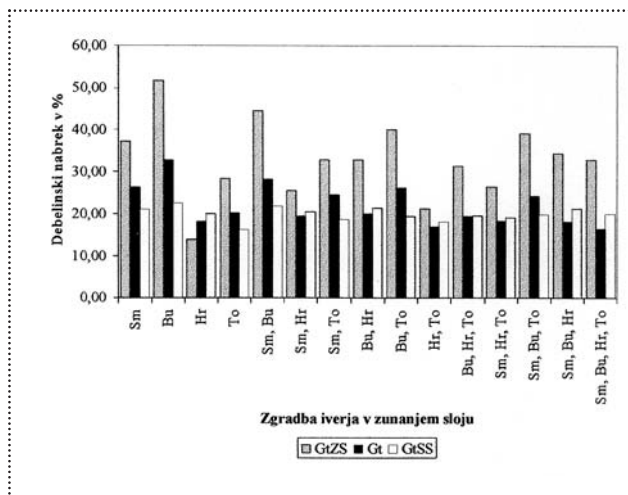
Slika 7. Odvisnost upogibne trdnosti od debeline iverja



Slika 8. Odvisnost modula elastičnosti od prostorninske mase zunanjega sloja



Slika 9. Odvisnost modula elastičnosti od debeline iverja



Slika 10. Debelinsko nabrekanje plošč glede na zgradbo iverja v zunanjem sloju

bolj stisne. Pri uporabi iverja z večjo specifično površino je prekrivanje iverja večje. Čeprav je poraba lepila pri uporabi iverja z večjo specifično površino večja, lahko trdimo, da prevlada vpliv večje površine prekrivanja iverja. Ne smemo pa pozabiti tudi na anatomske lastosti uporabljene lesne vrste. Če pri lesnih vrstah, ki smo jih uporabili za izdelavo plošč, primerjamo dolžino in delež vlaken z doseženo upogibno trdnostjo, lahko vidimo, da ima najdaljša vlakna in tudi največji delež le-teh ravno smreka, ki ima največjo upogibno trdnost. Pri listavcih pa imata bukev in hrast približno enako dolga vlakna, topol pa nekoliko daljša. Topolovina ima tudi največji delež vlaken, nekoliko manjšega hrastovina, najmanjšega pa bukovina.

Če primerjamo dobljeno upogibno trdnost s prostorninsko maso zunanje- ga sloja, vidimo, da se z večanjem prostorninske mase zunanje- ga sloja veča tudi upogibna trdnost (pregledni- ca 3).

Ugotovili smo, da se z večanjem upo- gibne trdnosti veča tudi modul elastič- nosti. Tudi pri modulu elastičnosti dosežemo z uporabo lesnih vrst z nižjo prostorninsko maso (slika 8), ter tanjšim (slika 9) in vitkejšim iverjem z večjo specifično površino, večje vred- nosti.

Tudi modul elastičnosti lahko poveže- mo z mikroskopsko zgradbo uporab- ljene- ga lesa. Daljša kot so vlakna in večji kot je njihov delež, večji je modul elastičnosti.

Ugotovili smo, da ima pri modulu ela- stičnosti prevladujoč vpliv geometrija iverja, pri upogibni trdnosti pa upo- rabljena lesna vrsta in debelina ter prostorninska masa zunanje- ga sloja.

3.2.3. Razslojna trdnost

Čeprav smo spreminjali zgradbo zu- nanje- ga sloja, smo ugotovili, da je tudi razslojna trdnost delno odvisna od uporabljene lesne vrste (pregledni- ca 3). Visoko razslojno trdnost smo ugotovili pri uporabi iverja hrasta. Vpliv iverja topola in smreke na raz-

Preglednica 5. Vpliv zgradbe iverja v zunanjem sloju na nekatere mehanske in fizikalne lastnosti

Zgradba iverja v zunanjem sloju	$t_{\text{zunanji sloj}}$	$P_{\text{zunanji sloj}}$	f_m	E_m	G_f^*
Smreka (Sm)	±	±	++	++	--
Bukev (Bu)	-	-	-	--	--
Hrast (Hr)	±	±	++	±	±
Topol (To)	±	±	+	+	-
Sm, Bu	-	-	±	+	--
Sm, Hr	±	±	++	±	±
Sm, To	±	±	++	++	--
Bu, Hr	-	-	±	±	-
Bu, To	±	±	±	-	--
Hr, To	±	-	++	±	++
Bu, Hr, To	±	-	-	±	±
Sm, Hr, To	±	±	++	±	±
Sm, Bu, To	±	-	±	±	--
Sm, Bu, Hr	±	±	+	±	±
Sm, Bu, Hr, To	±	±	±	±	++

Legenda: -- velik negativen vpliv (poslabšanje glede na referenčno ploščo večje od 10 %)
 - negativen vpliv (poslabšanje glede na referenčno ploščo med 5 in 10 %)
 ± ni vpliva (sprememba glede na referenčno ploščo manjša od 5 %)
 + pozitiven vpliv (izboljšanje glede na referenčno ploščo med 5 in 10 %)
 ++ velik pozitiven vpliv (izboljšanje glede na referenčno ploščo večje od 10 %)

* Sprememba velja tako za debelinski nabrek zunanje- ga sloja kot za debelinski nabrek celotne plošče

slojno trdnost je enak, medtem ko se je iverje bukvne ponovno izkazalo kot najslabše. Ugotovili smo zmerno kore- lacijo med debelino plošč in razslojno trdnostjo. Rzslojna trdnost plošč se zmanjšuje z naraščajočo debelino plošč.

3.2.4. Debelinski nabrek

Uporaba različnih lesnih vrst vpliva na debelinski nabrek, kar lahko vidimo v preglednici 3 in na sliki 10. Manjši debelinski nabrek dobimo z uporabo iverja hrasta, večjega pa z uporabo bukovine. Ugotovili smo tudi večji debelinski nabrek pri smrekovini kot pa pri topolovini.

Ugotovili smo, da se z večanjem debeline zunanje- ga sloja debelinski nabrek veča, z večanjem prostornin- ske mase pa manjša. Površina, ki je bolj zaprta oz. ima višjo prostorninsko maso, naj bi bila bolj odporna proti prodiranju vode v iveri in mednje. Na

debelinski nabrek vpliva tudi kemijska sestava uporabljene lesne vrste, pred- vsem delež lignina, ki deluje kot higrofolno sredstvo. Nizek debelinski nabrek ploščice smo ugotovili pri upo- rabi iverja hrasta, ki ima tudi velik delež lignina.

V prvih 24 urah na debelinski nabrek najbolj vpliva zunanji sloj (slika 10). Kljub temu da prostorninska masa zmanjšuje vpijanje vode, ji vendar lah- ko pripišemo negativni učinek. Ker je v gostejši plošči iverje bolj zgoščeno in je v sloju manj praznih prostorov, bo ob nabrekanju takoj delovalo na nabrek sloja in plošč. V srednjem sloju pa je prav obratno. Zaradi nizke prostornin- ske mase in večjega deleža praznih prostorov se iverje ob nabreku najprej razširi v prazne prostore in šele, ko so skoraj vsi prazni prostori zapolnjeni, prične delovati na nabrek sloja in celo- tne ploščice. Prav tako pa na nabrek zunanje- ga sloja vpliva tudi velikost tlačnih napetosti, ki se ob delovanju

vode sprostitjo v plošči. Ker ima zunanji sloj višjo prostorninsko maso, je v njem tudi več nesproščenih tlačnih napetosti. Ob izpostavitvi vodi prične lepilna vez popuščati in tlačne napetosti se lahko sprostitjo. Srednji sloj velik del napetosti sprosti ob odprtju stiskalnice. Sprostitev teh napetosti se aplicira predvsem na zunanji sloj. Pri debelinskem nabreku zunanjšega sloja smo ugotovili enake vplive uporabljene vrste lesa kot pri skupnem debelinskem nabreku.

4. SKLEPI

V raziskavi smo ugotovili, da v zunanjem sloju uporabljena lesna vrsta (smrekovina, bukovina, hrastovina in topolovina ter njihove mešanice) močno vpliva na nekatere v uporabi pomembne lastnosti ivernih plošč.

V preglednici 4 so prikazane spremembe vrednosti glede na referenčno ploščo, ki je v celoti sestavljena iz iverja iz proizvodnje.

Trdimmo lahko, da uporaba iverja smreke vpliva pozitivno predvsem na trdnostne lastnosti plošč, medtem ko uporaba iverja bukve deluje negativno. Dobre trdnostne lastnosti smo opazili tudi pri uporabi iverja hrasta in topola. Upogibna trdnost je boljša, če v zunanjem sloju uporabimo iverje iz ene vrste lesa.

Na sorpcijske lastnosti pozitivno vpliva uporaba iverja hrasta, medtem ko smo pri uporabi iverja bukve ponovno ugotovili poslabšanje lastnosti. Tudi z uporabo iverja topola lahko dosežemo nižji debelinski nabrek, celo nižji kot pri uporabi smreke. Debelinski nabrek je manjši, če v zunanjem sloju uporabimo mešanico lesnih vrst. Debelinski nabrek zunanjšega sloja je večji kot nabrek srednjega sloja.

Sklepamo lahko, da je, glede na strukturo iverne plošče po lesnih vrstah, smiselno povečati delež iverja hrasta in topola, zmanjšati pa delež iverja bukve, medtem ko naj bo delež iverja smreke čim večji.

5. LITERATURA

ARNOLD, D. 1986. Vorteile digitaler Bildverarbeitung für

Spananalyse. Holz als Roh und Werkstoff, 44 : 249-252

BUSCHBECK, L./ KEHR, E./ JENSEN, U. 1961a. Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und sortimente zur Herstellung von Spanplatten - 1. Mitteilung: Rotbuche und Kiefer. Holztechnologie, 2 : 99-110

BUSCHBECK, L./ KEHR, E./ JENSEN, U. 1961b. Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und sortimente zur Herstellung von Spanplatten - 2. Mitteilung: Kiefernreiserholz. Holztechnologie, 2 : 195-201

DIX, B./ MARUTZKY, R., 1997a. Nutzung von Holz aus Kurzumtriebsplantagen (I). Holz-Zentralblatt, 123 : 141-142

DIX, B./ MARUTZKY, R. 1997b. Nutzung von Holz aus Kurzumtriebsplantagen (II). Holz-Zentralblatt, 123 : 154-155

GERTJEJANSEN, R./ HEDQUIST, D. 1982. Influence of paper birch on the properties of aspen waferboard: a mill trial. Forest Products Journal, 32, 11/12 : 33-34

GRIGORIOU, A. 1981. Der Einfluß verschiedener Holzarten auf die Eigenschaften dreischichtiger Spanplatten und deren Deckschichten. Holz als Roh- und Werkstoff, 39 : 97-105

HALLIGAN, A. F. 1970. A review of Thickness Swelling in Particleboard. Wood Science and Technology, 4 : 301-312

HÄNSEL, A./ NIEMZ, P./ BRADE, F. 1988. Untersuchungen zur Bildung eines Modells für Rohdichteprofil im Querschnitt dreischichtiger Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff, 46 : 125-132

JOSSIFOV, N. 1989. Wechselbeziehungen zwischen der Dichte und wesentlichen physikalisch-mechanischen Eigenschaften industriell hergestellter mehrschichtiger Spanplatten aus Hartlaubholz. Holztechnologie, 30 : 200-202

KEHR, E. 1962. Untersuchungen über die Eignung verschiedener Holzarten und sortimente zur Herstellung von Spanplatten - 3. Mitteilung: Der Einfluß des Härteranteils auf die eigenschaften von Spanplatten aus Rotbuchen- und Kieferholz. Holztechnologie, 3 : 22-28

KOLLMANN, F./ KUENZLI, W. E./ STAMM, J. A. 1975. Principles of Wood Science and Technology - Volume II: Wood Based Materials. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Springer-Verlag, s. 312-550

KRAMES, U./ KRENN, K. 1986. Beurteilung der Eigenschaften von Birken österreichischer Herkunft - Teil 2. Morphologische, physikalische und mechanisch-technologische Beurteilung der Birken. Holzforschung und Holz-

verwertung, 38 : 79-88

KUKLEWSKI, K. M./ BLANKENHORN, P. R./ RISHEL, L. E. 1985. Comparison of selected physical and mechanical properties of red maple (*Acer rubrum* L.) and aspen (*Populus gradidentata* Michx.) flake boards. Wood and Fiber Science, 17 : 11-21

LENIČ, J. 1981. Statistična kontrola v proizvodnji ivernih in vlaknenih plošč. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, VDO Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo, 50 s.

LIIRI, O./ KIVISTÖ, A./ SAARINEN, A. 1977. Der Einfluß von Holzarten, Spangröße und Bindemittel auf Festigkeit und die Quellung von Spanplatten mit höheren elastomechanischen Eigenschaften. Holzforschung und Holzverwertung, 29 : 117-122

MAY, H. A./ KESEREÜ, G. 1982. Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten - Teil 1: Sichtung von Spangemischen und Methoden zur Beurteilung ihrer Eignung für die Herstellung von Spanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff, 40 : 105-110

MAY, H. A. 1982. Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten - Teil 2: Möglichkeiten der Anwendung industriüblicher Sortierverfahren zur Beurteilung von Spangemischen. Holz als Roh- und Werkstoff, 40 : 303-306

MAY, H. A. 1983. Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten - Teil 3: Auswertung von Dichteprofilen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten zur Abschlußüberwachung. Holz als Roh- und Werkstoff, 41 : 189-192

MAY, H. A. 1983 Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten - Teil 4: Einflüsse der Dichteunterschiede und Rohstoffe auf die Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenene und die Scherfestigkeit. Holz als Roh- und Werkstoff, 41 : 271-275

MAY, H. A. 1983. Zusammenhänge zwischen Eigenschaften, Rohstoffkomponenten und dem Dichteprofil von Spanplatten - Teil 5: Einflüsse der Dichteprofile und Rohstoffe auf Biege-E-Modul und Biegefestigkeit. Holz als Roh- und Werkstoff, 41 : 369-374

MEDVED, S./ PIRKMAIER, S./ MIHEVC, V. 1997. Vpliv uporabljenih drevesnih vrst na hravavost površine ivernih plošč. Les, 49 : 285 - 291

MEINECKE, E./ KLAUDITZ, W. 1962. Über die physikalischen und technischen Vorgänge bei der Beleimung

- und Verleimung von Holzsänen bei der Herstellung von Holzspanplatten. Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen, 120 s.
- MOSLEMI, A. A. 1974. Particleboard - Volume 1: Materials. Amsterdam, London, Southern Illinois University Press, s. 7-19
- NEUSSER, H./ KRAMES, U./ HAIDINGER, K./ SERENTSCHY, W. 1969. Der Spancharacter und sein Einfluß auf die Deckschichtqualität von Spanplatten. *Holzforchung und Holzverwertung*, 21, 4 : 1-14
- NIEMZ, P. 1982. Untersuchungen zum Einfluß der Struktur auf die Eigenschaften von Spanplatten - Teil 1: Einfluß von Partikelformat, Rohdichte, Festharzanteil und Fastparaffinanteil. *Holztechnologie*, 23, 4, s. 206-213
- NIEMZ, P./ FUCHS, I. 1990. Computer aided particle size recording. *Drevársky výskum*, 35, 125, s. 51-61
- NIEMZ, P./ WENK, S. 1989. Kenngrößen zur Beurteilung von Spangemischen und deren Meßbarkeit. *Holztechnologie*, 30 : 117-122
- NIEMZ, P./ BAUER, S. 1991. Beziehungen zwischen Struktur und Eigenschaften von Spanplatten.- Teil 2: Schubmodul, Scherfestigkeit, Biegefestigkeit, Korrelation der Eigenschaften untereinander. *Holzforshungen und Holzverwertung*, 43 : 68-70
- NIEMZ, P./ BAUER, S./ FUCHS, I. 1992. Beziehungen zwischen Struktur und Eigenschaften von Spanplatten-Teil 3: Zerspanungsverhalten. *Holzforshungen und Holzverwertung*, 44 : 12-14
- OLSON, J.R./ ARGANBRIGHT, D.G. 1981. Prediction of Mass Attenuition Coefficients of Wood. *Wood Science*, 14 : 86-90
- PLATH, E. 1971. Beitrag zur Mechanik der Holzspanplatten. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 29 : 377-382
- PLATH, E./ SCHNITZLER, E. 1974. Das Rohdichteprofil als Beurteilungsmerkmal von Spanplatten. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 32 : 443-449
- PANJKOVIĆ, I./ BRUČIĆ, V. 1991. Utjecaj različitih vrsta drva na fizičko-mehanička svojstva troslojnih iverica. *Drvena industrija*, 42 : 55-60
- PIRKMAIER, S./ BUDNAR, M. 1989. Prispevek k razvijanju sodobnejših metod merjenja profilov gostot nekaterih lesnih plošč pri nas. *Les*, 41 : 137-140
- PIRKMAIER, S./ MEDVED, S. 1996. Impact of the Used Tree Species and of Changes in Wood Particle Structure on Mechanical and Physical Properties of Wood Particleboards. *Proceedings of 1996 International Conference on Wood Mechanics*. Stuttgart, s. 327-343
- PIRKMAIER, S./ MOTNIK, I., 1996. Vpliv sprememb v sestavi iverja na mehanske in fizikalne lastnosti ivernih plošč. *Les*, 48 : 214-217
- PIRKMAIER, S./ TIŠLER, V./ ŽAGAR, R. 1994. Einfluß des Trocknungs- und Preßprozesses auf chemische Veränderung von Spänen. *Holzforchung und Holzverwertung*, 46 : 9-12
- PLINKE, B. 1998. Bildverarbeitung und optische Meßtechniken in der Holz- und Holzwerkstoffindustrie. *Wilhelm-Klauditz-Institut, Fraunhofer*, 5 s.
- POBLETE, H./ ROFFAEL, E., 1985. Über chemische Veränderungen in Holzspänen bei der Herstellung von Harnstoff-Formaldehydharz-Gebundenen Spanplatten. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 43 : 57-62
- RAZINKOV, E./ MURZIN, V. 1997. Chip wood board microstructure. *Drevársky výskum*, 42 : 23-30
- ROFFAEL, E. / DIX, B. 1988. Zur Bedeutung von schnellwüchsigen Baumarten als Rohmaterial für die Holzwekstoffherstellung unter besonderer Berücksichtigung von Pappeholz für Spanplatten. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 46 : 245-252
- SCHNEIDER, A./ ROFFAEL, E./ MAY, H. A. 1982. Untersuchungen über den Einfluß von Rohdichte, Bindemittelaufwand und Spänebeschaffenheit auf das Sorptionsverhalten und die Dickenquellung von Holzspanplatten. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 40 : 339-344
- TIŠLER, V. 1986. *Kemija lesa*. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, VDO Biotehniška fakulteta, VTOZD za lesarstvo, s. 12
- ZHOU, D. 1989. A Study of Oriented Structural Board Made from Hybrid Poplar - Effect of some factors of mechanical forming installation for orientation Effectiveness. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 47 : 405-407
- ZHOU, D. 1990. A Study of Oriented Structural Board Made from Hybrid Poplar - Physical and Mechanical properties of OSB. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 48 : 293-296.
- WAGENFÜHR, R./ SCHEIBER, C. 1985. *Holzatlas*. Leipzig, VEB Fachbuchverlag s. 428-430, 437-439, 572-574, 656-658
- XU, W./ WINISTORFER, P.M. 1995a. Layer thickness swell and layer internal bond of medium density fiberboard and oriented strand board. *Forest Products Journal*, 45, 10, s. 67-71
- XU, W./ WINISTORFER, P.M. 1995b. A procedure to determine thickness swell distribution in wood composite panels. *Wood Fiber Science*, 27 : 119-125
- XU, W./ WINISTORFER, P.M./ MOSCHLER, W.W. 1996. A procedure to determine water absorption distribution in wood composite panels. *Wood Fiber Science*, 28 : 286-294
- XU, W./ SUCHSLAND, O. 1998. Variability of particleboard properties from single- and mixed-species process. *Forest Products Journal*, 48 : 68-74
- SIST EN 310. Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. 1993, 8 s.
- SIST EN 317. Particleboard and fiberboards - Determination of swelling in thickness after immersion in water. 1993, 5 s.
- SIST EN 319. Particleboard and fiberboards - Determination of tensile strength perpendicular to the plane of board. 1993, 7 s.
- SIST EN 322. Wood-based panels - Determination of moisture content. 1993, 6 s.
- SIST EN 323. Wood-based panels - Determination of Density. 1993, 7 s.
- SIST EN 325. Wood-based panels - Determination of dimensions of test pieces. 1993, 6 s.
- SIST EN 326-1. Sampling, cutting and inspection of wood-based panels products - Sampling and cutting of test pieces and expression of test results. 1996, 11 s.
- SIST EN 1058. Wood-based panels - Determination of characteristic values of mechanical properties and density. 1996, 8 s.
- GEMINI - Analysis technique, 1998, Micromeritics Instrument Corporation.
- http://www.micromeritics.com/sa_gemini_at.html (22.10.1998)