

Kompozitni materijali na osnovi drva i polimera

Rajčić, Vlatka; Čizmar, Dean

Source / Izvornik: **Građevinar, 2008, 60, 859 - 865**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:127743>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-01**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



Kompozitni materijali na osnovi drva i polimera

Vlatka Rajčić, Dean Čizmar

Ključne riječi

drvo,
kompozitni materijal,
drvoplastika,
povijesni pregled,
struktura,
način proizvodnje

Key words

wood,
composite material,
woodplastics,
historic overview,
structure,
production method

Mots clés

bois,
matériau composite,
bois-plastique,
aperçu historique,
structure,
méthode de production

Ключевые слова

дерево,
композитный материал,
древопластика,
исторический обзор,
структура,
способ производства

Schlüsselworte

Holz,
Kompositmaterial,
Holzplastik,
historische Übersicht,
Struktur,
Herstellungsweise

V. Rajčić, D. Čizmar

Pregledni rad

Kompozitni materijali na osnovi drva i polimera

U proteklih nekoliko godina, stvaraju se novi materijali na osnovi drva i polimera – drvoplastika (Wood Plastic Composites - WPC). Drvoplastika se definira kao kompozitni materijal koji sadrži drvo (u bilo kojem obliku) i termoplastične polimere ili termostabilne polimere. U radu se prikazuje povijesni pregled uporabe drvoplastike, struktura i način proizvodnje, tipični elementi od kompozitnih materijala, fizikalna i mehanička svojstva, te prednosti i mane ovog materijala.

V. Rajčić, D. Čizmar

Subject review

Composite materials based on wood and polymers

New materials based on wood and polymers or woodplastics (Wood Plastic Composites - WPC), have been developed over the past several years. The woodplastics is defined as a composite material which contains wood (in any form) and thermoplastic or thermostable polymers. The authors present a historic overview of the use of woodplastics, its structure and production method, typical elements of these composite materials, their physical and mechanical properties, and advantages and shortcomings of this material.

V. Rajčić, D. Čizmar

Ouvrage de synthèse

Matériaux composites basés sur le bois et les polymères

Les nouveaux matériaux basés sur le bois et les polymères, appelés bois-plastique (composite bois/plastique - CBP) ont été développés au cours des dernières années. Le bois-plastique est défini comme un matériau composite contenant le bois (dans n'importe quelle forme) et les polymères thermoplastiques ou thermostables. Les auteurs présentent un aperçu historique de l'usage de bois-plastique, sa structure et méthode de production, les éléments typiques des matériaux composites, leurs propriétés physiques et mécaniques, et les avantages et les défauts de ce matériau.

В. Райčić, Д. Чизмар

Обзорная работа

Композитный материал на основе дерева и полимеров

В прошедших несколько лет создаются новые материалы на основе дерева и полимеров - дрeвопластика (Wood Plastic Composites - WPC). Дрeвопластика дефинируется как композитный материал, содержащий дерево в любой форме и термопластичные полимеры или термостабильные полимеры. В работе показывается исторический обзор применения дрeвопластики, структура и способ производства, типичные элементы из композитных материалов, физические и механические свойства, а также преимущества и недостатки этого материала.

V. Rajčić, D. Čizmar

Übersichtsarbeit

Kompositmaterialie auf Grund von Holz und Polymer

Einige Jahre lang schafft man neue Materiale auf Grund von Holz und Polymer (Wood Plastic Composites - WPC). Holzplastik definiert man als Kompositmaterial welches Holz (in beliebiger Form) und termoplastische oder thermostabile Polymere enthält. Im Artikel zeigt man eine hystorische Übersicht der Benutzung der Holzplastik, deren Struktur und Herstellungsweise, typische Elemente aus Kompositmaterialien, physikale und mechanische Kennzeichen, sowie Vor- und Nachteile dieses Materials.

Autori: Prof. dr. sc. **Vlatka Rajčić**, dipl. ing. građ.; **Dean Čizmar**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb

1 Uvod

Naziv *woodplastic* ili *wood plastic composite* (WPC) definira kompozitni materijal koji sadrži drvo (u bilo kojem obliku) i termoplastične polimere (*thermoplastic polymers*) ili termostabilne polimere (*thermoset polymers*). Termoplastični polimeri su tvari koje nakon očvršćivanja mogu biti ponovno omekšane zagrijavanjem, za razliku od termostabilnih polimera. Prva se drvoplastika pojavila početkom 20. st. a u proizvodnji su se upotrebljavali termostabilni polimeri za razliku od danas kada se rabe termoplastični polimeri. Jedan od prvih proizvoda nazivao se bakelit (trgovačko ime) i bio je napravljen od pfenolformaldehida i piljevine. Prva komercijalna upotreba ovog materijala bila je 1916. godine kada je uporabljen kao premaz mjenjača na automobilima Rolls Royce [1]. Općenito, termoplastici se nalaze u mnogim proizvodima kojima se svakodnevno koristimo, kao npr. kutijama za mlijeko i vrećicama za namirnice. Za termoplastične kompozite karakteristično je golemo povećanje tržišta u proteklih nekoliko godina. Kada govorimo o modernoj drvoplastici uvijek riječ plastika (*wood plastics*) zapravo označava termoplastične kompozite. Nastanak industrije drvoplastike obilježen je spajanjem i povezivanjem dviju industrija koje su povijesno vrlo malo znale jedna o drugoj. Drvna je industrija imala veliko iskustvo u proizvodnji elemenata od drva i metodama koje su za to potrebne (piljenje, obrada, lijepljenje). S druge strane, industrija plastike ima golemo iskustvo u proizvodnji plastike i procesima proizvodnje (izvlačenje, valjanje, komprimiranje). Zbog toga ne začuđuje podatak da su prvi proizvođači drvoplastike bile kompanije koje su proizvodile prozore i zbog toga imale određeno iskustvo rada s obje tehnologije. Unatoč činjenici da se drvoplastika počela proizvoditi već početkom 20. st., glavni rast započinje tek nedavno – 1983. godine kada američka kompanija American Woodstock počinje proizvoditi panele za automobilsku industriju. Koriste se polipropilenom (PP) sa smjesom od 50% mljevenog drva (*wood flour*). Ovaj se proizvod smatra začetkom nove ere u proizvodnji drvoplastike. Početkom 1990. godine Advanced Environmental Recycling Technologies i odjel Mobil Chemical Company počinju proizvoditi proizvode sličnoga kemijskog sastava. Proizvode različite stolove za kućanstva, industrijske stolove, prozore i vrata. U to vrijeme Strandex Corporation patentira tehnologiju za izravno izvlačenje elemenata od drvoplastike. Važnost ovog patenta očituje se u činjenici da se konačni proizvod može dobiti bez dodatnog mljevenja i oblikovanja. Od sredine 90-ih godina drastično se povećava upotreba drvoplastike. U Sjevernoj Americi 67 kompanija proizvodi kompozitne elemente, svake se godine proizvodnja povećava za 10-14 %. Veliko povećanje potražnje, pa samim time i proizvodnje kompozita, zahvatilo je SAD početkom 21. st., dok je tržište u Europi i

Japanu još relativno nerazvijeno, no očekuje se velika ekspanzija. U SAD-u se očekuje da će EPA (*Environmental Protection Agency*) zabraniti zaštitu drva s premazima na osnovi kroma, bakra i arsena (*Chrome Copper Arsenate*, CCA), što će otvoriti put alternativnim materijalima kao što je drvoplastika. Važnost novog materijala brzo je uočila i akademska zajednica te je već 1991. godine održana *First International Conference on Wood-fiber Plastic Composites* s idejom približavanja istraživača i industrije s područja drva i plastike. Svake godine broj se sudionika na konferenciji povećavao, da bi već 2003. godine na sedmoj konferenciji u Madisonu bilo prisutno više od 400 sudionika. Vrijednost godišnje proizvodnje drvoplastike-a u SAD-u procjenjuje se na 3 milijarde američkih dolara.

2 Struktura drvoplastike

2.1 Mljeveno drvo (piljevina)

Najčešći je oblik drva u drvoplastici- piljevina (*wood flour*). U kompozitu se uglavnom nalazi oko 50 % drva, no postoje kompoziti s vrlo malom količinom drva, a s druge strane u nekim je proizvodima drvo zastupljeno čak 70 %. Mala cijena i dostupnost vrlo su važan element kada govorimo o mljevenom drvu. Od vrsta drva koristi se bor, javor i hrast. Kompanije nabavljaju ovu sirovinu najčešće izravno od proizvođača (pilana, proizvođača namještaja). U većini slučajeva radi se o otpadnom proizvodu ili višku koji tim proizvođačima nije potreban ili ga ne mogu na adekvatan način iskoristiti. Tek u novije vrijeme dolazi do razvoja kompanija čija je osnovna djelatnost proizvodnja mljevenog drva za potrebe proizvodnje drvoplastike. Piljevina je obično sušena i eventualno dodatno usitnjena, odnosa duljina/promjer od 2:1 do 4:1. Postoje različite frakcije od 50-100, 100-200, 200-450 te 250-700 μm . Vlažnost (zbog procesa proizvodnje) ne smije biti veća od 8 %.



Slika 1. Piljevina (*wood flour*)

2.2 Drvena vlakna

Drvena su vlakna (*wood fibers*) drugi mogući oblik drva u kompozitu. Do sada se drvena vlakna nisu često rabila, no najnovija su istraživanja pokazala da elementi ko-

ji sadrže drvena vlakna imaju bolje mehaničke karakteristike. Smatra se da će ovi proizvodi, zbog svoje cijene i relativno kompliciranog procesa proizvodnje, zauzeti svoje mjesto samo u područjima gdje je potrebna velika nosivost. Drvena su vlakna dobivena kemijskom ili termomehaničkom obradom drva. Vlakna imaju odnos dužina/promjer od 10:1 do 20:1. Prednost vlakana su veća krutost, dok su mane smanjena otpornost na udarce i teže vezanje s polimerom [1].

2.3 Termoplastična matrica

Od ukupne količine polimera koji se rabe u proizvodnji drvoplastike oko 83 % otpada na polietilen (PE), na polipropilen (PP) 9 %, oko 7 % na polivinilklorid (PVC), dok su 1 % ostali spojevi.[1] i [2].

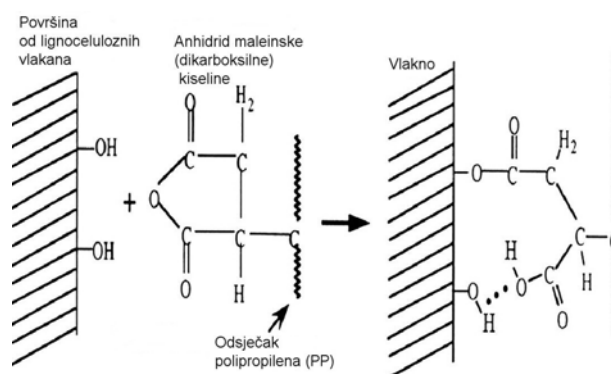
Polietilen (PE) – najčešći materijal koji se rabi pri proizvodnji, bilo da se radi o čistom (eng. *virgin*) ili recikliranom obliku. Ima vrlo dobra toplinska svojstva. Upotrebljavaju se svi tipovi polietilena neovisno o gustoći (polietilen male gustoće - LDPE, polietilen srednje gustoće - MDPE, polietilen velike gustoće - HDPE).

Polipropilen (PP) – manje se rabi jer zahtijeva puno više dodataka od polietilena zbog lošije toplinske stabilnosti i više točke omekšavanja. Udarana je čvrstoća elemenata od PP manja od elemenata od PE.

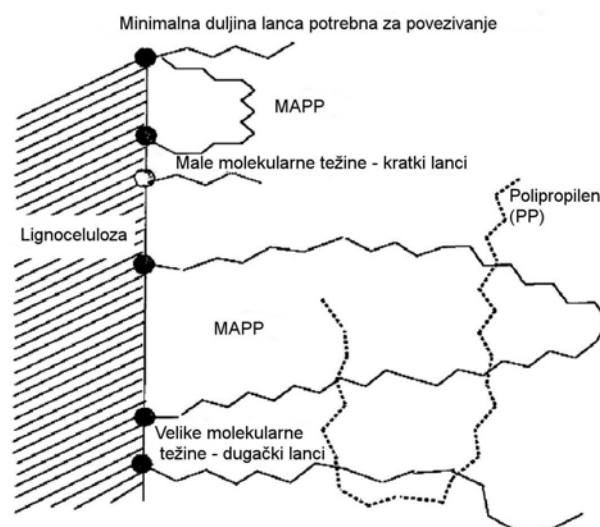
Polivinilklorid (PVC) – najčešći oblik polimera upotrebljava se u svakodnevnom životu. Ima temperaturu omekšavanja od 150 °C što ga čini vrlo prikladnim za upotrebu. Posljednjih se godina bilježi stalno povećanje udjela ovih polimera pri proizvodnji drvoplastike [2]. Od ostalih polimera rabi se još i polistiren (PS).

2.4 Ostali materijali (dodaci)

Drvo i plastika nisu jedine komponente drvoplastike. U proizvodnom procesu potrebne su male količine drugih spojeva – dodataka. Većina je ovih spojeva široj javnosti nedostupna i nepoznata jer svaki proizvođač patentom štiti svoj proizvod i tehnološki proces. Od dodataka se rabe veziva, stabilizatori, boje, maziva, fungicidi itd. Posebnu ulogu u proizvodnji drvoplastike imaju kompatibilizatori (*compatibilizers*). Drvo je hidrofilno, a termoplastici hidrofobni te je kompatibilizator često potreban da se ostvari dobra veza između ovih dvaju različitih materijala. Najčešći je anhidrid maleinske (dikarboksilne) kiseline (*Maleic anhydride grafted polypropylene*, MAPP). Ovaj kompatibilizator djeluje s pomoću dva različita mehanizma. Prvo, anhidrid reagira s hidroksidnom skupinom lignoceluloze i formira ester, tako da PP polimer koji je „pričvršćen“ na anhidrid ulazi u PP ili PE vezu. U drugoj fazi dolazi do reakcije PP-a s MAPP-om. Ovaj je kemijski proces shematski prikazan na slikama 2. i 3. Većina se autora slaže da je put k boljim



Slika 2. Formiranje estera



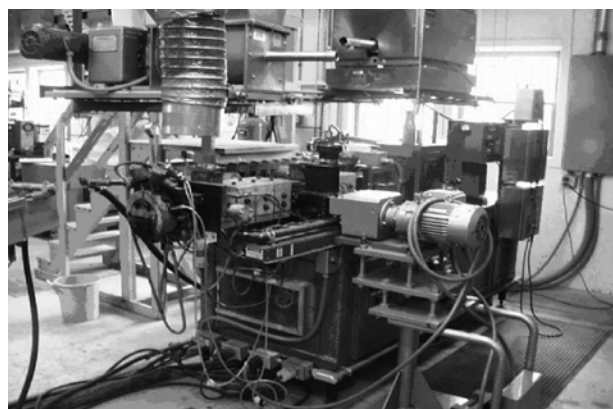
Slika 3. Reakcija polipropilena (PP) s dodatkom MAPP-a

mehaničkim karakteristikama drvoplastike upravo rješenje problema kompatibilnosti između drva i polimerne matrice. Do sada su mnogi istraživači napravili mikromehaničke modele vlakno/polimer. Unatoč tome što su njihova istraživanja vrijedna i otvaraju nove mogućnosti, ne mogu odgovoriti na pitanje koja je važnost veličine čestica i njihove varijabilnosti na mehaničke parametre. Detaljne analize ovog problema, koristeći se najnovijim metodama digitalne fotografije, napravljene su u radu [3].

3 Proizvodnja i proizvodi

Industrija polimera rabila je talk, kalcijev karbonat i staklena vlakna kao dodatak polimerima. Godišnje se potroši oko 2,5 milijuna tona ovih materijala. Prijelaz na uporabu drva ili drvenih masa bio je dugotrajan, ponajprije zbog male mase drva, niske toplinske stabilnosti i tendencije upijanja vlage. Glavni problem u procesu proizvodnje bila je činjenica da je temperatura omekšavanja polimera vrlo visoka s obzirom na drvo. Također postotak vlažnosti od 1-2 % u industriji polimera smatra se vrlo visokim, što je u drvnoj industriji nezamislivo. Uređaji koji se rabe u proizvodnji polimera nisu prikladni za rad s drvom. U proteklih 15-ak godina situacija se bitno

promijenila. Interesi tržišta, bolje poznavanje obaju materijala, te napredak u proizvodnom procesu dovode do veće i efikasnije proizvodnje drvoplastike. Proizvođači shvaćaju da je drvoplastika dobar način da se poveća trajnost drva, a s druge strane smanji potreba održavanja od strane korisnika. Zbog ograničene toplinske stabilnosti drva, većina termoplastike koja se upotrebljava ima temperaturu omekšanja nižu od 200 °C. Proizvodnja drvoplastike obično teče u dvije faze. U prvoj se fazi sirovine miješaju zajedno (*compounding*). Na slici 4. prikazan je tipičan uređaj za miješanje smjese drvoplastike odnosno vezivanje mljevenog drva ili vlaknaca u taljenu termoplastičnu matricu. U ovoj se fazi unose, dispergiraju te miješaju sirovine i dodaci. Postoje različiti načini miješanja ovisno o tipu konačnog proizvoda te mogućnostima i opremljenosti proizvođača. Od formirane se smjese u posebnim prešama ili kalupima stvara gotov proizvod. U drugoj se fazi oblikuje proizvod. Smjesa



Slika 4. Uređaj za izvlačenje



Slika 5. Tipični elementi dobiveni izvlačenjem

može biti odmah oblikovana ili oblikovana samo za daljnju preradu. Mogući načini oblikovanja proizvoda su: prolaz smjese kroz posebne kalupe (*sheet ili profile extrusion*), kalupi za oblikovanje (*mold*), injekcijsko ubrizgavanje u kalupe (*injection molding*), oblikovanje tlakom između dvaju kalupa (*thermoforming and compression molding*). Slika 4. prikazuje uređaj za oblikovanje proizvoda na Sveučilištu u Mainu. Radi se o uređaju u kojem se rastaljena smjesa pod tlakom propušta kroz posebno oblikovane otvore da bi se postigao željeni oblik. Povećani interes tržišta za drvoplastiku prati i industrija tako da je dosad napravljen i usavršen velik

Tablica 1. Upotreba drvoplastike u pojedinim granama

GRAĐEVINARSTVO		INTERIJER	AUTOINDUSTRIJA	INDUSTRIJA, VRTNA GALANTERIJA, OSTALO		
KRAJNJA UPOTREBA	obloge	ograde i rukohvati	vrata	podovi	rukohvati	tipke (klavir, računala)
	okviri za vrata	rolete	sustavi kanala	ograde	industrijsko pakiranje	bačve
	cijevi	kutne letve	paneli	vrtni namještaj	pregrade u brodovima	
	ploče	žljebovi za kabele	pretinci	nadstrešnice	palette	
	podovi	dekorativni elementi	obloge	klupe	obloga za stupove	
	obloge za krovove	unutrašnji paneli	podovi	oprema za igrališta	željeznički pragovi	
	krovne ploče	obloge kuhinjskih elemenata		podloge za igrališta	kante za otpad	
	stube	laminati				
	grede	uredski namještaj				
	prozorski okviri	obodne letvice				
		zvučna izolacija				
		radne površine				

broj strojeva za miješanje, izvlačenje, sušenje, doziranje, hlađenje itd. Na slici 5. su prikazani tipični elementi koji su dobiveni izvlačenjem. Tablica 1. prikazuje različite proizvode od drvoplastike [2].

4 Mehaničke karakteristike

Na tržištu postoji velik broj različitih drvoplastičnih elemenata tako da je o mehaničkim karakteristikama donekle nezahvalno govoriti. Parametri čvrstoće i krutosti uvelike ovise o tipu smjese, interakciji drva i polimera, načinu proizvodnje te o uvjetima kojima je element izložen. U svakom slučaju s napretkom tehnologije primjećuje se povećanje mehaničkih karakteristika.

U tablici 2. prikazani su težinski udjeli drvenih vlakana, polipropilena (PP), dodataka (MAPP). Drvoplastični proizvod oblikovan je uz uporabu termokinetičke mješalice, gdje je jedini izvor energije uzrokovan kinetičkom energijom rotirajućih lopatica. Brzina rotacije bila je 4600 okretaja/min, a proces je završen kada je smjesa dosegla temperaturu od 190 °C. Smjesa se sušila na 105 °C 4 sata, a zatim su uzorci za ispitivanje oblikovani injekcijskim ubrizgavanjem u kalupe (tlakovi su varirali od 2,75 do 8,3 MPa). Uzorci su zatim stavljani u kontrolni-

rane uvjete (vlažnost 20 % i 32 °C) 3 dana. Dimenzije uzoraka za ispitivanje određene su prema normama ASTM-a.

Tablica 2. Težinski udjeli pojedinih komponenata drvoplastike

Vlakna jaside [%]	Polipropilen [%]	MAPP [%]
30	70	0
30	68	2
40	60	0
40	58	2
50	50	0
50	48	2
60	40	0
60	38	2

U tablici 3. prikazani su rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava uzoraka iz tablice 2. [1]. Provedena su vlačna ispitivanja (prema ASTM 638-90), ispitivanje udarne čvrstoće (prema ASTM D 256-90) i ispitivanje na savijanje (prema ASTM 790-90). U tablici 3. PP označuje polipropilen, MAPP je dodatak definiran u poglavlju 2., dok A označuje drvo jaside. Tablica 4.

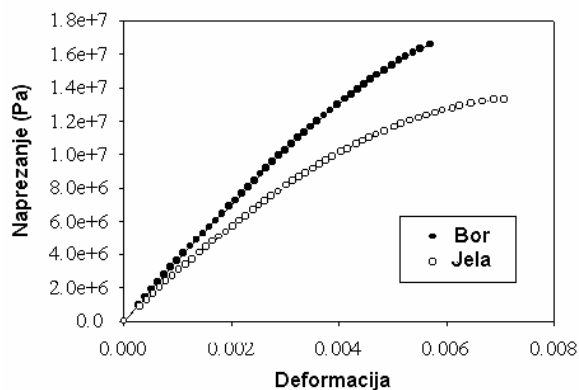
Tablica 3. Osnovne mehaničke karakteristike drvoplastike u ovisnosti o težinskom udjelu pojedinih komponenata

Težinski udjeli pojedinih komponenata [%]	Čvrstoća na savijanje [MPa]	Vlačna čvrstoća [MPa]	Udarne čvrstoća [J/m ²] uzorak sa zarezom	Udarne čvrstoća [J/m ²] uzorak bez zareza
100 PP	27,9	26,2	22,4	713,5
98 PP/ 2 MAPP	34,6	29,3	18,6	563,3
30A/70 PP	49,5	29,3	24,8	101,7
30A/68PP/ 2 MAPP	60,2	44,9	21,1	128,3
40A/60PP	54,6	34,9	19,6	85,5
40A/58 PP/2 MAPP	66,4	47,7	19,8	108,7
50A/50PP	50,2	28,4	26,4	67,1
50A/48 PP/ 2 MAPP	75,7	53,1	21,9	98,5
60A / 40PP	45,9	25,6	23,9	55,2
60A/38PP /2 MAP	75,8	48,1	21,3	81,1

Tablica 4. Usporedba mehaničkih karakteristika drvoplastike u ovisnosti o različitim vrstama polimera s PVC-om (bez udjela drva)

Opterećenje	Karakteristika (MOE – modul elastičnosti, MOR - čvrstoća na savijanje, E - vlačni modul elastičnosti, S - vlačna/tlačna čvrstoća)	Kompozit polietilena velike gustoće (HDPE) i drva	Kompozit polivinilklorida (PVC) i drva	Kompozit polistirena (PS) i drva	Polivinilklorid (PVC) bez drva
Savijanje	MOE (MPa) MOR (MPa)	1800-5100 10,3-25,5	5100-6800 41,3-46,9	6600 34,7	2060-3433 69-110
Vlak	E (MPa) S (MPa)	1900-5000 5,5-15,2	5800 25,1	6500 18,1	2400-4120 41-52
Tlak	S (MPa)	11,7-26,9	61,2	51,0	55-89

daje usporedbu mehaničkih karakteristika drvoplastike ovisno o različitim vrstama polimera s PVC-om bez udjela drva [11]. Na slici 6. prikazani su radni dijagrami kompozita s obzirom na vrstu drva (jela i bor) [11].



Slika 6. Dijagram napreznje – deformacija

5 Utjecaj vlažnosti

Uzorci navedeni u tablici 3. su ispitani u okolišu s relativnom vlažnošću od 90 %. Svakih 25 dana (D) mjerila se vlažnost uzoraka. Nakon 100 dana interval je povećan na 50 dana do konačnog vremena od 200 dana. Treba napomenuti da su uzorci i nakon 200 dana dobili na težini. Tablica 6. prikazuje ispitane uzorke i postotke povećanja njihove težine u odnosu na vrijeme.

Tablica 6. Povećanje težine uzoraka ovisno o vremenu i tipu uzorka

Povećanje težine uzoraka [%]						
Vlažnost okoliša 90%						
Težinski udjeli komponenata [%] Jasika / PP / MAPP	25 D	50 D	75 D	100 D	150 D	200 D
0/100/0	0	0	0	0	0,2	0,4
30/70/0	0,7	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8
30/68/2	0,7	0,7	1,1	1,5	1,5	2,2
40/60/0	0,7	1,4	1,7	2,0	2,4	3,0
40/58/2	0,4	1,2	1,5	1,9	2,7	3,5
50/50/0	1,3	2,0	2,6	3,6	4,3	5,3
50/48/2	1,5	1,8	2,2	2,9	4,0	5,1
60/40/0	3,7	4,5	5,6	6,0	6,3	6,7
60/38/2	1,6	2,2	3,5	4,4	5,1	6,0

Iz tablice 6. je vidljivo da se povećanjem udjela drva u kompozitu povećava apsorpcija vode što je i logično jer je drvo hidrofilni materijal.

Osim ovog ispitivanja napravljeno je cikličko ispitivanje vlažnosti. Uzorci su prvo stavljani u okoliš s 30 % relativne vlažnosti u trajanju od 60 dana a zatim u okoliš s 90 % relativne vlažnosti, također u trajanju od 60 dana. Ovi su ciklusi ponovljeni četiri puta. Rezultati ovog istraživanja prikazani su u tablici 7., gdje se vidi da se sa svakim povećanjem vlažnosti okoliša povećava i apsorpcija vode u uzorcima.

Istraživanja o utjecaju vlažnosti kod na drvoplastike još su u tijeku. Dosadašnji rezultati pokazuju da je presudna količina drva od 50 %, odnosno da se kod uzoraka s 50 % ili više apsorpcija vode uvelike povećava. Vjerojatni je razlog da se kod ovih uzoraka vlakna drva međusob-

Tablica 7. Povećanje težine u cikličkom ispitivanju

Težinski udjeli komponenata [%] Jasika / PP / MAPP	Povećanje težine [%]							
	Vlažnost okoliša [%]							
	30%	90%	30%	90%	30%	90%	30%	90%
0/100/0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,4
30/70/0	0,6	0,9	0,7	1,4	0,7	1,4	0,9	1,9
30/68/2	0,4	0,9	0,7	1,2	0,7	1,3	0,9	1,8
40/60/0	0,4	0,9	0,7	1,4	0,7	1,6	0,7	2,1
40/58/2	0,2	1,2	0,8	1,6	1,0	2,0	1,2	2,2
50/50/0	0,5	1,5	1,2	2,5	1,2	2,7	1,2	3,2
50/48/2	0,6	1,3	1,1	2,2	1,3	2,2	1,3	2,6
60/40/0	0,7	2,5	1,5	4,1	1,6	4,1	1,3	4,8
60/38/2	0,2	1,5	1,0	2,6	1,3	2,6	1,3	3,3

no dodiruju i na taj se način unosi vlaga u materijal. Drugi je problem što su uzorci i nakon 200 dana povećavali svoju težinu, što nas upućuje na činjenicu da to nije njihova konačna vlažnost. Unatoč svemu ovdje nabrojenom, možemo zaključiti da se drvoplastični materijal izuzetno dobro ponaša u vlažnom okolišu.

6 Ostale karakteristike

6.1 Biološke karakteristike

Kompoziti koji sadržavaju manje količine drva imaju i bolju otpornost na gljivice i insekte te bolju dimenzijsku stabilnost. Elementi s većom količinom drva podložniji su ovim utjecajima, pa se neki proizvođači koriste cinkom kao sredstvom zaštite. U laboratorijima su prema normama ASTM-a obavljena različita ispitivanja kojima je dokazana izuzetna otpornost na različite vrste

gljivica, no ove rezultate treba uzeti s rezervom jer su uzorci suhi. Realniji bi testovi bili oni kod kojih su uzorci najprije potopljeni u vodu, a zatim izloženi napadu gljivica. Praksa pokazuje da se kod drvoplastike mogu pojaviti napadi određenih vrsta mahovina [1].

6.2 Utjecaji atmosfere i otpornost na požar

Ispitivanja stabilnosti elemenata pod utjecajem ultraljubičastog (UV) zračenja još su u tijeku, no zasad je jasno da kompoziti blijede tijekom vremena [1], [10] pa zbog toga neki proizvođači dodaju pigment ili smeđu boju. U laboratorijskim uvjetima nakon 400-600 sati djelovanje UV zračenja na uzorcima je primjetno blijedenje drvoplastike. Nakon 2000 sati kontinuiranog UV zračenja elementi su potpuno poblijedjeli, i to do dubine od čak 10 mm. Mehanizmi zbog kojih dolazi do dubinskog gubitka pigmenta nisu potpuno poznati, no smatra se da slobodni radikali koji se formiraju poradi UV zračenja zbog strukture kompozita prodiru dublje. Otpornost na požar predmet je dosta kontroverznih istraživanja, naimetakvi se kompoziti mogu i otopiti i gorjeti, što uvelike otežava provedbu i izradu same metodologije ispitivanja [1]. Neki istraživači [12] smatraju da je otpornost na požar bolja nego kod drva.

7 Zaključak

Drvoplastika je novi materijal koji u građevinarstvu još uvijek traži svoje mjesto. Kompoziti napravljeni od polimera i drva pokazali su vrlo dobra svojstva. Ovi proizvodi nisu hidrofilni tako da nema problema s bubrenjem, a istodobno je utjecaj bioloških čimbenika (mahovine, plijesni, nametnici) smanjen. Drvoplastika je industrijski

proizvod koji ne traži nikakvu daljnju obradu i održavanje nakon ugradnje. Mehanički parametri su također vrlo dobri – ispitivanja pokazuju vlačnu, tlačnu i čvrstoću na savijanje koja je uglavnom veća nego kod drva [1], [11]. Parametri žilavosti također su vrlo dobri. Otpornost na požar vrlo slična je kao kod drva. Drvoplastika je materijal koji bi u budućnosti mogao imati veliku primjenu zbog mogućnosti recikliranja osnovnih sirovina (polimera i drva). Ispitivanja s recikliranim materijalima pokazuju da ovi kompoziti imaju mnogo bolje karakteristike nego kada se rabe nove sirovine. Mane drvoplastike su relativno mala primjena u građevinarstvu koja je s jedne strane rezultat inertnosti, a s druge posljedica nedovoljnog broja znanstvenih istraživanja. Iako su neki autori ([3], [4] i [6]) detaljno istraživali ponašanje kompozita, činjenica je da do danas ne postoji dovoljan broj znanstvenih radova. Propisi, norme i jedinstvena klasifikacija ovih kompozita (za proračun konstrukcijskih elementa) zasad još ne postoje. Unatoč dobrim svojstvima koja prevladavaju, istraživanja koja su usmjerena na uporabu recikliranih sirovina u prvome se radu odnosi na drvo obrađeno spojevima kroma, bakra i arsena pokazala su nepovoljne karakteristike s aspekta zaštite okoliša i kontaminacije ljudi otrovnim spojevima [10]. U SAD-u će uskoro biti zabranjena uporaba drva obrađenog tim spojevima na dječjim igralištima, vrtnoj galanteriji itd. te će korištenje recikliranim drvom vjerojatno biti ograničeno. Svaki građevinski materijal ima dobra ili povoljna i loša ili nepovoljna svojstva. Pravilnom upotrebom, razvojem industrije i novim spoznajama ovi će kompoziti u budućnosti zauzeti velik dio tržišta jer prednosti i karakteristike koje donosi ovaj materijal znatno nadmašuju njegove mane.

LITERATURA

- [1] Rowel, R., *Handbook of wood chemistry and wood composites*, CRC Press, 2005.
- [2] Optimat Ltd & MERL Ltd., *Wood plastics composites study – technologies and UK market opportunities*, The waste and resource action programme, Oxon, 2003.
- [3] Wang, Y., *Morphological Characterization of Wood Plastic Composite (WPC) with Advanced Imaging Tools: Developing Methodologies for Reliable Phase and Internal Damage Characterization*, Ms. Thesis, Oregon State University, Oregon, 2007.
- [4] Vos, D., *Engineering properties of wood composite panels*, Ms. Thesis, University of Wiscosin – Madison, Madison, 1998.
- [5] Slaughter, A.E., *Design of structural wood-plastic composite*, Ms. Thesis, Washington State University, Washington, 2004.
- [6] Young, J., *Fracture behaviour of wood plastic composite (WPC)*, Graduate School of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Ms. Thesis, Baton Rouge, 2005.
- [7] Radovanović, I., *Verarbeitung und Optimierung der Rezeptur von Wood Plastic Composites (WPC)*, Disertacija, Osnabrück, 2007.
- [8] Gosselin, R., Rodrigue, D., Riedl, B., *Injection Molding of Postconsumer Wood-Plastic Composites I: Morphology*, Journal of Thermoplastic Composite Materials, vol. 19, pp. 639-657, 2006.
- [9] Gosselin, R., Rodrigue, D., Riedl, B., *Injection Molding of Postconsumer Wood-Plastic Composites II: Mechanical properties*, Journal of Thermoplastic Composite Materials, vol. 19, pp. 659-669, 2006.
- [10] Kandem, P. Et all, *Properties of wood plastic composites made of recycled HDPE and wood flour from CCA-treated wood removed from service*, Composites, pp. 347-355, 2003.
- [11] Walcot, M. P., *Production methods and platforms for wood plastic composites*, Conference of Non-Wood Substitutes for Solid Wood Products, Melbourne, 2003.
- [12] Malvar, J. P., Tichy, R., Pendleton, D.E., *Fire issues in engineered wood composites for naval waterfront facilities*, 46th International SAMPE Symposium and Exhibition, Long Beach, 2001.