

Slama kao superiorni građevinski materijal

Zgradama od slame promovira se manja potrošnja energije i materijala, korištenje obnovljivih izvora energije, uporaba obnovljivih i ekoloških sirovina, smanjenje troškova izgradnje te unapređenje kvalitete življenja. Obzirom na sve te prednosti, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije planira uključivanje u razvoj novih prirodnih građevinskih materijala

Dr. sc. Zvonimir Glasnović
Jasna Horvat, dipl. ing.
Dino Omahać

1. DANAS OTPAD, SUTRA ZID

Pozivanje na ekologiju i održivost u posljednje vrijeme postaje neizbježno u svim aspektima življenja. U tom smislu, jedna od vrlo važnih tema su energetski i ekološki održivi materijali koji služe za gradnju zgrada. Jedan od takvih materijala je slama. Korištenje slame kao građevinskog materijala uvjetuje manje korištenje drugih građevinskih materijala koji nepovoljno utječu na okoliš te se po završetku ciklusa građevine slama može kompostirati.

Prednosti slame kao građevinskog materijala su brojne, a najčešće se navode sljedeće: dobra toplinska i akustična izolacija, otpornost na požar, relativno dobra statička čvrstoća, otpornost na potres, ali i otpornost prema nametnicima, dostupnost i niska cijena slame kao sirovine te

jednostavnost arhitektonskog oblikovanja. Sve je to i razlog velikog interesa za slamu kao građevinski materijal tako da nije slučajno da je npr. u Velikoj Britaniji

dosad izgrađeno nekoliko stotina tisuća takvih kuća.

Ono što je posebno zanimljivo je da se zidovima od slame može vrlo lako postići kriterij pasivne

kuće, koja je postala paradigma dobro izolirane kuće. Zbog malih potreba za grijanjem i hlađenjem, kuća od slame može znatno pridonijeti i smanjenju emisija stakleničkih plinova. Naime više od 50% svih stakleničkih plinova nastaje u graditeljstvu i transportu vezanom uz graditeljstvo. Stoga izazov projektiranja 21. stoljeća postaje poboljšanje energetske učinkovitosti kuća.

Ključni pojam za razumijevanje slame kao građevinskog materijala je novi koncept izgradnje, tzv. "faktor 10", po kojem se znatno smanjuje energija za izvedbu građevina (tzv. primarna energija) te energija tijekom eksploatacije te građevine, a sve za deset puta, odnosno kuće od slame troše deset puta manje energije u odnosu na konvencionalnu izgradnju.

Uz navedeno, ožbukani zidovi od slame su otporniji na požar nego tradicionalni zidovi drvene konstrukcije. "Rezultati ASTM testova na požarnu otpornost dokazuju da je zid ispunjen balama slame mnogo otporniji na



■ Slika 2. Primjer poslovnog prostora sagrađenog od slame



■ Slika 1. Primjer kuće napravljene od ploča slame

požar nego zid drvenog postolja uz jednake završne slojeve". (Izješće za sektor graditeljstva, Manuel A. Fernandez, državni arhitekt, CID, Država Novi Mexico).

Iako se slama u Hrvatskoj danas smatra otpadom, ona može biti vrlo jeftini građevinski materijal. Isporučena bala slame košta u prosjeku samo oko 1 EUR ili 0,5 EUR s polja. Zidovi dvokatne kuće stoje samo oko 900 EUR, a što je zaista malo u usporedbi s cijenom zidova od opeka i blokova koji koštaju oko 15.000 EUR. Budući da je način gradnje kuće od slame tako jasan, u gradnji mogu sudjelovati ljudi bez prethodnog iskustva, štedeći tako troškove rada.

2. RASPOLOŽIVOST SLAME

Iz priložene Tablice 1 Statističkog ljetopisa 2006. godine vide se zasijane površine, prosječni

prinosi i ukupna proizvodnja važnijih usjeva, dok se iz Tablice 2 vide površine proizvodnje pšenice u Hrvatskoj od 1885. do 2003. godine. U Tablici 1 se također vide žetvene površine i ukupna proizvodnja (u tonama) pojedinih žitarica.

U prosjeku se može računati da pri intenzivnom uzgoju strnih žitarica ostaje 4-5 tona slame po hektaru, a što ovisi o godini i sorti (uglavnom je omjer između prinosa zrna i uroda slame 50%:50%).

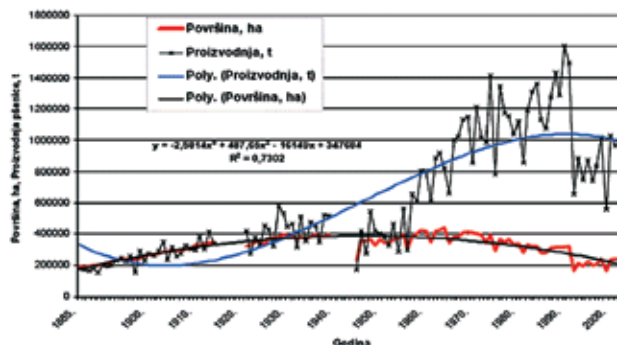
Općenito se jedna trećina slame upotrebljava kao stelja za stoku, trećina se podorava, dok je trećina na raspolaganju za izgradnju kuća. Kao ilustracija raspoloživosti slame kao građevinskog materijala mogu se uzeti područja sjeverne i južne Austrije te Burgenlanda koja imaju potencijal od 400.000 tona

Tablica 1. Statistički ljetopis 2006. godine

God.	Kukuruz			Pšenica			Ječam			Uljana repica		
	ha (x1000)	t/ha	Proizvodnja (t)	ha (x1000)	t/ha	Proizvodnja (t)	ha (x1000)	t/ha	Proizvodnja (t)	ha (x1000)	t/ha	Proizvodnja (t)
1990	503	3,87	1,950.011	319	5,02	1,602.435	52	3,81	196.554	12.647	2,63	33.200
1991	488	4,89	1,287.533	324	4,61	1,495.625	52	3,59	185.695	9.004	2,53	22.816
1992	370	3,67	1,357.663	169	3,90	658.019	33	3,25	106.811	11.743	2,06	24.183
1994	371	4,55	1,676.922	198	3,18	750.330	36	2,98	107.810	13.889	2,04	27.34
1995	354	4,90	1,735.854	227	3,86	876.507	32	3,18	103.281	10.982	2,23	24.472
1996	361	5,22	1,885.515	201	3,69	741.235	31	2,84	880.91	7.651	1,52	11.661
1997	371	5,88	2,173.144	208	4,00	833.508	34	3,21	1,084.96	5.356	2,09	11.181
1998	378	5,25	1,982.545	242	4,22	1,020.045	43	3,36	1,435.10	8.949	2,45	21.967
1999	384	5,56	2,135.452	169	3,30	558.217	45	2,81	1,248.90	16.234	2,01	32.581
2000	389	3,93	1,526.167	236	4,37	1,032.085	46	3,27	1,514.39	12.886	2,28	29.436
2001	406	5,45	2,211.519	204	4,02	965.153	51	3,16	1,614.87	10.319	2,18	22.456
2002	407	6,14	2,501.774	234	4,23	988.175	51	3,37	1,709.46	13.041	1,96	22.585
2003	406	3,86	1,569.150	206	2,96	609.258	54	2,49	1,342.38	15.524	1,84	28.596

Tablica 2. Jesenska sjetva, stanje 15. prosinca 2006. (Izvor: Državni zavod za statistiku RH)

Naziv kulture	Žetvena površina, ha	Ukupna proizvodnja, t
Pšenica	146.253	601.748
Ječam	50.341	162.530
Raž	1.848	739
Zob	21.185	49.470
Ukupno	219.627	814.487



■ Slika 3. Površina i proizvodnja pšenice u Hrvatskoj, 1885.-2003.



Slika 4. Ploče od prešane slame

slame. Iskorištenjem npr. 50% tog potencijala godišnje bi se moglo izgraditi više od 20.000 pasivnih kuća površine 150 m². Iz toga slijedi da je iskoristivost ovog potencijala velika. Prenošeci ta iskustva na Hrvatsku, trećina slame na raspolaganju za izgradnju iznosi oko 270.000 tona, a što bi moglo biti dostatno za izgradnju oko 13.500 pasivnih kuća godišnje.

Daljnji razvoj građevinskih elemenata od slame orijentiran je prema izradi elemenata koji su mnogo podesniji za primjenu u graditeljstvu. U tom smislu su razvijeni građevinski elementi od prešane slame (slika 4), najčešće kao ploče različitih dimenzija te tzv. CP blokovi. Upravo ovi novi građevinski materijali su područje razvoja u koje će se uključiti i Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije.

3. ČVRSTOĆA SLAME

Različite vrste slame imaju različite kemijske sastave i svojstvene čvrstoće. Međutim mikro-svojstva slame su manje važna nego makrosvojstva bale. Prema iskustvu i stanovitim laboratorijskim ispitivanjima, sadržaj vlage, gustoća i povijest (povijest skladištenja bale i zaštita od žetve do gradnje) su primarni odlučujući faktori koji utječu na kvalitetu bale. Sadržaj vlage ovisi o uvjetima u vrijeme baliranja i prilikom kasnijeg skladištenja i transporta. Kontrola kvalitete i ispitivanje bale slame zahtijeva upotrebu vlagomjera. Gustoća bale ovisi o vrsti žitarica, sadržaju vlage i stupnju kompresije balirke, ali općenito bi trebala iznositi najmanje 1,1 kN/m³ (suha gustoća je gustoća kojoj je proračunata i oduzeta masa vlage) ako se namjerava koristiti kao nosivi

element. Veličina bale varira ovisno o balirkama koje se koriste lokalno, iako je više-manje standard za 3-žičane bale 584 mmx1.168 mmx406 mm (2-žičane bale su puno manje). Prema različitim laboratorijskim testovima za bale slame je ustanovljen modul elastičnosti 1.379 kPa (ovisno o gustoći i vlazi) i tlačna naprezanja od 482,7 kPa. Neožbukani zidovi visine 2.438 mm prema testovima na tlak izdržali su (prije izvijanja zida) tlakove od 27,6 do 34,5 kPa. Na slici 5 je prikazan odnos između gustoće i otpornosti na deformaciju (strain) za horizontalnu i vertikalnu orijentaciju vlakana od slame.

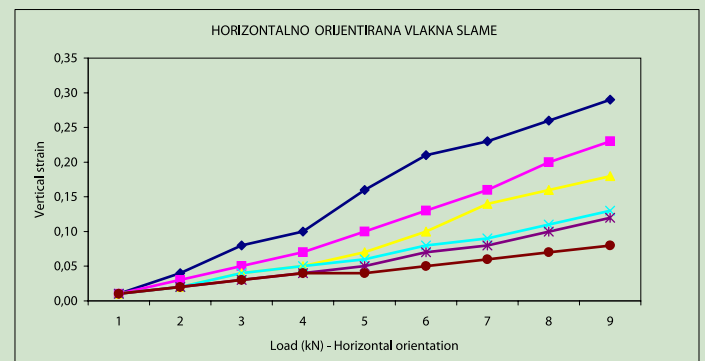
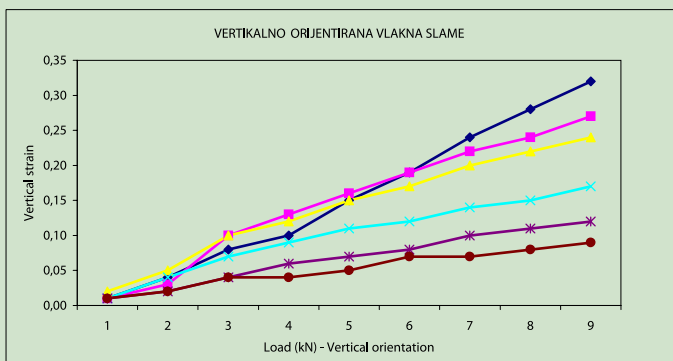
Dok se ne uspostave standardi izgradnje koji se odnose na baliranu slamu, na osnovi pažljivog projektiranja i ispitivanja mora se odrediti stvarna kvaliteta specifičnih bala odabranih za

određeni projekt. Praktično gledajući, specifikacije poput maksimalno dopuštenog sadržaja vlage u vrijeme izgradnje i minimalne gustoće moraju biti izražene kao kriterij izvedbe.

4. TOPLINSKA IZOLACIJA

4.1. Visoki stupanj izolacije

Slama osigurava odličnu izolaciju po prihvatljivoj cijeni. Koeficijent toplinske vodljivosti u bali slame iznosi 0,09 W/mK; ova vrijednost kombinirana sa zidovima debljine u pravilu iznad 450 mm debljine daje koeficijent prijelaza topline 0,13 W/m²K, što je dva do tri puta manje od današnjih materijala i puno niže nego zahtijeva trenutno važeća regulativa u graditeljstvu, prema kojoj vrijednost koeficijenta prijelaza topline treba iznositi 0,45 W/m²K ili manje.



Slika 5. Utjecaj različitih gustoća bala slame na deformaciju kod vertikalno i horizontalno orijentiranih vlakana slame

81 - 90 kg/m³ 101 - 110 kg/m³ 121 - 130 kg/m³
 91 - 100 kg/m³ 111 - 120 kg/m³ 131 - 140 kg/m³

4.2. Testovi vodljivosti

Koeficijent toplinske vodljivosti λ opisan je numeričkom vrijednosti koja ovisi o materijalu. Za dijelove zgrade kao što su zid, krov i slično prikladniji je koeficijent prijelaza topline U . Prema ispitivanjima toplinske izolacije okomito postavljenih bala slama (kao što se koriste u drvenom postolju u graditeljstvu), vrijednost λ je 0,045 W/mK (McCabe, 1993).

Gore spomenuti rezultati ispitivanja rađeni su prema normama SAD-a i ne podudaraju se s europskim normama, stoga se ne mogu koristiti u Europi. U projektu "Sustavi zidova napravljeni od obnovljivih izvora" vršena su ispitivanja bala slame pšenice različitih gustoća. Ispitivanja toplinske izolacije proveo je Odjel općine 39 (Beč) prema ISO 8301 i ÖNORM B6015 dio I. Mjerenjem prema ISO 8301 dobiven je rezultat $\lambda_{10}=0,0369$, odnosno 0,0337 W/mK (suh materijal pri 10°C), dok je mjerenjem prema ÖNORM B6015 dobivena vrijednost $\lambda_{10}=0,0380$ W/mK. Prema EU normi, referentna vrijednost treba biti izračunata λ vrijednost, a koja uključuje 20% dodatka vlage. Stoga referentna vrijednost toplinske vodljivosti pšenične bale slame gustoće 100 kg/

Tablica 3. Vrijednosti koeficijenata toplinske vodljivosti λ kojim se zadovoljava pasivni standard za kuću prosječne površine od 150 m².

Vrsta izolacije	λ , W/mK	Debljina, cm	Cijena EUR/m ²	Cijena EUR
Bala slame	0,045	30	3,63	1453
Celuloza	0,045	30	18,31	7325
Ekspandirani poliester	0,038	24	20,35	8139
Kamena vuna	0,038	24	23,55	9418

m³ iznosi $\lambda=0,0456$ W/mK. Time je toplinska vodljivost slame u rasponu s ostalim izolacijskim materijalima koji su prirodni (lan, konoplja, vuna, pluto, celuloza). Ono što je posebno interesantno je da ovako niski koeficijenti toplinske vodljivosti slame omogućavaju lako postizanje pasivnog standarda, odnosno izgradnju pasivnih kuća.

4.3. Koeficijent prijelaza topline

Zahvaljujući niskoj provodljivosti slame, zidovi od bala slame ukupne debljine 42 cm imaju koeficijent prijelaza topline $U=0,12$ W/m²K. Zajedno s drvenom konstrukcijom U koeficijent iznosi oko 0,14 W/m²K. To znači da zgrada od slame drvenih nosača ili stupova ima vrijednost U ispod 0,15 W/m²K, stoga odgovara kriterijima pasivne kuće.

5. ZDRAVO STANOVANJE

Slama, osobito organski uzgojena, predstavlja zdravu alternativu modernim materijalima. Prirodna je i bezopasna. Stanovanje unutar zidova od slame može poboljšati kvalitetu zraka kojeg udišemo jer iz nje ne isparavaju štetni spojevi poput formaldehida, što je slučaj kod mnogih modernih materijala. Upotrebom netoksičnih organskih završnih slojeva poput ilovače, prirodnih pigmenta i boja te prozračivanjem može se osigurati jedna od najsigurnijih i najugodnijih atmosfera za stanovanje. Još jedna blagodan po zdravlje u kući od slame je miran, ugodan i tih ambijent zahvaljujući visokom stupnju zvučne izolacije, najvišem termalnom komforu i visokoj kvaliteti zraka.

6. TROŠKOVI

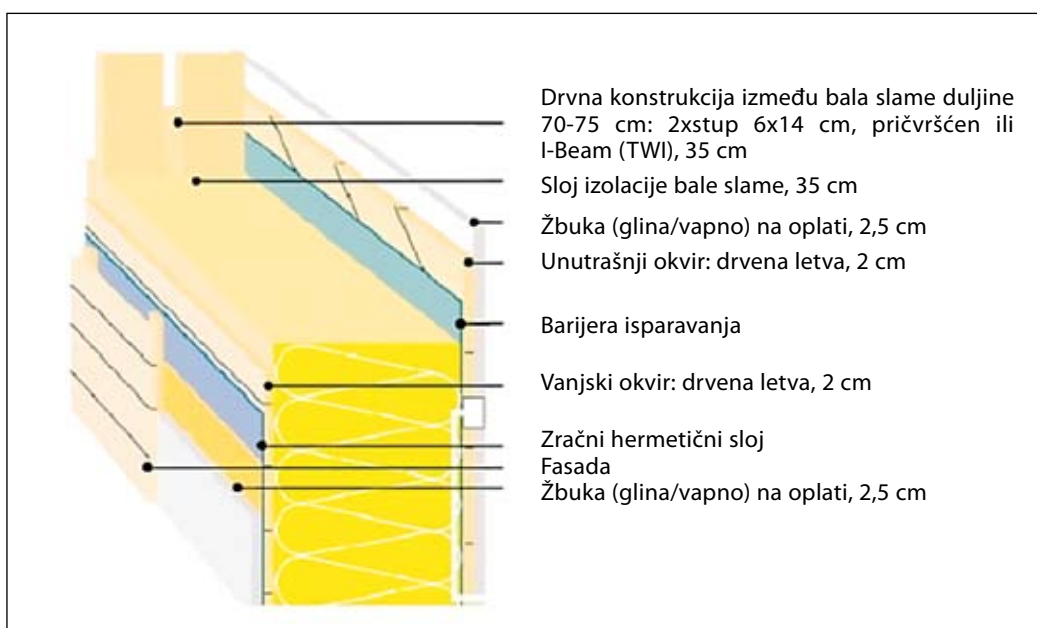
Prema gruboj procjeni troškova različitih izolacijskih materijala, kod izolacije od slame postoji ogroman potencijal smanjenja troškova. U tablici 3 prikazane su vrijednosti koeficijenata toplinske vodljivosti λ , dobivene proračunom.

Debljina zida koja odgovara koeficijentu prijelaza topline $U=0,15$ W/m²K dana je u trećem stupcu, a u četvrtom je dana konkretna cijena u eurima za područje Austrije. U posljednjem stupcu prikazane su cijene različitih izolacijskih materijala za prosječnu kuću od 150 m² (cijene uključuju 20% poreza).

7. ZAKLJUČAK

Slama se pokazuje kao odličan izolacijski materijal te se na taj način može znatno uštedjeti energija potrebna za grijanje i hlađenje prostora, a to dalje znači i smanjenje emisije stakleničkih plinova. Također, zidovi od slame imaju dobru statičku čvrstoću, otporni su na požar i osiguravaju dobru zaštitu od buke. Kuće građene od slame osiguravaju i odlične uvjete za zdravo stanovanje, dok su cijene takvih kuća znatno niže od cijena konvencionalno građanih kuća.

Međutim ono što je posebno važno je činjenica da se gradnjom kuća od slame energija potrebna za izgradnju i eksploataciju takvih građevina smanjuje čak za deset puta tako da, uz sve navedeno, nije pretjerano navesti da je slama danas superiorni građevinski materijal. ♻️



Slika 6. Profil zida od bala slame (GrAT - Center for Appropriate Technology, Vienna University of Technology)