



Универзитет у Београду
Архитектонски факултет

University of Belgrade
Faculty of Architecture

ZBORNİK RADOVA

INSTALACIJE & ARHITEKTURA 2019

2019

SEDMI NACIONALNI NAUČNO–STRUČNI SKUP
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM
INSTALACIJE & ARHITEKTURA 2019

2019. zbornik
radova

IA
&
instalacije i arhitektura
building services and architecture

ZBORNİK RADOVA
Beograd, 05. decembar 2019.

Univerzitet u Beogradu
ARHITEKTONSKI FAKULTET
Bulevar kralja Aleksandra 73/II
Beograd, Srbija



University of Belgrade
FACULTY OF ARCHITECTURE
Bulevar kralja Aleksandra 73/II
Belgrade, Serbia

www.arh.bg.ac.rs

**SEDMI NACIONALNI NAUČNO - STRUČNI SKUP
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM**
INSTALACIJE & ARHITEKTURA 2019

Urednici
Aleksandra Čabarkapa
Damjana Lojaničić
Milan Radojević

Zbornik radova
Beograd, 2020.

ISBN 978-86-7924-234-1

| | |
|---|--|
| CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд | |
| 721.01(082)(0.034.2) 69(082)(0.034.2) | |
| НАЦИОНАЛНИ научно-стручни скуп са међународним учешћем Инсталације и архитектура (7 ; 2019 ; Београд) | |
| Zbornik radova [Elektronski izvor] / Sedmi nacionalni naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem Instalacije & arhitektura 2019, Beograd, 05. decembar 2019. ; [organizator] Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet = [organizer] University of Belgrade, Faculty of Architecture ; [urednici Aleksandra Čabarkapa, Damjana Lojaničić, Milan Radojević]. - Beograd : Univerzitet, Arhitektonski fakultet, 2020 (Beograd : Arhitektonski fakultet). - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm | |
| Sistemski zahtevi: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovnog ekrana. - Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 100. - Napomene uz tekst. - Bibliografija uz svaki rad. - Summaries. | |
| ISBN 978-86-7924-234-1 | |
| a) Зграде -- Пројектовање -- Зборници б) Зграде -- Инсталације -- Зборници | |
| COBISS.SR-ID 16529161 | |

| | |
|--------------------|---|
| Izdavač: | Univerzitet u Beogradu - Arhitektonski fakultet |
| Za izdavača: | Prof. dr Vladan Đokić |
| Recenzenti: | Doc. dr Tatjana Jurenić dr Gordana Ćosić, profesor u penziji Arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Beogradu |
| Urednici: | Ass. dr Aleksandra Čabarkapa, mast. inž. arh. Ass. Damjana Lojaničić, mast. inž. arh. Doc. dr Milan Radojević, dipl.inž.arh. |
| Uređivački odbor: | Prof. dr Lidija Đokić Doc. dr Milan Radojević Doc. dr Tatjana Jurenić Ass. dr Aleksandra Čabarkapa, mast. inž. arh. Ass. Damjana Lojaničić, mast. inž. arh. |
| Tehnički urednici: | Ass. dr Aleksandra Čabarkapa, mast. inž. arh. Ass. Damjana Lojaničić, mast. inž. arh. |
| Dizajn korica: | Doc. dr Vladimir Parežanin |

Organizacioni odbor: Univerzitet u Beogradu – Arhitektonski fakultet

ass. dr **Aleksandra Čabarkapa**, mast. inž. arh.

ass. **Damjana Lojaničić**, mast. inž. arh.

doc. dr **Milan Radojević**, dipl. inž. arh.

doc. dr **Tatjana Jurenić**, dipl. inž. arh.

mr **Milica Pejanović**, dipl. inž. arh.

Programski odbor

- **prof. dr Vladan Đokić**, dipl. inž. arh.
Dekan Univerziteta u Beogradu – Arhitektonskog fakulteta, Srbija
- **prof. dr Gordana Ćosić**, dipl. inž. arh.
Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, Srbija
- **prof. dr Lidija Đokić**, dipl. inž. arh.
Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, Srbija
- **prof. dr Jelena Ivanović-Šekularac**, dipl. inž. arh.
Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, Srbija
- **prof. Vladimir Lojanica**, dipl. inž. arh.
Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, Srbija
- **prof. dr Aleksandra Stupar**, dipl. inž. arh.
Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, Srbija
- **prof. dr Frangiskos Topalis**, dipl. inž. el.
NTVA – Nacionalni Tehnički Univerzitet, Atina, Grčka
- **prof. dr Florian Nepravishta**
Dekan Politehničkog Univerziteta u Tirani, Fakultet za Arhitekturu i Urbanizam, Albanija
- **prof. dr Balint Bachman**, DLA
Pollack Mihaly Fakultet Inženjerstva, Univerzitet u Pečuju, Mađarska
- **prof. dr Saša Čvoro**, dipl. inž. arh.
Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Bosna i Hercegovina
- **dr Mila Pucar**, naučni savetnik, dipl. inž. arh.
Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije, Beograd, Srbija
- **prof. dr Branka Dimitrijević**, dipl. inž. arh.
Univerzitet Strathclyde u Glazgovu, Arhitektura, Velika Britanija
- **prof. mr Srđa Hrisafović**, dipl. inž. arh.
Akademija lepih umetnosti, Sarajevo, Bosna i Hercegovina
- **dr Jeremija Jevtić**, naučni savetnik, dipl. inž. maš.
IMR Institut, Beograd, Srbija

- **dr Igor Svetel**, naučni saradnik, dipl. inž. arh.
Inovacioni centar Mašinskog fakulteta, Beograd, Srbija
- **prof. dr Branislav Živković**, dipl. inž. maš.
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Srbija
- **prof. dr Miloš Stanić**, dipl. inž. građ.
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Srbija
- **prof. dr Elina Krasilnikova**, Državni Univerzitet za Arhitekturu i Građevinarstvo, Institut za Arhitekturu i Urbani razvoj, Volgograd, Rusija
- **prof. dr Veljko Radulović**, dipl. inž. arh.
Univerzitet Crne Gore, Arhitektonski fakultet, Podgorica, Crna Gora
- **prof. dr Miodrag Mitrašinović**, dipl. inž. arh.
Parsons School of Design – The New School, Njujork, Sjedinjene Američke Države
- **prof. dr Dražan Kozak**, dipl. inž. maš.
Univerzitet u Osijeku, Mašinski fakultet, Slavonski Brod, Hrvatska
- **prof. dr Aleksandar Radevski**, dipl. inž. arh.
Univerzitet Sv. Kiril i Metodij, Arhitektonski fakultet, Skoplje, Severna Makedonija
- **prof. dr Brankica Milojević**, dipl. inž. arh.
Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Bosna i Hercegovina
- **dr Marina Nenković-Riznić**, naučni saradnik, dipl. pr. planer
Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije, Beograd, Srbija
- **prof. dr Vladimir Mako**, dipl. inž. arh.
Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, Srbija
- **Veljko Janjić**, dipl. inž. el.
Bexel Consulting, Beograd, Srbija
- **Dijana Kordić**, dipl. inž. arh.
JKP Vodovod i kanalizacija, Beograd, Srbija
- **prof. dr Vangjel Dunovski**, dipl. inž. arh.
MIT Univerzitet, Arhitektonski fakultet, Skoplje, Severna Makedonija
- **prof. dr Andrzej Dudzinski**, dipl. inž. arh.
Arhitektonski fakultet, Tehnološki univerzitet Białystok, Poljska

PREDGOVOR

Posle četiri godine pauze, ponovo je organizovan naučno–stručni skup **Instalacije & Arhitektura**. Skup je osmišljen kao okvir za prikaz i analizu razvoja novih tehnologija zastupljenih u različitim segmentima arhitekture i građevinarstva, sa posebnim osvrtom na reaktivaciju postojećih objekata na različite načine. Kao posledica sve složenijih zahteva investitora i društvene zajednice za izgradnjom energetske efikasne objekata, javlja se potreba za integracijom instalacionih sistema, kako bi arhitektonski objekat mogao da funkcioniše kao jedinstvena celina forme, funkcije, konstrukcije i instalacija.

Prvenstveni cilj skupa je prezentacija savremenih naučnih i stručnih dostignuća u oblasti arhitekture i izgradnje objekata. Za skup Instalacije & Arhitektura 2019, objavljen je Zbornik radova na srpskom i engleskom jeziku, prevashodno iz zemlje i regiona. Zadovoljstvo nam je da istaknemo da objavljeni i saopšteni radovi obuhvataju i povezuju više tematskih oblasti, kroz istraživanje i predlaganje rešenja sa aspekta održive gradnje i eksploatacije.

Zahvaljujemo se članovima Naučnog odbora, autorima radova, sponzorima, kolegama i prijateljima koji su nas podržali u organizaciji i pomogli održavanje sedmog nacionalnog naučno–stručnog skupa sa međunarodnim učešćem **Instalacije & Arhitektura 2019**.

Beograd,
decembar 2019. godine

Organizacioni odbor **I&A2019**

Naučno-stručni simpozijum
INSTALACIJE & ARHITEKTURA 2019

SADRŽAJ

Aleksandra Čabarkapa, Lidija Đokić, Damjana Lojaničić

SMERNICE ZA ARHITEKTONSKO OSVETLJENJE JAVNIH OBJEKATA IZGRAĐENIH U STILU
AKADEMIZMA3

GUIDELINES FOR ARCHITECTURAL LIGHTING OF PUBLIC BUILDINGS BUILT IN THE STYLE OF
ACADEMISM3

Borjan Brankov, Marina Nenković-Riznić, Mila Pucar

ULOGA URBANIH SISTEMA KAO DELA INFRASTRUKTURE U SMANJENJU POSLEDICA
KLIMATSKIH PROMENA U GRADOVIMA9

ROLE OF URBAN SYSTEMS AS PART OF INFRASTRUCTURE IN REDUCTION OF CLIMATE
CHANGE EFFECTS IN THE CITIES9

Božidar Furundžić, Danilo Furundžić

ZAGAĐENJE VAZDUHA OD SAGOREVANJA UGLJA: SLUČAJ TERMoeLEKTRANE „NIKOLA
TESLA A“18

AIR POLLUTION FROM COAL COMBUSTION: THERMAL POWER PLANT „NIKOLA TESLA A“
CASE18

Damjana Lojaničić, Tatjana Jurenić, Aleksandra Čabarkapa

ARHITEKTONSKI PARAMETRI ZA OCENU EKONOMSKE ISPLATIVOSTI REAKTIVACIJE
OBJEKATA29

ARCHITECTURAL PARAMETERS FOR EVALUATION OF COST-EFFECTIVENESS OF BUILDINGS'
REACTIVATION29

Danilo Furundžić, Božidar Furundžić

NIGHTCLUB ON FLOATING RAFT IN BELGRADE: INTERIOR ADAPTATION CASE35

NOĆNI KLUB NA SPLAVU U BEOGRADU: PRIMER ADAPTACIJE ENTERIJERA35

Jelena Dinić Milovanović

PAMETAN STUB JAVNOG OSVETLJENJA - PODRŠKA RAZVOJU PAMETNIH GRADOVA43

SMART PUBLIC LIGHTING POLE - SMART CITIES DEVELOPMENT SUPPORT43

Milan Radojević

FASILITI MENADŽMENT: ZAŠTITA FASADA I DRUGIH POVRŠINA OBLOŽENIH KAMENOM ..51

FACILITY MANAGEMENT: PROTECTION OF THE FACADES AND OTHER STONE-COATED
SURFACES51

Naučno-stručni simpozijum
INSTALACIJE & ARHITEKTURA 2019

Mirjana Devetaković, Damjan Balkoski

ENERGETSKI AUTONOMNI OBJEKTI – RANE FAZE PROJEKTOVANJA PLANINARSKOG DOMA
NA VODNU59

TOWARDS ENERGY AUTONOMOUS BUILDINGS – EARLY DESIGN STAGE OF
MOUNTAINEERING HUT AT VODNO59

Saša Čvoro, Slobodan Peulić

UNAPREĐENJE VAZDUŠNOG KOMFORA U ISTORIJSKIM ZGRADAMA – STUDIJA SLUČAJA
OBNOVE K.C. BANSKI DVOR65

IMPROVING INDOOR AIR QUALITY (IAQ) IN HERITAGE BUILDINGS – CASE STUDY OF
BANSKI DVOR RESTORATION65

Radojko Obradović, Budimir Sudimac, Milica Petrović

UŠTEDA ENERGIJE PRIMENOM BALIRANE SLAME73

USING STRAW-BALES FOR ENERGY SAVING73

Toni Drobac, Dražan Kozak, Mirjana Devetaković, Gianmarco Ćurčić Baldini

PRIMENA BIM-A NA POSTOJEĆIM OBJEKTIMA – PRIMER ZGRADE GRAĐEVINSKOG
FAKULTETA U OSIJEKU80

BIM APPLIANCE ON EXISTING FACILITIES – THE CASE OF THE FACULTY OF CIVIL
ENGINEERING IN OSIJEK.....80

Žikica Tekić, Ljiljana Kozarić, Nebojša Adžić

ČETVOROVODNI KROV U SISTEMU LKV SA RAZLIČITIM NAGIBIMA KROVNIH RAVNI.....86

HIP ROOF WITH DIFFERENT ROOF SLOPES IN LKV SYSTEM86

Žikica Tekić, Ljiljana Kozarić, Saša Đorđević

PROŠIRENJE POSTOJEĆEG OTVORA U NOSIVOM ZIDANOM ZIDU91

WIDENING OF THE EXISTING OPENING IN THE BRICK BEARING WALL.....91

Radojko Obradović¹, Budimir Sudimac², Milica Petrović³

UŠTEDA ENERGIJE PRIMENOM BALIRANE SLAME

Rezime

Savremeno društvo se suočava sa novim i drugačijim izazovima. Obnovljivih resursa je sve manje. Životna sredina je zagađena. Potrebe savremenog čoveka su sve veće i njihovo zadovoljenje zahteva sve više energije i materijalnih resursa. Proizvodnja materijala koji se koriste za izgradnju objekata zahteva prirodne resurse i veliku količinu energije. U eksploataciji objekata postoji potreba za grejanjem i hlađenjem, za šta je takođe neophodna energija. Moguće rešenje je upotreba prirodnih materijala koji su tradicionalno bili primenjivani vekovima, a koji su potisnuti razvojem industrije i širokom primenom betona i čelika. Slama, kao materijal, postoji više od 2000 godina i predstavlja nusproizvod pri uzgajanju pšenice, raži, pirinča. Proizvodnja slame ne zahteva primarnu energiju. Karakteristike balirane slame su takve da nije potrebna dodatna termička i zvučna izolacija. Primenom balirane slame moguće je materijalom, koji je gotovo besplatan, postići značajne uštede energije i pomoći u očuvanju životne sredine.

Ključne reči

energetska efikasnost, prirodni resursi, izgradnja, isplativost

USING STRAW-BALES FOR ENERGY SAVING

Summary

Modern society is faced with new challenges. Renewable resources are disappearing. The environment is polluted. The production of materials for construction requires natural resources and a great amount of energy. In the exploitation of buildings a lot of energy is used for heating and cooling. Possible solution lies in the application of natural materials that were traditionally used for centuries and were suppressed by the industry's development and the extended use of concrete and steel. Straw, as a material, exists for more than 2000 years. It is a by-product in the growing of wheat, rye, and rice. The production of straw doesn't need primary energy. The characteristics of straw-bales are such that no additional thermal and sound insulation is needed. With the application of straw-bales, a material that is almost free, it is possible to achieve significant savings in energy and to help preserve the environment.

Keywords

energy efficiency, natural resources, construction, cost efficiency

¹ Docent, Univerzitet u Beogradu - Arhitektonski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, Beograd / Assistant Professor, University of Belgrade - Faculty of Architecture, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, Belgrade, robardovic@hotmail.com

² Vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Arhitektonski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, Beograd / Associate Professor, University of Belgrade - Faculty of Architecture, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, Belgrade, sudimac@arh.bg.ac.rs

³ Asistent, Univerzitet u Beogradu - Arhitektonski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, Beograd / Teaching Assistant, University of Belgrade - Faculty of Architecture, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, Belgrade, milica.petrovic.ml@gmail.com

1. UVOD

Današnje vreme ostaće u istoriji upamćeno po značajnom napretku u oblasti nauke i po razvoju tehnologije i inovacijama. Revolucionarni pronalasci u oblasti informatike i telekomunikacija i razvoj transportnih sredstava omogućili su globalno povezivanje, lak pristup informacijama i putovanje u sve delove sveta.

Sve to doprinelo je ubrzanom ekonomskom razvoju i porastu globalnog društvenog bogatstva. Sa druge strane značajno su se povećale razlike između razvijenih i nerazvijenih zemalja, takođe se povećao jaz između bogatih i siromašnih u svim zemljama pojedinačno.

U isto vreme savremeno društvo je ubrzano potisnulo brojna, generacijama taložena, znanja i tradiciju. Kao da razvoj isključuje tradiciju i iskustvo. Ovo vreme ostaće upamćeno po brojnim kontradiktornostima i isključivostima, na različitim nivoima i u, praktično, svim oblastima života.

Cena ubrzanog razvoja i napretka je i crpljenje sirovina i resursa, kao i zagađenje i nepovratno uništavanje životne sredine. Brojne biljne i životinjske vrste izumiru, a istražene rezerve većine sirovina i fosilnih goriva bliže se kraju. Ozonski omotač je sve tanji....

U svest ljudi, istina sporo, prodire činjenica da dolazi vreme kada ćemo morati da se vratimo i starim znanjima i zaboravljenim materijalima i tehnologijama, uprkos daljem razvoju nauke.

Ovaj rad ima upravo za cilj da reafirmiše jedan od materijala koji je nekada bio u upotrebi, a koji je potisnut pred naletom savremenih i novih materijala, a reč je o baliranoj slami.

2. SLAMA

Slama je cevasta stabljika biljke koja povezuje koren i klas, za razliku od sena koji predstavlja celu biljku bez korena i koje se koristi kao stočna hrana zbog nutritivne vrednosti klasa. Slama je jednogodišnji obnovljiv prirodni proizvod, produkt fotosinteze i ostatak nakon žetve. Postoji mnogo različitih tipova slame: pšenična, ječmena, ražana, pirinčana, konopljina...

Slama je nusproizvod u procesu proizvodnje žita, nema nutritivnu vrednost i koristi se kao prostirka za životinje, zaorava se ili spaljuje.

Za upotrebu u poljoprivredi koristi se tako što se nakon žetve, odsecanja klasa i sušenja, balira mašinama za baliranje, a nakon toga skladišti.

Na različite načine primenjivala se hiljadama godina, najčešće pomešana sa blatom, kao prirodna armatura, ali i samostalno za pokrivanje krovova, za zidove ispune i izolaciju.

Nakon deset godina proučavanja mogućnosti primene alternativnih građevinskih materijala u konstrukcijama, moguće je reći da je najmanje reč o ekstravaganciji, a daleko više o mogućim brojnim praktičnim primenama, ekonomskim prednostima, ali i značajnom smanjenju štetnih uticaja na životnu okolinu.

Globalna promena klime u velikoj meri prouzrokovana je štetnom emisijom gasova, pre svega CO₂. Analizom različitih faktora koji imaju uticaj na životnu sredinu, utvrđeno je da oko 50% štetnih gasova koji se emituju u atmosferu dolazi iz građevinske industrije i transporta vezanog za građevinsku industriju.

Raspoložive količine slame u svetu su praktično neograničene. U SAD, kao najvećem svetskom proizvođaču hrane, godišnje se proizvede oko 1.4 milijarde m³ slame. A u Srbiji je prošle godine, na zasejanih 500.000 hektara, proizvedeno oko 20 miliona m³ slame (pre deset godina ta količina je bila dva puta veća). Na prvi pogled jasno je da je reč o ekstremno velikim količinama slame. Pri tome se jedna trećina koristi u stočarstvu, jedna trećina zaorava i tako zemlja aerira i dodatno obogaćuje hranljivim organskim materijama. Jedna trećina slame ostaje neiskorišćena i, u Srbiji, se spaljuje.

Veliki broj zemalja u svetu zakonom je zabranio spaljivanje slame koja ostaje na poljima nakon žetve. Zagađuje se okolina i ne koristi se ogroman potencijal. Ranije su se i te količine zaoravale, ali je utvrđeno da se remeti ravnoteža organskih materija u zemlji i proizvodi dodatna šteta.

Da rezimiramo, svake godine u Srbiji ostane neiskorišćeno oko 7 do 8 miliona m³ slame, čijim se spaljivanjem emituje ogromna količina CO₂. Kada bi se ta slama iskoristila u gradnji objekata bilo bi moguće izgraditi 100.000 kuća površine 150 m².

To je dodatan motiv da se nastavi sa istraživanjem primene ovog materijala.

Ne manje važno je i da je slama prirodan materijal, ostatak nakon žetve pšenice, i proizvodi se nakon jednogodišnjeg ciklusa, za razliku od drveta koje može da se koristi tek nakon 20 do 30 godina.

Porast cene energije, sve više u kalkulacije uvodi i količinu energije potrebnu za proizvodnju jedinice mere građevinskog materijala.

Za jednu tonu betona potrebno je 5.800.000 BTU (British Thermal Unit, BTU= 1055,055 J), a za proizvodnju jedne tone slame 112.500 BTU. Pri tom pri proizvodnji slame nema nikakvog otpada.

Polazne osnove i prethodna istraživanja ukazuju na velike potencijalne bala slame u građevinarstvu i ukazuju na brojne pogodnosti primene ovog materijala.

Komercijalna primena podrazumeva definisanje određenih uslova koje bale slame moraju da zadovolje, a zatim i poznavanje svih potrebnih karakteristika da bi objekti mogli da se grade u skladu sa važećim propisima.

U toku sprovedenih istraživanja nisu pronađena relevantna istraživanja u našoj zemlji. Bilo je nekoliko radova, koji su tretirali ovu oblast, a izgrađeno je i nekoliko objekata. Objekte su gradili entuzijasti i nisu praćene odgovarajućim ispitivanjima i proverama.

Slamu je moguće na različite načine primenjivati u konstrukcijama. Bale slame mogu biti noseći element konstrukcije. Moguće je noseću konstrukciju izgraditi od betona, čelika ili drveta, a od bala slame mogu se izgraditi zidovi ispune. Ili je moguće slamu koristiti kao zvučnu ili termičku izolaciju. U poslednje vreme eksperimentiše se i sa panelima od slame.

3. TERMIČKE KARAKTERISTIKE SLAME

Termička provodljivost, izražena kroz koeficijent termičke provodljivosti λ (W/m²K) materijala, ogleda se u njegovom propuštanju stacionarnog toplotnog protoka usled razlike temperatura na dvema graničnim površinama.

U ovom radu nisu sprovedena ispitivanja termičkih karakteristika, ali su u okviru istraživanja karakteristika bala pšenične slame analizirana istraživanja sprovedena na Hemijskom fakultetu u Zagrebu, kao i istraživanja i rezultati koje je dobio Mc Cabe (1994).

Primenom različitih metoda ispitivanja dobijena je vrednost koeficijenta termičke provodljivosti λ u vrednostima 0,032 i 0,035 W/m²K. Mc Cabe je sprovodi ispitivanje na trožičnim i dvožičnim balama slame dimenzija 59 x 40 x 105 cm i 46 x 36 x 92 cm. Uočeno je da je termička provodljivost u direktnoj vezi sa gustinom bala slame, ali i da zavisi od orijentacije vlakana. Dalja istraživanja koja bi utvrdila tačne zavisnosti u funkciji pravca vlakana nisu sprovedena, jer su rezultati pokazali da su svi potrebni kriterijumi daleko bolji nego kod drugih građevinskih materijala.

Poređenje koeficijenta termičke provodljivosti slame i nekih od uobičajenih građevinskih materijala prikazano je u tabeli:

| Materijal | λ [W/mK] |
|--------------|------------------|
| Bakar | 380 |
| Aluminijum | 204 |
| Čelik | 58 |
| Granit | 3,5 |
| Beton | 2 |
| Staklo | 0,81 |
| Opeka | 0,80 |
| Šuplja opeka | 0,55 |
| Laki beton | 0,34 |

| | |
|----------------|------------|
| Bukva, hrast | 0,20 |
| Jela, bor | 0,14 |
| Pluta | 0,043 |
| Mineralna vuna | 0,040 |
| Balirana slama | 0,032-0.35 |
| Vazduh | 0,027 |

U poređenju sa drugim građevinskim materijalima uočljiva je superiornost balirane slame kao termoizolacionog materijala.

Istraživanja sprovedena u Hrvatskoj, pod nešto drugačijim uslovima nego u slučaju istraživanja koje je sproveo Mc Cabe, definisale su nešto veće vrednosti koeficijenta termičke provodljivosti, oko 0,042 W/m²K.

Kao što je ranije bilo reči, osobine bala slame u velikoj meri zavise od gustine. Istraživanja sprovedena u Hrvatskoj imala su kao primarni zadatak uspostavljanje veze koeficijenta termičke provodljivosti i gustine bala slame. Rezultati su prikazani u tabeli:

| Gustina (kg/m ³) | Koef. termičke provodljivosti [W/mK] |
|------------------------------|--------------------------------------|
| 82 | 0,0486 |
| 95 | 0,0482 |
| 113 | 0,0416 |
| 125 | 0,0414 |
| 138 | 0,0412 |

Razlika u rezultatima u najvećoj meri je rezultat različitih primenjenih metodologija, ali u svakom slučaju pokazuje da karakteristike slame kao termičkog izolatora odgovaraju svim potrebnim zahtevima i jednake su ili bolje po karakteristikama najčešće korišćene termičke izolacije, mineralne vune.

Termička karakteristika zida ili nekog elementa izražava se kao otpor propuštanju toplote $\Lambda = (W/m^2 \cdot K)$.

U slučaju obostrano malterisanog zida od slame koeficijent je 0,12 W/m²·K, što zadovoljava uslove koji važe za pasivne kuće.

Treba istaći i da zbog dimenzije zidova (u zavisnosti od dimenzije bala i načina zidanja) od oko 50 santimetara u toku dana apsorbovaće toplotu, a u toku noći dešavaće se obrnuti proces i emitovaće se toplota. Ova osobina stvara velike pogodnosti i leti i zimi.

Kada analiziramo termičke karakteristike i pogodnosti u vezi sa tim, treba istaći da se prilikom zidanja i nakon nanošenja opterećenja od krovne konstrukcije, bale slame dodatno komprimuju i time se, uz veću zbijenost, postiže bolji termički koeficijent. Veliko trenje između bala zadržava ih na mestu bez potrebe za vezivnim sredstvima, a posebno je značajno da ovakvi zidovi nemaju vidljive ni horizontalne ni vertikalne spojnice. Zidovi su kompaktni i nema hladnih mostova, što je još jedna značajna prednost u odnosu na druge materijale, jer ne zahteva dodatne troškove.

U praksi je rešen i problem otvora i proboja. Kod svih drugih konstrukcija to su potencijalno slaba mesta. U slučaju zidanja balama slame sve praznine se popunjavaju rastresitom slamom, koja ostaje nakon zidanja i nakon malterisanja nema nikakvih problema sa gubicima toplote.

4. UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU

Savremeni način života i porast populacije imaju značajne negativne efekte na životnu sredinu. Emisija CO₂ koji direktno utiče na stvaranje efekta staklene bašte, a time se dodatno pojačavaju negativni efekti na životnu sredinu, u najvećoj je meri rezultat rada građevinske industrije i transporta vezanog za građevinsku industriju (oko 50% ukupne emisije).

Uz sve do sada navedene pogodnosti koje ima gradnja baliranom slamom u odnosu na moderne načine gradnje, uticaj na životnu sredinu je posebno značajan.

Slama je jednogodišnji obnovljiv proizvod. Nakon uzimanja potrebnih količina slame za stočarstvo i nakon zaoravanja, na poljima ostaje trećina slame koju je moguće koristiti u građevinskoj industriji. U ovom radu analizirana je primena u našim krajevima najrasprostranjenije pšenične slame, ali gotovo svi zaključci važe i za slamu od ječma, raži, pirinča.

5. ZAKLJUČAK

O uštedi energije mora se govoriti posmatrajući ukupan životni vek objekata: od primene materijala za izgradnju i energije potrebne za njihovu proizvodnju, preko izgradnje, kasnije tokom eksploatacije i naravno na kraju, uzimajući u obzir energiju potrebnu za uklanjanje i saniranje nakon završenog životnog veka građevine. Tek sveobuhvatnim pristupom možemo analizirati mane i prednosti pojedinih materijala.

Balirana slama, kako je i prikazano, je materijal koji se može primenjivati na različite načine u konstrukcijama. Najjednostavnija je primena balirane slame, ali prefabrikacijom je moguće dobiti i druge proizvode podesne za primenu.

Materijal je praktično besplatan, jer je nusproizvod pri proizvodnji pšenice, ima ga u neograničenim količinama u svim delovima Srbije, ako govorimo o pšeničnoj slami, a ječmene, slame od raži ili pirinča ima u svim delovima sveta, tako da nema potrebe ni za dodatnim transportnim troškovima.

Primena je jednostavna, ne zahteva brojnu stručnu radnu snagu.

Termičke karakteristike su impresivne. Gotovo da su identične karakteristikama vazduha, što je i logično uzimajući u obzir strukturu i građu pojedinačne slamke, ali i bale u celini.

Primena balirane slame je još uvek ograničena i naredni korak je donošenje propisa koji bi omogućio da se standardizuje postupak i uslovi izgradje. Time bi se otvorila mogućnost da se primenom ovog materijala postignu značajni efekti u uštedi energije i u očuvanju životne sredine.

LITERATURA

[1] R. Obradović: "Eksperimentalno-teorijska analiza bala slame u konstrukcijama", doktorska disertacija, Arhitektonski fakultet, Beograd, 2014.