

Raziskave so bile financirane s sredstvi Javnega sklada Republike Slovenije za razvoj kadrov in štipendije. Sredstva / štipendija je bila pridobljena po razpisnih pogojih "Štipendiranja oz. sofinanciranja raziskovalnega sodelovanja doktorskih študentov v tujini v letu 2012" po pogodbi s številko 11012-47/2012.

Ključne besede

bala slame, zrakotesnost, tlačna trdnost, anketa, dokumentacija

Key words

straw bale, air tightness, load capacity, survey, documentation

Uvod

Gradnja z balami slame se uvršča v eno izmed mlajših tehnik gradnje. Začetki segajo na začetek 19. stoletja, ko je bil namen gradnje začasnega značaja, izkazalo pa se je, da je gradnja ob primerni izvedbi lahko tudi trajnega, značilnosti take gradnje pa so popolnoma primerljive s konvencionalnimi tehnikami in materiali gradnje, ki jih v določenih segmentih celo presegajo. Recimo z okoljskega in zdravstvenega.

Bala slame je naravnega izvora, nima škodljivega vpliva na okolje, še več, zaradi visoke vsebnosti CO₂ je vpliv na okolje celo negativen. Zanimanje za gradnjo z balami slame je navzoče tudi v Sloveniji. V zadnjih treh letih je bilo zgrajenih vsaj šest objektov, kjer je kot polnilo uporabljena bala slame.

Zasnova izvedenih eksperimentov je temeljila na številni literaturi, ki obravnava gradnjo z balami slame [Morrison 2012, Ashour 2011, Racusin 2011, Atkinson 2008, King 2003, Lacinski 2000, Cosmulescu 1997,] ter upoštevanju obstoječih pravil gradnje z balami slame [<http://www.dcat.net/>].

Namen, cilji

Z zastavljenimi raziskovalnimi vprašanji bo ugotovljeno ali je princip uporabljenih tehnik gradnje z balami slame v tujini (Anglija, Nemčija, ZDA, itd.) primeren tudi za slovenski prostor. Z analizo in dokumentacijo obstoječih objektov iz bal slame na območju Nove Anglije je namen predstaviti splošne značilnosti takšnih objektov z vidika: velikosti, etažnosti, konstrukcije, izbire materiala za omet, namenske rabe objekta, višine investicije ter dokumentiranje subjektivnih izkustev uporabnikov takih objektov.

Ali je obstoječa praksa, ki je glede na podnebne pogoje, ki so podobni tudi pogojem v Sloveniji – relativna velika temperaturna nihanja na dnevni, letni ravni, primerna tudi za izvedbo v Sloveniji.

V primeru gradnje trajnostnih objektov je eden izmed kriterijev zrakotesnost objekta. S predvidenimi testi ugotoviti ali je trenutna praksa zadovoljiva in ali zagotavlja ustrezno zrakotesnost. V primeru pomanjkljivosti predstaviti morebitne rešitve.

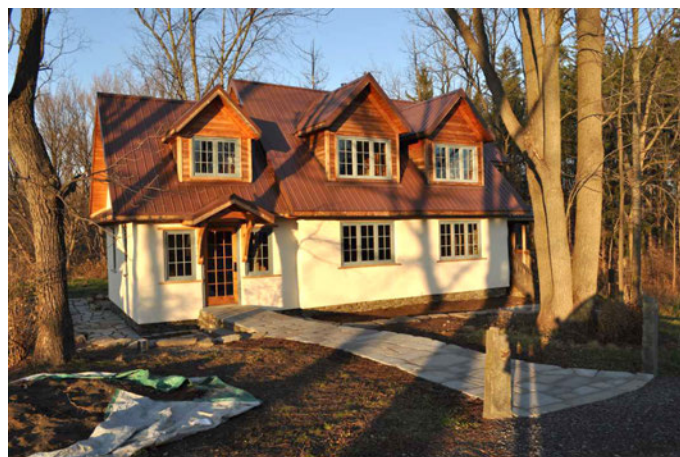
Povzetek poteka raziskav

V sklopu podiplomskega študija je bil del raziskav opravljen v tujini in sicer na **University of Massachusetts, Amherst** v ZDA. Raziskave v tujini so potekale devet mesecev v obdobju od septembra 2012 do junija 2013. Delo je bilo opravljeno pod mentorstvom **Assoc. Prof. Dr. Peggi L. Clouston**.

Raziskovanje je bilo razdeljeno na dva dela in sicer, na terenski in laboratorijsko-eksperimentalni del.

Tema raziskovanja v obeh delih je bila neposredno vezana na temo doktorske naloge tj. gradnja z balami slame.

V sklopu terenskega dela je bilo obiskanih in dokumentiranih sedem objektov grajenih z balami slame. Lastnikom oziroma uporabnikom objekta je bilo zastavljenih 44 vprašanj, katera so vezana neposredno na lastnosti objekta ter njegovo rabo. Enak vprašalnik je bil v obliki spletne ankete posredovan na naslove lastnikov objektov grajenih iz bal slame po celem svetu. Do junija 2013 je v anketi sodelovalo 171 lastnikov oziroma uporabnikov objektov iz bal slame.



Slika 1: Hiše iz bal slame v mestu Trumansburg, New York (ZDA).
Figure 1: Straw bale house in Trumansburg, New York (USA).

Vsi obiskani objekti so locirani na območju Nove Anglije in sicer v zveznih državah Massachusetts, New York in Vermont. Podnebne značilnosti lokacij, kjer stojijo obiskani objekti,

so podobne podnebnim značilnostim v slovenskem prostoru. Analizirani primeri bodo služili kot referenčni primeri za gradnjo z balami slame, ki je ustrezna in primerna tudi za slovenski prostor.

Ugotovitve bodo združene z rezultati omenjene ankete, kateri rezultati bodo predstavljeni v znanstvenem prispevku.

Drugi del raziskave je temeljil na eksperimentalnem delu, kjer sta bila opravljena dva tipa eksperimentov tj. merjenje zrakotesnosti ter merjenje tlačne trdnosti posameznih bal in posedanje sten iz bal slame. Pri izvedbi obeh tipov eksperimentov so bili uporabljeni isti merjenci, stene.

V namen eksperimenta je bilo v prvi fazi pripravljenih 40 merjencev. Štirideset merjencev je bilo deljenih na štiri podskupine, ki so bile formirane glede na vrsto ometa (brez ometa, apnen omet, apnen-cementen omet in ilovnat omet). Vsaka skupina je vsebovala deset merjencev od katerih je bilo pet orientiranih klasično, naleganje na večjo ploskev, pet pa orientiranih na rob, se pravi, naleganje na manjšo ploskev bale.



Slika 2: Pred pripravo merjencev.
Figure 2: Before straw bale treatment.

Pri pripravi merjencev in izvedbi meritev je bil upoštevan protokol ASTM standarda. Izbrana vrsta ometov je temeljila na ugotovitvah predhodnih raziskav ter priporočil različne literature s predstavljenimi smernicami in napotki za gradnjo z balami slame. Ker je osrednja raziskava osredotočena na gradnjo v slovenskem prostoru so bili izbrani tisti materiali, ki so primerni in priporočeni za uporabo v določenem okolju in omogočajo optimalno delovanje obravnavanega materiala kot kompozita. Pri uporabi bal slame je ključen ustrezen prehod vlage skozi steno. V primeru prevelike izpostavljenosti slame vlagi je velika verjetnost gnitja slame. Le to uspešno prepreči z ustrezno izbiro in aplikacijo ometa.

Pred nanosom ometa, so bile izmerjeni naslednji parametri; velikost, masa, vlažnost ter na rezultate meritev izračunana gostota posamezne bale. Neustrezne bale, bodisi zaradi neprimerne oblike, zvezanost, bodisi zaradi neustreznih dimenzij – prenizka gostota, previsoka vsebnost vlage, so bile izločene.

Omet na trideset merjencev je bil apliciran ročno v dveh slojih. Pri pripravi ometov in samem nanašanju ometa na bale so bile upoštevane smernice pozitivne prakse. Bale so bile zaradi boljše

oprijemljivosti ometa predhodno navlažene. Vse vrste ometa so bile aplicirane v dveh slojih v debelini prbl. 15 mm. Po nanosu prvega sloja je bila površina ometa po nekaj urah zglačena z gladilko z utori, s čimer je zagotovi boljšo oprijemljivost drugega sloja. Nanos drugega sloja je bil dva tedna po nanosu prvega. Drug nanos je bil natančnejši, površina je bila kar se da lepo zglačena in poravna.



Slika 3: Priprava merjencev – nanos ometa na bale slame.
Figure 3: Specimen preparation – straw bale plastering.

Čas sušenja vseh merjencev pred izvedbo testa nosilnosti je bil 45 dni. Pred izvedbo testa nosilnosti je bil na vseh štiridesetih merjencih izveden test zrakotesnosti. Za izvedbo testa zrakotesnosti sta bila uporabljena dva sistema. Pri merjenju zrakotesnosti neometanih bal slame je bil uporabljen naslednji postopek. Posamezna bala slame je bila vložena v plastično škatlo, ki je ustrezala volumnu posamezne bale. Neizpolnjeni žepi v škatli so bili zapolnjeni z dodanimi kosi slame, s čimer se je zapolnil celoten volumen škatle, kar je za ustrezne meritve ključnega pomena – da ni zračnih žepov, ter je vpihan zrak prisiljen izstopiti skozi slamo ter ne skozi zračne žepe. Na škatlo je bila nameščena zračna cev po kateri je bil pod različnim tlakom vpihan zrak in ki je na določeni površini izstopal na nasprotni strani škatle/zračne cevi.

Na vseh neometanih balah sta bili opravljeni dve meritvi in sicer v dveh različnih orientacijah; klasično in na rob, saj je ena od postavljen tez, da orientacija bale vpliva na zrakotesnost.

Meritve zrakotesnosti ometanih bal so bile izvedene po naslednjem postopku; Na površino ometa je bila tesno prislonjena škatla z znanim volumenom. Na škatlo je bil nameščena zračna cev ter kontrolirana odprtina s površino 2sq inča (prbl. 13 cm²), s katero je bila omogočena razlika tlaka in posledično merjenje potrebnih parametrov, t.j. pretok zraka ter tlak. Meritve so bile opravljene na obeh straneh bal, skupno je bilo opravljenih 60 meritev.

Testi tlačne nosilnosti so bili izvedeni po protokolu na merilnem stroju 150kN Material Testing System (MTS). Merjenci so bili testirani s stiskanjem, do porušitve pa je prišlo v časovnem

intervalu med 5 in 20 minut. Hitrost testa je bila pri neometanih balah mnogo višja 17.8 mm / min, kot pri ometanih balah 2.5 mm / min. Obremenitev in premik sta bila zabeležena z računalniškim zajemanjem podatkov med samim potekom testa.



Slika 4: Test tlačne trdnosti.

Figure 4: During compression test procedure.



Slika 5: Merjenec po testu tlačne trdnosti.

Figure 5: Specimen after compression test procedure.

Druga faza eksperimentov je bila izvedena na štirih, v namen eksperimentov postavljenih stenah. Stene so bile postavljene s posnemanjem dejanske prakse. Dve steni sta bili postavljene s klasično postavljenimi balami in sicer sedem bal postavljenih ena na drugo, dve steni pa sta bili zgrajeni z na rob postavljenimi balami, na vsaki steni jih je bilo pet. Bale so bile fiksirane z bambusovimi palicami, kot narekuje Austin City Code [<http://www.dcat.net/>].

Ko so bile stene zgrajene so bile obremenjene/obtežene z vrečami peska v količini, ki je dovoljena skladno z "Austin City Code - Volume II, Chapter 36 – straw bale construction" in sicer 19.15 kN/m². V primeru sten s klasično postavljenimi balami je bila dodana obtežba v višini 1000 kg na steni s klasično vgrajenimi balami ter 850kg na steni z balami vgrajenimi na rob. Prvi dan po dodani obtežbi je bilo posedanje spremljano na 2 uri, v prvem tednu vsak dan, potem pa v obdobju osmih tednov enkrat na teden.



Slika 6: Postavitev eksperimentalnih sten.

Figure 6: Straw bale wall set-up.

Teden dni po dodani obtežbi sta bili dve steni, ena od vsake orientacije, ometani na obeh straneh z apnenim ometom. Preostali dve steni pa sta bili ometani po štirih tednih. Razlog za nanašanje ometa v različnih časovnih obdobjih je ugotavljanje vpliva posedanja konstrukcije na sušenje ter razpoke na površini ometa. Protokol nanašanja ometa je bil enak kot v primeru posameznih bal slame. Torej, aplicirana sta bila dva sloja, v razmiku deset dni.

Po osmih tednih je bila na vseh štirih stenah izvedena meritev zrakotesnosti v dveh korakih. V prvem koraku je bila meritev izvedena brez tesnitve oboda ter s tesnitvijo oboda posamezne stene v drugem koraku. Rezultati potrjujejo hipotezo, da je trenutna praksa pomanjkljiva, saj v primeru izpostavljene lesne konstrukcije v večini primerov ni predvidenega detajla, ki zagotavlja tesen stik med slamo, lesenim elementom in ometom. Z ustrezno izvedbo in premišljenim detajlom je učinek na zrakotesnost znatno, kar bo pokazano z meritvami zrakotesnosti na dejanskem objektu iz bal slame.

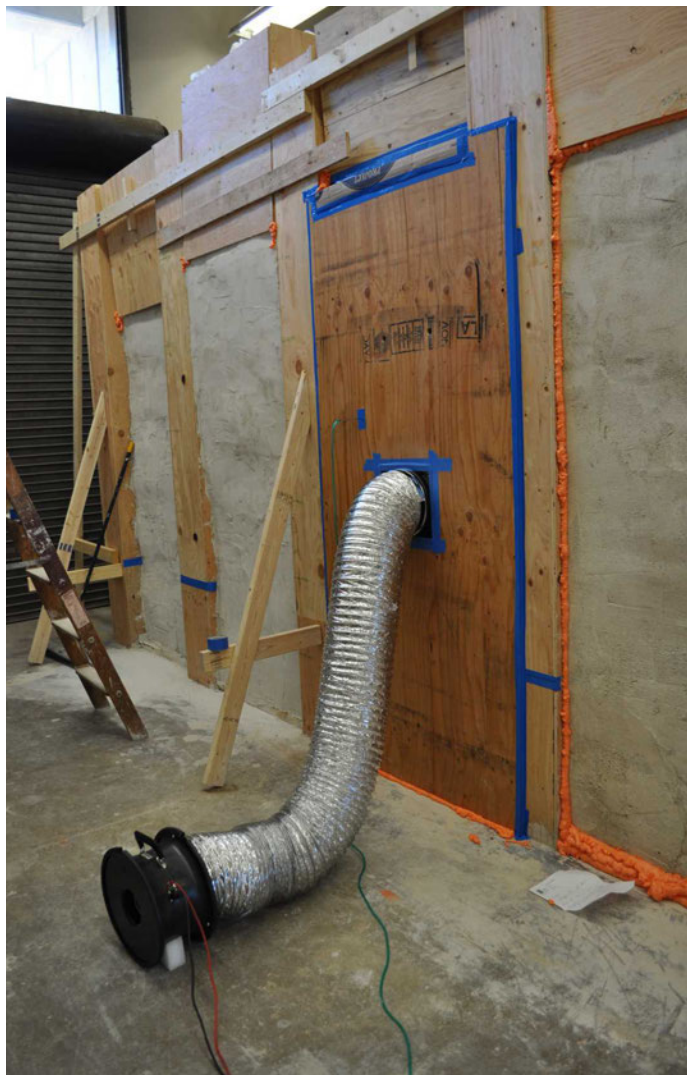
Rezultati meritev nakazujejo občutno razliko pred in po tesnjenju. Na osnovi teh meritev so predvidene variantne rešitve,

ki bi jih bilo možno aplicirati v praksi in bi pozitivno vplivale na boljšo zrakotesnost obenem pa tudi na manjše toplotne izgube stavbe, kar pa je pri načrtovanju in gradnji objektov po principu trajnostne gradnje nujno.



Slika 7: Obteževanje sten z vrečami peska.

Figure 7: Loading sand bags.



Slika 8: Test zrakotesnosti na eni od sten.

Figure 8: During the straw bale wall air tightness test.

Vpliv raziskav na nadaljnje delo.

Z možnostjo opravljanja raziskav v tujini in izvedbo ankete ter analizo več objektov ter izvedbo predstavljenih eksperimentov bo kakovost doktorske disertacije, ki bo končni izdelek raziskav, imela dodano vrednost. Rezultati posameznih sklopov, tj. merjenje tlačne trdnosti bal slame ter zrakotesnost bal slame ter zrakotesnost sten predstavljeni v dveh ločenih znanstvenih prispevkih objavljeni v mednarodnih revijah.

Z realiziranimi eksperimenti, ki so preverili korektnost obstoječe prakse z vidika konstrukcijskih lastnosti ter z vidika zrakotesnosti, predstavljajo tudi izhodišča smernic za gradnjo z balami slame v Sloveniji.

Viri in literatura

- Ashour, T., Georg, H., Wu, W. (2011). Performance of straw bale wall: A case of study. V: *Energy Buildings* 43:1960-7.
- ASTM Standard E779-87 (1991), Test Method for Determining Air Leakage by Fan Pressurization. American Society of Testing and Materials (ASTM).
- Atkinson, C. (2008). *Energy Assessment of a Straw Bale Building*. London: University of East London.
- Austin Building Code. <http://www.dcat.net/>, <16. Oktober, 2013>.
- Cosmulescu, C. (1997): Experimental procedure to evaluate air leakage through different building materials. Montreal, Quebec: Concordia University.
- King, B. (2003). *Load-bearing Straw Bale Construction*. Ecological Building Network, <<http://www.ecobuildnetwork.org>>, <Sept. 25, 2013>.
- Lacinski, P. et al. (2000). *Serious straw bale*. Chelsea Green Publishing Company, Vermont.
- Morrison, A., Kefee, C. (2012). "Modern look a straw bale construction". Straw Bale Innovations, LLC, Colorado.
- Racusin, J.D. et al. (2011). *Final Report for Energy Performance of Straw Bale Buildings Research Program*. New Frameworks Natural Building, LLC, Montgomery, VT.