

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Visokošolski program Gradbeništvo,  
Smer operativno gradbeništvo

Kandidat:

**Luka Lampret**

# **Uporaba slamnatih bal kot gradbenega materiala pri ekološki gradnji**

**Diplomska naloga št.: 420**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

Ljubljana, 27. 5. 2011

## **ERRATA**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Skladno s 27. členom Pravilnika o diplomskem delu UL Fakultete za gradbeništvo in geodezijo,

Podpisani/-a **LUKA LAMPRET** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
**»UPORABA SLAMNATIH BAL KOT GRADBENEGA MATERIALA PRI  
EKOLOŠKI GRADNJI«.**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Noben del tega zaključnega dela ni bil uporabljen za pridobitev strokovnega naziva ali druge strokovne kvalifikacije na tej ali na drugi univerzi ali izobraževalni inštituciji.

Ljubljana, 11.5.2011

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>624.011:691 . 1(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Luka Lampret</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov, univ. dipl. ing. grad.</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Uporaba slamnatih bal kot gradbenega materiala pri ekološki gradnji</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>49 str., 7 pregl., 32 slik</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>lastnosti slamnate bale, testi in certifikati, prednosti in slabosti gradnje, primeri gradnje</b>

### **Izveček**

Slamnata bala se je kot gradbeni material začela uporabljati kmalu po izumu balirnega stroja. Kot uporabna rešitev za gradnjo ter udobno bivanje se je izkazala v zelo različnih podnebnih pasovih in tudi na potresnih območjih.

V diplomski nalogi so opisane lastnosti slame in slamnate bale, zgodovina njihove uporabe, najpomembnejši testi in certifikati, ki dokazujejo ustreznost tega materiala za gradnjo, osnovne vrste konstrukcij iz slamnatih bal ter glavne slabosti in prednosti gradnje s slamnatimi balami. Predstavljeno je nekaj konkretnih primerov stavb – od zelo starih pa do najnovejših gradenj po svetu, v Evropi in v Sloveniji.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDK:** 624.011:691 . 1(043.2)  
**Author:** Luka Lampret  
**Supervisor:** Assoc. Prof., Ph.D. Violeta Bokan-Bosiljkov, b.s.c.e.  
**Title:** The Use of Straw Bales as a Construction Material in Ecological Buildings  
**Notes:** 49 p., 7 tab., 32 fig.  
**Ključne besede:** straw bale characteristics, tests and certificates, disadvantages and advantages of construction, building examples

### **Abstract**

Straw bales were first used as a construction material soon after the invention of the baling machine. The bales proved to be a useful building solution and a provider of a comfortable living space in several different climatic areas as well as in regions with seismic activity.

Descriptions of straw and straw bale characteristics are included in the diploma work, along with the history of their utilization, and the most important tests and certificates used to prove their construction adequacy. Also, basic types of straw bale constructions are explained, as well as the disadvantages and advantages of construction using straw bales. A few specific examples of buildings are presented – from very old to the newest, around the world, in Europe and in Slovenia.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OPIS DIPLOMSKE NALOGE PO POGLAVJIH .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>SLAMA IN SLAMNATE BALE .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Slama.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Slama, seno in razlika med njima .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Sestava pšenične slame.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Uporabiti slamo iz klasično ali biološko pridelanega žita?.....</b>	<b>6</b>
<b>3.2</b>	<b>Slamnata bala.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Kakšne bale so ustrezne za gradnjo?.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Vlažnost in glodavci.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>ZGODOVINA UPORABE SLAMNATIH BAL V GRADBENIŠTVU .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1</b>	<b>Stavbe, zgrajene v prvi polovici 20. stoletja .....</b>	<b>13</b>
<b>4.2</b>	<b>Stavbe, zgrajene po 2. svetovni vojni .....</b>	<b>14</b>
<b>4.3</b>	<b>Sodobna gradnja – od leta 1989 naprej .....</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>DIMENZIJE BAL .....</b>	<b>18</b>
<b>5.1</b>	<b>Dimenzije tipične bale v moji okolici .....</b>	<b>18</b>
<b>5.2</b>	<b>Dimenzije slamnatih bal po knjigi <i>Design of Straw Bale Building</i> .....</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>TESTI IN CERTIFIKATI .....</b>	<b>22</b>
<b>6.1</b>	<b>Preizkus gorljivosti stene iz slamnatih bal, ometane z obeh strani .....</b>	<b>22</b>
<b>6.2</b>	<b>Določitev toplotne prevodnosti (K-faktorja) .....</b>	<b>24</b>
<b>6.3</b>	<b>Toplotna izolativnost stene iz slamnatih bal.....</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>VRSTE KONSTRUKCIJ IN NJIHOVE ZNAČILNOSTI.....</b>	<b>27</b>
<b>7.1</b>	<b>Samonosilna konstrukcija.....</b>	<b>27</b>
<b>7.1.1</b>	<b>Test potresne odpornosti samonosilne konstrukcije iz slamnatih bal.....</b>	<b>29</b>
<b>7.2</b>	<b>Bale kot izolacija v endoskeletni leseni konstrukciji .....</b>	<b>32</b>
<b>7.3</b>	<b>Drugi načini gradnje.....</b>	<b>34</b>
<b>7.3.1</b>	<b>Konstrukcija, katere stene so zgrajene iz zidanih bal.....</b>	<b>35</b>
<b>7.3.2</b>	<b>Kombinirani sistemi .....</b>	<b>36</b>

<b>8</b>	<b>SLABOSTI IN PREDNOSTI GRADNJE Z BALAMI SLAME .....</b>	<b>37</b>
<b>8.1</b>	<b>Slabosti .....</b>	<b>37</b>
<b>8.1.1</b>	<b>Lastnosti naravnega materiala niso tako kontrolirane kot lastnosti industrijskega materiala, na primer betona .....</b>	<b>37</b>
<b>8.1.2</b>	<b>Teško je graditi v modularnih merah.....</b>	<b>37</b>
<b>8.1.3</b>	<b>Občutek nelagodja .....</b>	<b>38</b>
<b>8.2</b>	<b>Prednosti.....</b>	<b>40</b>
<b>8.2.1</b>	<b>Kvaliteta bivanja .....</b>	<b>40</b>
<b>8.2.2</b>	<b>Cena.....</b>	<b>40</b>
<b>8.2.3</b>	<b>Majhna poraba energije – poceni in okolju prijaznejše življenje .....</b>	<b>41</b>
<b>8.2.4</b>	<b>Dobra zvočna izolativnost .....</b>	<b>42</b>
<b>8.2.5</b>	<b>Manjši ekološki odtis .....</b>	<b>43</b>
<b>9</b>	<b>ZAKLJUČNE UGOTOVITVE .....</b>	<b>45</b>
<b>VIRI.....</b>		<b>46</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

<b>Preglednica 1:</b>	Merjenje bal kmeta Aleša Omahna iz Gatine.....	19
<b>Preglednica 2:</b>	Določanje dimenzije tipične bale kmeta Aleša Omahna iz Gatine .....	19
<b>Preglednica 3:</b>	Sestava preizkušene stene, iz notranje proti zunanji strani .....	23
<b>Preglednica 4:</b>	Izračun prehodnosti konstrukcijskega sklopa .....	25
<b>Preglednica 5:</b>	Hipotetični izračun toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa.....	26
<b>Preglednica 6:</b>	Izračun mase 1 m <sup>2</sup> stene iz slamnatih bal.....	39
<b>Preglednica 7:</b>	Izračun mase 1 m <sup>2</sup> stene iz opečnega votlaka.....	39



**KAZALO SLIK**

<b>Slika 1:</b>	Kletka za zajce.. .....	5
<b>Slika 2:</b>	Takšne odprtine moramo med gradnjo nujno zapolniti s slamo ali mešanico slame in ilovice.....	10
<b>Slika 3:</b>	Baliranje (izdelava bal) .....	11
<b>Slika 4:</b>	Polje, posejano z balami.....	11
<b>Slika 5:</b>	Prikaz baliranja z balirnim strojem na konjski pogon.....	12
<b>Slika 6:</b>	Burke House, Nebraska, ZDA .....	13
<b>Slika 7:</b>	Fawn Lake Ranch, Hyannis, Nebraska, ZDA .....	13
<b>Slika 8:</b>	Pilgrim Holiness Church, Arthur, Nebraska, ZDA .....	14
<b>Slika 9:</b>	Maison Feuillette, Montargis, Francija .....	14
<b>Slika 10:</b>	Burrit Mansion Museum, Huntsville, Alabama, ZDA.....	14
<b>Slika 11:</b>	Majhna hiška na Islandiji.....	15
<b>Slika 12:</b>	Skupna stavba, Sieben Linden, Nemčija .....	16
<b>Slika 13:</b>	Prizidek k večstanovanjski hiši, Rotselaar, Belgija .....	16
<b>Slika 14:</b>	Otroški vrtec, Skollenborg, Norveška .....	16
<b>Slika 15:</b>	El Faro Pavillon, Zaragoza, Španija .....	17
<b>Slika 16:</b>	Družinska hiša, Kholodna Balka, Ukrajina .....	17
<b>Slika 17:</b>	Družinska hiša, Čikečka vas, Goričko, Slovenija.....	17
<b>Slika 18:</b>	Poimenovanje dimenzij .....	18
<b>Slika 19:</b>	Preizkušene bale 1, 3 in 5 .....	20
<b>Slika 20:</b>	Dimenzije bal, kot jih opiše Bruce King .....	21
<b>Slika 21:</b>	Stena pred začetkom testa.....	23
<b>Slika 22:</b>	Praktično nepoškodovana stena tik pred koncem testa .....	23
<b>Slika 23:</b>	Prerez samonosilne stene iz slamnatih bal .....	29
<b>Slika 24:</b>	Simulacija potresa na samonosilni konstrukciji iz slamnatih bal .....	31
<b>Slika 25:</b>	Prva dvonadstropna samonosilna hiša iz slamnatih bal v Veliki Britaniji.....	32
<b>Slika 26:</b>	Bodoča dnevna soba v hiši, ki jo je zgradil Kristijan Zver.....	33
<b>Slika 27:</b>	Umestitev stavbe v okolje.....	34
<b>Slika 28:</b>	Panel, uporabljen pri gradnji .....	35

<b>Slika 29:</b>	Običajna bala (desna) in skrajšana bala št. 3 (leva) .....	38
<b>Slika 30:</b>	Gradnja v lastni režiji .....	41
<b>Slika 31:</b>	V ospredju hiša iz slamnatih bal, posneta s toplotno kamero, v ozadju sosednja hiša .....	42
<b>Slika 32:</b>	Gradbeni odpadki .....	43

## 1 UVOD

Ko berem razna strokovna besedila o naravni gradnji ali poslušam pogovore ljudi, prijateljev, znancev, neredko dobim občutek, kot da govorimo o nečem povsem novem, o velikih inovacijah, da gre za popolnoma nov način razmišljanja.

A če malo pomislim ... Mar nismo vso človeško zgodovino do industrijske revolucije v veliki meri gradili z naravnimi materiali? Mar ni bil najbolj predelan material kovina, pa še ta je bil predrag, da bi se uporabljal v preprostem graditeljstvu? Spadam v generacijo, katere stari starši so v svoji mladosti še gradili predvsem iz lokalno pridobljenih naravnih materialov. Uporabljali so materiale, katerih kakovost je bila dokazana z izkušnjami, ki so jih skozi dolga leta pridobivali njihovi predniki.

Z neposrednimi informacijami o gradnji z naravnimi materiali sem se prvič srečal poleti leta 2009 med enomesečnim delom na ekološki kmetiji Longo Mai v Železni Kaplji na Avstrijskem Koroškem. Kasneje sem o tem veliko razmišljal. Spomladi leta 2010 sem se med prostovoljnim delom v Komratu v Moldaviji srečal z njihovim tradicionalnim načinom gradnje, za katerega sem pozneje spoznal, da je precej podoben prekmurskemu. Tam sem tudi prvič slišal za gradnjo iz slamnatih bal in si takšno hišo v fazi gradnje tudi ogledal v bližini Odese v Ukrajini. Način gradnje me je prevzel in želel sem si ga bolje spoznati. Predvsem sem pričakoval, da bom odkril pomembne pomanjkljivosti, ki bodo moje začetno navdušenje ohladile. Po vrnitvi v Slovenijo sem spoznal graditelja Kristijana Zvera, ki si je zgradil svojo hišo iz slamnatih bal in se s takšno gradnjo tudi profesionalno ukvarja. Kristijan je v času gradnje organiziral delavnice naravne gradnje, kjer je udeležencem velikodušno, z navdušenjem in brezplačno razdal svoje znanje, med njimi tudi meni.

Iz vedno večjega zanimanja za gradnjo iz slamnatih bal je nastala tudi ideja za to diplomsko nalogo. V njej se trudim kratko, jedrnato in kar se da razumljivo opisati lastnosti materiala, zgodovino uporabe slamnatih bal in uporabo slamnatih bal v sodobnem gradbeništvu, hkrati pa razjasniti nekatere tipične pomisleke o takšni gradnji.

## 2 OPIS DIPLOMSKE NALOGE PO POGlavJIH

Za večjo preglednost na začetku na kratko povzemam vsebino diplomske naloge po poglavjih.

- **Poglavje 3: Slama in slamnate bale**

V začetnem poglavju se lotim opisa materialov – najprej slame in nato še slamnatih bal. Razložim pomembno razliko med slamo in senom, povzamem bistvene lastnosti bal, primernih za gradnjo, in osvetlim dva pogosta pomisleka glede uporabe slame za gradnjo.

- **Poglavje 4: Zgodovina uporabe slamnatih bal v gradbeništvu**

Opišem zgodovino uporabe slamnatih bal v gradbeništvu. Začnem z izumom balirnega stroja na konjski pogon, ko so se prvič pojavile slamnate bale. Nadaljujem s prvimi zgradbami v Nebraski v ZDA, nato opišem gradnjo po drugi svetovni vojni in na koncu še sodobno ekološko gradnjo od leta 1989 do danes. Vsako obdobje je predstavljeno s fotografijami hiš, zgrajenih v tistem obdobju.

- **Poglavje 5: Dimenzije bal**

Opišem izmere bal, ki so proizvedene v moji okolici. Opišem tudi dimenzije, kot jih navaja Bruce King v svoji knjigi *Design of Straw Buildings*.

- **Poglavje 6: Testi in certifikati**

Na tem mestu opišem dva testa požarne odpornosti in toplotne prevodnosti stene iz slamnatih bal. Testa sta bila tudi podlagi za pridobivanje certifikatov.

- **Poglavje 7: Vrste konstrukcij in njihove značilnosti**

Navajam in opišem osnovne vrste konstrukcij iz slamnatih bal ter njihove značilnosti, prednosti in slabosti. Opišem še protipotresni test samonosilne konstrukcije iz slamnatih bal.

- **Poglavje 8: Slabosti in prednosti gradnje iz slamnatih bal**

Dotaknem se nekaterih glavnih prednosti, slabosti in pomislekov glede uporabe slamnatih bal za gradnjo.

- **Poglavje 9: Sklepi**

Na kratko povzamem nekaj ključnih ugotovitev.

- **Poglavje 10: Viri**

Navedem vire. Ločeno navajam pisne vire, filme in elektronske vire.

### **3 SLAMA IN SLAMNATE BALE**

#### **3.1 Slama**

Večina ljudi sicer ve, kaj je slama, kljub temu pa bom v nadaljevanju pojem na kratko razložil.

##### **3.1.1 Slama, seno in razlika med njima**

Slama so posušena stebela žit (pšenice, pire, ajde, rža, riža ...) brez žitnega klasa, torej tudi brez zrnja. Zrna se v večji meri uporabljajo kot krma za živino, pa tudi za proizvodnjo moke in nekaterih drugih živil, na primer kosmičev. Največ moke se porabi za kruh in testenine. Žita so po mojem védenju v Sloveniji najpogostejša hrana. Slama pa, kmetje to dobro vedo, ni uporabna niti za krmo živine, ker ne vsebuje omembe vrednih hranilnih snovi. Pri nas se slama uporablja predvsem za nastiljanje živini, na področjih velikih žitnih polj po Evropi in Ameriki pa je slama mnogokrat zgolj stranski in neuporaben produkt proizvodnje hrane in zato na voljo praktično zastonj. Tudi pri nas sicer nima velike ekonomske vrednosti – slamnata bala stane približno 1 evro.

Seno je posušena trava, v nekaterih koncih Slovenije imenovano tudi »mrva«. Vključno s cvetovi, semeni in plodovi vsebuje precej hranilnih snovi. Kmetje tudi to dobro vedo, zato z njo krmijo živino. Pozneje bomo videli, zakaj je vsebnost hranil pomembna.

Slama in seno se razlikujeta tudi na videz, po barvi in sestavi. Slama je zlatorumenkaste barve, njene bilke so debele nekaj milimetrov. Seno je zelenkaste barve, njegove bilke so precej tanjše, redko debelejše od 2 milimetrov.



**Slika 1:** Kletka za zajce. V njej je zelenkasto seno za zajčjo večerjo in zlatorumena slama za spanje na mehkem.

### 3.1.2 Sestava pšenične slame

Hans Günther Hirschberg v svojem priročniku *Handbuch Verfahrenstechnik und Anlagenbau* navaja sledeča razmerja snovi v pšenični slami:

**Celuloza**, 35–39 % volumna

Celuloza je homopolisaharid iz  $\beta$ -D-glukopiranoznih enot, povezanih z (1 - - 4)-glikozidnimi vezmi. Od drugih rastlinskih polisaharidov se razlikuje po tem, da sestoji iz zelo dolgih molekulskih verig, vsebuje le en ponavljajoči se heksozni ostanek in je sestavljena iz kristalov. Zaradi svojih kemičnih in fizikalnih lastnosti kot tudi supermolekularne zgradbe predstavlja glavno sestavino rastlinskih celičnih sten in tako tudi slame. Linearne celulozne molekule močno težijo k tvorbi intra- in intermolekularnih vodikovih vezi, zato se združujejo v mikrofibrile, v katerih se menjavajo kristaliti, kjer celulozne molekule potekajo paralelno, z amorfnimi regijami (Čufar, 2006).

**Hemiceluloze**, 22–24 % volumna

To so necelulozni polisaharidi. Za razliko od celuloze jih sestavljajo različne sladkorne enote. Njihove molekularne verige so razvejane in precej krajše od celuloze (Čufar, 2006).

**Lignin**, 18–25 % volumna

Lignin je mešan polimerizat. Lignini niso kemične spojine v klasičnem smislu, ker nimajo enotne strukture niti določljive relativne molekularne mase. Ko se odložita celuloza in hemiceluloze, lignini prepojijo medcelične prostore in prostore v celični steni. Po končani lignifikaciji (olesenitvi) kot tridimenzionalne tvorbe zapolnjujejo prostore med fibrilami celične stene (Čufar, 2006).

**Druge snovi**, 13–17 % volumna

Od teh snovi prevladuje silicijev dioksid, ki je anorganska snov. Večja kot je njegova vsebnost v slami, bolj je odporna proti požaru in razpadanju.

Slama drugih žit ima precej podobno, ne pa popolnoma enake sestave. Podrobno opisujem pšenico, ker je v Sloveniji trenutno najbolj zastopana.

### 3.1.3 Uporabiti slamo iz klasično ali biološko pridelanega žita?

O tem, ali za gradnjo uporabiti slamo iz klasično ali biološko pridelanega žita, obstajajo različna mnenja. Dejstvo je, da je slama iz biološko pridelanega žita primerna in priporočljiva. Ob uporabi takšne slame smo lahko povsem prepričani, da objekt v okolico ne bo oddajal nobenih strupov. Slama, pridobljena na tak način, je preverjeno dovolj trajna, saj so vsi najstarejši objekti iz slamnatih bal, ki so stari tudi preko 100 let, narejeni iz biološko predelane in kemično neobdelane slame.

Res pa je tudi, da ne moremo vseh umetnih gnojil in škropiv metati v isti koš. Nekatera škropiva se razgradijo že precej preden se slama požanje, druga pa za to potrebujejo več let. Problematična sta lahko dušik in fosfor, ki ju vsebuje marsikatero umetno gnojilo. Dušik in fosfor pospešujeta rast in povečujeta pridelek, kar je s kmetijskega stališča sicer pozitivno, z okoljevarstvenega in gradbenega stališča pa ne. Za kmeta je pozitiven stranski učinek dušika in fosforja hitrejše gnitje slame, z gradbenega stališča pa je to seveda pomanjkljivost.



Z dobro zaščito proti vlagi je tudi slama iz klasično pridelanega žita dovolj trajna, če pa imamo na izbiro več različnih vrst slame, je seveda koristno izbrati najbolj kakovostno.

### **3.2 Slamnata bala**

Slamnata bala je stisnjena slama, povezana v valje ali kvadre. Slednjim kmetje in graditelji ponavadi rečejo kar kocke. V gradbeništvu ima večjo uporabno vrednost bala, povezana v kvadre. Običajno je povezana s polipropilensko vrvjo, uporablja se tudi vrv iz konoplje. Precej redkeje se uporablja žica ali kakšen drug material. Bale, ki se uporabljajo v graditeljstvu, so običajno povezane z dvema ali tremi vrvmi. V razvitih državah se uporabljajo za gradnjo tudi velike kockaste bale. V tem primeru je za vgrajevanje potreben žerjav ali avtodvigalo, saj so pretežke za ročno premikanje.

#### **3.2.1 Kakšne bale so ustrezne za gradnjo?**

V Sloveniji zelo pogoste male kvadraste bale, ki jih naredi vaš bližnji kmet, so načeloma primerne za graditeljstvo. Z njimi je mogoče delati ročno. Sicer pa nam izkušnje in laboratorijski preizkusi jasno kažejo pet lastnosti slamnatih bal, ki so za gradnjo nujno potrebne.

- **Vsebnost vlage**

Manjša kot je vsebnost vlage v balah, boljše je. Če relativna vlažnost v bali daljše obdobje presega 30 %, obstaja resna nevarnost gnitja in pojava plesni.

- **Prostorninska masa**

Suha prostorninska masa mora biti v splošnem vsaj  $100 \text{ kg/m}^3$ , če se bala uporablja za samonosilno konstrukcijo. Bruce King v svoji knjigi *Design of Straw Bale Buildings* takole opisuje ugotavljanje ustreznosti suhe prostorninske mase na samem gradbišču: Balo primemo z eno roko na sredini ene vrvi.. Ko je bala dvignjena, razdalja med slamo in vrvjo ne sme biti večja kot za eno pest. Balirni stroji so običajno nastavljeni tako, da balo stisnejo kmetijski uporabi primerno. Za gradnjo je treba balo stisniti močneje ter tako povečati prostorninsko maso. Večina balirnih strojev omogoča prilagoditev te nastavitve.

- **Zgodovina posamezne bale**

Na balah, ki so sicer suhe, a so v preteklosti že bile namočene, se na območjih, kjer se je plesen začela širiti, pokažejo sive ali črne lise. Takšne bale je treba vedno izločiti in se jih ne sme uporabiti za gradnjo, tudi če so v času gradnje suhe. Če se takšne bale kadar koli namočijo, je namreč precej verjetno, da bodo začele kmalu ponovno plesneti ali gniti in bodo, kar je najslabše, plesen in gnilobo razširile tudi na sosednje bale.

- **Dolžina stebel (posameznih slamic)**

Obstaja več različnih vrst kombajnov za žetev žita. Nekateri že med žetvijo delajo bale, spet drugi slamo izločijo in bale naredijo pozneje z balirnim strojem. Pomembno je, da so stebila povprečno dolga najmanj 25 cm. Daljša kot so stebila, bolj kompaktna in s tem primernejša za gradnjo je bala.

Pri nas so kombajni običajno takšni, da žito samo požanjejo ter izločijo slamo, bale pa dela balirni stroj. Kombajn požanje žito približno 10 cm od tal. Nekateri kmetje kasneje tudi to pokosijo s kosilnicami. V balah, pridobljenih iz te slame, je torej največja dolžina stebel samo 10 cm, kar je neprimerno za gradnjo. Ker ne moremo vsake bale razdreti in preveriti dolžine stebel, je pomembno, da kmeta, od katerega kupujemo, poznamo in mu zaupamo. Vseeno je smiselno dolžino stebel preveriti na naključno izbranem vzorcu bal.

- **Bale morajo biti iz slame, ne iz sena**

Razloge za to opisujem v nadaljevanju.

### 3.2.2 Vlažnost in glodavci

- **Vlažnost**

Trajnost konstrukcije iz slamnatih bal je v veliki meri odvisna od pravilnega načina gradnje, ki omogoča vzdrževanje nizkega nivoja vlažnosti v stenah. Slama je v suhem stanju praktično nerazgradljiva, jasno pa je, da se stena, izpostavljena stalni vlagi, hitro razgrajuje. Če vlaga v slami preseže 30 %, obstaja resna nevarnost gnitja in pojava plesni, zato je treba pri gradnji

posebno pozornost nameniti zagotavljanju suhosti slame. Slamo je treba za vsako ceno ubraniti pred vplivom talne vlage, padavin ali pretirane kondenzacije. Hiše iz slamnatih bal so zato pogosto s točkovnimi temelji dvignjene nad nivo terena, da dobimo prezračevana tla. S tem se konstrukcijo že v osnovi odmakne od talne vode, prav tako pa mora biti spodnja vrsta bal s hidroizolacijo ločena od temelja. Izjema je primer, ko je temelj iz materiala, ki onemogoča kapilarni dvig talne vode.

Pomembno je, da so bale pri vgradnji dovolj suhe ter da jih med gradnjo ne namoči dež. Če se to slučajno zgodi, je treba namočene bale izločiti in jih pred vgradnjo dobro posušiti. Tiste bale, pri katerih se je pojavila plesen ali gniloba, moramo zavreči. Posebej pazljivi moramo biti tudi pri napeljavi vodovodnih inštalacij in kanalizacije.

- **Glodavci**

Osnovni material, iz katerega je sestavljena slama, je celuloza. Ker vemo, da je celuloza tudi glavna sestavina lesa, je skrb pred glodavci odveč. Glodavci slame in lesa ne jedo. Asistent dr. Igor Šantavec s Katedre za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani mi je to dejstvo pojasnil s tem, da v slami praktično ni hranilnih snovi. Hranilne snovi so v zrnju, ki pa je odstranjeno. Seveda nekaj zrnja ostane v slami, vendar je to običajno zelo majhna količina, vsega skupaj le kakšen promil, kar je približno 5 kilogramov na hektar. Glede na to, da iz hektarja slame dobimo približno 150 slamnatih bal, to pomeni, da je v vsaki bali navadno le okoli 30 g hranilne snovi, kar znese 1 promil mase bale. Vseeno pa dr. Šantavec opozarja, da je treba biti pazljiv, saj je slama je namreč (prav tako kot mineralna volna ali stiropor) lahko prostor bivanja glodavcev, če jim to omogočimo.

Glodavcem moramo torej preprečiti, da bi se naselili v slamo. Konstrukcijski sistemi morajo biti povsod zaprti in brez lukenj. Med gradnjo je treba vse morebitne luknje popolnoma zapolniti s slamo ali slamnato-ilovnato mešanico.

Slama je za glodavce privlačna zgolj kot življenjski prostor in ne kot hrana. Njihovo naselitev in bivanje onemogoči kakovostno ometana ali kako drugače zaprta stena iz slamnatih bal.



**Slika 2:** Takšne odprtine moramo med gradnjo nujno zapolniti s slamo ali mešanico slame in ilovice.



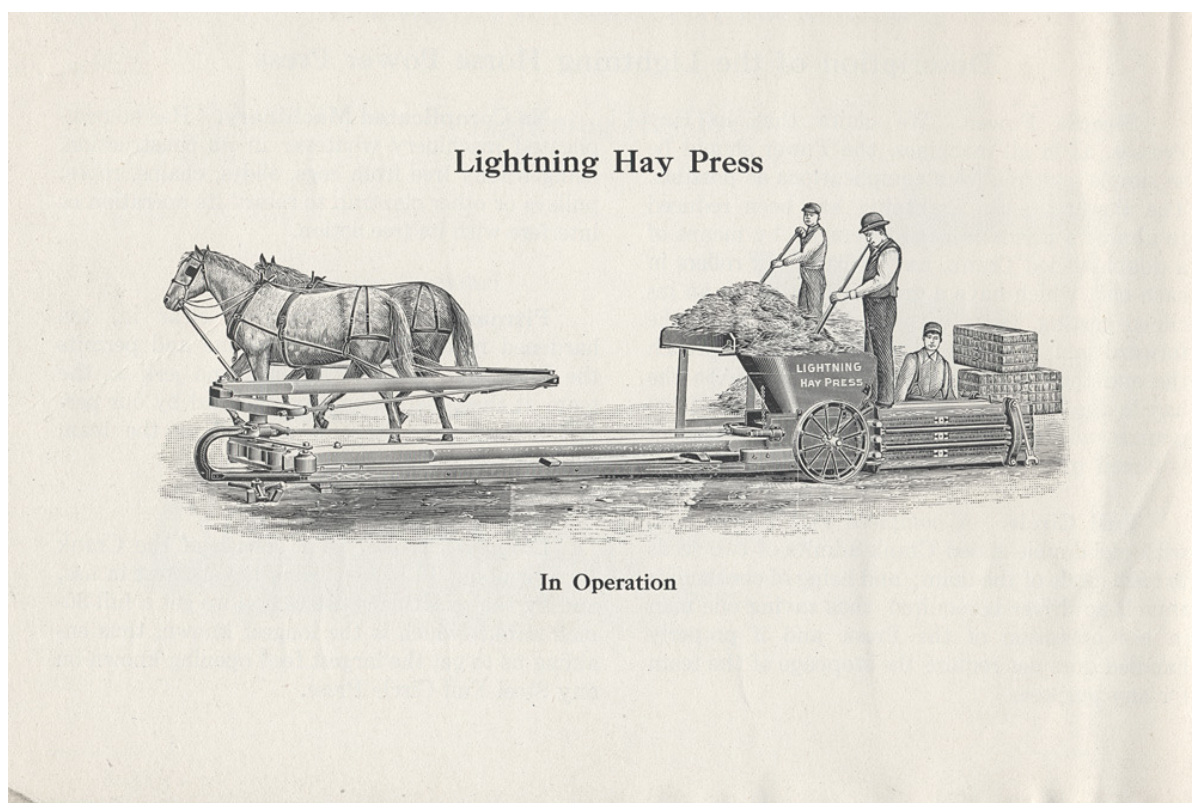
**Slika 3:** Baliranje (izdelava bal)



**Slika 4:** Polje, posejano z balami

#### 4 ZGODOVINA UPORABE SLAMNATIH BAL V GRADBENIŠTVU

Uporaba slame kot gradbenega materiala sega daleč v zgodovino. Slama se je uporabljala predvsem kot sestavni del najrazličnejših malt in ometov ter za kritje streh. Gradnja s slamnatimi balami se je začela skoraj sočasno z iznajdbo balirnih strojev okrog leta 1875.



**Slika 5:** Prikaz baliranja z balirnim strojem na konjski pogon

Prvi balirni stroji so bili, kot prikazuje slika 5, na konjski pogon. Kljub temu so izdelali bale zadostne kakovosti za preprosto gradnjo. Praktično v vsej meni znani literaturi veljajo kot prve znane konstrukcije iz slamnatih bal tiste, ki so jih zgradili evropski priseljenci v zvezni državi Nebraska v ZDA. Poljedelci so živeli na rodovitni zemlji, ki je bila zaradi reliefa tudi lahka za obdelavo, lesa za gradnjo pa jim je primanjkovalo. Ob iznajdbi balirnega stroja so se poljedelci prav kmalu domislili, da bi slamnate bale lahko zložili skupaj in si naredili začasna bivališča kar na poljih, ki so jih obdelovali. Kmalu so ugotovili, da so bivališča vzdržljiva in

prijetna za bivanje – tako poleti kot pozimi. Sčasoma so, iz praktičnih razlogov, vedno več začasnih bivališč uporabljali kot stalna.

Najstarejši dokumentiran objekt iz slamnatih bal je šola, zgrajena leta 1886 v bližini kraja Bayard v Nebraski v ZDA. Tehnika gradnje te šole se je pozneje v literaturi uveljavila kot »tehnika Nebraska«. V naslednjih desetletjih je zabeleženih več objektov iz slamnatih bal v zveznih državah Nebraska in Arizona v ZDA. Še vedno so v uporabi nekateri objekti, ki so bili zgrajeni kmalu po letu 1900.

#### 4.1 Stavbe, zgrajene v prvi polovici 20. stoletja

Med letoma 1900 in 1950 je bila slamnata bala precej pogosto uporabljena kot gradbeni material v ZDA, predvsem v zveznih državah Nebraska, Južna Dakota in Georgia. V literaturi sem poiskal fotografije nekaj najzanimivejših primerov iz tega časa, tudi prvo poznano gradnjo v Evropi.

---

**Slika 6:** Burke House, Nebraska, ZDA (vir: <http://thelaststraw.org/sban/tour/tour.html>)

Velja za najstarejšo poznano gradnjo iz slamnatih bal, ki je še vedno v uporabi. Zgrajena je bila leta 1903.



---

**Slika 7:** Fawn Lake Ranch, Hyannis, Nebraska, ZDA

(vir:

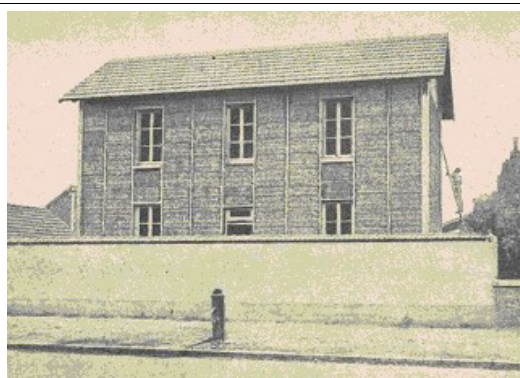
<http://thelaststraw.org/sban/tour/tour.html>)

Na ranču sta bila med letoma 1900 in 1914 zgrajena dva objekta iz slamnatih bal – domačija in hiša, v kateri so prenočevali najeti delavci na kmetiji. Objekta sta še vedno v uporabi. Na fotografiji je domačija.

---

**Slika 8:** Pilgrim Holiness Church, Arthur,Nebraska, ZDA (vir: <http://www.wikipedia.org>)

Cerkev je zgrajena leta 1928. Ker so bili drugi gradbeni materiali nedosegljivi ali predragi, so za gradnjo uporabili slamnate bale. Cerkev še vedno stoji in služi svojemu namenu. Uvrščena je v Nacionalni register zgodovinskih krajev v ZDA.

**Slika 9:** Maison Feuillette, Montargis, Francija

100 m<sup>2</sup> velika družinska hiša je zgrajena leta 1921 in je najstarejši poznani objekt iz slamnatih bal v Evropi ter obenem tudi najstarejši dvonadstropni objekt iz slamnatih bal na svetu. Še vedno je naseljena.

**Slika 10:** Burrit Mansion Museum, Huntsville, Alabama, ZDA

Dr. William Henry Burrit si je svoje sanjsko domovanje zamislil kot dvorec iz slamnatih bal. Zgrajen je bil leta 1938, že leta 1955 pa ga je dr. Burrit podaril mestu Huntsville. Dvorec je zgrajen iz 2200 slamnatih bal. Skupaj s pripadajočim parkom je še danes v uporabi kot etnološki muzej.

**4.2 Stavbe, zgrajene po 2. svetovni vojni**

Po letu 1950 je v ZDA prišlo do precejšnjega razvoja tudi na področju gradbenih materialov. Slamnata bala kot gradbeni material je opazno izgubila svojo veljavo. Med letoma 1950 in 1970 je bilo v svetovnem merilu zgrajenih zelo malo meni poznanih dokumentiranih stavb.



Šele po letu 1970 so se ljudje spet začeli zavedati prednosti gradnje z naravnimi in preizkušenimi materiali. V zadnjih letih se vse bolj zavedamo kompleksnega vpliva objekta na okolje v celotnem življenjskem ciklu, ki zajema obdobje gradnje, obdobje uporabe ter proces rušenja in deponiranja gradbenih odpadkov. V tem obdobju je v Evropi še vedno zelo malo novogradenj, grajenih iz slamnatih bal.

### 4.3 Sodobna gradnja – od leta 1989 naprej

Do leta 1989 je bila gradnja iz slamnatih bal v Evropi prepuščena domačim graditeljem. Kdor je želel imeti takšno hišo, si jo je moral bodisi zgraditi sam bodisi poznati ljudi, ki so mu jo zgradili. Leta 1989 pa je bila v Veliki Britaniji zgrajena prva hiša iz slamnatih bal, ki jo je postavilo podjetje, specializirano za ta način gradnje. Do leta 1995 je bilo v Veliki Britaniji, na Norveškem in v Franciji zgrajeno okoli 40 hiš iz slamnatih bal, do leta 2001 pa po vsej Evropi še okrog 400. Leto 1998 je bilo prelomno za gradnjo iz slamnatih bal v Evropi. Tega leta so v Bretaniji v Franciji organizirali prvo mednarodno srečanje graditeljev iz slamnatih bal. Istega leta je bil na Nizozemskem organiziran seminar o gradnji iz slamnatih bal. Kmalu po tem sta bili izdani prvi dve gradbeni dovoljenji za hiši iz slamnatih bal v Evropi. V obdobju po letu 2000 se je gradnja iz slamnatih bal razširila po vseh celinah. V Evropi se je razširila od Grčije do Norveške in od Portugalske do Rusije. V Sloveniji je meni znanih pet hiš, zgrajenih iz slamnatih bal. Tudi za to obdobje prilagam nekaj fotografij, večinoma iz Evrope.



**Slika 11:** Majhna hiška na Islandiji

Zgrajena leta 1999. Po besedah lastnika je prva hiša iz slamnatih bal na Islandiji.

---

**Slika 12:** Skupna stavba, Sieben Linden,

Nemčija (vir: <http://www.siebenlinden.de>)

Postavljena je leta 1999 v eko vasi Sieben Linden v Nemčiji. Njena posebnost je uporaba starih, tradicionalnih tehnologij med gradnjo.



**Slika 13:** Prizidek k večstanovanjski hiši, Rotselaar, Belgija

Prizidek je bil zgrajen leta 2003. V večstanovanjski hiši so prej živele 3 družine, zdaj pa v prizidku živita še 2 novi družini.

**Slika 14:** Otroški vrtec, Skollenborg, Norveška

Norveška arhitekta Gaia Tjome in Rolf Jacobsen sta zasnovala objekt otroškega vrtca, ki je leta 2007 prejel občinsko arhitekturno nagrado. Stavba je pokrita z zeleno streho.





**Slika 15:** El Faro Pavillon, Zaragoza, Španija (vir: <http://www.elfaro2008.org>)

25 metrov visok stolp, postavljen za potrebe Expa 2008, je zasnoval arhitekt Ricardo Higuera. Po besedah organizatorjev Expa 2008 mora El Faro postati simbol upanja in inovativnih sprememb, predvsem na področju vodovarstva. Stolp je tako popularen, da ima celo svojo spletno stran v treh jezikih (<http://www.elfaro2008.org>).

**Slika 16:** Družinska hiša, Kholodna Balka, Ukrajina (vir: Luka Lampret)

Hišo sem obiskal v fazi gradnje, konec julija 2010. Graditelj in lastnik Anatolij organizira brezplačne delavnice za tiste, ki si želijo naučiti tehnike gradnje. V državah, kakršna je Ukrajina, je material v primerjavi z delom še posebej drag, zato so slamnate bale kot poceni in kakovosten material zelo primerne za gradnjo.



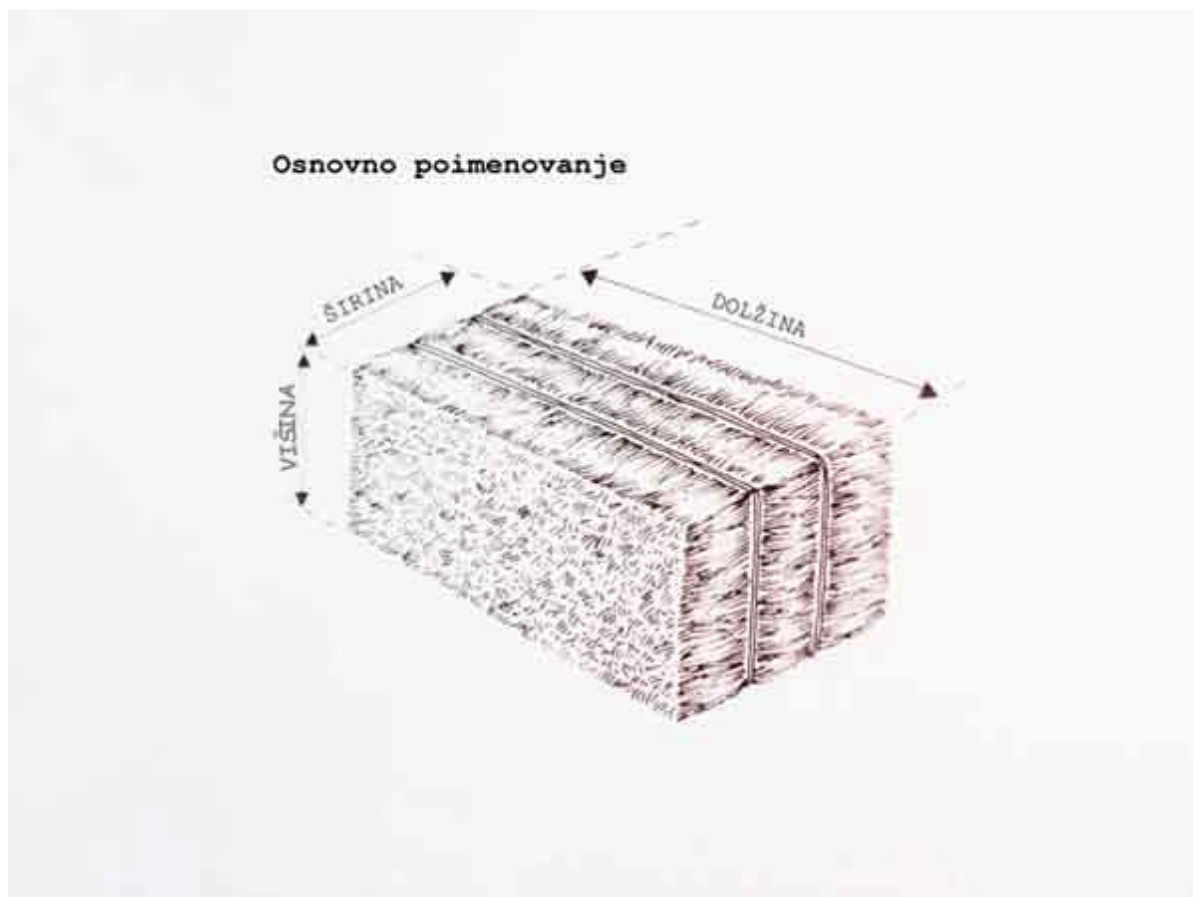
**Slika 17:** Družinska hiša, Čikečka vas, Goričko, Slovenija (vir: Kristijan Zver)

Hiša (na desni) je v veliki meri postavljena med delavnicami gradnje iz slamnatih bal, ki jih je brezplačno organiziral graditelj Kristijan Zver. Ima leseno nosilno konstrukcijo. Arhitektonsko je izjemno domiselno zasnovana. Pokrivala jo bo zelena streha.

Na levi je vrtna lopa iz slamnatih bal, ki je zgrajena kot samonosilna konstrukcija.

## 5 DIMENZIJE BAL

Obstaja veliko različnih dimenzij slamnatih bal, odvisno od stroja za baliranje. Osredotočil se bom na bale, ki so najlažje dostopne v moji okolici. Te bale bom tudi podrobno opisal. Nekatero druge dimenzije bal, ki obstajajo, bom samo omenil.



**Slika 18:** Poimenovanje dimenzij

### 5.1 Dimenzije tipične bale v moji okolici

V različni literaturi so različni podatki o tipičnih dimenzijah slamnatih bal. Menim, da je najbolje uporabljati lokalne gradbene materiale, zato sem se osredotočil na slamnate bale, ki jih delajo lokalni kmetje in so tipične v moji okolici.

Ker so balirni stroji razmeroma dragi glede na velikost kmetij na slovenskem podeželju, je pogosta praksa, da ga ima v lasti samo en kmet v vsaki vasi ali v vsakih nekaj vaseh. Ti kmetje potem balirajo za vso vas ali za več bližnjih vasi. Sam sem doma iz Gatine, to je vasica, tri kilometre oddaljena od Grosuplja, zato sem preučil dimenzije bal, ki jih dela lokalni kmet in moj sosed Aleš Omahen. Bale sem tehtal in meril 13. oktobra 2010, stare pa so bile približno 15 mesecev. Vzorec mi je predstavljalo 5 bal, ki jih je Aleš naredil s svojim balirnim strojem. Najprej sem jih stehal ter iz nadaljnjega merjenja izločil 2 bali, ki sta najbolj izstopali od povprečja.

**Preglednica 1:** Merjenje bal kmeta Aleša Omahna iz Gatine

Številka bale	Masa bale [kg]	Odstopanje od povprečne mase [kg]	Izločene bale
1	14,65	-1,28	
2	18,84	2,91	Izločena
3	15,18	-0,75	
4	13,40	-2,53	Izločena
5	17,60	1,67	
<b>Povprečna masa:</b>	<b>15,93 kg</b>		

Bali 2 in 4 torej najbolj odstopata, zato sem za določitev dimenzij izmeril le bale 1, 3 in 5.

**Preglednica 2:** Določanje dimenzije tipične bale kmeta Aleša Omahna iz Gatine

Št. bale	Masa [kg]	Dolžina [cm]	Širina [cm]	Višina [cm]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Prostorninska masa [kg/m <sup>3</sup> ]
1	14,65	92	50	40	0,184	79,62
3	15,18	95	51	40	0,194	78,25
5	17,60	93	50	40	0,186	94,62
<b>Povprečje</b>	<b>15,81</b>	<b>93,3</b>	<b>50,3</b>	<b>40</b>	<b>0,188</b>	<b>84,10</b>



**Slika 19:** Preizkušene bale 1, 3 in 5 (vir: Luka Lampret)

Povprečna slamnata bala, stara 15 mesecev, ki jo naredi kmet Aleš Omahen iz Gatine, ima naslednje lastnosti:

Masa: 15,8 kg

Dolžina: 93,3 cm

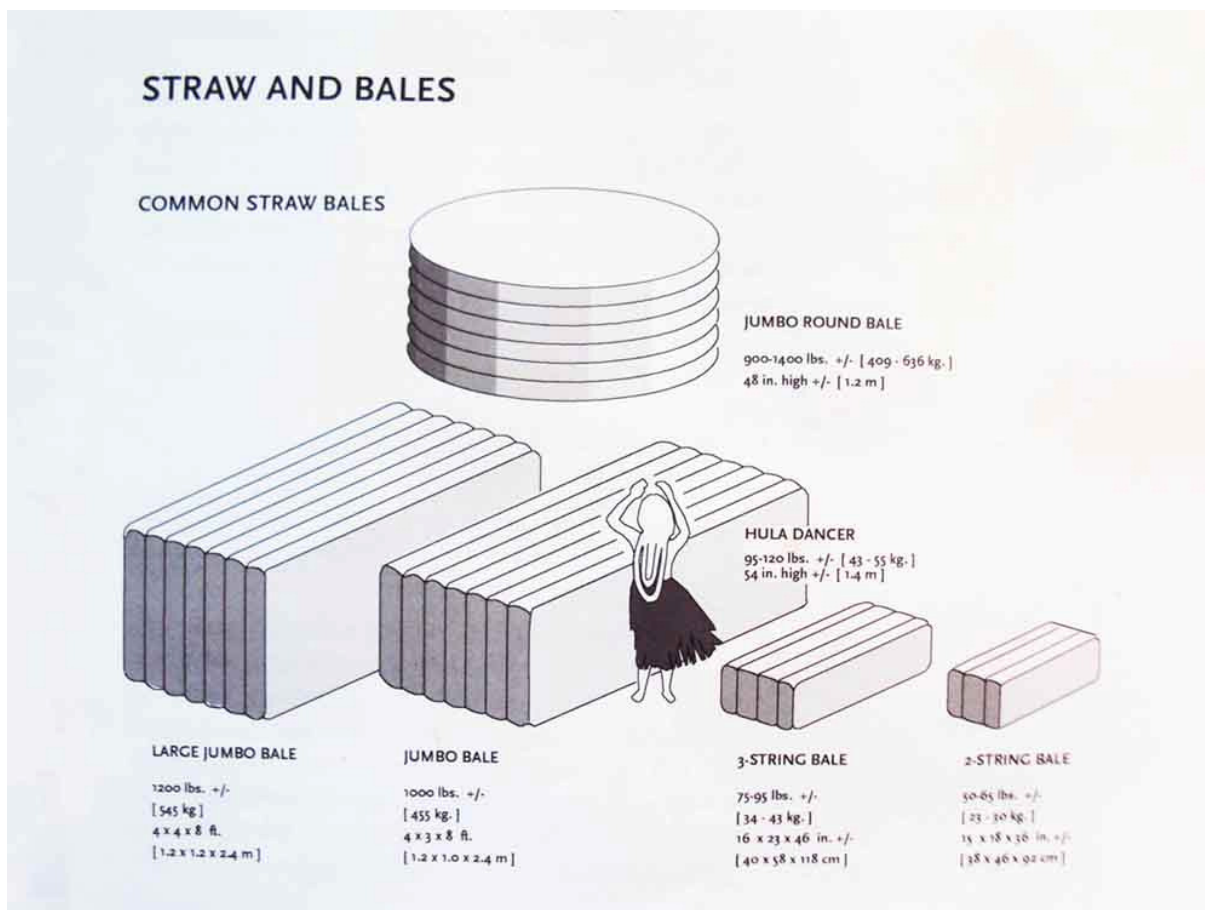
Širina: 50,3 cm

Višina: 40,0 cm

Volumen: 0,19 m<sup>3</sup>

Prostorninska masa: 84 kg/m<sup>3</sup>

## 5.2 Dimenzije slamnatih bal po knjigi *Design of Straw Bale Building*



**Slika 20:** Dimenzije bal, kot jih opiše Bruce King (vir: *Design of Straw Bale Buildings*)

Bruce King v svoji knjigi *Design of Straw Bale Building* omenja 4 različne dimenzije kvadrastih bal in okroglo balo. Okroglih bal se, kot je meni znano, v gradbeništvu še ne uporablja. Enostaven izračun pokaže, da ima najmanjša izmed bal, ki je po velikosti najbolj podobna našim lokalnim balam, precej večjo prostorninsko maso, kot naše bale. Kingova najmanjša bala ima prostorninsko maso med 143 in 187 kg/m<sup>3</sup>, medtem ko ima naša lokalna bala pol manjšo. O tem sem govoril s Kristijanom Zverom iz Čikečke vasi z Goričkega, ki se profesionalno ukvarja z gradnjo iz slamnatih bal. Pojasnil je, da prostorninska masa ni odvisna od tega, kako stare so bale, in da so bale, ki se uporabljajo za gradnjo, približno 2-krat bolj stisnjene kot običajne bale. S tem se nosilnost stene, grajene iz takšnih bal, občutno poveča.

## 6 TESTI IN CERTIFIKATI

Slamnata bala je na podlagi testov in pridobljenih certifikatov že uraden gradbeni material v številnih državah, tudi v nam bližnji Avstriji in Nemčiji. V Sloveniji slamnata bala kot takšna še ni certificirana. Za certificiranje je treba ali izvesti zahtevane teste ali pridobiti rezultate testov iz ene od držav Evropske Unije in jih predložiti Certifikacijski službi Zavoda za gradbeništvo Republike Slovenije.

Obstaja nekaj novejših testov fizikalnih lastnosti slamnatih bal, predvsem gre za teste nemškega združenja graditeljev iz slamnatih bal FASBA. Težava pa nastopi pri pridobivanju rezultatov testov in certifikatov na vpogled. Testi so namreč dragi in izvajalci jih večinoma na vpogled ponujajo zgolj za plačilo. Posledično navajam starejše teste, ki sem jih uspel izbrskati na spletnih straneh.

### 6.1 Preizkus gorljivosti stene iz slamnatih bal, ometane z obeh strani

Na Tehniški univerzi na Dunaju so 7. februarja leta 2000 izvedli test gorljivosti stene iz slamnatih bal. S testom so, zame nekoliko presenetljivo, dokazali, da ometana stena iz slamnatih bal izpolnjuje standard požarne odpornosti F90. To pomeni, da je stena iz slamnatih bal odporna na požar najmanj 90 minut, preden zagori. Poskus na kratko opisujem, uradno dokumentacijo poskusa pa prilagam v prilogi A diplomske naloge.

- **Naročnik preizkusa:** Skupina za prilagojeno tehnologijo (Gruppe Angepaßte Technologie) Tehniške univerze na Dunaju.
- **Preizkušanec:** Nenosilna stena iz slamnatih bal, ometana iz obeh strani.
- **Hipoteza:** Stena iz slamnatih bal se uvrsti v F90 razred požarne odpornosti po avstrijskem standardu (Österreichische Norm) ÖNORM B 3800-2; sprejetem leta 1997.



**Preglednica 3:** Sestava preizkušene stene, iz notranje proti zunanji strani

<b>Funkcija</b>	<b>Material</b>	<b>Debelina [cm]</b>
finalna obdelava	ilovnat omet	2
nosilna konstrukcija ilovnatega ometa	z žico vezana trstika	-
parna ovira	öko-natur parna ovira	-
nosilna konstrukcija parne ovire	smrekove deske	2
nosilna konstrukcija, zvočna izolacija, toplotna izolacija	slamnate bale	35
nosilna konstrukcija parne ovire	smrekove deske	2
parna ovira	öko-natur parna ovira	-
nosilna konstrukcija apnenega ometa	z žico vezana trstika	-
finalna obdelava	apnen omet	2
<b>Skupna debelina:</b>		<b>43 cm</b>

**Slika 21:** Stena pred začetkom testa

(vir: <http://www.oekofilm.de/strohballen-brandschutztest.phtml>)

**Slika 22:** Praktično nepoškodovana stena tik

pred koncem testa (vir: <http://www.oekofilm.de/strohballen-brandschutztest.phtml> )

- **Princip ocenjevanja po standardu ÖNORM B 3800:**

V skladu s tem standardom morajo preizkušanci ves čas preizkusa preprečevati prodiranje ognja, dima ter ostalih plinov, produktov gorenja, skozi preizkušanece. Prehod plinov je v manjših količinah sicer dovoljen, vendar se mora popolnoma ustaviti po odstranitvi vira gorenja.

Vsaka točka vzorca na nasprotni strani od vira gorenja se lahko med preizkusom segreje za največ 180 K, pri čemer se stena v povprečju lahko segreje za največ 140 K glede na začetno temperaturo. Debelina ometa na tej strani mora biti na koncu preizkusa po vsej površini debela vsaj 1 cm, takšna stena pa mora prestatiti vse obremenilne preizkuse.

- **Zaključek:**

Stena iz slamnatih bal je izpolnila zahteve standarda ÖNORM B 3800. Na osnovi eksperimentalnih rezultatov je testirana stena iz slamnatih bal prejela certifikat F90. To pomeni, da ometana stena iz slamnatih bal dosega vsaj 90-minutno odpornost proti požaru.

Certifikat F90 je primerljiv s certifikatom REI90 po standardu SIST EN 13501-2. Razred REI90 zagotavlja nosilnost, celovitost in izolativnost v obdobju 90 minut v primeru požara po evropskem standardu.

## **6.2 Določitev toplotne prevodnosti (K-faktorja)**

Nemški strokovnjak za gradnjo iz slamnatih bal ing. Dirk Scharmer je leta 2003 vložil zahtevek za določitev k-faktorja slamnate bale. Preizkus je bil izveden v skladu s standardom DIN 52612. Iz preizkusa izhaja, da ima slamnata bala toplotno prevodnost 0,045 W/mK. Certifikat, pridobljen na podlagi preizkusa, prilagam v prilogi B te diplomske naloge.

### 6.3 Toplotna izolativnost stene iz slamnatih bal

Na spletni strani avstrijskega Inštituta za gradbeno biologijo ([www.baubiologie.at](http://www.baubiologie.at)) je v preprosti tabeli prikazan izračun toplotne prehodnosti tipičnega konstrukcijskega sklopa stene iz slamnatih bal. Tabelo v celoti povzemam v preglednici 4.

**Preglednica 4:** Izračun prehodnosti konstrukcijskega sklopa za steno skupne debeline 44 cm, pri čemer je debelina bal 35 cm

	Debelina d [m]	Toplotna prehodnost k [W/mK]	Toplotni upor plasti R=d/k [m <sup>2</sup> K/W]
<b>upor mejne zračne plasti</b>	-	-	0,17
<b>ilovnat omet</b>	0,025	0,80	0,03
<b>lesene letve</b>	0,02	0,13	0,15
<b>slamnate bale (pokončno)</b>	0,35	0,045	7,78
<b>lesene letve</b>	0,02	0,13	0,15
<b>apnen omet</b>	0,025	0,87	0,03
<b>upor mejne zračne plasti</b>	-	-	0,17
<b>vsota:</b>	0,44		8,48
<b>Toplotna prehodnost konstrukcijskega sklopa U=1/R [W/m<sup>2</sup>K]</b>			<b>U= 0,12 W/m<sup>2</sup>K(*)</b>

(\*) Toplotna prehodnost konstrukcijskega sklopa, imenovana tudi U faktor, nam pove, kolikšen toplotni tok P [W] pri stacionarnih pogojih preteče skozi konstrukcijski sklop površine 1m<sup>2</sup> pri temperaturni razliki 1K med obema stranema zidu.

Konstruktivski sklop doseže U faktor 0,12 W/m<sup>2</sup>K, s čimer zadosti standardu pasivne hiše, ki zahteva toplotno prehodnost U vseh gradbenih elementov pod 0,15 W/m<sup>2</sup>K. Pogoji, da stena temu zadosti, so seveda tudi kakovostna vgrajena ter dovolj izolativna okna, vrata in morebitne druge odprtine.

Stena iz slamnatih bal je v praksi navadno debelejša. Slamnate bale v Sloveniji so namreč običajno široke 50 cm. Zato sem izračunal še, kakšno toplotno prehodnost ima takšna stena.

**Preglednica 5:** Hipotetični izračun toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa za steno skupne debeline 59 cm, pri čemer je debelina bal 50 cm

	<b>Debelina d [m]</b>	<b>Toplotna prehodnost k [W/mK]</b>	<b>Toplotni upor plasti R=d/k [m<sup>2</sup>K/W]</b>
<b>upor mejne zračne plasti</b>	-	-	0,17
<b>ilovnat omet</b>	0,025	0,80	0,03
<b>lesene letve</b>	0,02	0,13	0,15
<b>slamnate bale (pokončno)</b>	0,50	0,045	11,11
<b>lesene letve</b>	0,02	0,13	0,15
<b>apnen omet</b>	0,025	0,87	0,03
<b>upor mejne zračne plasti</b>	-	-	0,17
<b>vsota:</b>	0,59		11,81
<b>Toplotna prehodnost konstrukcijskega sklopa U=1/R [W/m<sup>2</sup>K]</b>			<b>U= 0,08 W/m<sup>2</sup>K</b>

U faktor je v tem primeru še bolj pod standardom pasivne hiše. Stena iz slamnatih bal torej v smislu toplotne izolativnosti zadosti ne samo standardom običajne gradnje, temveč celo doseže in preseže standarde pasivne hiše.

## 7 VRSTE KONSTRUKCIJ IN NJIHOVE ZNAČILNOSTI

Če gledamo z zornega kota nosilnosti, obstajata dve osnovni vrsti nosilnih konstrukcij iz slamnatih bal, opisal sem ju spodaj.

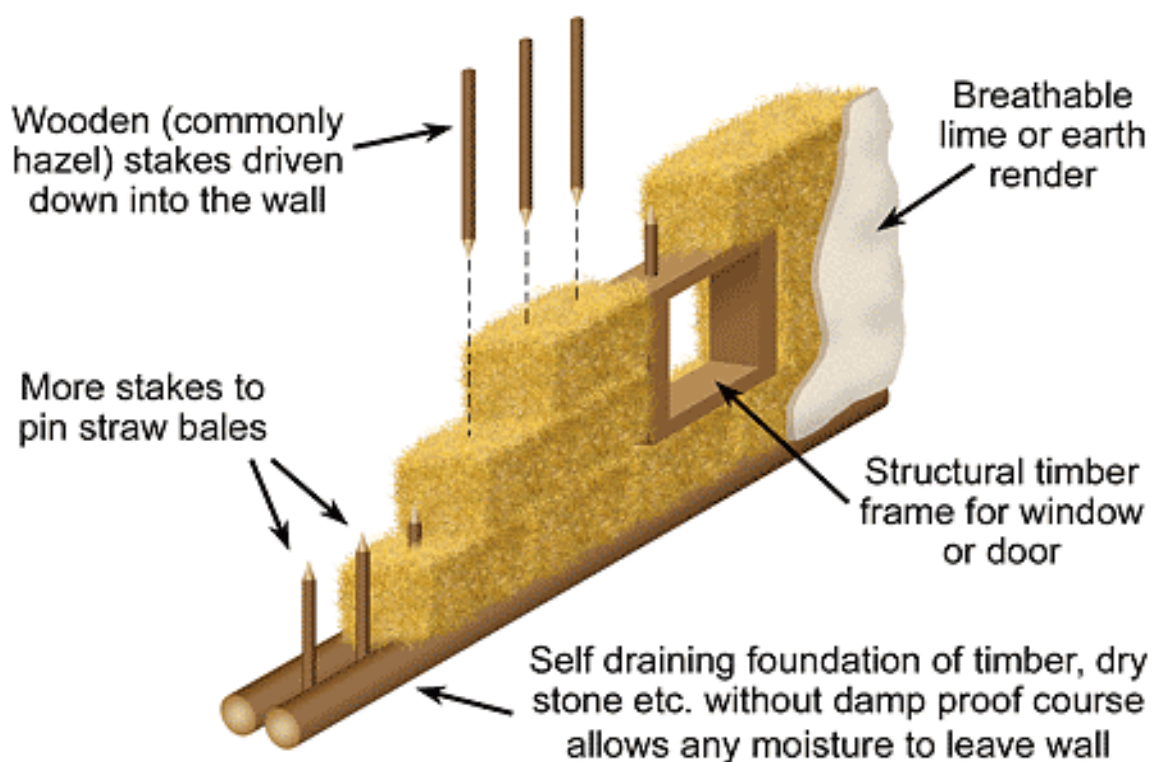
### 7.1 Samonosilna konstrukcija

To je konstrukcija, katere osnovni nosilni sistem so slamnate bale. Slamnate bale so v tem primeru »*all round*« material, ki zagotavlja nosilnost in zvočno ter toplotno izolativnost obenem. Z zgodovinskega stališča je takšna konstrukcija najbolj osnovna in izvirna. Prve stavbe iz slamnatih bal so bile zgrajene v Nebraski v ZDA prav v tem konstrukcijskem sistemu, zato se ga v literaturi večkrat najde tudi pod imenom »tehnika Nebraska«. Nekatere stare stavbe, zgrajene na ta način, še vedno stojijo in služijo svojemu namenu, čeprav so bile bale nekoč precej manj stisnjene, kot zahtevajo današnji gradbeni normativi.

Takšna konstrukcija zahteva nekaj dodatne pozornosti pri gradnji, saj se v marsikaterem parametru obnaša drugače kot klasična gradnja. Pri gradnji objektov iz slamnatih bal v tehniki Nebraska je med drugim potrebno biti pozoren na naslednja dejstva:

- Slamnate bale so podajni material. Pred ometavanjem jih je treba obvezno prednapeti ali predobtežiti, sicer lahko pride do težav pri poznejših spremenljivih vplivih, kot je recimo sneg, ali pa celo že pri obtežitvi s stalno obtežbo ostrešja in strehe. Glavni težavi, ki se lahko pojavita, sta neenakomerno posedanje objekta, ki lahko negativno vpliva na stabilnost in videz objekta ter razpokanost in odpadanje ometa.

- Glede na to, da so bale tudi nosilna konstrukcija, je precej pomembno pravilno vgrajevanje odprtin. Zadeva se rešuje na več načinov. Med bolj elegantnimi sta vgrajevanje lesene preklade ali vstavljanje lesenega okvirja. Leseni okvir brez preklade mora prenesti vse obtežne vplive, ki bi jih prenesle slamnate bale, predvsem gre tu za vertikalno obtežbo. Zato je mogoče celo boljši način vstavljanje lesene preklade in pod preklado še lesenega okvirja. Pri tem moramo paziti, da ne ustvarimo toplotnih mostov.
- Takšna konstrukcija v osnovi pravzaprav nima nobenih vertikalnih elementov. S stališča varnosti pred vplivom močnega vetra in na našem območju predvsem potresa se to lahko reši tako, da steno vertikalno prebodemo z armaturnimi palicami, ki pridejo do temelja. Armaturne palice so lahko jeklene, lahko pa tudi iz kakšnega drugega materiala. Ponekod po svetu za ta namen uporabljajo bambus. Če uporabimo jeklene palice, jih lahko izkoristimo tudi kot pripomoček za prednapenjanje stene.
- V vogalih, po potrebi pa tudi vmes, moramo bale povezati s horizontalnimi elementi. Lahko uporabimo lesene letve, lahko armaturne palice, lahko tudi kaj drugega.
- V času gradnje moramo konstrukcijo zavarovati pred vremenskimi vplivi.
- Pred pritrditvijo ostrešja moramo položiti elemente, ki bodo zagotavljali enakomeren prenos obtežbe strehe na steno iz slamnatih bal. Primerne so lesene lege, ki pa morajo biti na spodnjem koncu vsaj tako široke, kot je široka stena. Ponavadi so dovolj že leseni plohi.



**Slika 23:** Prerez samonosilne stene iz slamnatih bal

Moderne samonosilne konstrukcije iz slamnatih bal so danes stare šele okrog 20 let, zato iz praktičnih izkušenj še ne moremo zanesljivo sklepati na trajnost takšne konstrukcije. Vendarle pa lahko trdimo, da so se za zdaj, ob upoštevanju zgoraj navedenih osnovnih pravil (in še kakšnega, ki ga nisem opisal), izkazale kot dobre in kakovostne. Osebno me preseneča predvsem odpornost proti potresu, ki so jo dokazali ob simulaciji močnega potresa v laboratoriju.

### 7.1.1 Test potresne odpornosti samonosilne konstrukcije iz slamnatih bal

Oktober leta 2005 je Pakistan prizadel potres z magnitudo 7,6 stopnje po Richterjevi lestvici. V naravni nesreči katastrofalnih posledic je umrlo več kot 100.000 ljudi, porušenih je bilo čez 750.000 objektov, preko 3 milijone ljudi pa je ostalo brez strehe nad glavo.

V slabše razvitih državah, kot je Pakistan, je klasična protipotresna gradnja zelo draga in večini ljudi nedosegljiva. Kot odgovor na to se je organizacija Pakistanska gradnja iz slamnatih bal in alternativnih materialov (PAKSBAB) lotila razvoja potresno odporne metode gradnje iz slamnatih bal, ki bi bila finančno dosegljiva, energetske učinkovita in bi uporabljala lokalne materiale. Samonosilna konstrukcija iz slamnatih bal ustreza vsem tem zahtevam, zato je bil cilj projekta, da ugotovijo obnašanje takšne konstrukcije pri horizontalnih obremenitvah, predvsem v primeru potresa. Preiskava je bila opravljena v laboratoriju Univerze v Nevadi v ZDA.

Testno zgrajeni objekt je, za mnoge (tudi zame) presenetljivo, prestal potres s pospeškom tal 0,87g. Niti en del objekta se pri poskusu ni tako močno deformiral, da bi bila ogrožena življenja ljudi v objektu med potresom. Za lažjo predstavbo: V Sloveniji po izračunih Geodetskega inštituta Republike Slovenije iz leta 2001 lahko pričakujemo najmočnejše potrese na območju Ljubljane in Posočja, kjer horizontalni pospešek tal lahko doseže 0,25g (velja za trdna tla razreda A po Eurocode 8). Pri potresu v Pakistanu, ki je sprožil razvoj potresno odpornih in cenovno ugodnih samonosilnih objektov iz slamnatih bal, so se po podatkih Pakistanskega geološkega inštituta (GSP) največji pospeški tal gibali med 0,30 in 0,60 g.





**Slika 24:** Simulacija potresa na samonosilni konstrukciji iz slamnatih bal, Univerza v Nevadi, 2009 (vir: [http://nees.unr.edu/projects/straw\\_bale\\_house.html](http://nees.unr.edu/projects/straw_bale_house.html))

V veliki večini so samonosilne konstrukcije zgrajene kot enoetažne, vendar to nikakor ni pravilo ali zahteva. Do zdaj že obstaja nekaj dvoetažnih objektov, zgrajenih na ta način. Meni sicer niso znani potresni testi dvoetažnih sistemov, zato ne vem, ali je objekt lahko zgrajen potresno varno, ali ne. Eden prvih takšnih objektov na svetu je zgrajen na območju, kjer močnih potresov ne gre pričakovati, v Walesu v Veliki Britaniji.



**Slika 25:** Prva dvonadstropna samonosilna hiša iz slamnatih bal v Veliki Britaniji (vir: Domen Zupan)

## 7.2 Bale kot izolacija v endoskeletni leseni konstrukciji

To je način gradnje, kjer vse stalne in spremenljive obtežne in druge vplive prevzame endoskeletna konstrukcija, ki je običajno lesena, lahko pa tudi iz kakšnega drugega materiala. Slamnate bale so v takšni konstrukciji zgolj toplotna in zvočna izolacija, vsem statičnim zahtevam pa zadosti osnovna, endoskeletna konstrukcija.

Takšen način gradnje je v Evropi za zdaj daleč najbolj pogost, saj hiša, grajena samo iz slamnatih bal, še ne vzbuja zadostnega zaupanja potencialnih uporabnikov. Takšen način gradnje tudi ne zahteva nobenega dokazovanja nosilnosti slamnatih bal. Statik izračuna skelet, kot da slamnatih bal ne bi bilo, stena iz bal pa konstrukcijo le še dodatno utrdi. Za ta način gradnje se tudi v Sloveniji že lahko pridobi gradbeno dovoljenje. Na ta način je mogoče

potresno varno graditi tudi velike večnadstropne objekte. Pri tej različici konstrukcije odpadejo izzivi s posedanjem, vgrajevanjem odprtin in montažo ostrešja. Tudi problem zavarovanja bal pred vremenskimi vplivi v času gradnje je precej manjši, saj streha lahko stoji še preden se začnejo vgrajevati bale.

Na takšen način so zgrajeni vsi meni poznani objekti iz slamnatih bal v Sloveniji. Sam sem obiskal takšno hišo v fazi gradnje pri Kristjanu Zveru v Čikečki vasi na Goričkem. Njegov način je sicer malo drugačen, saj je stena iz slamnatih bal popolnoma ločena od osnovne nosilne konstrukcije, je odmaknjena ven od nosilne konstrukcije. Stena ima tudi svojo lastno lahko pomožno nosilno konstrukcijo, ki je mestoma pritrjena na osnovno leseno nosilno konstrukcijo.



**Slika 26:** Bodoča dnevna soba v hiši, ki jo je zgradil Kristijan Zver: lepo je vidna osnovna lesena nosilna konstrukcija in stena iz slamnatih bal na zunanji strani (vir: Luka Lampret)

### 7.3 Drugi načini gradnje

Seveda obstaja še nešteto drugih možnosti, ki pa so v večini zelo blizu ene ali druge zgoraj opisane variante. Predvsem obstajajo načini, ko stena iz slamnatih bal prevzame en del vertikalnih obtežnih vplivov, leseni okvir pa drugi del. Tako se izognemo nepotrebnim potratom materiala, do katere pride pri polno nosilnem endoskeletu. Jasno je vendar, da neupoštevanje nosilnosti slamnatih bal ni realno.

Naj na kratko opišem še nekaj zanimivejših vrst konstrukcij:

- **Prefabricirane konstrukcije**

Pri tej vrsti konstrukcije ne gre za gradnjo neposredno iz slamnatih bal. Slama je namreč vgrajena v prefabricirane elemente. Vendar si kot inovativna rešitev, ki omogoča hitro gradnjo, zasluži omembo. V univerzitetnem kampusu univerze v Nottinghamu (University of Nottingham) v Veliki Britaniji prav zdaj gradijo največjo stavbo iz slamnatih bal iz prefabriciranih elementov v Veliki Britaniji. Objekt se gradi v zelo urbanem okolju in je kot tak pomemben s stališča prodora gradnje iz slamnatih bal v urbano okolje. V stavbi bodo laboratoriji in pisarne veterinarske šole (School of Veterinary Medical Sciences) ter šole za biološke vede (School of Biosciences).



**Slika 27:** Umestitev stavbe v okolje (vir: <http://inhabitat.com/work-begins-on-the-uks-largest-prefabricated-strawbale-building>)



**Slika 28:** Panel, uporabljen pri gradnji (vir: <http://inhabitat.com/work-begins-on-the-uks-largest-prefabricated-strawbale-building>)

### **7.3.1 Konstrukcija, katere stene so zgrajene iz zidanih bal**

Način gradnje v tem primeru je zelo podoben načinu gradnje z opečnatimi zidaki. Med balami je plast malte, debela približno 2,5 cm. Enako se vmes vstavljajo tudi stebri in preklade. Način gradnje so razvili v Kanadi, naredili so tudi vse potrebne preiskave za certificiranje tako zgrajene stene.

Način gradnje se ni pretirano uveljavil iz več razlogov:

- Gradnja na tak način je zahtevna.
- Porabi se velika količina cementa, kar gradnjo precej podraži.
- Raziskave vlažnosti so pokazale, da obstaja nevarnost prevelike količine vlage v balah po vlivanju malte. Če je stena še ometana s cementno malto, to precej zmanjša sposobnost prehoda vodne pare. Vlaga se lahko začne nabirati v slami. Stalna vlaga pa je največji sovražnik gradnje z balami slame, vlažna slama namreč začne plesniti, s tem pa postane takšen objekt nevaren za zdravje oziroma sčasoma tudi propade. Prav tako se s povečano stopnjo vlage zmanjša izolativna sposobnost stene.
- Plasti malte predstavljajo toplotne mostove.

### **7.3.2 Kombinirani sistemi**

Obstaja še mnogo kombiniranih sistemov za gradnjo objektov iz slamnatih bal. Praktično vsak graditelj v hišo vgrajuje svoje posebnosti. Graditi je mogoče zelo klasično, možno je uporabiti žagan les, mogoče pa je graditi tudi bolj neobičajno, z okroglim lesom. Običajno se uporablja les iglavcev, ker je bolj raven, nekaterim pa je bolj všeč les listavcev, kjer pravzaprav noben kos ni enak. Oblike so od zelo običajnih, pri katerih je na zunaj nemogoče videti, da je objekt grajen iz slamnatih bal, do zelo domiselnih, lahko bi rekli tudi ekstravagantnih. Za osnovno nosilno konstrukcijo je poleg lesa mogoče uporabiti tudi razne druge materiale, na primer jeklene profile. Slama kot material nam omogoča veliko različnih možnosti oblikovanja, v kombinaciji z ilovnatim ometom pa celo možnost enostavnega poznejšega preoblikovanja brez izgube materialov.

## **8 SLABOSTI IN PREDNOSTI GRADNJE Z BALAMI SLAME**

### **8.1 Slabosti**

#### **8.1.1 Lastnosti naravnega materiala niso tako kontrolirane kot lastnosti industrijskega materiala, na primer betona**

Zato so v predpisih večje rezerve (varnostni faktorji) pri nosilnosti, kar pomeni konstrukcijske elemente (predvsem stene) velikih debelin.

#### **8.1.2 Težko je graditi v modularnih merah**

Slamnate bale ena drugi niso popolnoma enake, zato je praktično nemogoče graditi v modularnih merah. To pomeni, da bomo morali na več delih hiše (predvsem v vogalih in pri odprtinah) bale krajšati. Ker sem prebral, da bale ni problem skrajšati in obenem ne razrahljati, sem opravil mini test. Od bal, ki sem jih že meril za potrebe prostorninske mase, sem vzel balo številka 3, jo skrajšal s 95 na 76 centimetrov ter na novo zavezal. Masa se je zmanjšala s 15,18 kg na 12,00 kg. Prostorninska masa se je zmanjšala z  $78,25 \text{ kg/m}^3$  na  $77,40 \text{ kg/m}^3$ , torej komaj za dober odstotek. Prevezoval sem sam in brez pripomočkov. Iz tega sledi, da se da balo preprosto skrajšati ne da bi se razrahljala. Z uporabo enostavnih pripomočkov, kot je povezovalni trak (bolj znan kot »gurtna«), se da balo narediti celo bolj kompaktno, kot pride iz balirnega stroja. Kot sem že omenil, so bale, ki se uporabljajo za gradnjo, približno dvakrat bolj stisnjene. Za krajšanje tistih bal si je verjetno treba pomagati s kakšnim preprostim pripomočkom.



**Slika 29:** Običajna bala (desna) in skrajšana bala št. 3 (leva) (vir: Luka Lampret)

### 8.1.3 Občutek nelagodja

Ljudje na splošno ne maramo sprememb. Radi imamo ustaljene ritme v življenju, zato je tudi »običajno« hišo iz opeke ali betona. Čeprav se je skozi celotno človeško zgodovino, do industrijske dobe, gradilo izključno iz naravnih materialov, bi se marsikdo v hiši iz slamnatih bal počutil nelagodno. Kdo vendar ne pozna pravljice o volku in treh pujskih, v kateri je volk odpihnil hišico prvega pujska, zgrajeno iz slame. Ko gremo od pravljic k realnosti, pridemo do naslednjih ugotovitev. Slamnata bala za gradnjo ima prostorninsko maso približno  $150 \text{ kg/m}^3$ . Recimo, da je stena iz slamnatih bal ometana z ilovnatim ometom. Prostorninska masa ilovice je približno  $2000 \text{ kg/m}^3$ . Ilovnat omet je debel 3 cm. V spodnji tabeli bom predstavil, koliko tehta kvadratni meter takšne stene. Ker imata slamnata bala in ilovica večinski vpliv na težo, bom ostale materiale zanemaril in njihove mase ne bom upošteval.



**Preglednica 6:** Izračun mase 1 m<sup>2</sup> stene iz slamnatih bal

Material	Prostorninska masa [kg/m <sup>3</sup> ]	Debelina [m]	Masa/m <sup>2</sup> [kg/m <sup>2</sup> ]
ilovnat omet	2000	0,03	60
stena iz slamnatih bal	150	0,50	75
ilovnat omet	2000	0,03	60
<b>skupaj:</b>		0,56	<b>195</b>

**Preglednica 7:** Izračun mase 1 m<sup>2</sup> stene iz opečnega votlaka

Material	Prostorninska masa [kg/m <sup>3</sup> ]	Debelina [m]	Masa/m <sup>2</sup> [kg/m <sup>2</sup> ]
Cementna malta	2100	0,02	42
Opečni votlak	800	0,29	232
polistiren	25	0,12	3
Apnena malta	2100	0,04	84
<b>Skupaj:</b>		0,47	<b>361</b>

Opečna stena je torej približno 1,5 krat težja od stene, grajene iz slamnatih bal. Če primerjamo zgolj opečno steno, brez ometov, vidimo, da je takšna stena zgolj za slabih 20 % težja od stene iz slamnatih bal, a nas pri opečni steni nikoli ni strah, da jo bo odpihnil veter, tudi če še ni ometana. Torej se nam ni treba bati usode nesrečnega prašička, stena iz slamnatih bal je verjetno dovolj težka, da je veter ne ogroža. Če je seveda ustrezno grajena.

Pa vendar, življenje niso samo gola dejstva, zato je vseeno mogoče, da se kdo v hiši, grajeni iz slamnatih bal, ne počuti varno. Zato to omenjam kot negativno lastnost.

## **8.2 Prednosti**

### **8.2.1 Kvaliteta bivanja**

Po raziskavi avstrijskega inštituta za gradbeno biologijo, opravljeni leta 2000 pod nadzorstvom avstrijskega ministrstva za zdravje, v povprečju kar 90 % svojega časa preživimo v zaprtih prostorih, tako da ni težko ugotoviti, da je kakovost bivanja v teh prostorih bistvenega pomena za zdravo življenje in zdravje. Za kakovost življenja v notranjih prostorih so poleg notranje ureditve in svetlobe zelo pomembni dejavniki tudi vlažnost, temperatura in zračenje. Stena iz slamnatih bal, ometana z ilovico, učinkovito in na naraven način uravnava vlažnost v prostoru. Pomemben dejavnik, ki izboljšuje kvaliteto bivanja v takšnem objektu, je majhna temperaturna razlika med steno in zrakom. Ta razlika je v najhladnejših mesecih okrog 3°C. Slama je naraven material. Če je pridobljena iz ekološke pridelave in ometana z naravnimi materiali, v okolje ne oddaja nobenih strupenih snovi. Slama je material, ki diha, kar omogoči naravno zračenje objekta grajenega iz slamnatih bal.

### **8.2.2 Cena**

Pri sodobni gradnji delež materiala predstavlja samo 10 % končne cene objekta. Če nam hišo iz slamnatih bal naredi gradbeno podjetje, verjetno gradnja ne bo nič cenejša. Seveda velja princip ponudbe in povpraševanja, ki pa zaradi majhne ponudbe in majhnega povpraševanja pri nas še ni vzpostavljen. Če si hišo naredimo sami, lahko material za hišo iz slamnatih bal (les, bale ter ilovico) dobimo za precej nižjo ceno kot cement, pesek in opeko za konvencionalno grajen objekt. Cena materiala pa je trenutno na trgu približno 10-krat manjša kot pri zidanju z opečnim votlakom.

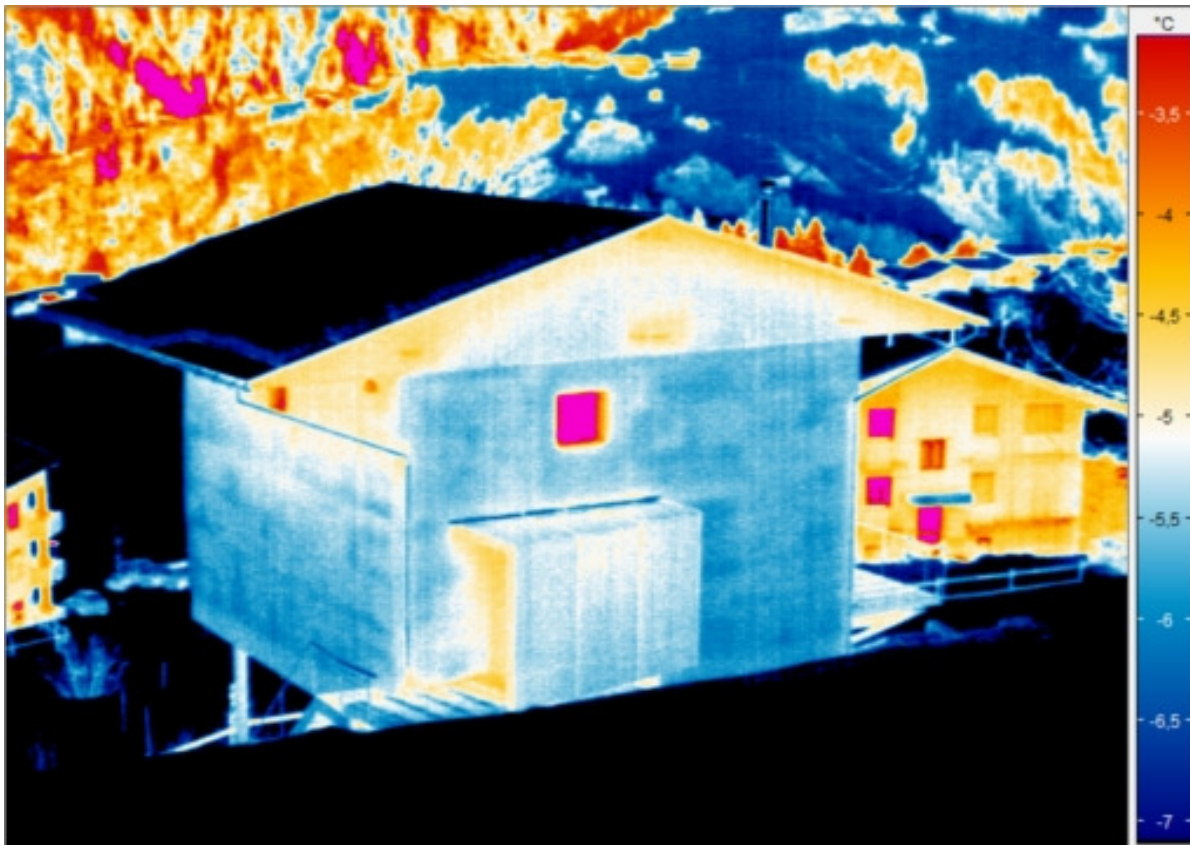


**Slika 30:** Gradnja v lastni režiji

### 8.2.3 Majhna poraba energije – poceni in okolju prijaznejše življenje

Stena iz slamnatih bal dosega in presega standarde pasivne gradnje. Standard pasivne gradnje med drugim zahteva to, da je faktor toplotne prehodnosti manjši od  $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Konstrukcijski sklop stene iz slamnatih bal ima  $U$  faktor manjši od  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Hiša iz slamnatih bal je torej hkrati tudi pasivna gradnja, čeravno jo pridevnik pasivna nekoliko zavajajoče opiše. Takšna hiša je namreč precej aktivna v odnosu do okolja, med drugim omogoča prehod vodne pare, ometana z ilovico zelo dobro regulira vlažnost in podobno. Če med gradnjo pazimo, da se izogibamo toplotnih mostov, bo življenje v takšni hiši zaradi prihranka energije pri ogrevanju izjemno ugodno. V poletnih mesecih pa, ob predpostavki, da so kvalitetno izvedeni tudi vsi detajli, ni nobene potrebe po uporabi dragih in do okolja precej obremenjujočih klimatskih naprav. Kako majhne so izgube toplote skozi stene iz slamnatih

bal je lepo razvidno iz posnetkov, narejenih s termo kamero (slika 31). Temnejša kot je modra barva, manjše so toplotne izgube. Temnejša kot je oranžna barva, večje so toplotne izgube.



**Slika 31:** V ospredju hiša iz slamnatih bal, posneta s toplotno kamero, v ozadju sosednja hiša (vir: <http://mayaguesthouse.wordpress.com/2010/12/15/thermographic-comparison-between-a-straw-bale-house-and-a-traditional-building>)

#### 8.2.4 Dobra zvočna izolativnost

Preizkus zvočne izolativnosti zunanje stene so opravili v raziskovalnem inštitutu VFA (Versuchs - und Forschungsanstal), v laboratoriju za gradbeništvo MA 39 na Dunaju. Izvedli so meritev, pri kateri je ilovnati omet nanesen neposredno na bale. Meritve so pokazale dobro zvočno dušenje, in sicer 55 decibelov dušenja. Natančnejših informacij o poskusu nisem uspel pridobiti. S precejšnjo gotovostjo lahko rečem, da se rezultat 55 dB dušenja nanaša na steno iz slamnatih bal, debeline približno 55 cm (50-centimetrska bala + ilovnat omet z obeh strani). Bale slame so porozen material. Zvok se v poroznem materialu absorbira zaradi spremembe

zvočne energije v toplotno, ki nastane pri nihanju (trenju) delcev zraka v porah materiala. Pogoj, da je koeficient absorpcije zvoka velik, je zadostna poroznost in ustrezna struktura materiala. Pomemben pogoj, da ima porozen material velik koeficient absorpcije zvoka je tudi, da so njegove pore odprte, tako da so prostornine posameznih por med seboj povezane. Vse to velja tudi za bale slame, kar je verjetno osnovni vzrok za izmerjeno učinkovito dušenje zvoka.

### 8.2.5 Manjši ekološki odtis

V praksi se danes še vedno največ govori o energetske varčnosti v fazi uporabe objekta. Ekološki odtis objekta pa je negativni vpliv, ki ga ima objekt na okolje v celotnem življenjskem ciklu, ki ga razdelimo na proizvodnjo materialov, gradnjo objekta, uporabo objekta, rušenje objekta in deponiranje odpadkov rušenja.



**Slika 32:** Gradbeni odpadki

V svetovnem merilu se kar 40 % vse porabljene energije porabi za gradnjo in vzdrževanje stavb (po filmu *Stroh im Kopf*). V Nemčiji se porabi 800 milijonov ton mineralnih gradbenih materialov vsako leto. Mineralni materiali niso obnovljivi, ne rastejo, niti niso na voljo v neomejenih količinah. Ko se življenjska doba stavbe izteče, beton in železo tvorita gore odpadkov, ki pa se zadnje čase tudi vedno pogosteje ponovno vračajo v uporabo (se reciklirajo).

Slama pa je obnovljiv material, stranski produkt proizvodnje žita. Za pridelavo tone slame potrebujemo 150 MJ energije, kar je le približno 1/50 energije, potrebne za proizvodnjo iste količine cementa. Za proizvodnjo mineralne volne pa potrebujemo celo 100-krat več energije. (po filmu *Stroh im Kopf*) Ob tem hiša iz slamnatih bal izpolnjuje in celo presega današnje kriterije pasivne gradnje, torej je energetske varčna tudi v času uporabe objekta.

## 9 ZAKLJUČNE UGOTOVITVE

Ob pisanju diplomske naloge sem prišel do nekaj ključnih ugotovitev:

- Slamnata bala je izjemno primeren material za sodobno gradbeništvo. Je simpatična zmes uporabe tisočletja starega, tradicionalnega materiala, torej slame, ter novejših tehnologij, pri čemer imam v mislih tako sam balirni stroj kot tudi tehnologijo gradnje iz bal.
- Moji pomisleki pred izdelavo diplomske naloge o težavah z glodavci, požarni ogroženosti objekta, premajhni lastni teži in še čem so bili neutemeljeni. Pravilno zgrajen objekt iz slamnatih bal je dovolj požarno varen, odporen proti glodavcem ter dovolj težak, da ga veter običajne jakosti ne odpihne.
- Slamnata bala se uporablja za gradnjo po vsem svetu. Če se omejim na Evropo, je gradnja razširjena od mrzle Norveške, do vroče, mediteranske Španije in do kontinentalne Rusije. Iz slamnatih bal je torej možno graditi na zelo različnih podnebnih območjih.

Material ima po mojem mnenju svetlo prihodnost, saj varuje naše okolje in s tem nas same. V zadnjih letih se vedno bolj zavedamo pomena ohranitve in varstva okolja. Čaka nas še najpomembnejši korak, da od zavedanja za pomen varstva okolja pridemo k dejanskemu varovanju in sobivanju z naravo. Upam, da bo ta diplomska naloga majhen kamenček v mozaiku, ki bo prispeval k temu konkretnemu koraku naprej.

## 10 VIRI

### Tiskani viri

Bandelj, M. 2006. Potresna odpornost hiše zgrajene iz lesenih okvirnih sten z balami slame. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Konstrukcijska smer: 85 str.

Corum, N. 2005. Building a Straw Bale House: The Red Feather Construction Handbook. ZDA, New York, Princeton Architectural Press: 181 str.

Čufar, K. 2006. Anatomija lesa. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: str.11

Hirschberg, H.G. 1999. Organische Naturstoffe, Lebensmittel. Hirschberg, H.G. Handbuch Verfahrenstechnik und Anlagenbau. Nemčija, Berlin, ProduServ GmbH Verlagsservice: str. 436

Hollis, M. 2005. Practical Straw Bale Building. Avstralija, Melbourne, Landlinks Press: 98 str.

Juvanec, B. 2010. Arhitektura Slovenije 2: Vernakularna arhitektura, severovzhod. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: 193 str.

King, B. 2006. Design of Straw Bale Buildings. ZDA, San Rafael, Green Building Press: 260 str.

Lacinski, P., Bergeron, M. 2000. Serious Straw Bale: A Home Construction Guide for All Climates. ZDA, White River Junction, Chelsea Green Publishing Company: 371 str.

Leskovar, M.A. 2010. Zdrav in ekološki dom. Maribor, Časopisno-založniško podjetje Večer, d.d., Naš dom: 96 str.



Minke, G., Mahlke, F. 2004. Der Strohballenbau. Nemčija, Staufen bei Freiburg, Ökobuch: 141 str.

Pravilnik o zvočni zaščiti stavb. UL RS št. 14/1999.

Swentzell Steen, A., Steen, B., Bainbridge, D. 1994. The Straw Bale House. ZDA, White River Junction, Chelsea Green Publishing Company: 297 str.

### **Filmi**

Snel, H. 2004. Stroh im Kopf. Nemčija, Belzig, Ökofilm Heidi Snel, DVD: 45 min.

### **Elektronski viri**

Baubiologie:

<http://www.baubiologie.at> (5. 10. 2010)

Ekart marketing:

<http://www.varcevanje-energije.si> (15. 11. 2010)

Fakulteta za arhitekturo Univerze v Ljubljani:

<http://www.fa.uni-lj.si> (9. 11. 2010)

Inhabitat:

<http://inhabitat.com/work-begins-on-the-uks-largest-prefabricated-strawbale-building>  
(2. 2. 2011)

La Red:

<http://www.casadepaja.org> (5. 10. 2010)

Maya-Guesthouse project:

<http://mayaguesthouse.wordpress.com/2010/12/15/thermographic-comparison-between-a-straw-bale-house-and-a-traditional-building> (1. 2. 2011)

Natural homes:

<http://naturalhomes.org/earthquakestraw.htm> (1. 2. 2011)

Ökodorf Sieben Linden:

<http://www.siebenlinden.de> (25. 10. 2010)

Ökofilm:

<http://www.oekofilm.de/strohballen-brandschutztest.phtml> (1.2.2011)

Orca:

<http://orca.skynetblogs.be> (5.10.2010)

Pabellón de Iniciativas Ciudadanas El Faro:

<http://www.elfaro2008.org> (5. 10. 2010)

Pakistan Straw Bale and Appropriate Building (PAKSBAB):

<http://www.paksbab.org> (1. 2. 2011)

Seismic Performance of Innovative Straw Bale Wall Systems:

[http://nees.unr.edu/projects/straw\\_bale\\_house/PAKSBAB\\_TestHandout\\_3\\_24\\_09.pdf](http://nees.unr.edu/projects/straw_bale_house/PAKSBAB_TestHandout_3_24_09.pdf)  
(1. 2. 2011)

The Geiger Research Institute of Sustainable Building:

<http://www.grisb.org/publications/pub14.htm> (28. 10. 2010)

The Straw Bale Association of Nebraska:

<http://thelaststraw.org/sban/tour/tour.html> (25. 10. 2010)

University of Nevada:

[http://nees.unr.edu/projects/straw\\_bale\\_house.html](http://nees.unr.edu/projects/straw_bale_house.html) (2. 2. 2011)

Wikipedia:

<http://www.wikipedia.org> (25. 10. 2010)

### **Ustni viri**

Šantavec, I. 2011. Osebna komunikacija. Ljubljana, 21. 4. 2011

Zver, K. 2010, 2011. Osebna komunikacija. Čikečka vas

## **PRILOGE**

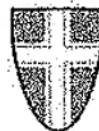
Priloga A: Certifikat požarne odpornosti stene iz slamnatih bal

Priloga B: Določanje toplotne prevodnosti slamnate bale

Gruppe Angepaßte Technologie  
Technische Universität Wien

Wiedner Hauptstrasse 8-10  
1040 Wien

MA 39 - VFA 2000-0644.04



MAGISTRAT DER STADT WIEN  
MA 39 - VFA  
MAGISTRATSABTEILUNG 39  
VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT DER STADT WIEN  
gegründet 1878  
AKKREDITIERTE PRÜF- UND ÜBERWACHUNGSSTELLE  
A-1110 Wien, Rinnböckstraße 15  
Telefon: (national 01), (international +431) 79514-8039 oder 071  
Telefax: (national 01), (international +431) 79514-99-8039 oder 071  
Internet e-mail: post@m39.magwien.gv.at

Wien, 6. Oktober 2000



## Prüfbericht

über

### das Brandverhalten einer Strohballenwand (mit Innen- und Außenputz)

- Antragsteller:** Gruppe Angepaßte Technologie  
Technische Universität Wien
- Antragsdatum:** 7. Februar 2000
- Prüfgut:** Strohballenwand in einer Holzständerkonstruktion eingebaut,  
beidseitig verputzt; Gesamtdicke 43 cm
- Prüfprogramm:** Prüfung der Strohballenwand als nichttragender, raumbegrenzender  
Bauteil hinsichtlich der Brandwiderstandsklasse F90 gemäß  
ÖNORM B 3800-2, Ausgabe 1997.
- Kurzbeurteilung:** Auf Grund der Versuchsergebnisse hat die geprüfte Strohballenwand, eingebaut in einer Holzständerkonstruktion, einem Lehm-Innenputz (2 cm), und einem Kalk-Außenputz (2 cm), mit einer Gesamtdicke von 43 cm, die Anforderungen an die Brandwiderstandsklasse F90 (brandbeständig) gemäß ÖNORM B 3800-2, Ausgabe 1997, erfüllt.

neu

Der Bericht umfasst 4 Seiten  
und 1 Beilage (8 Seiten).



Die Prüfberichte beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Alle Seiten des Berichts sind mit dem Amtssiegel der Stadt Wien versehen. Veröffentlichung und Ausleihe bedürfen der schriftlichen Bewilligung der Anstalt. Laborbücher, Gutachten und Stempelentwürfe werden im nicht akkreditierten Bereich durchgeführt. Es gelten die derzeit gültigen Allgemeinen Geschäftsbedingungen der MA 39 - VFA.

Akkreditiert mit Prüf- und Überwachungsstelle (Ö) gemäß AMA, BGG Nr. 4631/92, i. d. F. des Bundesgesetzes BGG Nr. 430/98 per Beauftragten der Bundesregierung für wirtschaftliche Angelegenheiten, GZ 207 947-0/2097 und (Ö) gemäß WRBAG, LSG Nr. 50/96 per Akkreditierungsbehörde des Österreichischen Instituts für Bautechnik, Zahl 128-100-20190-010 AM des Akkreditierungsamt bestätigt, dass die MA 39 - VFA den Anforderungen der EN 45001 und EN 45002 entspricht.

Fernschreiber  
114735

Telegrammumschrift  
MAGISTRAT WIEN

Parteienverkehr  
Montag bis Freitag, 7.30 - 15.30 Uhr

DVR:  
0000191

Bankverbindung:  
Bank Austria AG, Wien, Konto 696 254 754

MA 39 - SD 54 - 111599 - 54



## 1 Versuchsbedingungen

Die Versuchsbedingungen waren durch die ÖNORM B 3800-2, Ausgabe 1997, gegeben, wonach nichttragende, raumbegrenzende Bauteile einseitig den Temperaturen der Einheitstemperaturkurve auszusetzen sind. Während des Versuches ist der Temperaturverlauf an der feuerabgekehrten Oberfläche des Prüfkörpers zu messen und sein Verhalten zu beobachten.

## 2 Prüfkörper

Von Fachkräften des Antragstellers wurde am 18. Juli 2000 ein Wandelement mit den Abmessungen 2280 mm x 2500 mm (B x H) mittig in ein 25 cm starkes Porenbetonmauerwerk eingebaut. Die Porenbetonmauer war in einem Stahlprüfrahmen U 260, 4030 mm x 3490 mm (B x H) errichtet worden.

Der Aufbau des Prüfkörpers ist der Beilage, Seite 1 zu entnehmen.

## 3 Versuchsaufbau

Der Prüfrahmen wurde vor die Brandkammer mit der lichten Prüföffnung 2870 mm x 3050 mm (B x H) gestellt und zu dieser mit Steinwollestreifen abgedichtet. Zur Messung der Temperaturen im Brandraum waren in diesem in ca. 10 cm Abstand zum Prüfkörper 5 Thermoelemente angebracht (siehe Beilage, Seite 2). An der feuerabgekehrten Oberfläche des Prüfkörpers waren 7 Thermoelemente angeordnet (siehe Beilage, Seite 3).

Beflammt wurde die mit Lehmputz versehene Seite des Prüfkörpers.

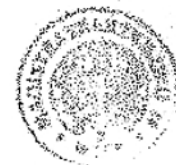
## 4 Versuchsdurchführung

Vor dem Brandversuch wurde die Kugelschlagprüfung mit einer 15 kg schweren Stahlkugel mit einer Schlagarbeit von 20 Nm gemäß ÖNORM B 3800, Teil 2, Ausgabe 1997, Pkt. 5.2.9., durchgeführt. Dabei traten keine Schäden auf.

Die Brandkammer wurde mittels zweier Ölbrenner (Heizöl extra leicht gemäß ÖNORM C 1109) beheizt. Die Regelung der Temperatur im Brandraum erfolgte nach dem Mittelwert der Brandraumtemperaturmessstellen entsprechend der Einheitstemperaturkurve.

Die Prüfung erfolgte am 25. Juli 2000.

Die Temperatur in der Versuchshalle betrug vor Versuchsbeginn 24°C. Während des Versuchs wurde im Brandraum ein Überdruck von  $10 \pm 2$  Pa aufrechterhalten.



### Beobachtungen während des Versuches:

Nach 5 Minuten trat eine Verfärbung des Lehmputzes auf (Brandraum).  
Nach 10 Minuten und 30 Sekunden begann der Lehmputz abzufallen (Brandraum).  
Nach 16 Minuten traten Risse über die gesamte Fläche auf (Brandraum).  
Nach 24 Minuten und 10 Sekunden fielen große Teile des Lehmputzes ab (Brandraum).  
Nach 25 Minuten wurde starker Mitbrand des Prüfkörpers (Brandraum) festgestellt.  
Nach 33 Minuten wurde Risse an der feuerabgekehrten Seite festgestellt.  
Nach 42 Minuten begann die Bretterschalung (Brandraum) abzufallen.  
Nach 68 Minuten wurde geringer Rauchaustritt an der feuerabgekehrten Seite festgestellt.  
Nach 90 Minuten wurde die Kugelschlagprüfung mit einer 15 kg schweren Stahlkugel mit einer Schlagarbeit von 20 Nm gemäß ÖNORM B 3800, Teil 2, Ausgabe 1997, Pkt. 5.2.9., durchgeführt, wobei der Raumabschluss gewährleistet blieb.  
Nach dem Brandversuch fanden die Löscharbeiten unter überdurchschnittlich starker Rauchentwicklung statt.

In der Beilage, Seite 4 bis Seite 6, sind die während des Versuches gemessenen Temperaturen (Brandraumtemperaturen, Temperaturen auf der feuerabgekehrten Seite) und die Verformungsmesswerte zusammengefasst.

Fotodokumentation, siehe Beilage Seite 7 bis Seite 8.

## **5 Beurteilung**

Gemäß ÖNORM B 3800, Teil 2, Ausgabe 1997, müssen Probekörper raumbegrenzender Bauteile während der Versuchsdauer das Durchdringen von Feuer, Rauch und gasförmigen Zersetzungsprodukten verhindern. Ebenso dürfen allfällige Zersetzungsprodukte aus dem Probekörper selbst nur in geringer Menge an der dem Feuer abgekehrten Seite auftreten; an dieser Seite des Probekörpers dürfen keine entzündlichen Gase auftreten, die nach Wegnahme einer fremden Zündquelle weiterbrennen.

Die Probekörper dürfen sich an dieser Seite im Mittel um nicht mehr als 140 K über ihre Temperatur bei Versuchsbeginn erwärmen. An keiner Messstelle darf sich hierbei die Temperatur um mehr als 180 K über die Anfangstemperatur erhöhen. Die Probekörper von Wänden müssen am Ende des Brandversuches vollflächig in einer Gesamtdicke ihrer Schichten von mindestens 1 cm erhalten geblieben sein und den Beanspruchungen des Schlagversuchs so widerstehen, dass ihre raumbegrenzende Wirkung gewahrt ist.

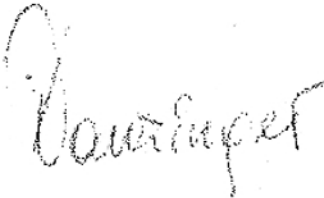
Als Bauteilabschluss gegen andere Bauteile ist, wie im gegenständlichen Versuch, eine F90 - Ausführung zu wählen.

MA 39 - VFA 2000-0644.04

Auf Grund der Versuchsergebnisse hat die geprüfte Strohballenwand, eingebaut in einer Holzständerkonstruktion, einem Lehm-Innenputz (2 cm), und einem Kalk-Außenputz (2 cm), mit einer Gesamtdicke von 43 cm, die Anforderungen an die Brandwiderstandsklasse F90 (brandbeständig) gemäß ÖNORM B 3800-2, Ausgabe 1997, erfüllt.

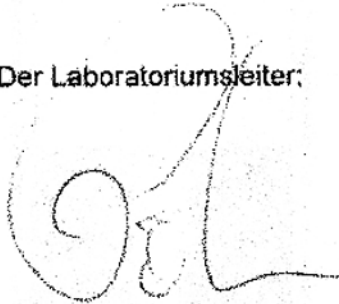
Die Gültigkeit des Prüfberichts beträgt gemäß ÖNORM B 3800 - 2 zunächst vier Jahre ab Ausstellungsdatum und kann auf Antrag um jeweils zwei Jahre verlängert werden.

Der Sachbearbeiter:



Ing. K. Danzinger

Der Laboratoriumsleiter:



Dipl. Ing. C. Pöhn  
Oberstadtbaurat

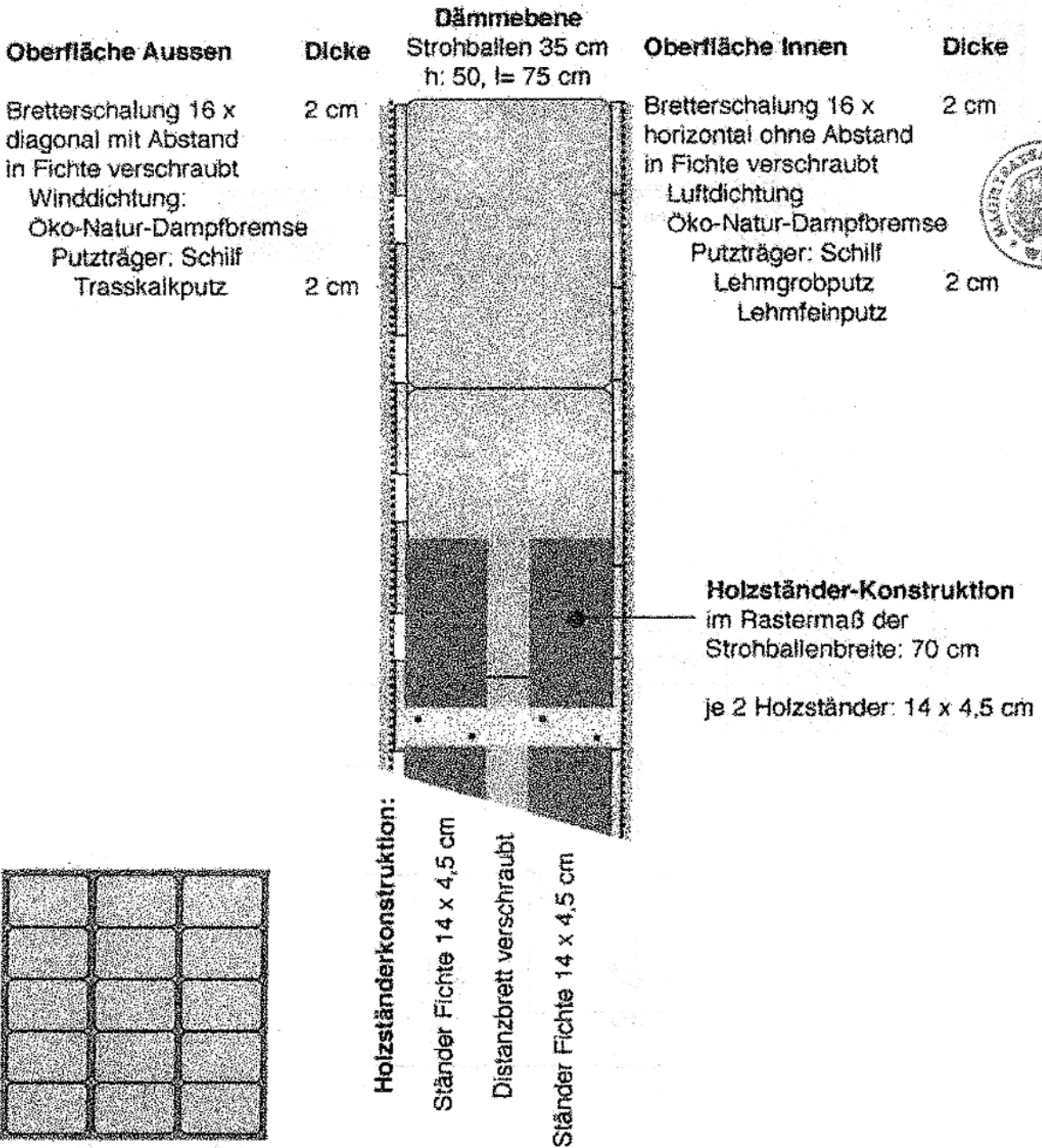
Der Leiter der Versuchs- und  
Forschungsanstalt:



Dipl. Ing. W. Fleck  
Senatsrat







**Brandmodell für F90-Überprüfung:** (b) 228 x (h) 250 cm, Dicke: 43 cm

Kenndaten Materialien:	Material	Maße	Anmerkung
Aussenputz:	Trasskalk	2 cm	verrieben
Putzträger:	Schilf		drahtgebunden, angetackert
Dampfbremse:	Öko-Natur		Kraftpapier verklebt
Bretterschalung:	Fichte	2 cm	an Konstruktion verschraubt
Wärmedämmung:	Strohballen	35 cm	Weizenstroh unbehandelt
Bretterschalung:	Fichte	2 cm	an Konstruktion verschraubt
Dampfbremse:	Öko-Natur		Kraftpapier verklebt
Putzträger:	Schilf		drahtgebunden, angetackert
Innenputz:	Lehm	2 cm	Grob- und Feinputz

## Wärmeleitfähigkeit nach DIN 52612

Prüfbericht Nr.: F.2-430/03

- Antragsteller:** Fachverb. Strohballenbau Deutschl. e.V. Dipl.-Ing. Dirk Scharmer, 21335 Lüneburg
- Materialbezeichnung:** "Strohballen"
- Materialbeschreibung:** Stroh, nach Angabe unbehandelt, zu Ballen mit den Abmessungen ca. 35 cm x 50 cm x 100 cm gepresst und verschnürt.  
(nach Angabe) Rohdichte nach Angabe: 90-110 kg/m<sup>3</sup>
- Probenahme:** Durch Antragsteller am 26.02.03 übersandt.
- Prüfeinrichtung:** Gerät für das Zweiplattenverfahren nach DIN 52612:  
Heizplatte 300 x 300 mm mit Heizring 500 x 500 mm
- Vorbereitung und Einbau des Materials:** <sup>\*)</sup> Mittelwerte (zwei Probekörper)
- |                             |                       |                             |                        |                            |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------|
| Einbaudicke <sup>*)</sup> : | 0.1000 m              | Einbaumasse <sup>*)</sup> : | 2.251 kg               | (nach Trocknung bei 70 °C) |
| Probenfläche:               | 0.2500 m <sup>2</sup> | Rohdichte <sup>*)</sup> :   | 90.0 kg/m <sup>3</sup> |                            |
- Bemerkung:** Der Strohballen wurde bei 70°C bis zur Massekonstanz getrocknet und in die der Rohdichte von 90 kg/m<sup>3</sup> entsprechende Menge in einen Sperrholzrahmen mit 100 mm gepresst. Anschließend wurde die Messung durchgeführt.

### Messwerte:

Versuch	Wärmestrom	Temperatur der		Mitteltemperatur der Probe	Temperatur- differenz an der Probe	Wärmeleitfähigkeit
		warmen Probenoberfläche	kalten			
Nr	W	°C	°C	°C	K	W/(m·K)
1	1.139	18.7	2.5	10.6	16.2	0.0380
2	1.159	31.3	15.6	23.5	15.7	0.0401
3	1.159	44.3	29.2	36.8	15.1	0.0419
4	----	----	----	----	----	----
5	----	----	----	----	----	----

Messunsicherheit: < 2%

### Angaben über das Material nach der Messung bis 44.3 °C Warmseite: <sup>\*)</sup> Mittelwerte (zwei Probekörper)

Ausbaudicke <sup>*)</sup> :	0.1000 m	Ausbaumasse <sup>*)</sup> :	2.251 kg
Rohdichte <sup>*)</sup> :	90.0 kg/m <sup>3</sup>	Masseänderung:	0.0 %

**Bemerkung:** --

### Ergebnisse:

Wärmeleitfähigkeit bei 10°C Mitteltemperatur im trockenen Zustand $\lambda_{10, tr}$ W/(m·K)	Zuschlagswert nach DIN V 4108-4 Tab. 4 Zeile 4 Z	$\lambda_{10, tr}$ mit Zuschlagswert Z $\lambda_z$ W/(m·K)	Rechenwert nach DIN 4108 $\lambda_R$ W/(m·K)
<b>0.0379</b>	<b>0.20</b>	<b>0.045</b>	<b>*)</b>

**Beurteilung:** Die gemessenen Werte der Wärmeleitfähigkeit gelten für den trockenen Zustand der geprüften Probe.  
\*) Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit kann nur im Rahmen eines bauaufsichtlichen Zulassungsverfahrens festgelegt werden.

Gräfelfing, den 02.05.2003

Sachgebietsleiter:  
*W. Albrecht*  
Dipl.-Ing. (FH) W. Albrecht



Prüfer:  
*H. Ortner*  
H. Ortner

Prüfergebnisse beziehen sich nur auf Prüfgegenstände.

Eine auszugsweise Veröffentlichung oder eine Bezugnahme auf den Prüfbericht in Druckschriften ist nur mit schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München  
Lochhamer Schlag 4 · D-82166 Gräfelfing

Telefon +49 (0)89 8 58 00-0 · Telefax +49 (0)89 8 58 00-40  
info@fiw-muenchen.de · www.fiw-muenchen.de