

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Žepuhar, S., 2016. Slamnata kritina nekoč in danes. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kunič, R., somentor Pajek, L.): 57 str.

Datum arhiviranja: 14-09-2016

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Žepuhar, S., 2016. Slamnata kritina nekoč in danes. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kunič, R., co-supervisor Pajek, L.): 57 pp.

Archiving Date: 14-09-2016

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM GRADBENIŠTVO  
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

**SAŠO ŽEPUHAR**

**SLAMNATA KRITINA NEKOČ IN DANES**

Diplomska naloga št.: 3493/KS

**THATCHED ROOF - PAST AND PRESENT**

Graduation thesis No.: 3493/KS

**Mentor:**

doc. dr. Roman Kunič

**Somentor:**

asist. Luka Pajek

Ljubljana, 08. 09. 2016

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

*»Ta stran je namenoma prazna.«*

## IZJAVE

Spodaj podpisani študent Sašo Žepuhar, vpisna številka 26108208, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Slamnata kritina nekoč in danes

### IZJAVLJAM

1. da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V: Ljubljani

Datum: 29. 8. 2016

Podpis študenta:

*»Ta stran je namenoma prazna.«*

## **BIBLIOGRAFSKA – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

<b>UDK:</b>	692.4(043.2)
<b>Avtor:</b>	Sašo Žepuhar
<b>Mentor:</b>	doc. dr. Roman Kunič
<b>Somentor:</b>	asist. Luka Pajek
<b>Naslov:</b>	Slamnata kritina nekoč in danes
<b>Tip dokumenta:</b>	Diplomska naloga – univerzitetni študij
<b>Obseg in oprema:</b>	57 str., 12 pregl., 3 graf., 26 sl.
<b>Ključne besede:</b>	Slamnata kritina, trajnostna gradnja, konstrukcijski sklopi, toplotna prehodnost, toplotna stabilnost, difuzija vodne pare, požarna zaščita, stroški

### **Izvleček:**

Slama in trsje sta bila tisočletja najbolj razširjena materiala za strešne kritine. S prihodom industrije, mobilnosti in zatonom poljedelske dejavnosti v 19. stoletju so začele slamnate strehe izginjati. Medtem ko spet postajajo vse bolj priljubljene v razvitih državah severne Evrope, so se tudi pri nas začeli pojavljati prvi zahtevnejši objekti kriti s slamo.

V diplomski nalogi je opisana zgodovina in postopek kritja s slamo vse od vzgoje primernih žit do vzdrževanja slamnate kritine. Obravnavani so štirje kriteriji trajnostne gradnje: ekonomski, okoljski, socialni in zdravstveni. Predstavljeni so trije možni tipi konstrukcijskih sklopov s slamnato kritino: tradicionalna odprta hladna konstrukcija, prezračevana hladna streha in topla streha. Različni tipi so različno občutljivi na kondenzacijo ali požar, zato so predstavljene ustrezne rešitve problemov. Za konkretne primere konstrukcijskih sklopov je opravljena analiza toplotne prehodnosti, difuzije vodne pare, toplotne stabilnosti in površinske temperature. Izvedena je primerjava debeline, teže in cene konstrukcijskih sklopov za različne postavitve toplotne izolacije in požarne zaščite.

*»Ta stran je namenoma prazna.«*



## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDK:</b>	692.4(043.2)
<b>Author:</b>	Sašo Žepuhar
<b>Supervisor:</b>	Assist. Prof. Roman Kunič, Ph. D.
<b>Somentor:</b>	Assist. Luka Pajek
<b>Title:</b>	Thatched roof - past and present
<b>Document type:</b>	Graduation thesis – University studies
<b>Notes:</b>	57 p., 12 tab., 3 graph., 26 fig.
<b>Key words:</b>	Thatched roofing, sustainable building, structural components, thermal transmittance, thermal stability, vapor diffusion, fire protection, costs

### **Abstract:**

For thousands of years, straw and reed were the most popular materials for roof covering, but with the arrival of industry, mobility and a decrease in arable farming in the 19th century, straw roofs began to disappear. Now they are becoming increasingly popular again, especially in the developed countries of northern Europe. In Slovenia too the first complex buildings covered with straw have started to emerge.

The thesis presents the history and construction process of thatched roofing from the growing of appropriate grain to maintenance of thatched roof. Four criteria of sustainable building are in focus: economic, environmental, social, and health criteria. The thesis presents three possible types of structural components with thatched roofing: traditional thatched roof, cold roof, and warm roof. The different types of thatched roofs have different levels of sensitivity to condensation or fire, so solutions to these problems are also presented. For specific examples of structural components the analysis of their thermal transmittance, vapor diffusion, thermal stability, and surface temperature have been conducted. A comparison has been made of the thickness, weight and the price of structural components for various possibilities of placement of thermal insulation and fire barrier.

*»Ta stran je namenoma prazna.«*

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge, usmerjanje in vse koristne nasvete se v prvi vrsti iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Romanu Kuniču ter somentorju asist. Luki Pajku.

Največja zahvala gre staršem in bratu Tomažu, ki so mi ves čas študija stali ob strani, me podpirali in mi omogočili študij.

Zahvalil bi se tudi vsem sošolcem in prijateljem za vso nesebično pomoč, podporo, potrpežljivost in vse trenutke, ki so obdobje mojega študija naredili nepozabno.

*»Ta stran je namenoma prazna.«*

## KAZALO VSEBINE

Izjave	III
Bibliografsko-dokumentacijska stran z izvlečkom	V
Bibliographic-documentalistic information and abstract	VII
Zahvala	IX
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1 Namen diplomskega dela.....	2
1.2 Metode.....	2
<b>2 SLAMNATA KRITINA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Zgodovina slame kot kritine.....	3
2.2 Slamnata kritina na Slovenskem.....	4
2.3 Potek izdelave slamnate strehe.....	7
2.3.1 Material.....	7
2.3.2 Priprava slame.....	9
2.3.3 Prekrivanje strehe.....	10
2.3.4 Vzdrževanje.....	11
2.4 Slamnata streha v današnjem času.....	12
2.4.1 Trajnostna gradnja.....	13
2.4.2 Prednosti.....	15
2.4.3 Zaščita pred požarom.....	17
2.4.4 Vlaga v objektu.....	19
2.4.5 Cena.....	20
<b>3 ANALIZA IZVEDBE KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV S POMOČJO PROGRAMA U-WERT.....</b>	<b>21</b>
3.1 Uporabljeni podatki za slamnato kritino.....	21
3.2 Tradicionalna odprta konstrukcija (hladna streha).....	23
3.2.1 Opis konstrukcije.....	23
3.2.2 Zakonske zahteve in izbor specifične toplote (c).....	23
3.2.3 Analiza odprte konstrukcije.....	25
3.2.4 Nadgradnja tradicionalne konstrukcije.....	28
3.3 Prezračevana hladna streha.....	30
3.2.1 Opis konstrukcije.....	30
3.2.2 Analiza konstrukcije hladne strehe.....	31
3.4 Topla streha.....	34
3.4.1 Opis konstrukcije.....	34

---

3.4.2	Nevarnost kondenzacije pri topli strehi.....	34
3.4.3	Požarna varnost neprezračevane strehe.....	36
3.4.4	Analiza konstrukcije tople strehe .....	38
<b>4</b>	<b>PRIMERJAVA STROŠKOV S KONVENCIONALNO GRADNJO .....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK.....</b>	<b>50</b>
<b>VIRI</b>	<b>.....</b>	<b>53</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Ogljični odtis za različne strešne kritine .....	14
Preglednica 2:	Podatki za 'slamnato kritino' vneseni v program U-WERT .....	22
Preglednica 3:	Vrednosti temperaturne zakasnitve za različne vrednosti specifične toplote (c) .....	23
Preglednica 4:	Analiza izvedbe konstrukcijskega sklopa – odprta (hladna) konstrukcija .....	25
Preglednica 5:	Analiza izvedbe konstrukcijskega sklopa – nadgradnja tradicionalne konstrukcije ..	28
Preglednica 6:	Analiza izvedbe konstrukcijskega sklopa – hladna streha .....	31
Preglednica 7:	Analiza izvedbe konstrukcijskega sklopa – topla streha (toplotna izolacija med špirovci) .....	38
Preglednica 8:	Primerjava toplotne prehodnosti in teže konstrukcijskih sklopov glede na toplotno izolacijo .....	40
Preglednica 9:	Analiza izvedbe konstrukcijskega sklopa – topla streha (ognje odporna izolacija med špirovci in membrana nad njimi) .....	42
Preglednica 10:	Primerjava toplotne prehodnosti, teža konstrukcijskega sklopa in temperaturnega dušenja za oba primera tople strehe .....	43
Preglednica 11:	Analiza izvedbe konstrukcijskega sklopa – topla streha (toplotna izolacija nad špirovci) .....	45
Preglednica 12:	Okvirni stroški upoštevani pri izračunu konstrukcijskih sklopov .....	47

*»Ta stran je namenoma prazna.«*



## KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1:	Ogljični odtis strešnik kritin – kilogram CO <sub>2</sub> na kubični meter materiala.....	14
Grafikon 2:	Ogljični odtis strešnik kritin – kilogram CO <sub>2</sub> na kvadratni meter materiala.....	15
Grafikon 3:	Primerjava debeline, teže in cene slamnate strehe v primerjavi z običajnimi.....	48

*»Ta stran je namenoma prazna.«*

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Rekonstrukcija prazgodovinske hiše (How they once lived, 2016) .....	3
Slika 2:	Izvedba zaključka in slemena na gospodarskem objektu (Deu, Ž., et al. 2014).....	5
Slika 3:	Prerez hiše in kompozicija v zlatem rezu (Juvanec, 2009) .....	6
Slika 4:	Shema poteka izdelave in vzdrževanja slamnate strehe .....	7
Slika 5:	Primerjava v strukturi in dolžini stebel med trsjem (zgoraj) in pšenično slamo (spodaj) (South West Thatching, Water reed (Norfolk reed) thatching).....	8
Slika 6:	Različno dolgi snopi slame (Izdelava slamnate strehe, 2016).....	10
Slika 7:	Pokrivanje strehe s slamo (Pokrivanje strehe s slamo ob Pozdravu jeseni, 2013) .....	11
Slika 8:	Shematski prikaz slame kot gradbenega materiala skozi štiri vidike trajnostne gradnje .....	13
Slika 9:	Slamnata kritina dopušča izvedbo svobodnih oblik (Blaise Hamlet, Henbury, Bristol, 2016) .....	16
Slika 10:	Shema možnih ukrepov za zaščito pred požarom .....	17
Slika 11:	Prikaz požarne zaščite z membrano in ognje odporno izolacijo med špirovci (Thatch fire membrane system, 2016).....	18
Slika 12:	Potek nasičenega parnega tlaka glede na temperaturo (U-WERT).....	26
Slika 13:	Potek relativne vlažnosti čez debelino slamnate kritine (U-WERT).....	26
Slika 14:	Prikaz temperaturne zakasnitve (U-WERT).....	27
Slika 15:	Potek relativne vlažnosti čez nadgrajeno tradicionalno konstrukcijo (U-WERT) .....	29
Slika 16:	Odprtina pod kapjo na hladni prezračevani strehi s bivalnim podstrešjem (Hiss Reet Schilfrohrhandel GmbH).....	30
Slika 17:	Potek temperature čez konstrukcijski sklop (U-WERT).....	32
Slika 18:	Potek relativne vlažnosti čez hladno streho (U-WERT) .....	33
Slika 19:	Poškodbe slamnate strehe zaradi prevelike vlage, ki se ni mogla izsušiti (Rieten dak, 2016) .....	35
Slika 20:	Priprava strehe za požarni test s tremi testnimi območji (Realbrandversuch, „Regionalhaus aus 100% nachwachsenden Rohstoffen“, 2009) .....	36
Slika 21:	Temperaturna primerjava treh testnih polj pod slamo (Realbrandversuch, „Regionalhaus aus 100% nachwachsenden Rohstoffen“, 2009) .....	37
Slika 22:	Potek relativne vlažnosti čez toplo streho za primer 1 (U-WERT).....	39
Slika 23:	Potek relativne vlažnosti čez toplo streho za primer 1 brez parne zapore (U-WERT) .....	39
Slika 24:	Moderna stanovanjska hiša z neprezračevano slamnato kritino in izolacijo med špirovci (Bekhuis&KleinJan, 2016).....	41
Slika 25:	Potek relativne vlažnosti čez toplo streho za primer 2 (U-WERT).....	43
Slika 26:	Potek relativne vlažnosti čez toplo streho za primer 3 (U-WERT).....	46

*»Ta stran je namenoma prazna.«*

## 1 UVOD

Pravijo, da prihajajo časi, ko bodo v gradbeništvu vse večji delež glede na novogradnje predstavljale obnove obstoječih, da ne uporabim besede 'starih', objektov. Obnove pogosto poleg prilagajanja statiki objektov zahtevajo tudi poznavanje načinov gradnje naših prednikov in vračanje tako rekoč opuščenih elementov in gradbenih materialov. Poleg obnove starih objektov pa se vse več ljudi, a še zmeraj zelo malo, odloča za gradnjo iz naravnih materialov.

Vse skupaj je delno povezano z »novo« miselnostjo, ki prodira v zavest ljudi. Po obdobju industrializacije in gradnje velikih betonskih naselij v drugi polovici prejšnjega stoletja ter samograditeljstvu, za katerega so bile značilne velike mestne stavbe in je na žalost skoraj povsod pri nas izrinilo značilno vaško tipologijo, se namreč vse bolj vračamo k naravi. V Sloveniji je že od osamosvojitve dalje močno opazen trend preseljevanja nazaj iz mestnih okolij na bližnja bolj ruralna območja. Zaradi tega nastajajo številna predmestja z nizko gradnjo, s čimer pa samo sledimo dogodkom v razvitejših evropskih državah (Svetic, 2006). Usmerjanje k naravi pa se pozna tudi v mestih samih. Ta želijo približati naravo svojim prebivalcem, kar se odlično kaže na primeru Ljubljane, ki si je ravno zaradi tega zaslužila naziv Zelena prestolnica Evrope 2016.

Čeprav se je še do pred kratkim čutil skoraj zaničevalen odnos do starega načina gradnje, je v zadnjih letih opazen porast zanimanja za gradnjo iz naravnih materialov. Med njimi trenutno še zmeraj krepko prevladuje les (Naravna gradnja, 2016). Vse več posameznikov in podjetij se preizkuša tudi v t.i. naravni gradnji iz popolnoma naravnih oz. bio materialov kot so slama, ilovica, les, trstika in pesek. Prav tako je vse pogosteje govorimo o trajnostni gradnji in energetski ter ekološki učinkovitosti. In čeprav je takšni gradnji pri nas posvečeno že nekaj diplomskih nalog in delavnic (Lampret, Kopše, [www.naravnogradnja.com](http://www.naravnogradnja.com), [www.golibar.com](http://www.golibar.com), Inpro d.o.o.), sem po brskanju po medmrežju in pogovoru z nekaterimi akterji takšnega načina gradnje ugotovil, da se nihče pri svojih objektih ni odločil za slamnato streho.

Kljub temu da je bila slama nekoč daleč najbolj razširjena strešna kritina tako pri nas kot marsikje po svetu, bi danes lahko skoraj na prste ene roke našli izkušene slamokrovce v Sloveniji, ki še vztrajajo v obrti. Bil sem kar malo razočaran, ko nisem uspel najti niti enega samega primera slamnate kritine na novozgrajeni stanovanjski hiši na Slovenskem, saj mojstri slamokrovci po naročilu večinoma prekrivajo tradicionalne objekte v muzejih na prostem, stare hiše, vikende, kleti, kašče, kozolce, turistične objekte ter razne vrtno hišice, paviljone, vodnjake in ptičnice.

Slamnata kritina je že od nekdaj privlačila mojo pozornost. Toliko bolj pa me je začela zanimati po daljšem obisku nizozemskega podeželja, kjer je po nekaterih vaseh in mestecih celo več kot polovica hiš prekritih s slamo oz. trsjem. Največ slamnatih streh lahko danes najdemo ravno na Nizozemskem, v Veliki Britaniji, Nemčiji in na Danskem (Thatching, 2016). Torej v državah, kjer je tudi podeželje

zelo razvito, saj je finančni vložek za tako strešno kritino praviloma nekoliko večji od ostalih kritin. Znano je namreč, da gre zaradi odlične toplotne izolacije in naravnega materiala za eno najkvalitetnejših, ekološko prijaznih a hkrati eno najdražjih kritin za strehe hiš.

## **1.1 Namen diplomskega dela**

Zgoraj omenjena dejstva in estetska privlačnost slamnate kritine so me toliko vznemirili, da želim v tej diplomski nalogi na enem mestu zbrati vse kar je znanega o slamnati kritini na Slovenskem in njeni uporabi v preteklosti in danes. Preučil bom tudi možnosti zadovoljitve današnjih predpisov za prenos toplote in vlage v različnih primerih konstrukcijskih sklopov slamnatih streh. Posvetil se bom rešitvam problemov, ki se bodo pojavili pri različnih sklopih. Primerjal bom tudi stroške gradnje slamnatih streh z običajnimi kritinami.

## **1.2 Metode**

Na začetku diplomske naloge bom naredil pregled uporabe slamnate kritine skozi zgodovino in danes. V ta namen bom preiskal literaturo, ki govori o zgodovini kritja streh z naravnimi materiali ter o postopkih izdelave slamnate strehe pri nas in po svetu. Poiskal bom kar je zapisanega o hišah, kritinah in vernakularni arhitekturi Slovenije. Obiskal bom slamokrovca, da bi prisluhnil izkušnjam iz prve roke. Dotaknil se bom trajnostne gradnje. Osvetlil bom prednosti slamnate kritine, v tuji literaturi in na spletu pa bom poiskal rešitve za požar in vlago, ki sta ji velika sovražnika.

S pomočjo programskega orodja U-WERT bom na podlagi konstrukcijskih sklopov poskusil priti do ustreznih rešitev za toplotno prehodnost, difuzijo vodne pare in temperaturno dušenje. Uporabil bom konstrukcijske sklope, ki jih bodisi uporabljajo v tujini bodisi jih bom razvil sam. Poiskal bom materiale, ki so dostopni na trgu za zaščito slamnate kritine pred požarom, in jih uporabil v svojih računih. Za natančne izračune bom moral poiskati teste materialov, saj bom potreboval kvalitetne podatke. Na podlagi rešitev bom primerjal stroške v primerjavi s konvencionalnimi kritinami.

## 2 SLAMNATA KRITINA

### 2.1 Zgodovina slame kot kritine

Zgodovino sem povzel po spletni strani nemškega podjetja Hiss Reet Schilfrohrhandel GmbH (Geschichte, 2016).

Od začetka svojega obstoja je človek iskal nove in nove načine, da bi svoje bivalno okolje oblikoval v skladu s svojimi potrebami in ga prilagajal spremembam v svojem načinu življenja. Razvoj njegovega bivalnega okolja je logično sledil razvoju človeka samega. Tako se je s selitvijo iz jame in iskanjem novih virov hrane in surovin začela gradnja novih domovanj z v naravi dostopnimi materiali. S tem se je pojavila potreba po strehi nad glavo in zaščito pred vremenskimi vplivi. Strehe prvih prazgodovinskih domovanj so bile tako narejene iz vej dreves, grmovja, slame, kož in drevesnega lubja (slika 1), o čemer pričajo tudi arheološki dokazi (How they once lived, 2016). Pri tem so se zgledovali po naravi ter zaščiti, ki so jo nudile krošnje dreves. S kritino rastlinskega izvora so bili tako vse do rimskih časov prekrite vse hiše vključno z večino najpomembnejših objektov.

Vse od prazgodovine do zgodnjega srednjega veka rastlinska kritina ni poznala dostojne zamenjave, ki bi bila hkrati tako dostopna in zanesljiva. Sprva so strehe delali iz divjih rastlin kot so trsje, praprot in resa. Kasneje so jih s prihodom pridelave žitaric zamenjala stebela posevkov ječmena, pšenice in rži. Ta je bilo dosti lažje obdelovati. Bila so boljših in enakomernejših dimenzij ter oblike. Zelo pomembno pa je bilo, da jih je bilo lažje zgoštevati, s čimer so takšne strehe zagotavljale boljšo vodoodpornost in zadrževale več toplote. Žitarice so bile že zgodaj razširjene pri ljudeh celega sveta. Material je vsako leto zrasel skupaj s hrano, ki jo je nosil, in tako bil v preteklosti daleč najbolj dosegljiv človeku.



Slika 1: Rekonstrukcija prazgodovinske hiše (How they once lived, 2016)

Ravno zato je slamnata kritina kljub pojavu ostalih kritin iz kamna, gline, kovin in lesa vse do 19. stoletja ostala daleč najbolj razširjena kritina po celi zemeljski obli.

S prihodom industrializacije, večanjem mobilnosti in počasnim zatonom poljedelske dejavnosti so začele počasi izginjati tudi slamnate strehe. S prevlado ostalih kritin so v začetku 20. stoletja predstavljale kvečjemu simbol siromaštva. S slamo so hiše in gospodarske objekte prekrivale samo še družine, ki si novih vrst kritin niso mogle privoščiti (Sedej, 1988/90).

V zadnjih desetletjih predvsem v razvitejših državah na severu Evrope opazamo ponoven vzpon slamnatih kritin. Danes so skoraj bolj simbol prestiža, ki ponuja zelo dobre bivanjske lastnosti. Zaradi velike količine ročnega dela so tudi dražje od ostalih kritin (Prijs en subsidies, 2016).

## 2.2 Slamnata kritina na Slovenskem

Tako kot v večini Evrope je tudi na območju Slovenije slama predstavljala glavni material za prekrivanje objektov. Za to so uporabljali pšenično in rženo slamo. Pri nas namreč poznamo edino tako slamnato streho, medtem ko npr. Angleži ločijo že v besedišču med 'straw' (slamnata streha) in 'reed' (streha iz trstja). Slednja se sicer zelo pogosto pojavlja marsikje v Evropi, nam najbližje že na sosednjem Madžarskem.

Značilno s slamo krito hišo bom opisal na podlagi belokranjske hiše (Lokar, 1912). Ta je bila sestavljena iz treh delov: veže, prve in zadnje hiše. Skozi vrata smo vstopili v vežo, ki je pogosto bila tudi kuhinja. Iz nje se je šlo na eno stran v prvo na drugo pa v zadnjo hišo. Veža ni imela stropa. Iz nje se je videla slamnata streha, pod katero se je pozimi sušilo meso. Suha slama namreč prepušča dim in samodejno uravnava vlak, vlažna pa dim zadržuje. V prvi hiši se je stanovalo, jedlo, spalo in po zimi delalo. Zadnja hiša je predstavljala neke vrste shrambo za kruh, obleke in vse ostale reči. Le če je bila prva hiša premajhna, sta v zadnji spala gospodar in gospodarica ter starejši člani družine. Revnejše družine zadnje hiše niso poznale. Podstrešje ni bilo bivalno. Iznad prve in zadnje hiše pod slamnato streho so v skrinjah shranjevali žito in razno ropotijo.

Dimnikov sprva niso poznali. Dim se je lovil pod slamnato streho, se ohladil in počasi uhajal skozi ven. Na nekaterih hišah je krovec s preklo naredil lok, da je privzdignil slamo in je dim uhajal skozi luknjo na strehi. Iskre so ugasnile že pod velbom nad pečjo, ki je bil bodisi zidan bodisi lesen. Še pred zidanimi dimniki so se pojavili leseni, ki so pogosto bili čim daljši. Velikokrat tudi speljani na drugo stran hiše. Dim se je na daljši poti ohladil in ni predstavljal nevarnosti za streho.

Strehe so bile največkrat tipične dvokapne in simetrične. Kapne lege so bile potisnjene navzven pod napušč in so ležale na prečnih tramovih. Tramovi so tvorili strop v stanovanjskih prostorih. Pogosto se je pojavljala tudi pomožna konstrukcija, ki je nosila slemensko lego. Tako je razbremenila špirovce, celotna teža se pa je prenašala direktno na obodne zidove. Detajli so bili narejeni z zarezovanjem, klini



in spoji peresa na utor. Slamnata kritina je precej lahka, zato so bile potrebne manjše dimenzije gred in špirovcev kot za današnje modularne strešnike.

Izvedba čopa na strehi je bila skoraj pravilo. S pomikom prečne grede višje, je bil neke vrste ostanek štirikapne strehe, ki je bila zapovedana v Avstro-Ogrskem cesarstvu, a se ni zares prijela. Ukrep je bil namenjen nevarnosti zaradi vetra, ki bi lahko dvignil odprto slamnato debelino kritine na zaključku pri zatrepu. Ker je bila izvedba čopa nekoliko težja, se je ta velikokrat pojavljal samo na stanovanjskih objektih in manj na gospodarskih. Na zaključku strehe so slamo spletli v kite (slika 2). Najbolj izpostavljena dela slamnate strehe vetru in trohnenju sta ravno zatrep in sleme, kjer se je slama ravno zato pogosteje menjala. Tudi na Primorskem so kljub vetru poznali slamnate strehe. Te so se zaključevale s kamnitimi obodnimi zidovi, ki so jih varovali pred vetrom ali pa je bila slama ob strani obtežena s kamnitimi strešniki (Juvanec, 2009-2013).

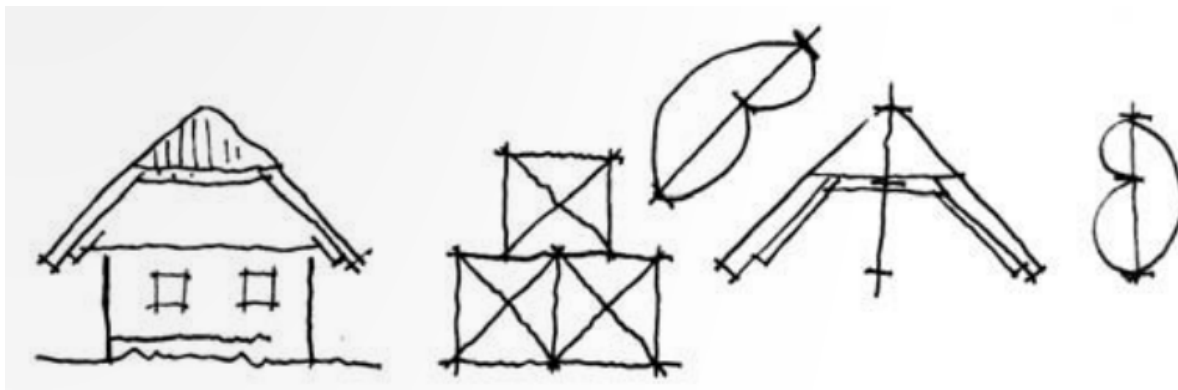


Slika 2: Izvedba zaključka in slemena na gospodarskem objektu (Deu, Ž., et al. 2014)

Medtem ko so na skrajnem severovzhodu Slovenije za prekrivanje streh uporabljali večinoma rženo slamo, je drugod prevladala pšenična. Bila je kombinirana z rženo slamo na vrhu strehe, saj je bila ta večje rasti in tako primernejša za prepogibanje na slemenu (slika 2). Pšenica je bila pri nas najbolj razširjeno žito in takoj rekoč dostopna povsod, sledila ji je rž. Prav tako se omenja tudi uporaba pirine slame, ki je po značilnostih podobna rženi.

Za dobro odvajanje vode po strehi in najdaljšo obstojnost slame je najbolj primeren naklon 45-50 stopinj. »Naklon strešine je običajno v razmerju 1:1 (45 stopinj) Višino čopa določajo vmesne lege. Konstrukcija prereza hiše je grajena na uporabi razmerja 1:2 oziroma s tremi kvadrati, ki omogočajo

namestitev strehe tako, da ta z debelino slame tvori kompozicijo v zlatem rezu« (Juvanec, 2009). S tem so z enostavnim trikom tudi navadni mojstri dosegli zahtevno in očesu privlačno kompozicijo. Tako razmerje so dosegli z debelino streh od štirideset centimetrov pa tudi do pol metra (slika 3). Slamnata streha namreč z leti zaradi sesedanja izgublja na debelini.



Slika 3: Prerez hiše in kompozicija v zlatem rezu (Juvanec, 2009)

Čprav so znali skoraj vsi kriti strehe s slamo, so za prekrivanje streh največkrat najeli pokrivača. Sami so se lotili manjših obnov, kdaj kaj zakrpali ali pokrili kakšen manjši objekt. Znanje slamokrovstva se je predajalo iz roda v rod, že iz pradavnine.

Slamnata kritina je začela izginjati s postopnim uvajanjem novih varnejših strešnih kritin v konec 18. in v 19. stoletju (Sedej, 1988/90). Ravno zaradi varnosti so oblasti tudi sprejemale obvezne in neobvezne požarne rede, a si kljub temu nove kritine niso mogli privoščiti vsi. Tako so prve spremembe v zgodovini doživela fevdalna in cerkvena poslopja ter domovanja bogatih meščanov in kmetov. Marsikje se teh pravil niso držali in je bila slamnata streha še v začetku 20. stoletja zelo pogosta na Dolenjskem, v Beli krajini in Prekmurju, pa tudi na Gorenjskem, Notranjskem in celo na Krasu. Drugod so jo zamenjali skril, korc, bobrovec in lesena kritina (Sedej, 1988/90). Izginjanje slamnatih streh je pospešila širitev opečnate kritine in kasneje strojna obdelava žita. Z njimi in s prihodom tipskih objektov je izginilo tudi avtohtono stavbarstvo, zato slamnate strehe lahko najdemo večinoma samo še na tradicionalnih objektih v muzejih na prostem.

## 2.3 Potek izdelave slamnate strehe



Slika 4: Shema poteka izdelave in vzdrževanja slamnate strehe

### 2.3.1 Material

Slama, kot imenujemo posušena stebela žit, je eden najstarejših naravnih materialov za kritje streh, ki se je skozi zgodovino obdržal najdlje. V uporabi je že vsaj 10.000 let. Gre za zdrav biološki material, ki se po barvi, strukturi in površini navezuje na že obstoječe grajeno in naravno okolje.

Slama je stranski proizvod pri pridelavi žita, ki ni primeren za krmo živali, in se v ekološki gradnji pojavlja vse pogosteje. Je energijsko varčna, nima velike ekonomske vrednosti in se je že v zgodovini uporabljala tudi kot vezivo pri stenah iz gline in gnoja. Po izumu stroja za baliranje so slamnate bale začeli intenzivneje začeli uporabljati kot gradbeni material. Stene iz bal imajo namreč dobro toplotno in zvočno izolacijo (Lampret, 2011).

Sestava pšenične slame, ki je najbolj zastopana pri nas, je sledeča: 35-39% volumna predstavlja celuloza, ki jo izdelujejo rastlinske celice in je najbolj razširjena organska snov na Zemlji. Je netopljiva v vodi. 22-24% volumna predstavlja hemiceluloza, 18-25% lignin, ki prispeva k odpornosti proti biotski razgradnji in 13-17% druge snovi, med katerimi prevladuje silicijev dioksid. Gre za

anorgansko snov. Večja je njegova vsebnost v slami, bolj je odporna proti požaru in razpadanju (Lampret, 2011).

Za dobro kvaliteto slame moramo biti pozorni že pri sajenju žita, saj se tam začne postopek izdelave slamnate strehe (slika 4). Pomemben je izbor semen ter da bodo rasla v primernih tleh. Srednjeveška pšenica je zrasla do 1,8 m višine, vendar so sčasoma zaradi zmanjševanja odpadka začeli gojiti pšenico s krajšimi stebli. Po letu 1980 so začeli v Veliki Britaniji spet saditi stare sorte žit z dolgimi stebli, večinoma pa jih uvažajo iz vzhodne Evrope, Azije in Afrike. Biološko pridelana žita, ki niso bila škropljena, bodo naravi in bivanju bolj prijazna, čeprav se resda nekatera škropiva razgradijo še preden se slama požanje. Pozorni moramo biti, da v želji po boljšem pridelku žita ne preveč gnojimo, saj bi lahko postala slama krhka in manj vzdržljiva. Žetev se izvede, ko se žito na vrhu povese, kar pomeni, da je zrelo. Nekateri slamokrovci pravijo, da je žito za daljšo obstojnost potrebno požeti celo en teden preden je zrelo.



Slika 5: Primerjava v strukturi in dolžini stebel med trsjem (zgoraj) in pšenično slamo (spodaj)  
(South West Thatching, Water reed (Norfolk reed) thatching)

Danes pšenica zraste največ do 1,5 m višine. Njena stebelca so drobnejša in mehkejša od ostalih žit (slika 5). Kritina iz pšenične slame je zaradi tega bolj zgoščene strukture, kar zagotavlja boljše toplotno in zvočno izolacijo ter večjo odpornost na vremenske vplive (Naravna strešna kritina – slama – slamnata kritina, 2016).

Starih sort pšenice se pri nas danes več ne da dobiti, zato v Sloveniji prekrivajo večinoma samo z ržjo (Nemanič, 2016). Ta ima dolgo in močno slamo in zraste do dveh metrov višine. Njena slabost je, da je trša, debelejša in poroznejša, kar pomeni krajšo življenjsko dobo. Ržena slama se je zaradi svoje dolžine praviloma uporabljala za kritje slemena. Podobne lastnosti kot ržena ima tudi slama pire.

Kot sem že omenil, se je v večjem delu Evrope za kritino uporabljalo tudi trsje (slika 5), vendar pri nas nimamo zadostnih količin. Obstajajo le primeri uvoza iz sosednje Madžarske. Trstje je v primerjavi s slamo še debelejša in bolj porozna. To pomeni še nekoliko manjšo energetska učinkovitost in je za naše podnebne značilnosti manj primerno.

### **2.3.2 Priprava slame**

Žito so nekoč želi ročno. Danes se to počne strojno s snopovezalko, ki naredi ravno take snope, da se lahko slama primerno posuši. Snopi so težki od deset do petnajst kilogramov. Če slamo dobro posušimo, ji podaljšamo življenjsko dobo in daljšo obstojnost strehe. Priporočeno je, da se slama suši s klasjem in zrnjem. Tako iz zrna še med sušenjem črpajo energijo iz stebel, kar pomeni počasnejše sušenje in boljše kvaliteto (Juvanec, 2010).

Slama je večinoma sestavljena iz celuloze, ki je tudi glavna sestavina lesa. Celuloza ni hranilna, hranila se nahajajo samo v zrnju. Ker bi to lahko privabljalo glodavce, je treba snope dobro omlatiti in se znebiti zrnja. Slabo omleta slama bi zato pomenila slabšo obstojnost strehe. Pri mlačvi je potrebno paziti, da se slama ne poškoduje.

Slamo je potrebno za tem očistiti oz. razčesati s posebnimi grabljami, da ostane samo čista, lepa, gladka in dolga slama. Pri tem ostane kar nekaj odpadka, saj se izločijo krajša in zlomljena stebelca ter ostanki klasja.

Poleg tega, da mora bit slama na strehi očiščena, mora biti tudi čim bolj enakomerna. Glede na dolžino zlagamo v lesena korita nove snope, ki jih postrizemo na spodnjem delu. Kratke bomo uporabili na začetku strehe na dnu, dolge na vrhu in ostale vmes. Za prekrivanje pripravimo manjše snope, obsega med 60 in 80 cm in teže okoli dveh kilogramov. Povežemo jih s plastično vrvico, ki se ob močnejšem sunku pretrga ali jo prerežemo. Dobimo škupe, škope ali škopnike, kot rečemo pripravljenim snopom

slame za prekrivanje strehe (slika 6). Postopek priprave slame (česanje in vezanje) imenujemo škopanje. Tako pripravljene snope hranimo na suhem prostoru.



Slika 6: Različno dolgi snope slame (Izdelava slamnate strehe, 2016)

### 2.3.3 Prekrivanje strehe

V tem poglavju bom opisal postopek prekrivanja tradicionalne odprte konstrukcije, kjer je slama vidna iz notranje strani. Strešna konstrukcija se pri taki konstrukciji najprej polata. Lahke slamnate kritine niso potrebovale velikih, zahtevnih razponov, zato so marsikje nameščene kar veje namesto letev. Razdalja med latami je odvisna od materiala in sicer med 20 in 25 centimetrov za pšenično slamo ter do 30 cm za rženo. Prekrivanje strehe poteka od dna proti vrhu (slika 7). Na dnu uporabljamo krajše škope, ki jih poravnamo in šivamo ali učvrstimo na sredini snopa. To naredimo s šibami ali leskami in jih zavarujemo s palicami. Dodatno učvrstimo začetek in konec strehe, tako da snope na dnu privežemo tudi na robu snopa. Danes se škope privežejo na late z vrvicami ali armaturno žico (slika 7). Skozi vsak snop gre žica s katero pričvrstimo slamo na eno vertikalno.

Slama se po višini poravnava z za to pripravljeno desko (po raznih narečnih poimenovanjih: riplanca, prička, šprigla ali ribaš) in škarjami. Debelina strehe se prilagaja z dolžino snopov. Odvisna je bila od geografske lege in nadmorske višine, znašala pa je od 30 do 50 cm. Vsako leto naj bi se namreč streha stanjšala za en centimeter. Najprimernejši naklon strehe je 45 do 50 stopinj, pod katerim voda normalno odteka po slami. Pri vsakem večjem naklonu je potrebno slamnate snope močnejše pričvrstiti. Največji priporočljiv naklon je 80 stopinj, čeprav so marsikje tudi navpične zatrepe oblagali s snopi slame.



Slika 7: Pokrivanje strehe s slamo (Pokrivanje strehe s slamo ob Pozdravu jeseni, 2013)

Na vrhu strehe uporabljamo najdaljše snope slame ali pogosto celo rženo slamo, ki je že v osnovi daljša. Take snope spustimo čez in jih upognemo dol ter z druge strani tesno poravnamo (»vpašemo«) novo dolgo slamo. Snope pričvrstimo na obeh straneh z armaturno palico. Ker so palice na slemenu bolj izpostavljene in jih je bilo potrebno pogosteje menjati, so uporabljali kostanjeve, ki so trajale tudi do deset let (Nemanič, 2016). Približno toliko je tudi zdržala slama na slemenski legi, zato je bila potrebna pogostejša menjava.

Potrebno je bilo utrditi še robove na koncu napušča in jih zaščiti pred vetrom. Tam se je že na začetku spletla slamnata kita in tako slamo ščitila pred vremenskimi vplivi. Izvedba čopa je bila skoraj pravilo še posebej na stanovanjskih objektih.

Potek prekrivanja strehe s slamo se skozi zgodovino ni veliko spreminjal in je še danes zelo podoben. Gre za počasno delo. Zaželeni so pomagači za podajanje snopov. Počasnejše in natančnejše kritje pomeni tudi izdelavo kvalitetnejše, vzdržljivejše in obstojnejše kritine.

#### 2.3.4 Vzdrževanje

Življenjska doma slamnate strehe je vsaj 25 let. Poleg vseh naštetih pogojev je odvisna tudi od vzdrževanja. Nekoč je dobro vzdrževana slamnata streha zdržala tudi 50 ali celo 60 let, kar je danes zaradi novejših sort žit, spremenljivih vremenskih razmer in onesnaženosti ozračja skoraj nemogoče (Guče, 2016). Pri slamnati strehi je pomembna tudi lokacija. Senca in drevesa v bližini povzročajo hitrejše trohnenje.

Med vzdrževanje slamnate strehe spada menjava poškodovanih delov in zamenjava slame na slemenu, ker je tam ta dosti bolj izpostavljena zunanjim vplivom. Ker sčasoma kritina izgublja na debelini, je potrebno v življenjski dobi kritine odstraniti vrhno plast in dodati nove plasti do primerne debeline. Na ta način so ponekod ohranjene strehe, ki so stare tudi več kot 600 let (Energy efficiency in history buildings, 2010). Kot take so zanimive za raziskovanje starih vrst žit.

Slamnata streha je sprva zlatorumene barve, kmalu pa se obarva v sivo-rjave odtenke. Velikokrat tudi poraste z mahom. Mah je škodljiv le v primeru, da je debel in bi začel zadrževati vlago, sicer ne. Za daljšo obstojnost lahko čistimo streho in odstranjujemo mah in alge s česanjem. Suha streha ne zadržuje vlage in se jih podaljša življenjska doba. Če jo porežemo, je videti kot nova.

Odstranjeno slamo kompostiramo, s čimer zaključimo njeno naravno pot.

#### **2.4 Slamnata streha v današnjem času**

Slamokrovstvo je danes v Sloveniji zelo redka obrt. Edini slamokrovec, ki se poklicno ukvarja pri nas samo s slamo in prekrivanjem slamnatih streh, je tudi vpisan v Register žive kulturne dediščine Slovenije. Strehe poleg njega s slamo prekriva v Sloveniji še nekaj obrtnikov. Njihov naročnik je največkrat Zavod za varstvo kulturne dediščine za svoje spomeniške objekte in muzeje na prostem. Poleg teh naročila obsegajo kritje starih hiš, počitniških objektov, kleti, kašč, kozolcev, turističnih objektov in manjših objektov kot so vrtni ute, paviljoni, vodnjaki in ptičnice. Novih stanovanjskih objektov, ki bi imeli slamnato kritino skorajda ni. Tovrstna obrt, pravijo, daje dober zaslužek. Potrebno pa je imeti prostor za delavnico, spravilo oz. skladiščenje slame ter stroje za žetev in mlačev. Situacija v sosednjih državah je podobna, drugače pa je v nekaterih državah na severu Evrope. V Veliki Britaniji se s slamokrovstvom poklicno ukvarja približno 1000 ljudi, medtem ko je s slamo kritih več kot 50.000 objektov (Energy efficiency in history buildings, 2010). Na Danskem je okoli 400, na Nizozemskem pa med 750 in 1000 slamokrovcev, ki vsako leto prekrijejo med štiri in pet tisoč streh (International thatching society, 2016).

Slamnata streha v razvitih državah že desetletja ni več simbol siromaštva, saj je zaradi velikega obsega ročnega dela dandanes dražja od ostalih kritin. Za razliko od njih pa je naravna. Hkrati zagotavlja vsaj enake oz. boljše pogoje bivanja. Gre za starodavno obrt v novi obliki. Svobodno oblikovanje daje nove možnosti za estetsko bogatejše objekte in proste roke arhitektom pri ustvarjanju.

Občina Črnomelj bo v nove prostorske akte vgradila merila in pogoje za posege v prostor za gradnjo tipološko značilnih objektov v naseljih, kjer je avtohtono stavbarstvo še ohranjeno (Prašin Kolbezen, 2010). Podobno počnejo tudi drugod. Prepoznavnost tradicionalnih naselij je mogoče ohranjati le s posegi v prostor, ki ohranjajo značilno oblikovanje in umeščanje objektov v prostor. V drugi polovici



20. stoletja se je namreč uveljavilo samograditeljstvo, ki je z zgledom velikih mestnih hiš spremenilo podobo našega podeželja. Z omenjenimi akti se spodbuja ustvarjanje kvalitetne podobe bivalnega okolja in oblikovanja krajine na osnovi lokalne arhitekture, ki pozitivno vpliva na razpoznavnost prostora (Prašin Kolbezen, 2010).

### 2.4.1 Trajnostna gradnja

Pri trajnostnem načrtovanju gre za dobro premišljene in načrtovane stavbe, ki morajo temeljiti na štirih vidikih: okoljskem, ekonomskem, socialnem in zdravstvenem (Török, 2013). Od faze načrtovanja, do obratovanja in odstranitve morajo slediti načelu skrbnega ravnanja z okoljem in ohranjanja naravnih virov. Njihova gradnja in uporaba mora biti ekonomična. Varovati morajo uporabnikovo zdravje, biti funkcionalne in prispevati k ohranjanju družbenih in kulturnih vrednot. Slamnato kritino bom poskusil na grobo oceniti skozi vse štiri vidike trajnostne gradnje (slika 8).

Okoljski vidik	Ekonomski vidik	Socialni vidik	Zdravstveni vidik
<ul style="list-style-type: none"><li>• Lokalno gradivo<ul style="list-style-type: none"><li>• Ne emitira škodljivih snovi</li><li>• Minimalna količina energije za proizvodnjo</li></ul></li><li>• Nizek ogljični odtis</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dolga življenjska doba<ul style="list-style-type: none"><li>• Cenejše vzdrževanje</li></ul></li><li>• Odličen izolator</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Toplotno udobje</li><li>• Zvočno udobje</li><li>• Vizualno udobje</li><li>• (-) Varnost pred požarom</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Naravni material</li><li>• Kakovosten zrak</li><li>• Primerna vlažnost</li></ul>

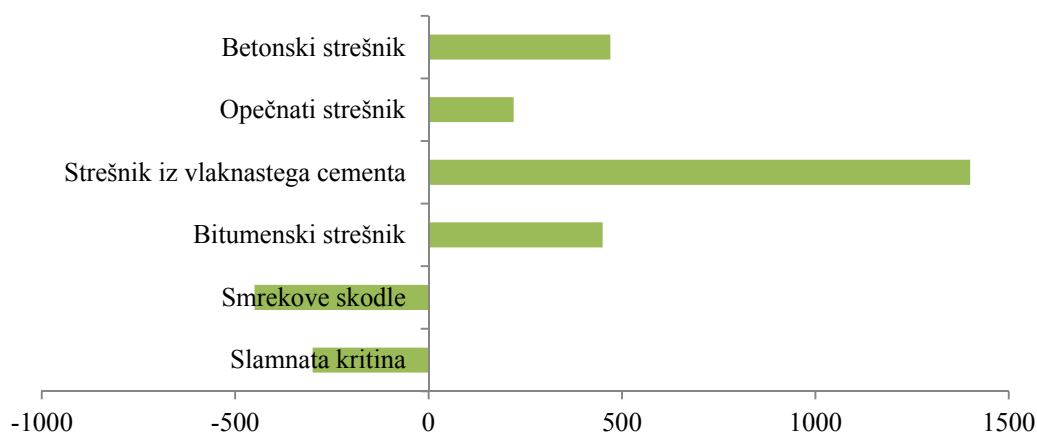
Slika 8: Shematski prikaz slame kot gradbenega materiala skozi štiri vidike trajnostne gradnje

Pri izboru materialov je potrebno potegniti črto med ceno in kvaliteto, hkrati pa upoštevati strošek skozi celo življenjsko dobo materiala, ne le strošek nabave. V tem pogledu je slamnata streha uvrščena visoko, saj nekoliko višjo začetno investicijo povrne prihranek pri ogrevanju, cenejše vzdrževanje in daljša doba trajanja.

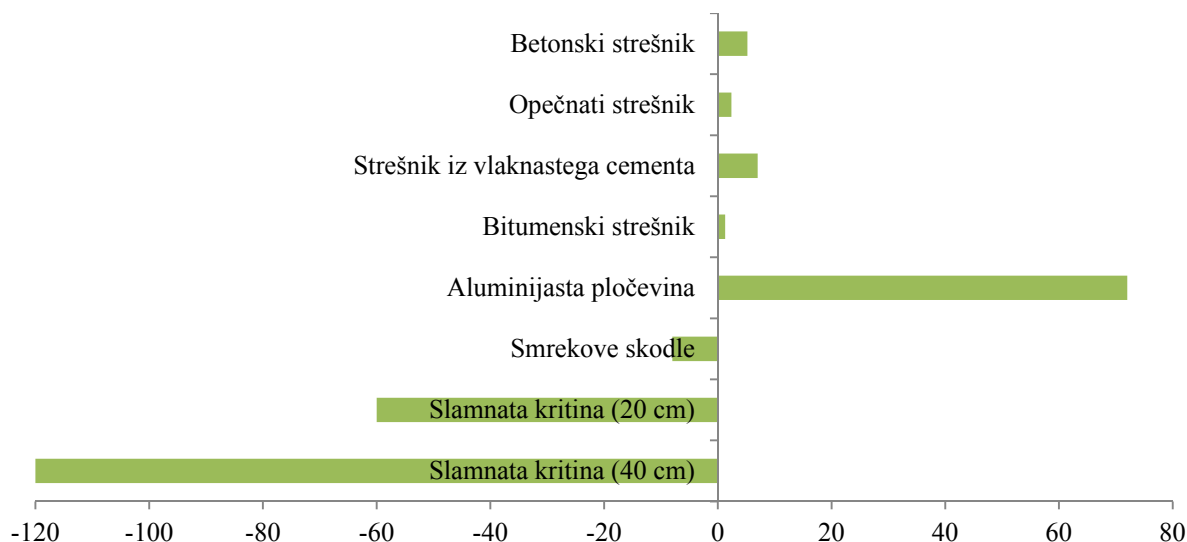
Preglednica 1: Ogljični odtis za različne strešne kritine

Material	Gostota [kg/m <sup>3</sup> ]	Debelina [m]	Izpust CO <sub>2</sub> /kg	Izpust CO <sub>2</sub> kg/m <sup>3</sup>	Izpust CO <sub>2</sub> kg/m <sup>2</sup>
Betonski strešnik	2100	0,011	0,224	470,4	5,2
Opečnati strešnik	2200	0,011	0,136	218	2,4
Strešnik iz vlaknastega cementa	1450	0,005	0,965	1400	7,0
Bitumenski strešnik	1050	0,003	0,427	448,4	1,3
Aluminijasta pločevina	2800	0,004	6,420	17976	72
Smrekove skodle	450	0,018	-1,000	- 450	- 8,0
Slamnata kritina (20 cm)	240	0,200	- 1,250	- 300	- 60
Slamnata kritina (40 cm)	240	0,400	- 1,250	- 300	-120

V sklopu okoljskega vidika, ki je med vsemi še najbolj raziskan, se ukvarjamo z učinkovitim ravnanjem z energijo, preudarno uporabo materialnih virov in preiščeno porabo vode. Slama je tukaj v primerjavi z ostalimi materiali v veliki prednosti, saj predstavlja lokalno gradivo, ki se raste v bližini gradnje in ne potrebuje dolgega transporta. V svojem življenjskem ciklusu ne emitira nobenih škodljivih snovi (izjema je prah pri tradicionalni odprti konstrukciji). Za izdelavo, uporabo in razgradnjo porabi minimalno količino energije. Rastline celo uporabljajo CO<sub>2</sub> za fotosintezo, zato dobimo negativen ogljični odtis za naravne materiale (preglednica 1). Slama je stranski produkt pri proizvodnji hrane in pri rasti in kompostiranju ne obremenjuje narave. V slamnatem snopu je 85% zraka, ki je odličen izolator in naravno uravnava letna temperaturna nihanja. To prispeva k zmanjšanju porabe energije za ogrevanje in hlajenje. Ob dejstvu, da je s stavbami povezano 40 odstotkov rabe končne energije in najmanj 35 odstotkov izpustov CO<sub>2</sub>, je so to zelo dobrodošli podatki.

Grafikon 1: Ogljični odtis strešnik kritin – kilogram CO<sub>2</sub> na kubični meter materiala

Pri tem moramo razlikovati med podatki na kubični meter materiala (grafikon 1) in dejansko uporabljenim kvadratnim metrom materiala za strešno kritino (grafikon 2). Iz kubičnega metra različnih materialov lahko namreč dobimo bistveno različne površine strešne kritine.



Grafikon 2: Ogljični odtis strešnik kritin – kilogram CO<sub>2</sub> na kvadratni meter materiala

Podatki za ogljični odtis so pridobljeni iz podatkovne baze Österreichische Institut für Baubiologie und Bauökologie (2016).

Slamnata kritina z zadostno debelino in primerno izbiro konstrukcijskega sklopa zadostuje socialnim zahtevam po toplotnem, zvočnem in vizualnem udobju. Toplotno udobje pomeni primerno temperaturo zraka, relativno vlago in gibanje zraka, kar taka vrsta kritine odlično uravnava. Pozitivne karakteristike poleg ustreznega prezračevanja ugodno vplivajo na zdravstveni vidik uporabnikov. Pri socialnem vidiku se marsikomu postavi vprašanje po zagotavljanju zahteve po varnosti pred požarom, vendar z ustreznimi preventivnimi ukrepi poskrbimo tudi za ta segment varnosti (poglavje 2.4.3).

## 2.4.2 Prednosti

Prekrivanje s slamo je znanje staro tisočletja, ki ga lahko nadgradimo s sodobnim znanjem in prilagodimo današnjim potrebam. Gre za gradnjo iz naravnega materiala, ki je ekonomsko dostopen in ne obremenjuje okolja. Ne porablja energije za proizvodnjo, nima škodljivih emisij in skrbi za zmanjšanje porabe energije. Slamo po odstranitvi recikliramo in tako puščamo minimalen ekološki odtis v okolje. Njen stranski produkt je hrana.



Slika 9: Slamnata kritina dopušča izvedbo svobodnih oblik (Blaise Hamlet, Henbury, Bristol, 2016)

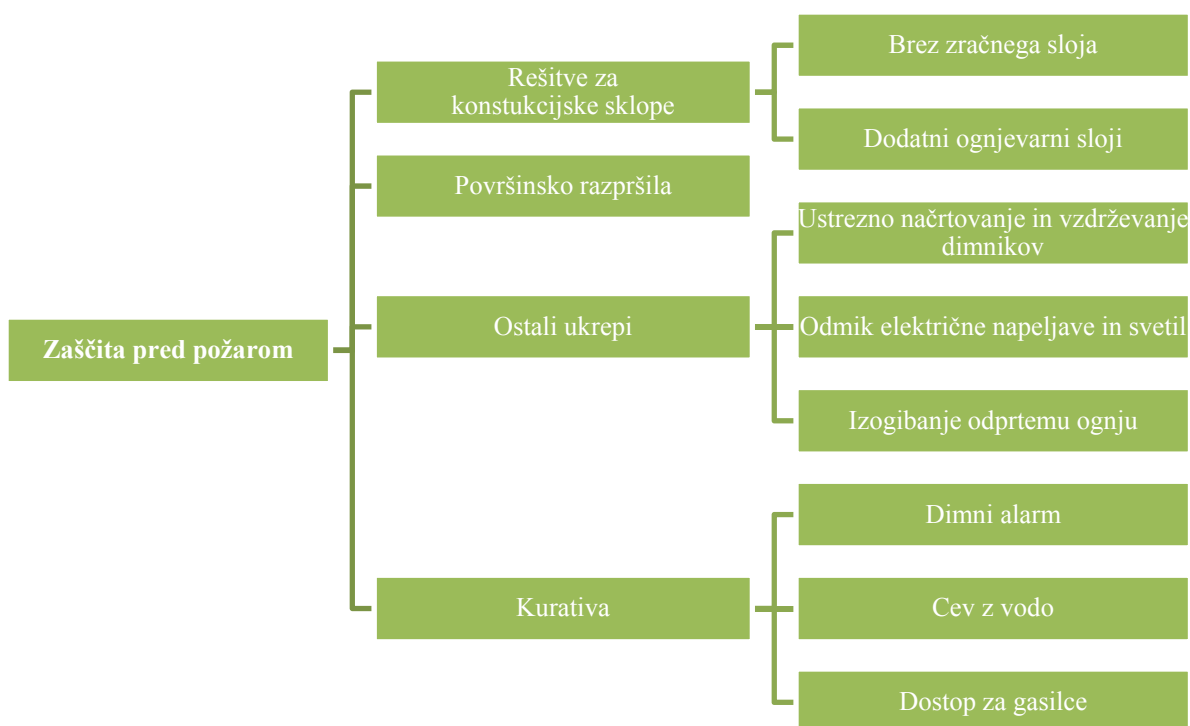
Poleg estetike in svobode pri oblikovanju strehe (slika 9) je njegova največja prednost kakovost bivanja ter blagodejna in topla atmosfera pod tako kritino. Za to poskrbi naravni material, ki diha in omogoča prepuščanje vlage ter uravnavanje kondenzacije in toplote. Oboje bom skušal dokazati računsko v poglavju 3. Razlog za to je velik delež zraka. V kvadratnem metru 25-30 cm debelega sloja strehe iz pšenične slame je namreč okrog 10.000 slamic in 85 odstotkov zraka, ki je odličen izolator (Guče, 2016). Velik delež zraka zagotavlja toplo ozračje pozimi in hladno poleti in posledično tudi majhno temperaturno razliko med notranjo površino in zrakom.

Slama ima pri naklonu 45 stopinj najdaljšo obstojnost. Pri manjšem naklonu bi voda zastajala in povzročala počasnejše sušenje. Pri večjem pa jo moramo bolj pritrditi, s stiskanjem pa bilka hitreje propada (Juvanec, 2010). Pravilno položena slamnata kritina ne vpija dosti vode, saj je večina zdrsne, preden bi uspela prodreti pod površino. S tem omogoča nepropustnost za vodo. Slama ima lastnost, da se v vlagi napne in zatesni prehode med bilkami, v suhem pa skrči in omogoča prezračevanje in sušenje. Princip slamnate strehe združuje obe lastnosti po potrebi in v času. To zagotavlja aktivno delovanje, ki ga v sodobnih materialih najdemo le, če za to vgradimo energijo (Juvanec, 2012). Kvaliteta je zato poleg kvalitete materiala in izkušenosti slamokrovca odvisna od oblike in dizajna strehe ter geografske in topografske lege.

Debela slamnata kritina je tudi dober zvočni izolator saj slama s svojo poroznostjo dobro absorbira zvok. To povzroča sprememba zvočne energije v toplotno zaradi nihanja delcev zraka v porah materiala.

Glavne slabosti slame so požarna nevarnost in občutljivost na vlago, ki jih bom opisal v naslednjih dveh podpoglavjih. Njene lastnosti tudi niso tako kontrolirane kot pri industrijskem materialu, zato je pri predpisih boljše vzeti večje rezerve pri vrednostih. Upoštevati je potrebno tudi propadanje in tanjšanje strehe s časom.

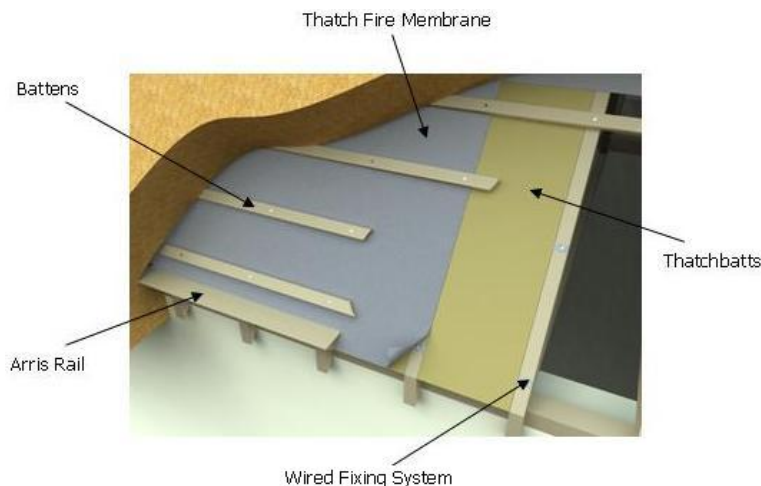
### 2.4.3 Zaščita pred požarom



Slika 10: Shema možnih ukrepov za zaščito pred požarom

Slamnato streho lahko pred požarom zaščitimo na več različnih načinov (slika 10). Prvi možni način je, da naredimo konstrukcijo, ki pod slamnato streho nima prezračevanega sloja zraka. S tem zelo upočasnimo širitev požara. Čeprav zrak pod kritino omogoča izsuševanje slame, tudi »hrani« požar.

Drugi konstrukcijski način zaščite je dodaten ognjevaren sloj. Tega lahko dobimo z ognjeodpornimi impregniranimi mavčnimi ploščami, z izolacijskimi ploščami iz kamene volne z visoko požarno odpornostjo in z ognjeodpornimi folijami in membranami. Predpisi v angleški grafiji Dorset npr. zahtevajo 30-minutno požarno upornost za špirovce in 60-minutno za lastnino (Guide to thatched buildings ... and instalers, 2009). Požarno zaščito lahko zagotovimo tudi z zelo učinkovitim sistemom protipožarne membrane in ognje odporne izolacije med špirovci (slika 11).



Slika 11: Prikaz požarne zaščite z membrano in ognje odporno izolacijo med špirovci  
(Thatch fire membrane system, 2016)

Za zaščito slamnatih kritin obstajajo tudi razpršila, ki ustvarijo na površini slame zaščitno plast. Ta varuje pred požarom in odbija vodne kapljice. Razpršilo je potrebno obnavljati na obdobje deset let. Ker gre za umetne snovi, se nam postavi dvom o naravnosti tako zaščitene kritine.

Poleg konstrukcijskih rešitev moramo poskrbeti za ostale preventivne ukrepe (Energy efficiency in history buildings, 2010). Najpomembnejši je gotovo primerna višina in izolacija dimnika ter redno čiščenje in vzdrževanje. To moramo opraviti vsaj dvakrat letno. Posebej podložen mora biti v primeru, da je vir ogrevanja peč na drva. Drva in ostala trda goriva morajo biti dobro osušena. Na vrhu dimnika ne smemo imeti lovilca isker, saj nabira žerjavico, ki bi se lahko spustila na slamo.

Redno moramo testirati električno napeljavo in jo postavljati stran od slame. V strop pod slamnato streho ni priporočljivo vgrajevati svetila. Pod kap ne postavljamo močnih svetil. Žar, grelniki, ognjemet in odprti ogenj niso zaželeni v bližini slamnate kritine.

Za primer, da pride do požara, je zelo priporočljiv dimni alarm in cev z vodo, ki doseže vso streho ali brizgalna enota. Pomemben ukrep je dober dostop za gasilna vozila in osebje.

Slamnata kritina pa le ni tako gorljiva kot si mnogi mislijo. Gre za stisnjeno slamo, sploh pšenična je mehka in ima zelo majhne luknjice. Pravijo, da je slamnata streha kot zaprta knjiga, ki bo zagorela, če med listi dobi zrak.

V članku o zavarovalništvu v avstro-ogrskem je po požarnih statistikah, ki so jih povzeli v uredništvu Kmetijskih in rokodelskih novic v začetku osemdesetih let devetnajstega stoletja, za največ požarov kriva človeška hudobija in ne udari strel kot velja zmotno prepričanje. Na Kranjskem je bilo zavarovanih 20 odstotkov objektov (Omahen, 2014).

#### 2.4.4 Vlaga v objektu

V preteklosti so bili objekti grajeni z lokalnimi naravnimi materiali, kot so les, glina, trsje, slama in kamen. V takih objektih, ki so bili stalno prezračevani, je bila majhna razlika med temperaturo zraka zunaj in notri. Grelji so se z odprtim ognjem. Absorpcija, kopičenje in širjenje vlage ni bil problem. Z željo po višjem udobju bivanja se je ovoj stavbe vse bolj zapiral s pojavom zaščitenih tal, sten iz opeke in stropa. Taki objekti so imeli peči za gretje. Zračili so se preko oken, rešetak in tudi dimnika. Zaradi tega vlaga ni povzročala nobenih težav.

V današnjem času, ko skušamo čim bolj varčevati z energijo in uporabljamo za gradnjo trde materiale, so stavbe dosti bolj zrakotesne. Izolacija je namreč učinkovita le, če je v njej zrak in ni vlažna. Sodobni ogrevalni sistemi in preprečevanje nekontroliranega prezračevanja prispevajo k optimalni razliki med notranjo in zunanjo temperaturo. Medtem pa je nastajanje vlage v domovih ostalo enako.

V objektu nastaja dnevna vlaga, ki jo povzročajo bodisi uporabniki z dihanjem, potenjem, tuširanjem, kuhanjem, pranjem bodisi rastline. Štiričlanska družina naj bi tako dnevno proizvedla 12 litrov vode v obliki vodne pare. Druga vrsta vlage je vlaga v konstrukciji, ki se pojavi tekom gradnje ali jo v ovoj prinese dež. Skoraj dve ogrevalni sezoni sta potrebni, da se konstrukcija po gradnji izsuši, če objekta ne prezračimo dobro pred uporabo. Para stremi k prehodu iz toplega na hladno skozi zunanji ovoj stavbe, tudi čez slamnato streho, zaradi česar lahko pride do kondenzacije v plasti.

Za trajnost slamnate strehe je zaščita pred vlago zelo pomemben dejavnik. Streho s slamo zato prekrivamo v suhem in toplem vremenu, poskrbimo za pravilno namestitev in jo redno vzdržujemo. Novogradnjo dobro prezračimo, da se vlažne konstrukcije primerno izsušijo. Zaželeno je, da ne sušimo perila v podstrešnih prostorih in poskrbimo, da vlaga iz kuhinje ne zahaja do stropa. Dnevno vlago je potrebno odstraniti z rednim zračenjem ali ustreznimi prezračevalnimi sistemi. V nasprotnem primeru bo navlažena slama postala gojišče za alge, bakterije in razvoj glivic (Die richtige belüftung des Reetdachhauses, 2016).

Stanje strehe je pomembno za njeno toplotno obnašanje. Mora biti dobro postavljena in zgoščena. V kolikor je zaradi padavin z vlago nasičena globlje kot 5 cm, je manj učinkovita kot izolacija. Izgubila bo več toplote in bo potrebovala več zraka za prezračevanje. Po pravilno nameščeni slami pod ustreznim naklonom dež lažje steče po kritini. Kako slamnata streha reagira na vlago je odvisno predvsem od načina izvedbe strešne konstrukcije, čemur sem se posvetil v 3. poglavju.

#### 2.4.5 Cena

V tem poglavju bom predstavil zgolj okvirne stroške izvedbe slamnate strehe, saj se bom primerjavi stroškov podrobneje posvetil v poglavju 4.

Sama slama je za razliko od konvencionalnih materialov za prekrivanje streh zelo poceni. Gre za stranski produkt pri pridelavi hrane, zato nima velike ekonomske vrednosti. Slamnati kritini ceno dvigne velika količina ročnega dela za pripravo slame in končno delo pri prekrivanju objekta. Kot sem zapisal, je priprava slame dolgotrajen proces od sejanja žita do česanja in vezanja v škopnike.

Pri prekrivanju strehe s slamo gre za posebno znanje. Bolj počasno in natančno je delo, bolj pridobiva kritina na kvaliteti. Posledično s tem raste tudi cena. Strošek kritja s slamo z materialom vred znaša pri nas okoli 60 €/m<sup>2</sup> za enostavnejše ravne površine in 70 €/m<sup>2</sup> ali več za bolj zahtevne (Nemanič, 2016).

Kvalitetno izvedena slamnata kritina ima daljšo življenjsko dobo od ostalih kritin. Le na bolj izpostavljenih delih je potrebna pogostejša zamenjava slame.



### 3 ANALIZA IZVEDBE KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV S POMOČJO PROGRAMA

#### U-WERT

Konstrukcijske sklope sem preverjal s pomočjo programa U-WERT, ki je prosto dostopen na spletni strani [www.u-wert.net](http://www.u-wert.net). Namenjen je izračunu toplotne prehodnosti, analizi toplotnega prehoda, difuzije vodne pare in toplotne stabilnosti skozi večplastne konstrukcijske sklope. Program je leta 2009 razvil dr. Ralf Plag, nemški fizik in ljubiteljski programer. Rezultati bodo primerjani z zahtevami Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES) in Tehnične smernice za graditev (TSG-1-004:2010).

Strehe v osnovi delimo na dva tipa. To sta tako imenovana **topla streha**, kjer poteka prehod toplote direktno skozi strešino v okolico in je neprezračevana ter **hladna streha**, ki ima med kritino in nosilno konstrukcijo strehe prezračevano plast. Naloga prezračevane plasti je, da zagotovi zadosten pretok zraka za sušenje, hlajenje in odvod kondenzirane vodne pare.

Podatke za slamnato kritino kot material sem zajemal iz različnih virov, smernic in raziskav (navedenih v poglavju 3.1). Zaradi tega je ponekod prihajalo tudi do zelo nasprotujočih si podatkov. Vseeno sem na podlagi primerjave s slamatimi balami, na katerih je opravljenih veliko več testiranj, in izračunov hladne konstrukcije izbral bolj verodostojne vrednosti.

V analizi bom preveril tri različne konstrukcijske sklope s slamnato kritino, ki so si med seboj zelo različni in sicer:

- **tradicionalna odprta konstrukcija** (hladna streha) s prezračevanim podstrešjem, ki ni namenjeno bivanju,
- prezračevana **hladna streha**, kjer je podstrešje namenjeno bivanju ter
- **topla streha**, ki nima prezračevanja.

#### 3.1 Uporabljeni podatki za slamnato kritino

Pri izračunih sem upošteval notranjo temperaturo zraka 20 °C in notranjo relativno vlažnost zraka 65 odstotkov (TSG-1-004:2010), za zunanjo temperaturo sem vzel vrednost povprečni minimum temperature zraka -5 °C in povprečno relativno vlago 85 odstotkov za mesec januar za merilno postajo Črnomelj-Dobliče (Povzetki klimatoloških analiz ... v obdobju 1991-2006).

Za potrebe izračunov sem moral o slami poiskati podatke o toplotni prevodnosti ( $\lambda$ ), gostoti ( $\rho$ ), specifični toploti ( $c$ ), emisivnosti ( $\epsilon$ ) in difuziji vodne pare ( $\mu$ ).

Podatke sem pridobil iz naslednjih virov:

- CIBSE Guide A: Vodiča za oblikovalce nizkoenergijske trajnostne gradnje, ki ga je izdala The Chartered Institution of Building Services Engineers iz Londona (1999),
- knjige Introduction to ARCHITECTURAL SCIENCE, The basis of sustainable design, katere avtor je Steven V. Szokolay (2004),
- članka Sustainable Roofs for Warm Humid Climates - A Case Study in Residential Buildings in Madurai, tamilnadu, India, ki so ga objavili A. Madhumathi, S. Radhakrishnan in R. Shanthi Priya v strokovni reviji World Applied Sciences Journal (2014),
- in knjige Bauphysik Kalender 2015, katere urednik je dr. Nabil A. Fouad.

V vseh virih je navedena **toplotna prevodnost** za slamnato kritino  $\lambda = 0.07$  W/m K in **gostota**  $\rho = 240$  kg/m<sup>3</sup>. Naj opozorim, da gre pri gostoti za zgoščeno kritino in ne slamo kot material. Zgolj za primerjavo, gostota slamnate bale znaša med 100 in 170 kg/m<sup>3</sup>. Viri navajajo tudi vrednost toplotne prevodnosti 0,09 W/m K za kritino iz trstja, ki pa ga v tej diplomski nalogi ne bom obravnaval. Vrednost **emisivnosti** izberem na podlagi vnesenih podatkov za slamo v programu U-WERT  $\varepsilon = 0.9$ . Vrednost **difuzije vodne pare** za slamo in trsje znaša  $\mu = 2$  (suha) - 5 (mokra).

Medtem ko so odstopanja za omenjene podatke zelo majhna oz. jih sploh ni, sem naletel na drugačen problem pri podatkih za **specifično toploto** slamnate kritine. CIBSE Guide A (2009) namreč navaja zelo nizko vrednost  $c = 180$  J/kg K. Ostali viri pa pripisujejo vrednosti med 1000 (Madhumathi, Radhakrishnan, Shanthi Priya, 2014) in 1420 (Szokolay, 2004). V primerjavi s slednjimi in s specifično toploto slamnate bale, za katero so si različni viri enotni pri vrednosti 2100 J/kg K, smatram, da je vrednost navedena v 'CIBSE Guide A' prenizka in bi lahko pomenila pri izračunu pomenila popolnoma nasprotujoče podatke o toplotni stabilnosti slamnate kritine splošno znanim dejstvom.

Preglednica 2: Podatki za 'slamnato kritino' vneseni v program U-WERT

Podatek	Vrednost	Enota
Toplotna prevodnost	0,07	W/m K
Emisivnost	0,9	
Specifična toplota	1300	J/kg K
Difuzija vodne pare	2-5	
Gostota	240	kg/m <sup>3</sup>

### 3.2 Tradicionalna odprta konstrukcija (hladna streha)

#### 3.2.1 Opis konstrukcije

Obravnaval bom stari način kritja s slamo, ki ga poznamo že tisočletja in se je vse do danes ohranil za prekrivanje manj zahtevnih objektov. Slamo polagamo direktno na late in je vidna iz notranje strani. Podstrešje je v tem primeru neposeljeno in prezračevano, pod njim je vodoraven strop v zgornjem nadstropju. Taka izvedba je znana kot hladna streha.

Prednosti take konstrukcije je, da je zelo lahka. Imamo optimalno prezračevanje brez kondenzacije zaradi stabilnega prehoda vlage. Slama je vidna od znotraj, kar je estetsko privlačno, vendar pomeni tudi več prahu in večjo nevarnost za požar. Pri taki strehi izolacijo dosegamo z debelino. V kombinaciji z ostalimi toplotnimi izolacijami bi morali postaviti dodatno še parno zaporo, da ne bi prišlo do kondenzacije in vlage v slami, ki bi lahko povzročila gnitje.

#### 3.2.2 Zakonske zahteve in izbor specifične toplote ( $c$ )

Zahteva 'Tehnične smernice TSG-1-004:2010' za toplotno prehodnost poševne strehe je vrednost pod  $U_{max} = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Toplotna prehodnost nam pove, kolikšen toplotni tok  $P$  [W] preteče skozi konstrukcijski sklop površine  $1 \text{ m}^2$  pri temperaturni razliki  $\Delta T = 1 \text{ K}$ . To dosežemo z debelino  $d = 35 \text{ cm}$  slamnate kritine. Za primerjavo: za zadostitev tega pogoja bi potrebovali 45 cm kritine iz trsja, ki ima nekoliko višjo toplotno prevodnost.

Naredil sem test toplotne stabilnosti slamnate kritine debeline 35 cm, ker se v virih pojavljajo različni podatki za specifično toploto ( $c$ ).

Preglednica 3: Vrednosti temperaturne zakasnitve za različne vrednosti specifične toplote ( $c$ )

Vir	$c$ [J/kg K]	Temperaturno dušenje	Temp. zakasnitev [h]
CIBSE Guide A	180	2,5	6,4
Sustainable Roofs for Warm Humid Climates	1000	27,0	14,7
Bauphysik Kalender 2015	1300	48,8	16,7
Introduction to ARCHITECTURAL SCIENCE	1420	61,0	17,5

Temperaturna zakasnitev določa zamudo, s katero maksimalna temperatura doseže notranji del konstrukcijskega sklopa. Idealno bi bilo, da toplotni val doseže notranjost v hladnih nočnih urah, zato so temperaturne zakasnitve večje od 12 ur najugodnejše. Vsi pisni in ustni viri navajajo odlične pogoje bivanja pod slamnato kritino, zaradi česar je rezultat (preglednica 3) temperaturne zakasnitve na podlagi specifične toplote iz CIBSE Guide A (1999) zelo protisloven. V nadaljnjih izračunih bom zato upošteval vrednost specifične toplote  $c = 1300 \text{ J/kg K}$ , ki jo navaja nemški Bauphysik Kalender 2015 (Fouad, urednik, 2015).

### 3.2.3 Analiza odprte konstrukcije

Preglednica 4: Analiza izvedbe konstrukcijskega sklopa – odprta (hladna) konstrukcija

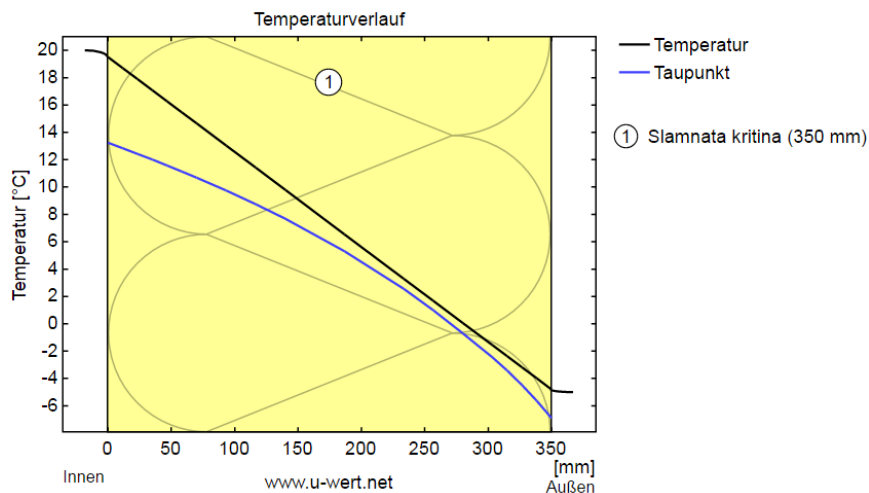
Sestava KS (od znotraj proti zunaj)										
Plast	Material	$d$ [cm]	$b$ [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\mu$	$T_{max}$ [°C]	$T_{min}$ [°C]	
1	Slamnata kritina	35		0,07	240	1300	2/5	19,5	- 4,8	
SKUPAJ		35	Teža sklopa [kg/m <sup>2</sup> ]				84,0			
Toplotna prehodnost [W/m <sup>2</sup> K]					Slika KS (potek temperature in rosišča)					
$U_{rač} = 0,193$		<	$U_{max} = 0,2$							
Difuzija vodne pare										
Kondenz nastaja v plasti št.			/							
Čas potreben za izsušitev [dni]			/							
Toplotna stabilnost										
Temperaturno dušenje			48,8							
Temperaturna zakasnitev [h]			16,7							
Površinska temperatura [°C]			19,5							

Kot lahko razberemo iz Preglednice 4, obravnavani konstrukcijski sklop ustreza zahtevam toplotne prehodnosti.

Račun difuzije vodne pare ni potreben, ker v konstrukcijskem sklopu ne pride do nastanka kondenza.

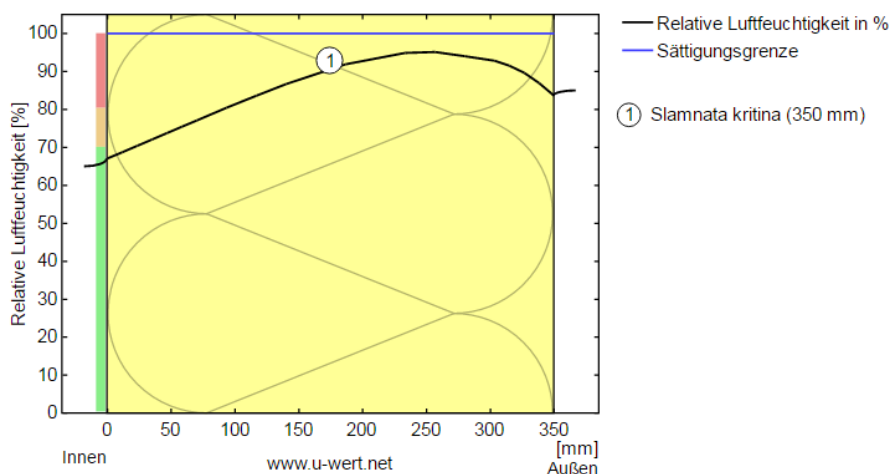
Zagotovljeno je toplotno udobje, saj imamo ustrezno temperaturno dušenje ter primerno temperaturno zakasnitev in površinsko temperaturo.

Program U-WERT izračuna potek nasičenega parnega tlaka glede na temperaturo v sloju (slika 12). Do kondenzacije v sloju bi prišlo, če bi se temperatura rosišča (modra črta) sekala s potekom temperature (črna črta).



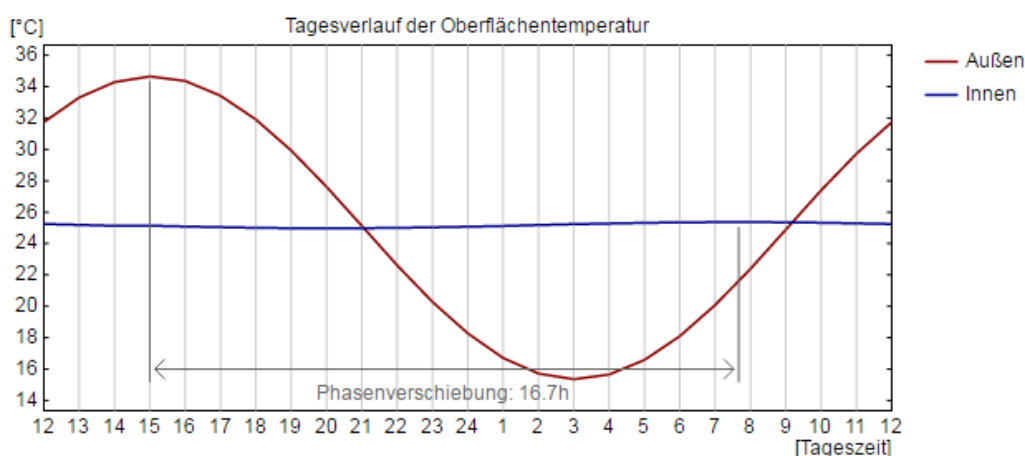
Slika 12: Potek nasičenega parnega tlaka glede na temperaturo (U-WERT)

Absolutna vlažnost predstavlja maso vodne pare na kubični meter. Relativna vlažnost je določena kot razmerje med absolutno vlažnostjo in nasičeno vlažnostjo pri določeni temperaturi. Kadar temperaturo počasi znižujemo, pride pri neki točki do kondenzacije. To temperaturo imenujemo rosišče. Pri obravnavani konstrukciji ne pride do kondenzacije (slika 13).



Slika 13: Potek relativne vlažnosti čez debelino slamnate kritine (U-WERT)

Temperatura zunanjega zraka in zunanjih površin slamnate strehe niha s periodo 24 ur. Med prodiranjem skozi slamo se amplituda temperaturnega vala zmanjšuje – duši. Karakteristična vrednost za opis toplotne stabilnosti konstrukcije je temperaturno dušenje, ki v mojem primeru znaša 48,8 (preglednica 4). Faktor dušenja je razmerje amplitude temperaturnega nihanja zunanjega zraka in amplitude temperaturnega nihanja notranje površine. Na sliki 14 je prikazan fazni zamik oz. temperaturna zakasnitev. Najvišja temperatura se na notranji površini pojavi čez 16,7 h.



Slika 14: Prikaz temperaturne zakasnitve (U-WERT)

Faktor dušenja amplitude nihanja temperatur bi moral za poševno streho znašati najmanj  $n = 15$ , kar je zelo nizka vrednost. Novi predpisi ne zahtevajo več izračuna faktorja dušenja in temperaturne zakasnitve. Kljub temu je upravičeno, da jih upoštevamo. Lahko nam je v pomoč, če med seboj primerjamo različne sestave konstrukcij z vgrajenimi različnimi izolacijskimi materiali. Temperaturna zakasnitev nam lahko dejansko pove, kolika je stopnja ugodja bivanja pod neko strešno konstrukcijo (Grobvšek, 2016c).

### 3.2.4 Nadgradnja tradicionalne konstrukcije

Z minimalnim posegom v tradicionalno konstrukcijo želim zadovoljiti socialni in zdravstveni vidik trajnostne gradnje. Slamnato streho zaščitim pred požarom in prahom, tako da podeskam špirovce in čez pritrdim protipožarno membrano. Na njo pribijem horizontalne late. Slama je še zmeraj edina toplotna izolacija. Takšen način izvedbe slamnate strehe je naprednejša rešitev za prekrivanje starejših hiš in podstrešnih stanovanj z vidnimi špirovci (Guide to thatched buildings ... and instalers, 2009). Konstrukcijski sklop prepušča vlago in zrak. Slamnata kritina je zato prezračevana.

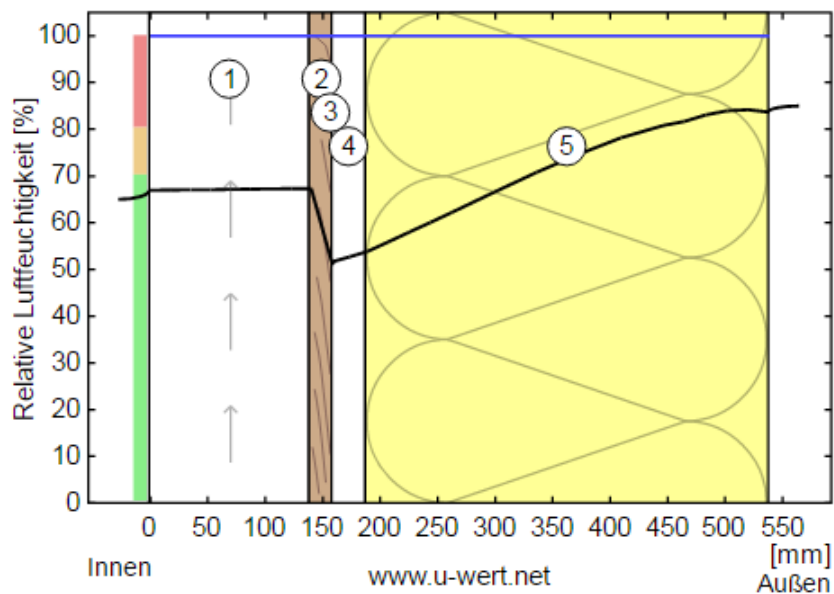
Sklop je nekoliko težji, vendar les in vmesni zrak dodatno prispevata k izboljšanju toplotne prehodnosti in temperaturnega dušenja (preglednica 5).

Preglednica 5: Analiza izvedbe konstrukcijskega sklopa – nadgradnja tradicionalne konstrukcije

Sestava KS (od znotraj proti zunaj)										
Plast	Material	$d$ [cm]	$b$ [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\mu$	$T_{max}$ [°C]	$T_{min}$ [°C]	
1	Špirovec (smreka)	14	12	0,13	450	1600	20/50	19,8	17,9	
	Zrak (notranji)		80	/	0,001	1000	1	19,6	18,5	
2	Lesene deske (smreka)	1,8		0,13	450	1600	20/50	18,8	17,5	
3	Požarna ovira (PU membrana)	0,05		0,035	125	1300	40/200	18,2	17,5	
4	Letev (smreka)	3	5	0,13	450	1600	20/50	18,2	16,8	
	Zrak (mirujoč)		25	/	1,2	1000	1	18,1	17,1	
5	Slamnata kritina	35		0,07	240	1300	2/5	17,4	- 4,8	
SKUPAJ		53,85	Teža sklopa [kg/m <sup>2</sup> ]				102,8			
Toplotna prehodnost [W/m <sup>2</sup> K]					Slika KS (potek temperature in rosišča)					
$U_{rac} = 0,176$		<	$U_{max} = 0,2$							
Difuzija vodne pare										
Kondenz nastaja v plasti št.			/							
Čas potreben za izsušitev [dni]			/							
Toplotna stabilnost										
Temperaturno dušenje			84,7							
Temperaturna zakasnitev [h]			18,3							
Površinska temperatura [°C]			19,3							



Pozitiven prispevek lesenih plošč je tudi sposobnost, da vpijajo vlago iz podstrešnih prostorov. Kot sem že zapisal, les absorbira vlago in jo spusti nazaj v zrak, ko postane zrak suh. Pogosto navlaževanje ni zdravo za obstojnost materiala.



Slika 15: Potek relativne vlažnosti čez nadgrajeno tradicionalno konstrukcijo (U-WERT)

V primerjavi s tradicionalno odprto konstrukcijo (slika 13) opazim pri nadgradnji (sliki 15) precej nižjo relativno vlažnost v slamnati kritini. Do kondenzacije zato pride pri dosti večji vlagi v notranjosti.

### 3.3 Prezračevana hladna streha

#### 3.2.1 Opis konstrukcije

Hladno streho lahko izvedemo tudi, kadar želimo imeti podstrešno stanovanje. To zahteva gradnjo iz dveh lupin ločenih s plastjo zraka. V notranji lupini s stavbnim ovojem se nahaja toplotna izolacija. Lahko je nameščena tudi med špirovci. Zunanjo lupino predstavlja slamnata streha. Vmes je zračna plast širine med 6 in 8 cm izvedena z vzdolžnimi in prečnimi letvami. V tej plasti je zračni tok. Z odprtini pod kapom (slika 16) dovajamo zrak v vmesno plast. Pod slemenom mora biti reža za odvod zraka. Zagotovi moramo prost pretok zraka do zračnikov.

Prezračevalni sloj na taki dvojni strehi omogoča odvod vodne pare iz notranjosti in pozimi preprečuje kondenzacijo na zunanjih hladnejših slojih ter zastajanje ledu na kapu. Poleti zračni sloj preprečuje vročinske zastoje (Die Konstruktion des Reetdaches, 2016).



Slika 16: Odprtina pod kapjo na hladni prezračevani strehi s bivalnim podstrešjem (Hiss Reet Schilfrohrhandel GmbH)

**Prednost** take konstrukcije je predvsem dobro prezračevanje slamnate kritine. To omogoči hitro izsuševanje v primeru navlažitve in dolgo obstojnost materiala.

Edina, a zato zelo velika **slabost** takega konstrukcijskega sklopa je velika požarna nevarnost. Zračni prostor pod slamo lahko izredno pospeši širitev požara, saj tega zrak dobesedno hrani zaradi prepriha pod slamo in skozi številne slamice.

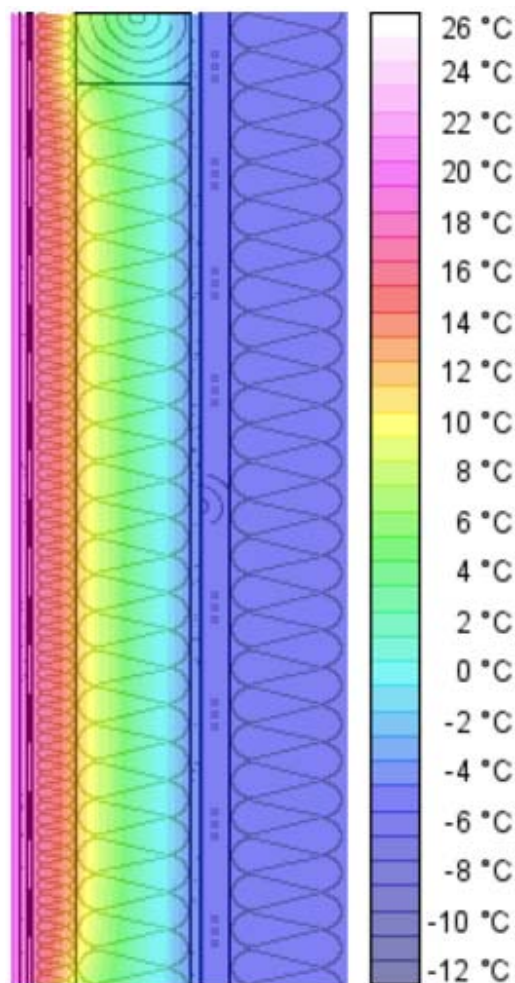
### 3.2.2 Analiza konstrukcije hladne strehe

V programu U-WERT moram v sloju 6 nastaviti prezračevano plast zunanjega zraka (preglednica 6). S tem ustvarim dva ločena sloja in program pri izračunu toplotne prehodnosti ne upošteva prispevka slamnate kritine. Ta gotovo nekaj prispeva, vendar je vpliv težko dokazljiv.

Preglednica 6: Analiza izvedbe konstrukcijskega sklopa – hladna streha

Sestava KS (od znotraj proti zunaj)										
Plast	Material	$d$ [cm]	$b$ [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\mu$	$T_{max}$ [°C]	$T_{min}$ [°C]	
1	Ognje. impreg. mavčna plošča	1,5		0,22	790	1000	10	19,6	18,9	
2	Parna zapora	0,05		0,22	260	1700	4600	19,3	18,9	
3	Izolacija iz konoplje (Thermo Hanf Premium)	6		0,04	36	2300	1/2	19,3	8,4	
4	Izolacija iz konoplje (Thermo Hanf Premium)	16	125	0,04	36	2300	1/2	12,8	-4,6	
	Špirovec (smreka)		10	0,13	450	1600	20/50	9,3	-4,2	
5	Ognje. impreg. mavčna plošča	1,5		0,22	790	1000	10	-3,9	-4,8	
6	Prezračevanje	4	131	/	0,001	1000	1			
	Kontra letev (smreka)		6	0,13	450	1600	20/50			
7	Letev (smreka)	4	6	0,13	450	1600	20/50			
	Prezračevanje		25	/	0,001	1000	1			
8	Slamnata kritina	16		0,07	240	1300	2/5			
SKUPAJ		49,05	Teža sklopa [kg/m <sup>2</sup> ]				79			
Toplotna prehodnost [W/m <sup>2</sup> K]					Slika KS (potek temperature in rosišča)					
$U_{rač} = 0,185$		<	$U_{max} = 0,2$							
Difuzija vodne pare										
Kondenz nastaja v plasti št.		/								
Čas potreben za izsušitev [dni]		/								
Toplotna stabilnost										
Temperaturno dušenje		9,0								
Temperaturna zakasnitev [h]		9,5								
Površinska temperatura [°C]		19,2								

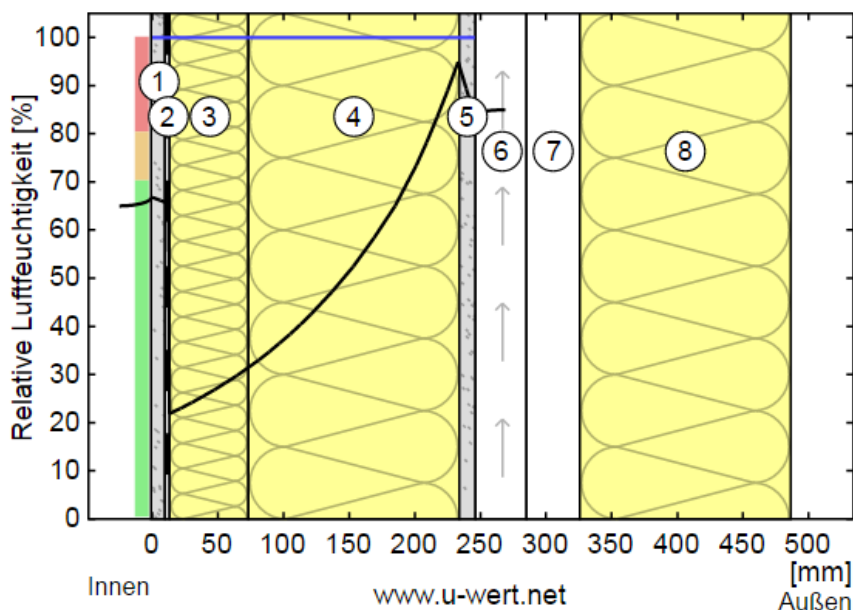
V izračunu se torej upošteva prvih 5 slojev. Njihova toplotna upornost  $R = 5,38 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ , največ pa k njej prispeva toplotna izolacija iz konoplje pod in med špirovci. Program upošteva tudi zmanjšanje toplotne upornosti zaradi špirovcev na razdalji 1,35 m. Vrednost toplotnega upora bi sicer znašala  $5,81 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ . Dejanski potek temperature je prikazan na sliki 17. Z upoštevanjem špirovcev toplotna prehodnost znaša  $0,185 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  (preglednica 6).



Slika 17: Potek temperature čez konstrukcijski sklop (U-WERT)

Toplotna upornost same slamnate kritine debeline 16 cm znaša  $2,29 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ , temperaturno dušenje pa 3,8. Vrednosti v računu sklopa nista upoštevana, zato program na poteku temperature (slika 17) po celem sloju slame predpostavi vrednost zunanje temperature. Kot zanimivost: če bi namesto prezračevanega sloja predpostavili zaprt, bi bila skupna toplotna upornost  $8,0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  in toplotna prehodnost  $0,125 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

Na sliki 18 je prikazan potek relativne vlažnosti, saj turbulentni zrak v vmesnem prezračevanem sloju odvaja vlago.



Slika 18: Potek relativne vlažnosti čez hladno streho (U-WERT)

Tak sklop moram zaradi varnosti zaščiti pred požarom. To dosežem z ognje odpornimi mavčnimi ploščami, ki imajo jedro armirano s steklenimi vlakni dolžine 3-30 mm. Ta v primeru požara ohranjajo fizično strukturo plošče. Takšne mavčne plošče spadajo v razred A1 med materiale, ki so negorljivi in ne omogočajo požarnega preskoka. Dve plošči debeline 15 mm zagotavljata 60 minut upornosti proti ognju, 20 mm pa zadostuje za 30 minutno zaščito špirovcev (Knauf Fireboard A1, 2016).

### 3.4 Topla streha

#### 3.4.1 Opis konstrukcije

Slamnata streha se imenuje topla streha, če v strešnem konstrukcijskem sklopu ni plasti zraka oz. ta vmesna plast zraka ni prezračevana. V tem primeru se sloj slame uporablja za toplotno izolacijo. Dodatna izolacija je lahko položena nad, med ali pod špirovce. Ker ima slama svoje izolacijske lastnosti, je potrebno manj dodatne izolacije. Ta pomeni samo dodatno korist.

Za toplo streho je izredno pomembna faza načrtovanja, da pravilno uravnavamo prehod vlage skozi konstrukcijski sklop. V suhem stanju slame je vrednost difuzije vodne pare  $\mu = 2$  in toplotna prevodnost  $\lambda = 0,07$  W/mK. Po nalivu je zunanja plast 5-6 cm mokra, zato takrat tesni in ne prepušča zraka. Vrednost difuzije vodne pare znaša se poveča na  $\mu = 5$ . V odsotnosti prezračevanja moramo na notranji strani konstrukcije zagotoviti parno zaporo. Če ni parne zapore, ali je ta poškodovana, pride do kondenzacije na zunanjem mokrem delu slamnate kritine. V hladnih in vlažnih mesecih vlaga prodre globlje v streho in slamnata kritina vsaj na severni strani pozimi ne bo več nikdar suha. Taka kritina je lahko močno poškodovana že po desetih letih. Bistvenega pomena za trajnost slamnate strehe kot tople strehe je zato funkcionalna parna zapora.

Študije na Nizozemskem kažejo da je približno 90 odstotkov vseh primerov prezgodnjega drastičnega staranja strehe posledica napake pri konstrukciji slamnate strehe. Ker pri topli strehi ni mogoče sušenje iz notranje strani, mora biti poleg ustreznega konstrukcijskega sklopa s parno zaporo slamnata kritina primerne debeline, material suh, izvedba zelo natančna in skrbna, da zagotovi veliko vodotesnost. V primerjavi s hladno streho dosežemo boljše toplotno izolacijo, notranjost brez prahu in prepriha in predvsem dosti višjo požarno zaščito (Die Konstruktion des Reetdaches, 2016).

#### 3.4.2 Nevarnost kondenzacije pri topli strehi

Pri topli strehi največji problem predstavlja prehod vlage. Ta je zmeraj prisotna v zraku, topel zrak pa vsebuje več vlage kot hladni. Ko se topel zrak pri prehodu v hladne plasti konstrukcijskega sklopa ohlaja, lahko doseže temperaturo, pri kateri ne more več zdržati vlage in jo začne izločati – kondenzira. Ta temperatura se imenuje rosišče.

Za kondenzacijo so posebej nevarni toplotni mostovi, t.j. točke, kjer manjka izolacija. To so lahko špirovci in območja okoli njih, stiki in luknje med izolacijskimi ploščami ter med ploščami in zidovi, dimniki, cevmi ali napeljavo. Skratka na točkah, ki prekinejo celovitost konstrukcijskega sklopa. Pozimi bodo toplotni mostovi hladni, zaradi česar bo ob prehajanju toplega zraka prišlo do kondenza,

ki lahko povzroči plesen. Ta ni zdrava, poleg tega pa v stiku z lesom povzroči propadanje. Čim več vlage ustvarijo prebivalci s svojim bivanjem, večja je nevarnost za slabo izvedene detajle.

Primerna rešitev je polaganje dodatne izolacije med špirovce. V kolikor želimo imeti naravno streho bomo uporabili naravne materiali kot so ovčja volna in konopljna vlakna. Njihove zmožnosti je, da v absorbirajo vlago v vlažnih pogojih in jo spustijo, ko se pogoji spremenijo. Naravni izolacijski materiali na ta način ščitijo les pred insekti in gnitjem. Vendar pa tudi pogosto navlaževanje takšnih materialov nikakor ni zaželeno. Mineralna volna, steklena vlakna ali poliuretanska pena so za take pogoje manj primerni.

Najprimernejša rešitev je gotovo polaganje izolacijskih plošč iznad špirovcev, še posebej v kombinacijo z izolacijo med njimi. S ploščami najlažje zagotovimo zrakotesnost celotne strehe, vendar moramo izbrati naravne paro propustne deske iz lesenih vlaken ali deske iz slame. Lesna vlakna imajo boljše termalne lastnosti, slamnate plošče pa so bolj prožne. Plošče iz konvencionalnih materialov so paro nepropustne in lahko povzročijo vlago in gnitje slame.



Slika 19: Poškodbe slamnate strehe zaradi prevelike vlage, ki se ni mogla izsušiti (Rieten dak, 2016)

Z namestitvijo dodatne toplotne izolacije tik pod slamo močno povečamo možnost kondenzacije v slami. Vlaga v slami povzroči njeno propadanje, če se ta ne uspe izsušiti (slika 19). Zato je zelo pomembna namestitev parne zapore na notranji strani izolacije. Razlog za to so nižji faktorji toplotne

prevodnosti pri toplotno izolacijskih materialih. Majhna vrednost izločenega kondenza se tolerira v prezračevanih konstrukcijah, medtem ko večja količina povzroči veliko škodo (Die Konstruktion des Reetdaches, 2016).

Slamnata streha kot topla streha je relativno nov način prekrivanja, saj se uporablja komaj štirideset let. To je malo v primerjavi z izkušnjami s starim načinom kritja, zato kljub današnjemu znanju, obstaja možnost, da se čez leta izkaže za slabšo varianto (Energy efficiency in history buildings, 2010).

Izvedba tople strehe je dražja različica in težja za obnovo. Ob zelo natančnem in pravilnem načrtovanju, izvedbi in vzdrževanju je izredno energetska učinkovita in zadostuje najnovejšim predpisom. Začetni strošek se povrne na račun nižjih stroškov za energijo.

### 3.4.3 Požarna varnost neprezračevane strehe

Glavna prednost tople strehe je veliko boljše obnašanje pri požaru v primerjavi s turbulentno prezračevano hladno streho. Tako je na Nizozemskem za razliko od hladne strehe zavarovalna premija za toplo streho, kjer se slama polaga direktno na ploščo, enaka kot pri strehah s trdimi kritinami (Opstal/inboedel verzekering, 2016).



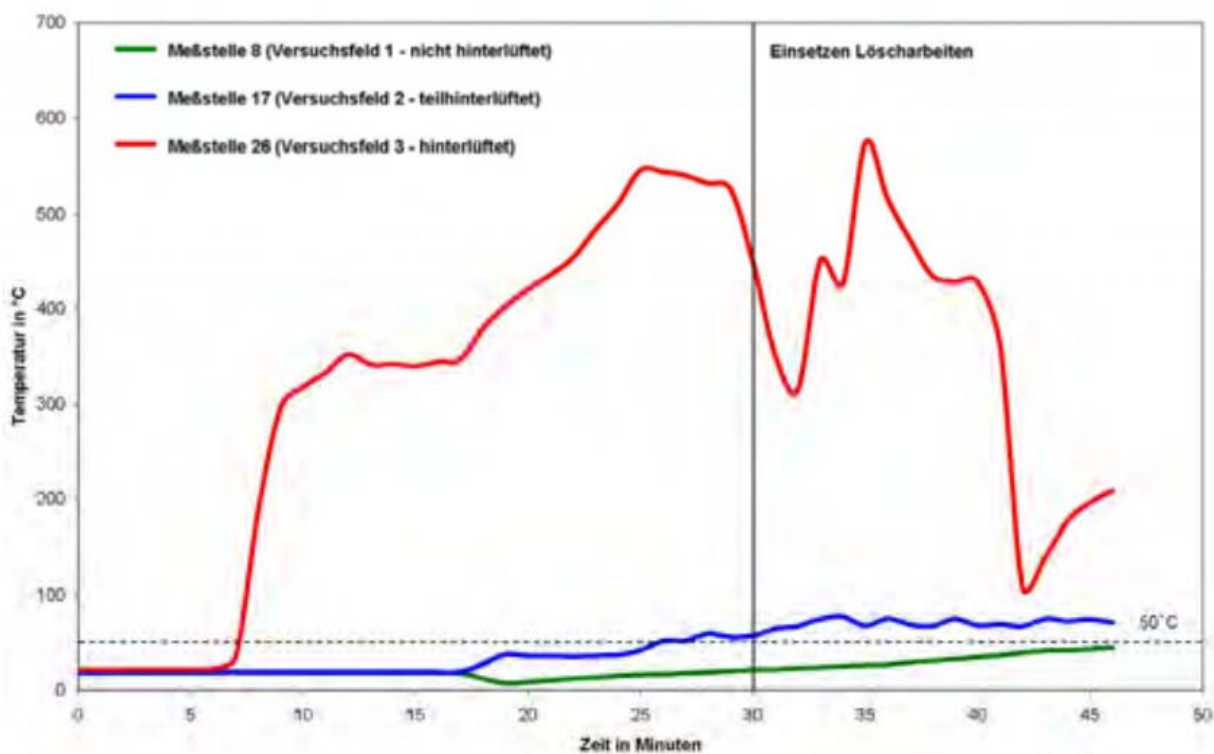
Slika 20: Priprava strehe za požarni test s tremi testnimi območji  
(Realbrandversuch, „Regionalhaus aus 100% nachwachsenden Rohstoffen“, 2009)

Prof. Georg Conradi in prof. dr. Manfred Logemann sta leta 2003 na Fachhochschule Lübeck začela s projektom "Gradnja z obnovljivimi viri", ki ga financira nemško Ministrstvo za znanost. V okviru projekta sta leta 2006 opravila realni požarni preizkus na objektu s slamnato streho na konstrukciji iz



masivnega lesa. Slamnata streha je bila razdeljena na tri testna območja. Na prvem je bila slama nameščena direktno na iverne plošče, na drugem so bile pod kritino horizontalne letve čez celo streho s prostorom za zrak debeline 4 cm, na tretjem območju pa prostor debeline osem centimetrov narejen z poševnimi in horizontalnimi letvami (slika 20).

Pod slamnato kritino so na vsako testno območje postavili tri temperaturne senzorje. Slika 21 prikazuje temperaturo na treh testnih poljih glede na čas v minutah. Zelena krivulja predstavlja prvo, modra drugo in rdeča tretje testno območje. Požarni test je bil narejen v zunanjih vetrovnih pogojih. Gasilci so ogenj začeli gasiti po tridesetih minutah. Požar je pustil površinske poškodbe na strehi in sajaste sledi na steni, ki je bila tako kot streha narejena iz masivnega lesa.



Slika 21: Temperaturna primerjava treh testnih polj pod slamo  
(Realbrandversuch, „Regionalhaus aus 100% nachwachsenden Rohstoffen“, 2009)

S tako izvedbo konstrukcijskega sklopa in dodatno požarno zaščito zadovoljimo pomemben socialni vidik trajnostne gradnje – strah pred požarom.

### 3.4.4 Analiza konstrukcije tople strehe

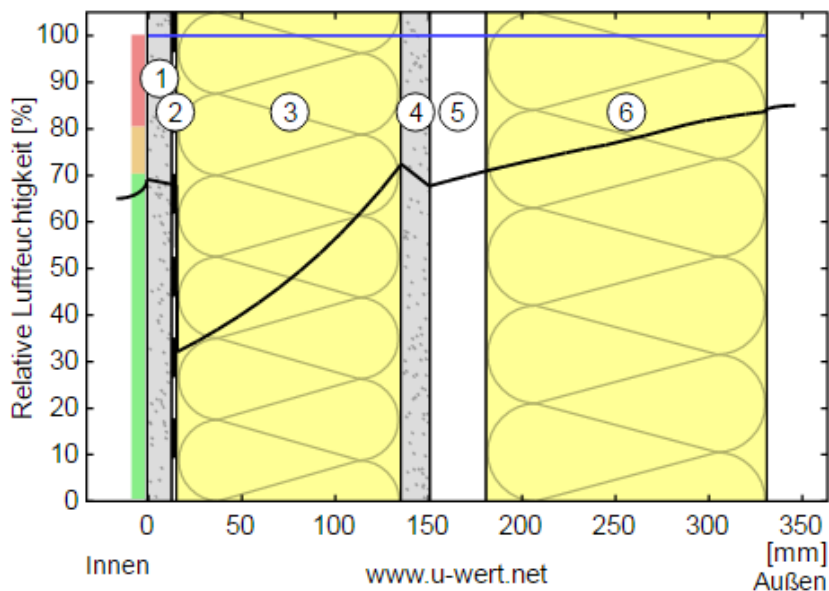
#### 3.4.4.1 Primer 1 – toplotna izolacija med špirovci

Za analizo sem vzel najprej primer tople neprezračevane strehe, kjer toplotno izolacijo predstavlja kombinacija slamnate kritine in dodatne izolacija med špirovci. Zaradi razlike med toplotno prevodnostjo obeh materialov moramo postaviti parno zaporo nad finalne mavčne plošče. V tem primeru dobimo zelo tanko strešno konstrukcijo skupne debeline 33 cm in zelo lahko, saj znaša njena teža samo dobrih 70 kg na kvadratni meter površine (preglednica 7).

Preglednica 7: Analiza izvedbe konstrukcijskega sklopa – topla streha (toplotna izolacija med špirovci)

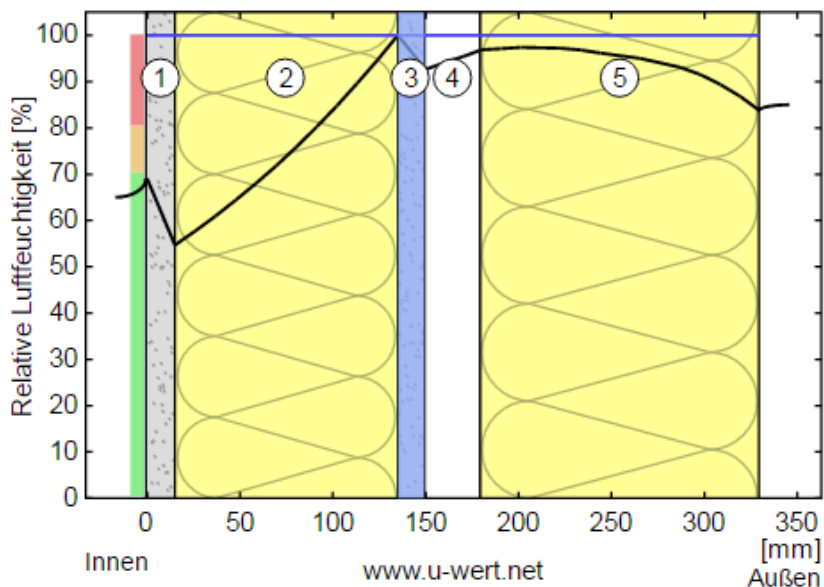
Sestava KS (od znotraj proti zunaj)										
Plast	Material	<i>d</i> [cm]	<i>b</i> [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	<i>c</i> [J/kgK]	$\mu$	<i>T</i> <sub>max</sub> [°C]	<i>T</i> <sub>min</sub> [°C]	
1	Ognje. impreg. mavčna plošča	1,5		0,22	790	1000	10	19,0	17,4	
2	Parna zapora	0,05		0,22	260	1700	4600	18,8	17,4	
3	Steklena volna	12	60	0,035	20	830	1	18,8	5,4	
	Špirovec (smreka)		10	0,13	450	1600	20/50	17,9	7,8	
4	Ognje. impreg. mavčna plošča	1,5		0,22	790	1000	10	8,4	5,1	
5	Letev (smreka)	3	4	0,13	450	1600	20/50	7,7	4,3	
	Zrak (mirujoč)		25	/	0,001	1000	1	7,8	6,2	
6	Slamnata kritina	15		0,07	240	1300	2/5	6,6	- 4,8	
SKUPAJ		33,05	Teža sklopa [kg/m <sup>2</sup> ]				71,9			
Toplotna prehodnost [W/m <sup>2</sup> K]					Slika KS (potek temperature in rosišča)					
<i>U</i> <sub>rač</sub> = 0,190		<	<i>U</i> <sub>max</sub> = 0,2							
Difuzija vodne pare										
Kondenz nastaja v plasti št.			/							
Čas potreben za izsušitev [dni]			/							
Toplotna stabilnost										
Temperaturno dušenje			22,4							
Temperaturna zakasnitev [h]			13,8							
Površinska temperatura [°C]			19,3							

Na sliki 22 je prikazan potek relativne vlažnosti čez konstrukcijski sklop tople strehe za primer 1. Vidimo, da so vsi materiali varni pred pojavom kondenzacije.



Slika 22: Potek relativne vlažnosti čez toplo streho za primer 1 (U-WERT)

Če bi pozabili postaviti parno zaporo, bi se nam med 2. in 3. slojem pojavljala velika količina kondenza (slika 23), ki bi poškodovala izolacijo in mavčno ploščo. Vлага bi se razširila na letve in slamo, kjer bi se začela nabirati plesen.



Slika 23: Potek relativne vlažnosti čez toplo streho za primer 1 brez parne zapore (U-WERT)

V preglednici 8 sem za **primer 1** primerjal različne debeline slamnate kritine in vrsto dodatne toplotne izolacije med špirovci. Zanimala me je predvsem toplotna prehodnost in teža dobljeni konstrukcijskih sklopov.

Preglednica 8: Primerjava toplotne prehodnosti in teže konstrukcijskih sklopov glede na toplotno izolacijo

Vrsta dodatne toplotne izolacije	Debelina slame (skupaj sklop) [cm]	Teža sklopa [kg/m <sup>2</sup> ]	Toplotna prehodnost [W/m <sup>2</sup> K]	Temperaturno dušenje
Steklena volna	15 (33)	71,9	0,190	22,4
	20 (38)	83,9	0,167	44,8
	25 (43)	95,9	0,149	91,7
Konoplja	15 (33)	73,6	0,199	27,3
	20 (38)	85,6	0,174	54,6
	25 (43)	97,6	0,155	> 100

Vse kombinacije zadostujejo pogojem toplotne prehodnosti za poševno streho po Tehnični smernici ( $U_{max} = 0,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ). Tudi če bi stekleno volno v primeru 1 nadomestili z naravno toplotno izolacijo iz konoplje, bi imeli zelo lahko strešno konstrukcijo z odličnimi pogoji.

V obravnavanem primeru se odločim povečati debelino slamnate kritine za 10 cm. S tem dobim še zmeraj relativno tanek konstrukcijski sklop debeline 43 cm. Teža v tem primeru znaša 95,6 kg na kvadratni meter in je primerljiva s težo običajnih strešnih konstrukcijskih sklopov. Faktor temperaturnega dušenja se močno poveča, s čimer se poveča tudi toplotno udobje. S takim ukrepom dosežemo faktor toplotne prehodnosti  $0,149 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Taka vrednost zadovoljuje kriterijem toplotne prehodnosti za strehe nizkoenergijske hiše ( $U_{max} = 0,15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ).

Pogoj za nizkoenergijsko zgradbo je tako izveden toplotni ovoj, da za ogrevanje prostorov porabimo največ 55, za pripravo vode pa 25 kilovatnih ur na kvadratni meter uporabne površine na leto. V klasično zgrajeni stavbi se za ogrevanje letno porabi  $200 \text{ kW h/m}^2$ , z uveljavitvijo Pravilnika o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije pa med 60 in  $80 \text{ kW h/m}^2$  na leto. V stavbnem ovoju moramo za zadostitev pogojev nizkoenergijske stavbe namestiti zadostno debelino toplotne izolacije, vgraditi kvalitetna okna in poskrbeti za kakovostno izvedbo detajlov.

Za ogrevanje takih zgradb koristimo nižje temperature dovoda, kar nam omogoča izkoriščanje alternativnih virov toplote. Izbiramo različne nizkotemperaturne ogrevalne sisteme, kot so toplotne črpalke, ki jih poleti izkoristimo za hlajenje prostorov. S takim tesnjenjem zmanjšamo tudi izmenjavo

zraka v prostoru, zaradi česar moramo najpogosteje vgraditi prezračevalni sistem za dovod zadostne količine svežega zraka. V nasprotnem se lahko pojavi neugodje v prostoru, vlaga in z njo povezana plesen (Grobvšek, 2016b).

Takšne konstrukcije tople strehe z izolacijo med špirovci zelo pogosto uporabljajo nizozemski arhitekturni biroji za nove moderne stanovanjske hiše. Zaradi dodatne izolacije je potrebna manjša debelina slamnate kritine (slika 24). Ker je ta neprezračevana, je potrebno pri načrtovanju in izvedbi biti zelo pozoren (poglavje 3.4.3).



Slika 24: Moderna stanovanjska hiša z neprezračevano slamnato kritino in izolacijo med špirovci (Bekhuis&KleinJan, 2016)

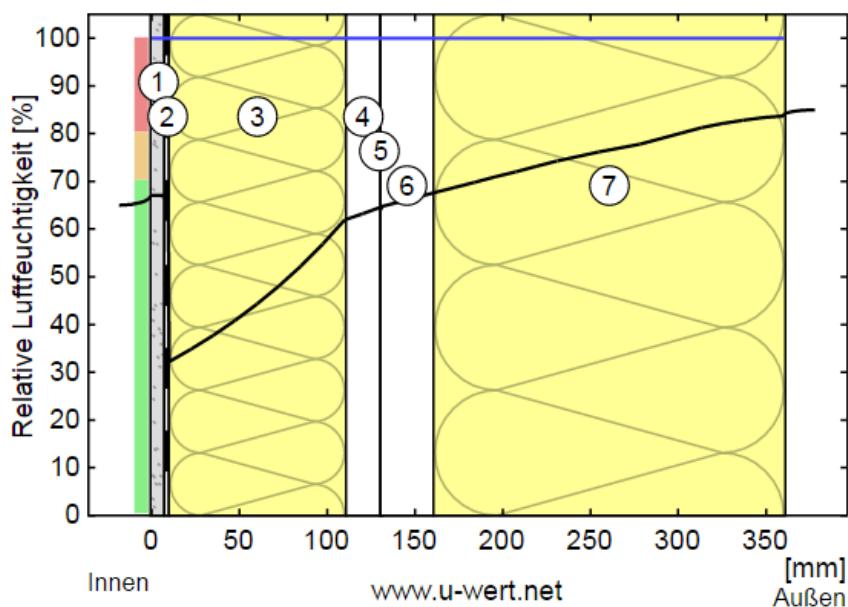
### 3.4.4.2 Primer 2 – ognje odporna toplotna izolacija med špirovci in membrana nad njimi

V drugem primeru sem med špirovce namestil ognje odporno toplotno izolacijo iz kamene volne. Za zaščito špirovcev pred požarom nanje pritrdim protipožarno membrano iz steklenih vlaken, prevlečeno z aluminijem, ki je odličen izolator (Thatch Firewall Membrane, 2016). Tako kombiniran konstrukcijski sistem je primeren za prenovo starih stavb z neravnimi špirovci, kjer so ognje odporne mavčne plošče neprimerne (preglednica 9).

Preglednica 9: Analiza izvedbe konstrukcijskega sklopa – topla streha (ognje odporna izolacija med špirovci in membrana nad njimi)

Sestava KS (od znotraj proti zunaj)										
Plast	Material	$d$ [cm]	$b$ [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\mu$	$T_{max}$ [°C]	$T_{min}$ [°C]	
1	Mavčna plošča	0,95		0,25	680	960	4/10	19,1	17,9	
2	Parna zapora	0,05		0,22	260	1700	4600	19,0	17,9	
3 + 4	Špirovec (smreka)	12	8	0,13	450	1600	20/50	18,9	9,5	
	Ognje odporna TI (kamena volna)	10	60	0,035	50	1030	1	18,9	8,2	
	Zrak (mirujoč)	2	60	/	0,001	1000	1	10,5	7,5	
5	Protipožarna membrana	0,04		0,035	125	1300	40/200	9,8	7,5	
6	Letev (smreka)	3	4	0,13	450	1600	20/50	9,7	6,7	
	Zrak (mirujoč)		25	/	0,001	1000	1	9,7	8,4	
7	Slamnata kritina	20		0,07	240	1300	2/5	8,6	- 4,8	
SKUPAJ		36,04	Teža sklopa [kg/m <sup>2</sup> ]				67,8			
Toplotna prehodnost [W/m <sup>2</sup> K]				Slika KS (potek temperature in rosišča)						
$U_{rač} = 0,174$		<		$U_{max} = 0,2$						
Difuzija vodne pare										
Kondenz nastaja v plasti št.		/								
Čas potreben za izsušitev [dni]		/								
Toplotna stabilnost										
Temperaturno dušenje		19,6								
Temperaturna zakasnitev [h]		14,5								
Površinska temperatura [°C]		19,3								

Potek relativne vlažnosti čez konstrukcijski sklop (slika 25) je podoben kot v primeru 1 (slika 22). Tudi tukaj je bistvenega pomena za dolgo življenjsko dobo slamnate kritine pravilno postavljena paro nepropustna folija.



Slika 25: Potek relativne vlažnosti čez toplo streho za primer 2 (U-WERT)

Vidimo, da je pri 20 cm debeli slamnati kritini konstrukcijski sklop s požarno membrano lažji kar 16 kilogramov na kvadratni meter od prvega primera z ognje odpornimi impregniranimi mavčnimi ploščami (preglednica 10). Razlika nastane zaradi teže mavčnih plošč, ki jih potrebujemo za zagotovitev zadostne požarne odpornosti.

Preglednica 10: Primerjava toplotne prehodnosti, teža konstrukcijskega sklopa in temperaturnega dušenja za oba primera tople strehe

Primer	Debelina slame (skupaj sklop) [cm]	Teža sklopa [kg/m <sup>2</sup> ]	Toplotna prehodnost [W/m <sup>2</sup> K]	Temperaturno o dušenje
Primer 1 (steklena volna)	15 (33)	71,9	0,190	22,4
	20 (38)	83,9	0,167	44,8
	25 (43)	95,9	0,149	91,7
Primer 2 (ognje odporna kamena volna)	15 (31)	55,8	0,199	9,8
	20 (36)	67,8	0,174	19,6
	27 (43)	84,6	0,147	51,5

Primer 2 zadosti kriteriju toplotne prehodnosti za strehe nizkoenergijske zgradbe ( $U_{max} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) pri debelini slame 27 cm in enaki skupni debelini konstrukcijskega sklopa kot Primer 1 (43 cm). Teža konstrukcijskega sklopa na kvadratni meter je za razliko od Primera 1 manjša kar za 11,3 kg (Preglednica 10). Nekoliko nižje je temperaturno dušenje, vendar vseeno omogoča primerno temperaturno zakasnitev 17,7 h.



### 3.4.4.3 Primer 3 – ognje odporna toplotna izolacija nad špirovci

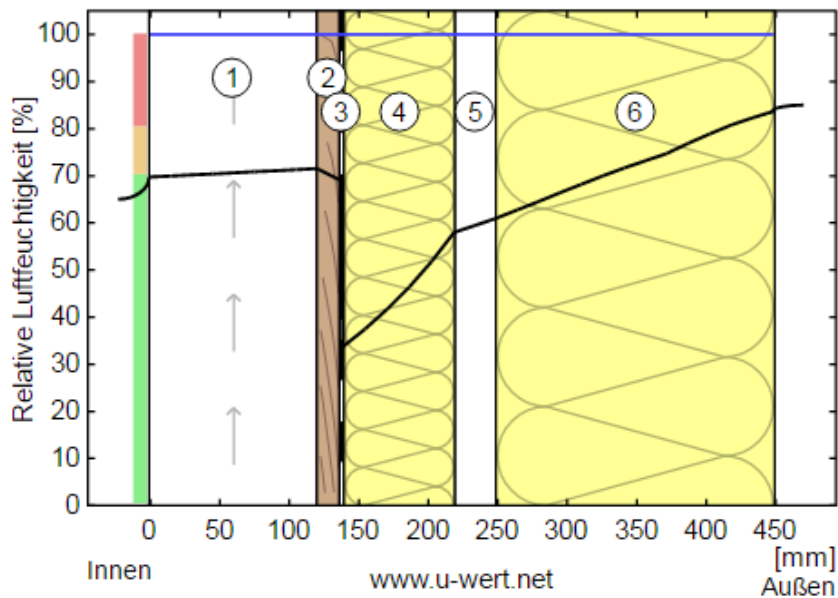
V tretjem primeru bom uporabil za dodatno izolacijo trde plošče iz kamene volne, ki imajo visoko gostoto in so namenjene vgradnji nad špirovci iz zunanje strani v sistemih poševnih streh. Plošče se vijačijo s posebno namensko šablono. S postavitvijo nad špirovce se izognemo morebitnim toplotnim mostovom, hkrati pa strehi zagotovimo visoko toplotno in požarno izolacijsko funkcijo.

Zaradi boljšega izračuna ne bom upošteval prvega sloja zraka med špirovci. S tem bom pri izračunih na varni strani.

Preglednica 11: Analiza izvedbe konstrukcijskega sklopa – topla streha (toplotna izolacija nad špirovci)

Sestava KS (od znotraj proti zunaj)										
Plast	Material	$d$ [cm]	$b$ [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\mu$	$T_{max}$ [°C]	$T_{min}$ [°C]	
1	Špirovec (smreka)	12	10	0,13	450	1600	20/50			
	Zrak (notranji)		1250	/	0,001	1000	1			
2	Lesene deske (smreka)	1,8		0,13	450	1600	20/50	18,9	18,2	
3	Parna zapora	0,05		0,22	260	1700	4600	18,2	18,2	
4	Plošče iz kamene volne	8		0,04	150	1030	1	18,2	9,1	
5	Letev (smreka)	3	4	0,13	450	1600	20/50	9,2	8,2	
	Zrak (mirujoč)		25	/	0,001	1000	1	9,1	8,2	
6	Slamnata kritina	20		0,07	240	1300	2/5	8,2	-4,8	
SKUPAJ		44,85	Teža sklopa [kg/m <sup>2</sup> ]				74,3			
Toplotna prehodnost [W/m <sup>2</sup> K]					Slika KS (potek temperature in rosišča)					
$U_{rač} = 0,180$		<	$U_{max} = 0,2$							
Difuzija vodne pare										
Kondenz nastaja v plasti št.		/								
Čas potreben za izsušitev [dni]		/								
Toplotna stabilnost										
Temperaturno dušenje		32,4								
Temperaturna zakasnitev [h]		15,5								
Površinska temperatura [°C]		19,3								

Pričakovano je tudi v tem primeru potek relativne vlažnosti čez konstrukcijski sklop (slika 26) podoben tistima v primerih 1 in 2 tega poglavja.



Slika 26: Potek relativne vlažnosti čez toplo streho za primer 3 (U-WERT)

Za zadovoljitev zahtev za streho pri nizkoenergijski stavbi bi potrebovali 28 cm debel sloj slamnate kritine. Skupna debelina konstrukcijskega sklopa bi znašala okoli 53 cm (brez špirovca 41 cm). Na kvadratni meter bi sklop tehtal 93,5 kg, kar je podobno kot primer 1 (preglednica 10).

#### 4 PRIMERJAVA STROŠKOV S KONVENCIONALNO GRADNJO

V tem poglavju bom primerjal stroške izvedbe strešnih konstrukcijskih sklopov analiziranih v poglavju 3 in standardnih konstrukcijskih sklopov. Cene materialov in izvedbe bom predstavil na kvadratni meter. Cene v preglednici 12 sem dobil na spletnih straneh in v katalogih proizvajalcev, strošek izvedbe pa v orientacijskih cenikih OZS (Obrtna zbornica Slovenije, 2016). Upoštevane so cene z davkom na dodano vrednost.

Preglednica 12: Okvirni stroški upoštevani pri izračunu konstrukcijskih sklopov

Material	Cena [€/m <sup>2</sup> ]	Delo [€/m <sup>2</sup> ]
Slamnata kritina	60-80	
Opečna kritina	19-24	Krovska dela 20-30
Betonska kritina	13-18	
Deskanje	3-4	
Letvanje	3-4	
Ognje odporne plošče iz kamene volne (8 / 10cm)	15-20	
Protipožarna folija / membrana	2/8	
Toplotna izolacija – steklena volna (10 / 12 cm)	8/10	Suho montažna dela 10-15
Konopljna izolacija (6 / 16 cm)	10/25	
Parna zapora	2,0	
Ognje odporna mavčna plošča (1,5cm)	6,7	
Mavčna plošča (0,95 cm)	3,2	

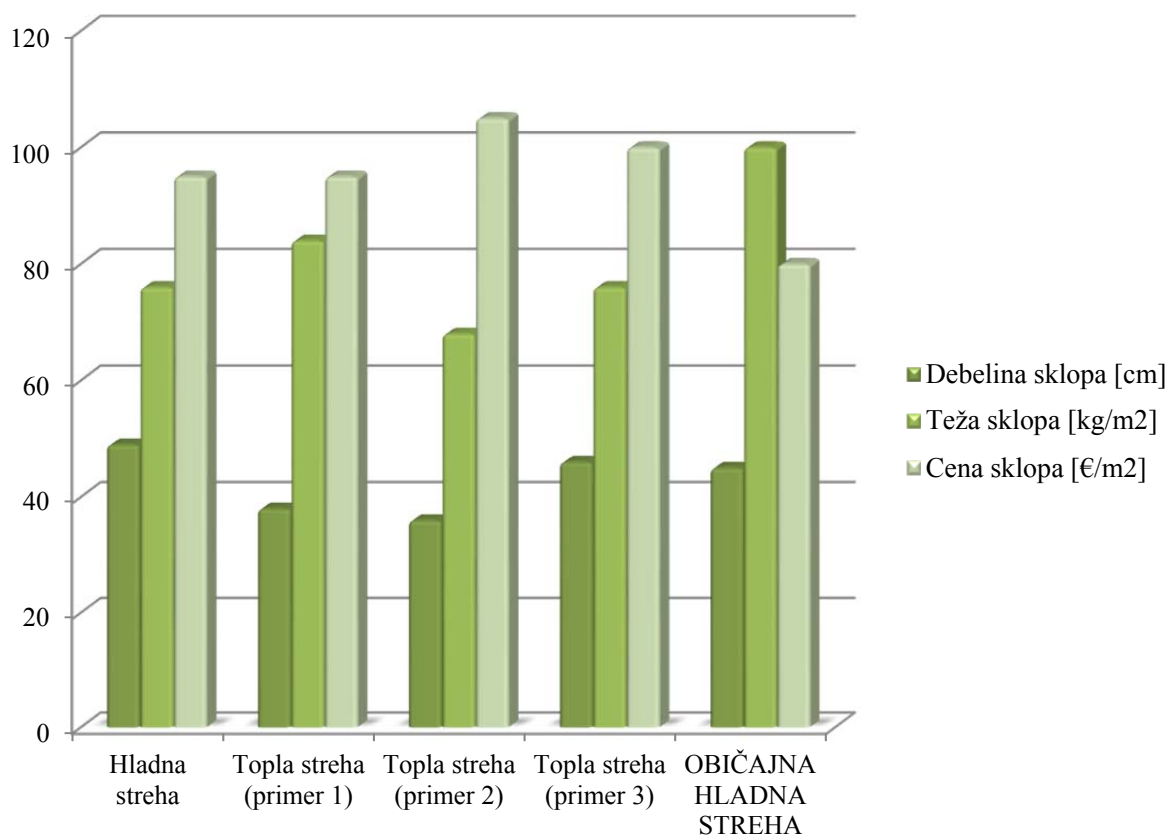
Običajna strešna konstrukcija, ki se sestoji iz mavčne plošče, parne zapore, izolacije pod in med špirovci ter letev in strešnikov, stane v povprečju med 75 in 85 €.

Prekrivanje enega kvadratnega metra s slamnato kritino debeline približno 20 cm za enostavno streho znese približno 60 €. Cena poraste do 70 ali 80 €, če je sloj slame debelejši in streha bolj zahtevna. Kvadratni meter tradicionalne odprte konstrukcije slamnate kritine (poglavje 3.2.3) bi nas stal okoli 70 €, nadgrajena z deskami in požarno folijo pa slabih 80 €.

Izvedba hladne slamnate strehe z dvema ognje odpornima mavčnima ploščama ter naravno izolacijo med in pod špirovci, bi znesla okrog 110 €. Če bi namesto naravne izolacije iz konoplje vzeli stekleno volno iste debeline bi prišli na 95 €.

V grafikonu 3 bom primerjal lastnosti hladne strehe (poglavje 3.2.2) in treh primerov tople strehe (poglavje 3.4.4) s povprečno običajno hladno streho. Pri vseh konstrukcijah so debeline izbrane tako, da dosega toplotno prehodnost približno  $0,175 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

Za prva dva primera sem kot toplotno izolacijo uporabil stekleno volno, za druga dva pa plošče iz ognje odporne kamene volne. Debelina slamnate kritine v vseh primerih je okoli 20 cm.



Grafikon 3: Primerjava debeline, teže in cene slamnate strehe v primerjavi z običajnimi

V primerjavi opazim, kar je znano od začetka. Izvedba konvencionalne strehe je od 15 do 20 odstotkov cenejša od ostalih obravnavanih strešnih konstrukcijskih sklopov. Slamnate strehe pa so istočasno lažje in večinoma tanjše. Zahteve po toplotni prehodnosti in primerno toplotno udobje pri običajnih strehah dosežemo z zadostno debelino toplotne izolacije in prezračevanim slojem pod opečnato, betonsko ali kovinsko kritino. Prezračevan sloj preprečuje pregrevanje in širjenje toplote iz kritine v spodnje sloje.

S tem ko je konstrukcija za slamnato streho lažja, lahko izberemo manjše dimenzije špirovcev. Pozorni moramo biti, če bi želeli kritino kasneje zamenjati s težjo. Ta problem se je pojavljal že pri prehodu iz slamnatih na ostale kritine pred več kot stoletjem ali dvema, saj so mnoge strešne nosilne konstrukcije bile preveč slabotne.

Čeprav se hladna streha zdi še skoraj najbolj sprejemljiva med slamnatimi kritinami (grafikon 3), se spomnim na požarni test iz poglavja 3.4.3. Ognje odporne mavčne plošče zagotavljajo dobro požarno odpornost strešne konstrukcije, vendar bi veliki ognjeni zublji lahko poškodovali ostali del objekta. V tujini je ta aspekt upoštevan, zato bi morali za tako stavbo plačevati višjo zavarovalnino.

Primer 2 tople strehe je sicer najdražji med vsemi, vendar zagotavlja odlično požarno zaščito s sistemom požarne membrane nad špirovci in ognje odporne izolacije med njimi. Ob tem je najtanjši in najlažji sklop med vsemi obravnavanimi. Pri njem tudi najlažje dosežemo pogoj za poševne strehe nizkoenergijske hiše.

Dejansko opazimo, da za to kar dobimo, cene slamnatih streh niti niso tako visoke. S kvalitetnejšo izvedbo le teh, bi se strošek nekoliko povečal, vendar bi tudi podaljšali njihovo življenjsko dobo.

## 5 ZAKLJUČEK

V prvih poglavjih diplomske naloge sem se posvetil zbiranju znanih dejstev o slamnati kritini na Slovenskem. S prihodom industrializacije, mobilnosti in zatonom kmetijske dejavnosti je bila vržena na smetišče zgodovine kot nekaj siromašnega, starega in zaostalega, čeprav je velik del zgodovine krasila naša naselja in nudila našim prednikom ugodno zavetje pred vremenskimi vplivi. Vernakularna arhitektura je dajala prijetno podobo našim naseljem. Z naravnimi materiali grajeni objekti so se zlivali z okoljem. Novi materiali so prevzeli primat, saj so ponujajo številne nove možnosti in prepogosto novi objekti odstopajo od tradicionalne tipologije naselij in celo predstavljajo tujke v okolju, kjer so postavljeni.

Z razvojem se pojavljajo številne nove možnosti in s pogledom v naravo ali v preteklost se lahko naučimo marsikaj »novega« in modernega. Razvoj nam nedvomno omogoča nadgrajevanje kakršnega koli znanja. Čeprav slamnate kritine postajajo oz. bodo postajale vse bolj priljubljene, če predpostavimo sledenje trendu razvitih držav, gre pri postopku prekrivanja strehe s slamo za zelo staro znanje. Skozi tisočletja se ni veliko spremenilo, saj ne ponuja ravno veliko novih možnosti. Obstajajo majhne nadgradnje, ki se jih uspešno poslužujejo v tujini. Pri nas se zaradi nerazširjenosti dejavnosti nismo preveč ukvarjali z njimi.

V našem okolju sta se za slamnate strehe najpogosteje uporabljali pšenica in rž kot najbolj razširjeni žiti. Ker je slama današnjih sort pšenice prekratka, se pri nas uporablja samo še ržena, ki je daljša. Nekoč se je uporabljala zgolj za zaključke na slemenu. Na skrajnem severovzhodu so tuji mojstri prekrili nekaj objektov s trsjem iz Blatnega jezera, ki pa za Slovenijo ni značilno. Zaradi povečanega zanimanja za avtohtona semena se lahko v bodoče nadejamo tudi novih posevkov starih sort pšenice. Njena slama je tanjša in mehkejša od ržene slame in trsja. S tem nudi kvalitetnejšo, bolj zapolnjeno kritino in boljšo izolativnost. Prednost naravne kritine je, da diha in da se napenja pri višji vlažnosti, kar pomeni še boljše tesnjenje. Za kvalitetno gradnjo je pomembna tudi kvalitetna priprava slame.

V diplomski nalogi sem ugotovil, da slamnata kritina zadošča vsem vidikom trajnostne gradnje. Je naraven material, ki nudi vizualno, zvočno in toplotno udobje ter kvaliteten zrak v prostoru. Zaradi dolge življenjske dobe in dobre izolativnosti privarčujemo na porabi energije in dodatni izolaciji. Slamo dobimo v bližini in za pridelavo porabimo zelo malo energije. Še več, rastline za fotosintezo porabljajo ogljikov dioksid, s čimer pozitivno prispeva k ogljičnem odtisu v časih, ko je kar petintrideset odstotkov proizvedenega ogljikovega dioksida povezano s stavbami.

Za tri tipe konstrukcijskih sklopov sem naredil analizo toplotne prehodnosti, toplotne stabilnosti, difuzije vodne pare in površinske temperature, ki sem jih primerjal z zahtevami Tehnične smernice za graditev. Za natančno analizo sem poiskal lastnosti slame na podlagi testov. Zaradi odstopanja pri podatku za specifično toploto sem naredil primerjavo, s katero sem izbral najprimernejšo vrednost.

Kot osnovo za primerjavo lastnosti modernih konstrukcijskih sklopov pri izvedbi hladne prezračevane in tople neprezračevane strehe sem vzel minimalno nadgrajeno tradicionalno odprto konstrukcijo. Vsak tip strehe je ponudil svoje prednosti in slabosti, te pa so vrtele okoli vlage in požarne varnosti.

Hladna streha je izvedena s prezračevalnim slojem, zato vpliva slamnate kritine nisem mogel upoštevati pri analizi prehoda toplote in vodne pare. S prezračevanjem zagotavljamo slamnati kritini sušenje in s tem daljšo obstojnost. Ustrezno toplotno prehodnost sem moral zadovoljiti z zadostno debelino toplotne izolacije. Sloj zraka pa je zelo nevaren za hitro širjenje požara, zato je nujno potrebno ustrezno zaščititi nosilno konstrukcijo strehe in lastnino pod njo z ognje odpornimi sloji. Predstavljeni testi so namreč prikazali, da se pod prezračevano slamnato kritino razvijejo dosti višje temperature.

Gotovo je veliko bolj kritična za sušenje topla streha. Ker pod slojem slamnate kritine nimamo prezračevanja, je toliko bolj pomembna natančna izvedba. Onemogočiti moramo možnost nabiranja vlage, tako da se lahko tudi po dežju slama čim hitreje izsuši. Bistvenega pomena za to je funkcionalna parna zapora. Izolacija je učinkovita, če je v njej zrak in ni vlažna. Pri izvedbi tople strehe moramo biti zelo pozorni pri načrtovanju in pri izvedbi detajlov, saj so pri sklopu brez prezračevanja lahko dosti bolj nevarni za propadanje konstrukcije. V tem primeru slama prispeva k toplotni izolativnosti in jo večinoma kombiniramo z ostalimi toplotno izolacijskimi materiali, položenimi med špirovce in/ali okoli njih. S polaganjem toplotno izolativnih plošč nad špirovce se znebimo nevarnosti pojava toplotnih mostov. Prav tako nudimo ustrezno požarno zaščito nosilni konstrukciji, če izberemo ognje odporno toplotno izolacijo. Poleg tega moramo za varnost pred požarom poskrbeti še ne veliko ostalih detajlov predvsem pa redno čiščenje in vzdrževanje dimnika.

S primerjavo med težo, debelino in ceno konstrukcijskih sklopov pri podobnih vrednostih toplotne prehodnosti sem ugotovil, da je slamnata kritina v primerjavi z običajnimi dražja za petnajst do dvajset odstotkov. Stroški se lahko povrnejo na račun daljše obstojnosti slamnate kritine v primeru kvalitetne izvedbe. Zaradi cene velja slamnata kritina v tujini za prestiž, ki je vizualno zelo privlačen in nudi ugodnejše toplotne pogoje za bivanje. V večini primerov je sklop s slamo lažji in tanjši. Zaradi tega lahko izberemo manjše dimenzije špirovcev, vendar moramo biti previdni, saj njihova nosilnost pri menjavi kritine morda ne bi zadoščala.

Biti moramo kritični in pozorni, da gre v nekaterih primerih za relativno nove načine izvedbe strešnih konstrukcijskih sklopov s slamnato kritino. Zavedati se moramo, da je tudi ozračje bolj onesnaženo kot nekoč in da so vremenske razmere bolj nestanovitne. Zato obstaja možnost, da se bodo s časom nekateri novi modeli izkazali za neprimerne, saj take kritine obstajajo šele dobrih štirideset let. Vendar imamo danes drugačne možnosti. Tehnologija nam omogoča raziskave in izboljšave tudi pri slamatih strehah. Tako na področju priprave slame kot prekrivanja. Vsekakor bi bilo priporočljivo, da se v

primeru povečanega povpraševanja temu posvetimo v Sloveniji in se učimo iz pozitivnih izkušenj iz tujine.

Za konec bi citiral dr. Juvanca (2009): »Dediščina ni nekaj zastarelega in neuporabnega, je temelj naše misli in razvoja za jutri.« Slamnata kritina je naraven in prijazen material z odličnimi lastnostmi, poleg tega pa daje svobodo pri oblikovanju in s tem čudovit izgled. S premišljeno in kvalitetno gradnjo ter učenjem in izkušnjami lahko dodobra izkoristimo njene prednosti in zmanjšamo učinek njenih negativnih lastnosti. Upam, da je moja diplomska naloga odgovorila na marsikatero vprašanje in bo v pomoč pri nadaljnjih raziskavah na tem področju.



## VIRI

Bekhuis&KleinJan. 2016.

<http://www.bekhuis-kleinjan.nl> (Pridobljeno 2. 8. 2016).

Blaise Hamlet, Henbury, Bristol. 2016.

<http://www.panoramio.com/photo/69228755> (Pridobljeno 22. 8. 2016).

Deu, Ž., et al. 2014. Gradimo za jutri, Priročnik za trajnostno gradnjo s katalogom ponudnikov. 177 str.

Die Konstruktion des Reetdaches. 2016.

<http://www.hiss-reet.de/reetdach/reet-das-material/haltbarkeit/faktoren-haltbarkeit/konstruktion>  
(Pridobljeno 2. 8. 2016).

Die richtige belüftung des Reetdachhauses. 2016.

<http://www.hiss-reet.de/reetdach/reet-das-material/haltbarkeit/faktoren-haltbarkeit/belueftung>  
(Pridobljeno 2. 8. 2016).

Energy efficiency in history buildings, Insulating thatched roofs, English Heritage, 2010.

<http://www.uttlesford.gov.uk/CHttpHandler.ashx?id=2139&p=0> (Pridobljeno 5. 8. 2016).

Enviromental Design CIBSE Guide A, CIBSE. The Yale Press Ltd., London. 1999

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.1937&rep=rep1&type=pdf>  
(Pridobljeno 20. 7. 2016).

Fouad, N. A. 2015. Bauphysik Kalender 2015. Wilhelm Ernst & Sohn. 671 str.

Geschichte. Hiss Reet Schilfrohrhandel GmbH. 2016.

<http://www.hiss-reet.de/reetdach/wissenswertes-ueber-reet/geschichte> (Pridobljeno 2. 8. 2016).

Grobovšek, B. Ekološki gradbeni materiali. 2016.

<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT115.htm> (Pridobljeno 5. 6. 2016).

Grobovšek, B. Gradbeno tehnične karakteristike poševnih streh. 2016.

<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT64.htm> (Pridobljeno 9. 8. 2016).

Grobovšek, B. Načrtovanje nizkoenergijske ali pasivne hiše. 2016.

<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT150.htm> (Pridobljeno 18. 6. 2016).

Guide to thatched buildings (The 'Dorset Model') new properties and extensions, Technical guidance for building control surveyors, designers and installers. 2009.

[http://www.allerdale.gov.uk/downloads/labcpd0914\\_techg\\_thatched\\_buildings\\_0.pdf](http://www.allerdale.gov.uk/downloads/labcpd0914_techg_thatched_buildings_0.pdf)

(Pridobljeno 9. 8. 2016).

How they once lived. A culture history of the eastern Sierra. 2016.

[http://www.csus.edu/arc/public\\_outreach%20inyo\\_mono/outreach\\_middle.htm](http://www.csus.edu/arc/public_outreach%20inyo_mono/outreach_middle.htm)

(Pridobljeno 9. 8. 2016).

International thatching society – ITS. 2016.

<http://thatchers.eu> (Pridobljeno 19. 8. 2016).

Izdelava slamnate strehe. 2016.

<http://www.publishwall.si/stare.hise/post/101259/izdelava-slamnate-strehe> (Pridobljeno 27. 5. 2016).

Juvanec, B. 2009. Arhitektura Slovenije 1, Vernakularna arhitektura, alpski del. Ljubljana, Založba i2, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: str. 10, 20, 36, 50, 92.

Juvanec, B. 2010. Arhitektura Slovenije 2, Vernakularna arhitektura, severovzhod. Ljubljana, Založba i2, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: str. 50, 66.

Juvanec, B. 2012. Arhitektura Slovenije 4, Vernakularna arhitektura, južna hribovja. Ljubljana, Založba i2, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: str. 33-34, 54-55, 60.

Juvanec, B. 2013. Arhitektura Slovenije 5, Vernakularna arhitektura, kraški svet. Ljubljana, Založba i2, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: str. 65.

Knauf Fireboard A1. 2016.

<http://knauf.voipex.si/tehnichni-listi/knauf-plosce/slike/K751%20slo%20WEB.pdf>

(Pridobljeno 18. 8. 2016).

Lampret, L. 2011. Uporaba slamnatih bal kot gradbenega materiala pri ekološki gradnji. Diplomaska naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Operativna smer: 50 f.

Lokar, J. 1912. Belokranjska hiša. Ljubljana. Jožef Blaznik. 27 str.

Madhumathi, A., Radhakrishnan, S., Shanthi Priya, R. 2014. Sustainable Roofs for Warm Humid Climates - A Case Study in Residential Buildings in Madurai, Tamilnadu, India. World Applied Sciences Journal 32 (6): 1167-1180.

[http://www.idosi.org/wasj/wasj32\(6\)14/25.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj32(6)14/25.pdf) (Pridobljeno 4. 8. 2016).

Naravna gradnja. INPRO 22 d.o.o.. 2016.

<http://www.inpro-projektiranje.com/naravna-gradnja> (Pridobljeno 25. 5. 2016).

Naravna strešna kritina – slama – slamnata kritina. 2016.

<http://www.nastrehi.net/strokovni-prispevki/strokovni-prispevki-strehe-in-streni-elementi/217-naravna-stresna-kritina-slama-slamnata-streha.html> (Pridobljeno 5. 6. 2016).

Nemanič, O. 2016. Osebna komunikacija. Gornja Lokvica, 18.8.2016

Obrtna zbornica Slovenije. 2016.

<http://www.ozs.si> (Pridobljeno 21. 8. 2016).

Omahen, R. Zavarovalništvo v avstro-ogrskih časih. 2014.

<http://www.rtv slo.si/kultura/razglednice-preteklosti/zavarovalnistvo-v-avstro-ogrskih-casih/349041>  
(Pridobljeno 5. 6. 2016).

Opstal/inboedel verzekering. 2016.

[http://www.riet.com/het\\_rieten\\_dak/verzekeringen.html](http://www.riet.com/het_rieten_dak/verzekeringen.html) (Pridobljeno 22. 8. 2016).

Österreichische Institut für Baubiologie und Bauökologie. 2016.

<http://www.baubook.info/oea> (Pridobljeno 21. 8. 2016).

Pokrivanje strehe s slamo ob Pozdravu jeseni. 2013.

[http://www.pomurec.com/vsebina/19180/FOTO\\_Pokrivanje\\_strehe\\_s\\_slamo\\_ob\\_Pozdravu\\_jeseni](http://www.pomurec.com/vsebina/19180/FOTO_Pokrivanje_strehe_s_slamo_ob_Pozdravu_jeseni)  
(Pridobljeno 27. 5. 2016).

Povzetki klimatoloških analiz; letne in mesečne vrednosti za nekatere postaje v obdobju 1991-2006.  
Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za Okolje.

[http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/klima1991\\_2004.html](http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/klima1991_2004.html) (Pridobljeno 8. 8. 2016).

Prašin Kolbezen, M. 2010. Tradicionalna arhitekturna tipologija v Beli krajini – območje občine Črnomelj. Revija Rast. 3/2010.

<http://kultura.novomesto.si/si/revija-rast/?id=5084> (Pridobljeno 25. 5. 2016).

Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES). Uradni list RS, št. 52/2010

<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=201052&stevilka=2856> (Pridobljeno 20. 7. 2016).

Prijs en subsidies. Vakfederatie Rietdekkers (Nizozemska zveza slamokrovcev). 2016.

[http://www.riet.com/het\\_rieten\\_dak/prijs\\_en\\_subsidies.html](http://www.riet.com/het_rieten_dak/prijs_en_subsidies.html) (Pridobljeno 27. 5. 2016).

Realbrandversuch, „Regionalhaus aus 100% nachwachsenden Rohstoffen“. 2009.

<http://www.solark.no/1/wp-content/uploads/2009/11/Realbrandversuch.pdf> (Pridobljeno 9. 8. 2016).

Rieten dak. 2016.

<http://algmosbestrijding.nl/algen-en-mos-rietendak> (Pridobljeno 20. 8. 2016).

Sedej, I. 1988/90. Stavbarstvo depriviliranih družbenih slojev na Slovenskem v devetnajstem stoletju. Slovenski etnograf 33/34. 301-328.

[http://www.etno-muzej.si/files/etnolog/pdf/0350-0330\\_50\\_51\\_sedej\\_stavbarstvo.pdf](http://www.etno-muzej.si/files/etnolog/pdf/0350-0330_50_51_sedej_stavbarstvo.pdf)

(Pridobljeno 18. 7. 2016).

Guče, B. Slamnata streha. 2016.

<http://www.gradim.si/strehe/slamnata-streha.html> (Pridobljeno 5. 6. 2016).

South West Thatching. 2016.

<http://southwestthatching.co.uk> (Pridobljeno 20. 8. 2016).

Svetic, D. 2006. Suburbanizacija v Ljubljanski regiji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede: 72 f.

Szokolay, S. V. 2004. Introduction to architectural science: the basis of sustainable design. Oxford, UK. Architectural Press/Elsevier: str. 248.

<http://197.14.51.10:81/pmb/ARCHITECTURE/intro%20science%20de%20l'archi.pdf>

(Pridobljeno 2. 8. 2016).

Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010. Učinkovita raba energije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 106 str.

Thatching. 2016.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Thatching> (Pridobljeno 8. 8. 2016).

Thatch Firewall Membrane. Thatching Advisory Service. 2016.

<http://thatchingadvisoryservices.co.uk/product/thatch-firewall-membrane> (Pridobljeno 7. 6. 2016).

Thatch Fire Membrane System. Thatching Advisory Service. 2016.

<http://thatchingadvisoryservices.co.uk/fire-barriers-systems/thatch-fire-protection-systems/thatch-fire-membrane-system> (Pridobljeno 7. 6. 2016).

Török, T. 2013. Metoda za načrtovanje trajnostne stavbe. Diplomaska naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Konstrukcijska smer: 109 f.

Water reed (Norfolk reed) thatching. 2016.

<http://dodsonthatching.co.uk/water-reed-norfolk-reed-thatching> (Pridobljeno 20. 8. 2016).

**Ostali viri:**

Fireproofing. 2016.

<http://www.thatchco.com/thatchpg/fireprf.htm> (Pridobljeno 7. 6. 2016).

Kopše, S. 2011. Hiša iz slame. Diplomaska naloga. Maribor. Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, Operativno-konstrukcijska smer: 85 f.

Kunič, R., Tavzes, Č., Kutnar, A. 2012. Ogljični odtis toplotnoizolacijskih materialov v toplotnem ovoju stavb. Gradbeni vestnik 61. str. 206-214.

Slamokrovstvo Anton Golnar s.p.. 2016.

<http://www.slamnatastreha.com> (Pridobljeno 27. 5. 2016).

Stanford, C. P. 2002. Thatching in Cambridgeshire. Doktorska disertacija. University of Greenwich.

Stavbarstvo. 2016.

<http://www.stavbarstvo.com/toplotna-prehodnost.php> (Pridobljeno 8. 8. 2016).

Vlažnost. 2016.

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Vla%C5%BEnost> (Pridobljeno 8. 8. 2016).

Živa kulturna dediščina – Slamokrovstvo Anton Golnar. 2016.

<http://www.zkds.si/filelib/Slamokrovstvo.pdf> (Pridobljeno 5. 6. 2016).