

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:

Istenič, A., 2016. Uporaba ilovnatih gradbenih materialov v sodobnem gradbeništvu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentor Pugelj, A.): 57 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5838/>

Datum arhiviranja: 19-10-2016

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:

Istenič, A., 2016. Uporaba ilovnatih gradbenih materialov v sodobnem gradbeništvu. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Pugelj, A.): 57 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5838/>

Archiving Date: 19-10-2016

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

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
SMER OPERATIVNO
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

ANDREJ ISTENIČ

**UPORABA ILOVNATIH GRADBENIH MATERIALOV V
SODOBNEM GRADBENIŠTVU**

Diplomska naloga št.: 587/SOG

**THE USE OF CLAY BUILDING MATERIALS IN
CONTEMPORARY CONSTRUCTION**

Graduation thesis No.: 587/SOG

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Somentor:

Anton Pugelj

Ljubljana, 15. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Spodaj podpisani študent Andrej Istenič, vpisna številka 26103082, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Uporaba ilovnatih gradbenih materialov v sodobnem gradbeništvu

IZJAVLJAM

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu 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: Kranju

Datum: 23.8.2016

Podpis študenta/-ke: _____

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	691.4(043.2)
Avtor:	Andrej Istenič
Mentor:	doc.dr. Mitja Košir
Somentor:	Tone Pugelj
Naslov:	Uporaba ilovnatih gradbenih materialov v sodobnem gradbeništvu
Tip dokumenta:	Dipl. nal. - VSŠ
Obseg in oprema:	57 str., 21 pregl., 3 graf., 33 sl.

Ključne besede: naravni gradbeni materiali, hiša iz ilovice, ilovica, prehod toplote, difuzija vodne pare

Izvleček

V diplomski nalogi so predstavljeni različni načini uporabe ilovnatih materialov pri gradnji stanovanjskih hiš. V okviru naravnih gradbenih materialov so opisane in analizirane lastnosti ilovice. V naslednjih poglavjih je razložena tehnika gradnje hiš z uporabo ilovnatih materialov. Glavni namen diplomske naloge je opis uporabe ilovnatega materiala kot osnovnega gradnika konstrukcijskih sklopov. S pomočjo programa U-Wert so analizirane gradbeno fizikalne lastnosti prehoda toplote in difuzije vodne pare v izbranih primerih konstrukcijskih sklopov. Računsko je bilo dokazano, da so konstrukcijski sklopi, zgrajeni z uporabo ilovice in drugih naravnih materialov, ustrezno energijsko varčni, oziroma da izpolnjujejo vse zahteve po trenutno veljavni slovenski zakonodaji. Karakteristike toplotne zaščite in zaščite pred vlago so primerljive z ostalimi sodobnimi gradbenimi materiali. Gradnja ilovnate hiše izpolnjuje ekološke standarde glede transporta, razgradnje materialov in energetske ustreznosti.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 691.4(043.2)

Author: Andrej Istenič

Supervisor: Assist. Prof. Mitja Košir, Ph.D

Co-advisor: Tone Pugelj

Title: The use of clay building materials in contemporary construction

Document Type: Graduation Thesis – Higher professional studies

Scope and tools: 57 p., 21 tab., 3 graph., 33 fig.

Keywords: natural building materials, house of clay, clay, heat transfer, diffusion of water vapor

Abstract

The thesis describes various uses of clay materials in the construction of residential houses. The characteristics of the clay are described in the context of natural building materials. The following sections explain the technique of building houses by using clay materials. The main purpose of this thesis is to describe the use of clay material as a basic element of structural assemblies. The computer program U-Wert was used to calculate physical properties of heat transfer and vapor diffusion in selected cases of structural assemblies. Analyses showed that the house, built of clay and other natural materials is energy efficient and complies with all the requirements of the current Slovenian legislation. Characteristics of thermal insulation and protection against moisture are comparable to other modern building materials. It is evident clay houses are adequate with ecological standards about transport, recycling and energy saving.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	I
IZJAVA.....	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO GRAFIKONOV	VIII
KAZALO SLIK	IX
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI.....	X
1 UVOD.....	1
2 NARAVNI GRADBENI MATERIALI.....	3
2.1 Gradiva brez škodljivih emisij	3
2.2 Regenerativna gradiva.....	3
2.3 Reciklirna gradiva	4
2.4 Opis naravnih gradbenih materialov	4
2.4.1 Les	5
2.4.2 Ilovica.....	5
2.4.3 Slama.....	6
2.4.4 Ovčja volna	6
2.4.5 Celulozni kosmiči.....	7
2.4.6 Kamen	7
3 ZGODOVINSKI PREGLED ILOVNATE GRADNJE.....	8
3.1 Ilovnata gradnja v Sloveniji	10
4 SESTAVA IN LASTNOSTI ILOVICE.....	12
4.1 Prednosti ilovice:.....	14
4.2 Slabosti ilovice kot gradiva	17
5 TEHNIKE GRADNJE HIŠ IZ ILOVICE.....	20
5.1 Tradicionalna gradnja hiš iz surove ilovice.....	21
5.1.1 Mokra tehnika gradnje	21
5.1.2 Suha tehnika gradnje	21
5.1.3 Butana gradnja.....	22
5.1.4 Gradnja iz ilovice, pomešane s slamo	26
5.1.5 Predalčna ilovnatna gradnja	28
5.1.6 Gradnja z ilovnatimi zidaki	29
5.1.7 Gradnja hiš iz žgane ilovice	30
5.1.8 Suhomontažni gradbeni elementi iz ilovice	31
5.2 Gradnja hiš iz ilovice danes	34

6	RAČUNSKI PRIMERI ANALIZE KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV S POMOČJO PROGRAMA U-WERT	35
6.1	Difuzijsko odprta streha.....	35
6.1.1	Analiza toplotne zaščite.....	35
6.1.2	Grafični prikaz poteka temperature skozi prerez konstrukcije	36
6.1.3	Preglednica s prikazom vrednosti toplotne upornosti in temperaturnih ekstremov	37
6.1.4	Preglednica sd-vrednosti.....	37
6.1.5	Potek zračne vlažnosti skozi sloje konstrukcijskega sklopa.....	38
6.1.6	Grafični prikaz poteka temperature v okviru konstrukcijskega sklopa	38
6.2	Zunanja lesena stena.....	40
6.2.1	Analiza toplotne zaščite.....	40
6.2.2	Grafični prikaz poteka temperature skozi prerez konstrukcije	41
6.2.3	Preglednica s prikazom vrednosti toplotne upornosti in temperaturnih ekstremov	42
6.2.4	Preglednica sd-vrednosti.....	42
6.2.5	Potek zračne vlažnosti skozi sloje konstrukcijskega sklopa.....	43
6.2.6	Grafični prikaz poteka temperature v okviru konstrukcijskega sklopa	43
6.3	Stena iz butane ilovice.....	45
6.3.1	Analiza toplotne zaščite.....	45
6.3.2	Grafični prikaz poteka temperature skozi prerez konstrukcije	46
6.3.3	Preglednica s prikazom vrednosti toplotne upornosti in temperaturnih ekstremov	46
6.3.4	Preglednica sd-vrednosti.....	47
6.3.5	Potek zračne vlažnosti skozi sloje konstrukcijskega sklopa.....	47
6.3.6	Grafični prikaz poteka temperature v okviru konstrukcijskega sklopa	48
6.4	Zaključni komentarji.....	50
6.4.1	Strešna konstrukcija.....	50
6.4.2	Lahka fasadna stena.....	51
6.4.3	Masivna fasadna stena	52
7	ZAKLJUČEK.....	53
8	VIRI.....	55

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razdelitev naravnih gradbenih materialov	4
Preglednica 2: Ključne gradbeno fizikalne lastnosti izbranih materialov	4
Preglednica 3: Mejne vrednosti za naravne sestavine ilovnatih ometov [23]	12
Preglednica 4: Teksturni razredi prsti [25].....	13
Preglednica 5: Toplotna prevodnost butane ilovice [23].....	15
Preglednica 6: Debelina dodatnega izolacijskega sloja s toplotno karakteristiko WLG 040 za doseganje toplotne prehodnosti $0,28\text{W/m}^2\text{K}$ [23]	16
Preglednica 7: Ocenjena zvočna izolativnost sten in butane ilovice [23]	16
Preglednica 8: Gorljivost ilovnatih gradbenih materialov [23].....	17
Preglednica 9: Zahtevana doba sušenja pri ilovnati gradnji [30]	18
Preglednica 10: Priporočena uporaba različnih ilovnatih tehnik [21].....	20
Preglednica 11: Razredi uporabe ilovnatih zidakov [50]	31
Preglednica 12: prikaz vrednosti toplotne upornosti in temperaturnih ekstremov	37
Preglednica 13: Pregled sd- vrednosti po slojih	37
Preglednica 14: Karakteristike toplotnega toka.....	39
Preglednica 15: Prikaz vrednosti toplotne upornosti in temperaturnih ekstremov.....	42
Preglednica 16: Pregled sd- vrednosti po slojih	42
Preglednica 17: Karakteristike toplotnega toka.....	44
Preglednica 18: prikaz vrednosti toplotne upornosti in temperaturnih ekstremov	46
Preglednica 19: Pregled sd-vrednosti po slojih	47
Preglednica 20: Karakteristike toplotnega toka.....	49
Preglednica 19. Primerjava strešnih konstrukcijskih sklopov	50
Preglednica 20: Primerjava lahkih fasadnih sklopov	51
Preglednica 21: Primerjava masivnih fasadnih sklopov.....	52

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Potek notranje in zunanje površinske temperature.....	39
Grafikon 2: Potek notranje in zunanje površinske temperature.....	44
Grafikon 3: Potek notranje in zunanje površinske temperature.....	49

KAZALO SLIK

Slika 1: Mošeja Kashan v Iraku [2].....	1
Slika 2: Gradnja hiše iz slamnatih bal [11]	6
Slika 3: Ostanki mesta Jericho (Izrael) [16].....	8
Slika 4: Hiše pripadnikov plemena Hakkas (Kitajska) [17].....	9
Slika 5: Primeri opažev za gradnjo z butano ilovico [1]	11
Slika 6: Teksturni razredi ameriške teksturne specifikacije [25]	14
Slika 7: Ilovica, dobljena ob izkopu gradbene jame [26].....	14
Slika 8: Prikaz razpokanega ometa [32].....	19
Slika 9: Primer tradicionalne gradnje ilovnatih hiš v Tuniziji [33].....	21
Slika 10: Primer opaža za butano gradnjo [35].....	23
Slika 11: Gradnja butane hiše na Ptujskem polju (Foto: D.Moškon) [36].....	24
Slika 12: Lesena stropna konstrukcija z vmesnim ilovnatim polnilom [37].....	25
Slika 13: Primer moderne hiše iz butane ilovice [38]	25
Slika 14: Hiša iz ilovice, pomešane s slamo, v mestu Devon iz leta 1539 [39].....	26
Slika 15: Stena, zgrajena iz ilovice, pomešane s slamo [40].....	27
Slika 16: Shakespearova rojstna hiša v kraju Stratford-upon-Avon, zgrajena na način predalčne gradnje[44]	28
Slika 17: Ilovnati zidaki, pripravljeni za sušenje [46].....	29
Slika 18: Žgana opeka iz goriških opekarn [49].....	30
Slika 19: Primer vgradnje ilovnate suhomontažne plošče [51].....	32
Slika 20: Primer zidne konstrukcije iz ilovnate suhomontažne plošče [51].....	33
Slika 21: Obloga lesene stene s surovimi ilovnatimi opekami in ilovnato ploščo [52].....	33
Slika 22: Sestava in glavne karakteristike prereza	35
Slika 23: Prikaz poteka linije temperature relativne vlažnosti	36
Slika 24: Grafični prikaz poteka zračne vlažnosti.....	38
Slika 25: Ciklično nihanje temperature v okviru konstrukcijskega sklopa	38
Slika 26: Sestava in glavne karakteristike prereza	40
Slika 27: Prikaz poteka linije temperature relativne vlažnosti	41
Slika 28: Grafični prikaz poteka zračne vlažnosti.....	43
Slika 29: Ciklično nihanje temperature v okviru konstrukcijskega sklopa	43
Slika 30: Sestava in glavne karakteristike prereza	45
Slika 31: Prikaz poteka linije temperature relativne vlažnosti	46
Slika 32: Grafični prikaz poteka zračne vlažnosti.....	47
Slika 33: Ciklično nihanje temperature v okviru konstrukcijskega sklopa	48

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Al ₂ O ₃	aluminijev oksid
BDP	bruto družbeni prihodek
EUR	evro
H ₂ O	voda
npr.	na primer
n. š.	našega štetja
ph	merilo za koncentracijo hidroksidnih ionov v raztopini - kislost ali alkalnost
p. n. š	pred našim štetjem
SiO ₂	silicijev dioksid
t. i.	tako imenovani
W/mK	enota za toplotno prevodnost
WWF	World Wildlife Foundation

1 UVOD

Gradnja stanovanjskih hiš se je skozi zgodovino razvijala skladno z razvojem novih gradbenih materialov. Človek je za gradnjo domovanj najprej uporabljal materiale, ki so mu bili dostopni v naravi: les, slamo, ilovico in kamen. Z razvojem znanosti in posledično razvojem tehnologije pa sta se povečali tudi proizvodnja in uporaba umetno izdelanih gradbenih materialov. Umetno izdelani gradbeni materiali so nadomestili naravne materiale. Na podlagi novih spoznanj in izkušenj so uvedli nove in hitrejše načine gradnje tako stanovanjskih hiš kot industrijskih objektov. Zato je bila ilovica skorajda opuščena kot gradivo, čeprav še vedno skoraj tretjina svetovnega prebivalstva, oziroma polovica prebivalstva v deželah v razvoju, živi v hišah, ki so zgrajene iz ilovice. [1] Še danes ob ogledu raznih turističnih znamenitosti, opazujemo zgradbe, zgrajene iz ilovice kot na primer mošeje v arabskem svetu (primer gradnje iz ilovice je mošeja Kashan v Iranu, ki je prikazana na sliki 1), domovanja plemen v Afriki in staroselcev v Južni Ameriki, pa tudi še vedno ohranjene ilovnate hiše v Angliji (hiša v mestu Devon iz leta 1539, prikazana na sliki 2) in predstavljene hiše v Muzeju na prostem v Cloppenburgu, Nemčija.



Slika 1: Mošeja Kashan v Iraku [2]

Gradnja stanovanjskih hiš iz ilovice je bila do začetka ekoloških gibanj povezana s predsodki glede revščine in zaostalosti kot tudi z dvomi glede možnosti gradnje ilovnatih hiš, ki bodo sodobno oblikovane ter bodo grajene skladno s smernicami trajnostne gradnje. Hkrati s porastom ekološkega zavedanja se večja tudi želja po naravnem bivalnem okolju. Vedno bolj se namreč zavedamo vpliva umetnih materialov na okolje, naše zdravje in počutje. Zato tudi počasi obnavljamo vedenja o tem, da je bila ilovica v zgodovini pomemben gradbeni material in je tudi razmeroma lahko dostopna za uporabo. [3] Hkrati pomeni gradnja z ilovico, v času ekonomske krize, možnost cenovno dostopnejše gradnje družinskih hiš. Cena gradnje je odvisna od uporabe lastnih materialov (les, ilovica,...) in je nižja tudi, kadar gradnjo izvajamo sami. Kot primer takšne gradnje Rijavec [4] navaja gradnjo Mirana Žitka, ki jo je na Razaziji nad Idrijo postavil le za 1000 EUR.

Namen

Namen diplomske naloge je predstaviti značilnosti naravnih gradbenih materialov s poudarkom na posebnostih ilovnate gradnje in izvesti analizo konstrukcijskih sklopov iz ilovice z vidika gradbene fizike na primeru strešnega sklopa in dveh fasadnih sklopov. V diplomski nalogi želim prikazati, da so konstrukcijski sklopi iz ilovnatih materialov primerni za uporabo v sodobnem gradbeništvu.

Cilji

V diplomski nalogi so predstavljeni različni postopki gradnje z ilovnatim gradivom. V nalogi želim prikazati, da je ilovica ustrezen gradbeni material za uporabo v sodobnih gradbenih konstrukcijskih sklopih. Pričakujem, da bom to trditev potrdil z rezultati računskih analiz gradbeno fizikalnih lastnosti prehoda toplote in difuzije vodne pare v izbranih primerih.

Metoda dela

Pred izdelavo diplomske naloge sem pregledal literaturo s področju gradnje z ilovnatimi materiali. Na podlagi informacij, ki so bile pridobljene s pomočjo razpoložljive literature in vsebin na internetu bom predstavil gradnjo z naravnimi materiali s poudarkom na ilovici. Nato bom s pomočjo orodja U-Wert [5] analiziral gradbeno fizikalne lastnosti prehoda toplote in difuzije vodne pare v izbranih primerih strešnega in dveh fasadnih sklopov.

U-Wert je prosto dostopen računalniški program, ki pomaga pri izračunu fizikalnih lastnosti prehoda toplote in difuzije vodne pare glede na različne sestave konstrukcijskih sklopov. Prednost uporabe tega programa je, da omogoča upoštevanje vpliva skeletne nosilne konstrukcije sestavov in sproti izrisuje obravnavani konstrukcijski sklop. S pomočjo podanih informacij se lahko izračuna karakteristike toplotnega prehoda in difuzije vodne pare v konstrukcijskih sklopih.

2 NARAVNI GRADBENI MATERIALI

V Brošuri Slovenskega združenja za trajnostno gradnjo [5] so navedeni podatki o svetovni gradbeni industriji, ki letno ustvari:

- 5,1 bilijona EUR prihodkov,
- upravlja z okrog 10% BDP,
- zaposluje več kot 100 milijonov ljudi po vsem svetu. [6]

Hkrati pa gradnja stavb pomeni tudi naslednjo porabo energentov:

- 40-50% porabe surovin,
- 17% porabe vode,
- 25% poseka gozdov,
- 33% ogljikovih izpustov,
- 30-40% porabe energije. [6]

Naravna gradnja pomeni premišljeno izbiro in porabo materialov. Izvedba gradnje pa mora zadoščati standardom s področja varčnosti in samozadostnosti. Samozadostnost sicer pomeni, da so hiše grajene na način, da ne potrebujejo oskrbovanja z zunanjimi energetskeimi, vodnimi in drugimi viri, vendar je danes skoraj iluzorno pričakovati, da sodobne hiše ne bodo priključene na električno in vodovodno omrežje.

Naravne gradbene materiale sestavljajo:

- gradiva brez škodljivih emisij,
- regenerativna gradiva,
- reciklirna gradiva. [7]

2.1 Gradiva brez škodljivih emisij

Mednje prištevamo gradiva iz naravnih materialov kot npr. ilovica, les, kamen in pa gradiva živalskega in rastlinskega izvora. Če za gradnjo izberemo certificirana gradiva, so brez škodljivih emisij ne izločajo hlapov, strupov in radioaktivnih snovi kot tudi ne prahu in vlaken. Hkrati jih uvrščamo med materiale z majhnim okoljskim odtisom, ker pri njihovi pridelavi porabimo malo energije. [7]

2.2 Regenerativna gradiva

Gradiva, ki se lahko ponovno uporabijo, imenujemo regenerativna gradiva. S ponovno uporabo lahko gradivu podaljšamo življenjsko in uporabno dobo, zmanjšamo porabo surovin in manj obremenjujemo

okolje. Med regenerativna gradiva prištevamo bloke masivnega kamna, opeko, steklo, trajnejše vrste lesa in kovine. [7]

2.3 Reciklirna gradiva

Med reciklirna gradiva uvrščamo tista gradiva, ki jih lahko po uporabi predelamo in ponovno uporabimo. Pogoji za predelavo že uporabljenih gradiv je pravilno in ločeno zbiranje gradbenih odpadkov. Čeprav naj bi se s ponovno uporabo materialov zmanjšala izraba neobnovljivih virov, pa se pri tehnoloških postopkih razgradnje gradiv lahko porabi veliko več energije in proizvede škodljive emisije, zato je uporaba takšnih gradbenih materialov lahko tudi okolju neprijazna in neracionalna. [7]

2.4 Opis naravnih gradbenih materialov

Kadar želimo zgraditi okolju prijazno domovanje, moramo za gradnjo izbrati pretežno naravne gradbene materiale. V tem poglavju so opisane lastnosti in način uporabe naravnih gradbenih materialov, ki jih lahko brez predelave uporabimo za gradnjo.

V preglednici 1 je podana razdelitev naravnih gradbenih materialov, ki so v tem poglavju podrobneje opisana.

Preglednica 1: Razdelitev naravnih gradbenih materialov

	Les	Ilovica	Slama	Ovčja volna	Kamen
Gradiva brez škodljivih emisij	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Regenerativna gradiva	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Reciklirna gradiva	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>

V preglednici 2 so navedene ključne gradbeno fizikalne lastnosti opisanih naravnih gradbenih materialov.

Preglednica 2: Ključne gradbeno fizikalne lastnosti izbranih materialov

	Les	Ilovica	Slama	Ovčja volna	Kamen
Gostota ρ (kg/m ³)	420-1150*	1700-2300	100	35	2200
Toplotna prevodnost λ (W/mK)	0,14	1,5	0,052	0,037	1,7
Difuzijska upornost prehodu vodne pare μ (-)	20/50	5/10	2/2	1/1	150/200
Specifična toplota c (J/kgK)	1600	1000	2100	1630	1000

*Razlike v gostoti masivnega lesa so posledica različne prostorske porazdelitve lesne mase, ki je odvisna od anatomskih posebnosti posamezne vrste lesa

2.4.1 Les

Les je poleg ilovice in kamna eden najstarejših gradbenih materialov. Uporablja se kot konstrukcijsko gradivo za skeletno ali masivno gradnjo, za izdelavo kritin, kot surovino za številne polizdelke in kot izolacijski material. Kadar je les pravilno površinsko obdelan, je tudi eden najbolj zdravih gradbenih materialov. Je paro-prepusten material in uravnava vlažnost prostorov, hkrati pa blaži alergije, saj se lesene hiše ne prašijo in nimajo neprijetnega vonja. Poleg občutka domačnosti in toplote, je prednost lesenih hiš tudi v potresni varnosti, enostavnosti in v hitrosti gradnje. Slabosti lesene gradnje pa so preveliko krčenje gozdov, gorljivost (čeprav les med požarom zdrži dlje časa, ne da bi se stavba porušila), organsko propadanje in nekontrolirane deformacije lesa. [8]

2.4.2 Ilovica

Je vrsta prsti, ki je sestavljena iz mešanice gline, peska in mulja v različnih razmerjih in leži tik pod humusno plastjo. Eden od razlogov za pogosto uporabo ilovice, kot gradiva za zgradbe skozi zgodovino, je prav v njeni dostopnosti, saj jo lahko pridobimo že ob izkopu gradbene jame.

Prednosti ilovice so reguliranje in vzdrževanje vlage v prostoru. Ilovica sprejme do 30% večjo količino vlage kot ostali gradbeni materiali, njena lastnost je tudi vezava in nevtraliziranje strupenih snovi iz zraka, poleg tega nudi dobro zvočno zaščito notranjih prostorov. Kot gradbeni material je požarno obstojna in omogoča ponovno uporabo. [7]

Hiša, zgrajena iz ilovice, ki je vezana s slamo je tudi potresno odporna, saj slama, dodana med ilovico, deluje kot armatura. [9] S pravilnim razmerjem mešanja ilovice s slamo ali pa z gradnjo zidov z vmesnim izolativnim slojem iz slame, bo tako zgrajena hiša tudi ustrezala standardom nizkoenergijskih in pasivnih hiš. Slabost gradnje z ilovico, v primerjavi z ostalimi gradbenimi materiali, pa je bolj počasna gradnja, saj se mora ilovica med posameznimi fazami gradnje ustrezno posušiti. [10]

Ilovico lahko uporabljamo kot:

- gradivo za masivne stene,
- surovino za izdelavo opečnih zidakov,
- material za ilovnate omete,
- polnilo za predelne stene in strope iz drugih materialov,
- fini omet sten v kopalnicah zaradi hitrega sprejemanja vlage,
- material za fasade. [7]
-

2.4.3 Slama

Tudi slama zaradi svojih lastnosti spada med najstarejše, lahko dostopne in ekološke gradbene materiale. Predstavlja stranski produkt pri žetvi žit (pšenice, ajde, pire, rži...). Uporablja se lahko v obliki stisnjenih bal za gradnjo sten (kot je prikazano na sliki 2), kot dodatek ilovici v smislu armature ali pa kot izolacijo za zidove iz ilovice. Včasih so slamo uporabljali tudi kot kritino, vendar so tak način prekrivanja streh zaradi nevarnosti požarov sčasoma opustili. Zaradi zmanjšanja požarne obremenjenosti streh se danes slama počasi zopet uveljavlja kot kritina.



Slika 2: Gradnja hiše iz slamnatih bal [11]

Slama je izredno prijeten in topel material z veliko izolacijsko sposobnostjo ($\lambda=0,052$ W/mK) ki ustreza zahtevam pasivne in nizkoenergijske gradnje. Pri njeni uporabi pa moramo biti pozorni na pravilno vgradnjo, da se v njej ne naselijo živali. Ker vlažne slamnate bale lahko začnejo plesniti ali gniti, jih pred preveliko navlažitvijo zaščitimo z ometom. Slama je lahko gorljiv gradbeni material, zato pri uporabi slame za nosilno konstrukcijo lahko uporabimo le certificirane bale, ki izpolnjujejo Evropski standard za ugotavljanje požarne odpornosti EN 1364/1634¹ F90 (so odporne na požar najmanj 90 minut). [12]

2.4.4 Ovčja volna

Je naravno gradivo živalskega izvora. Vlakna ovčje volne vsebujejo maščobo lanolin, ki povečuje toplotno izolativnost ($\lambda=0,037$ W/mK), hkrati pa lanolin ščiti volno pred zajedavci, ki ne marajo njegovega posebnega vonja. Značilnost ovčje volne je tudi zmožnost vpitja vlage celo do tretjine svoje mase. Tako prejeta vlago volna kasneje oddaja v prostor in tako ugodno vpliva na bivalno klimo. Ovčjo volno se kot gradbeni material uporablja za izolacijo podov in strešnih konstrukcij. Ker dobro prenaša vremenske vplive, je njena uporabna doba ocenjena na več kot 50 let. Slaba stran njene

¹ Evropski standard za ugotavljanje požarne odpornosti EN 1364 je namenjen za nosilne elemente brez obremenitve, 1634 pa za nosilne elemente z obremenitvami

uporabe pa je gorljivost, zato ji pred uporabo dodajajo posebne dodatke, s katerimi pri gorenju doseže samougasljivost, vendar so ti dodatki lahko zdravju škodljivi. [13]

2.4.5 Celulozni kosmiči

So izdelani iz zmletega starega časopisnega ali belega papirja ali nastanejo kot stranski produkt žagovine in oblancev pri obdelavi lesa in se uporabljajo za učinkovito izolacijo ravnih streh, sten in podov. Zmletemu papirju dodajo borovo sol, ki preprečuje dotok kisika in s tem zavira gorenje. Hkrati borova sol deluje tudi kot naravni konzervans. To pomeni, da je papirna zmes, ki ji dodamo borovo sol, odporna na plesni, insekte in glodavce. [7]

2.4.6 Kamen

Je eden najstarejših gradbenih materialov. Ker je dostopen v naravi, se je tudi dlje časa obdržal kot gradbeni material. Je trd in izredno gost material, kar mu daje prednost glede trajnosti zgrajenih objektov, kot pomanjkljivost pa se lahko izpostavi njegova teža in slaba toplotna izolativnost. Zato se kamnite zidove zida na način, da se polaga kamne z zamikom enega na drugega, vmesne fuge zapolni in kamnite stene še dodatno toplotno izolira. Poleg trdnosti, je prednost kamna tudi sposobnost shranjevanja toplote. [14]

Eno od vrst kamna predstavlja skrilavec, ki je najpogosteje uporabljan kamen za prekrivanje streh. Ker je skrilavec kot material izredno dolgo obstojen (do 250 let), je bil v preteklosti zelo cenjen kot gradbeni material. Vendar je bilo, zaradi njegove velike specifične teže, potrebno postaviti zelo močno strešno konstrukcijo (običajno so uporabili hrastove lege), zato so ga v novejšem času izpodrinile lažje kritine. [15]

3 ZGODOVINSKI PREGLED ILOVNATE GRADNJE

Ilovico so za gradnjo uporabljali že v prazgodovini. Arheologi so odkrili prve peči iz ilovice v dolinah rek Evfrat, Tigris, Nil in Ganges.[3] Čeprav so najprej menili, da v tem obdobju ilovice niso uporabljali za gradnjo večjih objektov, so arheologi v Mezopotamiji odkrili ostanke prvih mestnih naselij iz obdobja 10.000 let p.n.š., ki pa se žal niso ohranila v celoti. Hiše in templji so bili zgrajeni iz na soncu posušenega blata, oblikovanega v opeke. Prebivalci Babilonije so poznali postopek žganja opek iz gline in celo glaziranja. V Jerichu, Izrael (slika 3), so nato odkrili ohranjene ilovnate zgradbe iz obdobja okoli 9.300 let p. n. š. in v Turkmenistanu ohranjene ostanke pravokotnih zgradb iz obdobja 8.000 - 6.000 let p.n.š.. Tudi Stari Grki in Rimljani so živeli v bivališčih, zgrajenih iz blata in lesa. Takšen način gradbenih konstrukcij se je nato razširil po vsej Evropi. [1]



Slika 3: Ostanke mesta Jericho (Izrael) [16]

V starih kulturah, v obdobju od 4.000 do 3.000 let p. n. š, so ilovico uporabljali tudi kot material za gradnjo utrd in kulturnih objektov. Primer tovrstne gradnje je Kitajski zid, ki je bil v obdobju okrog 4.000 let p.n.š. prvotno zgrajen izključno iz butane ilovice, šele kasneje so zid obložili s kamni in opečnimi zidaki. Prav tako je iz ilovnatih zidakov zgrajeno jedro Sončeve piramide v Teotihuacanu (Mehika), ki datira iz obdobja okrog 300 - 900 let p.n.š.. Tudi znani Babilonski stolp (Mezopotamija) iz 7. stoletja p. n. š., je bil, kljub višini 90 m, grajen iz ilovice, le njegova obloga je iz keramike. [1]

Tako kot oblika in način prazgodovinske gradnje naselbin, je tudi večina staroselske arhitekture domovanj tesno povezana z naravo. Gradnja objektov je temeljila na preprostosti in uporabi materialov s svojega področja. Stavbe niso izstopale iz narave, pri načinu gradnje in postavitvi zgradb so staroselci upoštevali tudi podnebne razmere. Tedanji graditelji so sledili znanju in izkušnjam prednikov in se ravnali po njihovih postopkih in uporabi materialov. Tudi danes to načelo uporabljajo mnoga podjetja, ki organizirajo in izvajajo gradnjo v razvijajočih se deželah. Pri iskanju rešitev za

podnebne probleme, zdravja in dobrega počutja prebivalcev, črpajo izkušnje iz bogate zakladnice ljudske tradicije in jih združujejo z ustrezno moderno tehnologijo gradnje. [8]

Na severu Kitajske, v provinci Yonding člani plemena Hakkas še danes živijo v okrog 300 let starih zgradbah iz butane ilovice (slika 4). Zgradbe imajo obliko pravokotnika ali kroga in sprejmejo do 600 prebivalcev. Tudi v današnjem času še vedno najmanj 20 milijonov prebivalcev Kitajske živi v votlinah, ki so bile izkopane v ilovico. [1]



Slika 4: Hiše pripadnikov plemena Hakkas (Kitajska) [17]

V Evropi so od bronaste dobe dalje zabeleženi ostanki gradnje z ilovico kot polnilom za zgradbe na področju današnje Nemčije. Dokazana je gradnja utrdbenega zidu iz ilovnatih zidakov v okrožju Sigmaringen iz 6. stoletja p.n.š.. Arheologi domnevajo, da so pri tej gradnji sodelovali tudi grški zidarski mojstri. Gradnja hiš iz ilovice se je v Nemčiji nato nadaljevala vse do 19. stoletja, ko so se, skladno z razvojem znanosti, pri gradnji vse bolj uveljavljali sodobni in vodoodporni materiali in je bila tehnika gradnje z ilovico skoraj pozabljena. Po koncu prve in druge svetovne vojne pa so, predvsem zaradi pomanjkanja surovin in denarja, zopet začeli graditi stanovanjske hiše iz ilovice. Tako beležimo v obdobju med leti 1919 do 1928 v Nemčiji porast gradnje stanovanjskih naselij iz ilovnatih gradiv. Tedaj so zgradili okrog 20.000 hiš iz ilovice, ki pa so bile zgrajene zgolj z namenom uporabnosti in reševanja stanovanjskih problemov, zato niso predstavljale nobene prednosti za ponovno uveljavitev ilovice kot gradbenega materiala. Ilovico so kot gradivo v Nemčiji ponovno uporabili v obdobju po drugi svetovni vojni, ko so do leta 1952, predvsem na območju tedanje Nemške demokratične republike in v okolici Berlina, zgradili približno 17.300 ilovnatih stanovanjskih hiš. [18]

V Veliki Britaniji še vedno stojijo hiše, ki so bile zgrajene iz mešanice gline in peska s slamo ter pletene iz protja, danes pa so njihove ilovnate stene skrite za novimi ometi iz mavca, opeke ali

cementa. Po odkritju kolonij, so prvi angleški izseljenci način gradnje z opeko prenesli tudi v obe Ameriki in v Avstralijo.

V obdobju od leta 1950 do 1980 je v Evropi gradnja ilovnatih hiš skoraj popolnoma zamrla. Vzporedno z razvojem ekoloških gibanj v začetku 80 let, zavedanja glede varovanja okolja in težnje po izboljšanju bivalne klime, je prišlo do ponovnega odkritja starih tehnik ilovnate gradnje, predvsem na območju srednje Evrope. [1]

Tudi v Združenih državah Amerike so bili v tem obdobju glavni tokovi arhitekture nezavzeti za ekologijo in je bila skrb za zaščito narave le privilegij peščice bogatih. Vseeno pa so se, vzporedno z evropskimi, tudi v Ameriki oblikovala različna gibanja, katerih glavno načelo je bila skrb za zaščito narave. Hkrati z njihovo prepoznavnostjo je raslo tudi veliko ameriško zanimanje za naravo. Ustanovljena so bila različna gibanja za zaščito narave in našega okolja: WWF, Greenpeace... Potrošnike so pričeli opozarjati in ozaveščati glede skrbnega ravnanja in ohranjanja narave, tako glede porabe vode kot ravnanja z odpadki in zmanjševanja uporabe škodljivih izdelkov. V tem obdobju so se ekološka gibanja usmerjala predvsem na delovanje hiše na okolje, manj pa na dejstva, kako hiša deluje na zdravje njenih prebivalcev. Leta 1980 je želel Alfred V. Zamm s knjigo »Zakaj lahko vaša hiša ogrozi vaše zdravje« [19], Američane opozoriti na zdravju škodljive snovi, ki so sestavina bivalnega okolja v njihovih hišah. Želel je omajati prepričanje večine ljudi, da so, prav zaradi razvoja novih tehnologij, njihovi domovi neprimerno bolj zdravi kot domovi njihovih prednikov. Kot posledica njegovih ugotovitev in tudi podpore drugih ekologov, se tudi v Združenih državah Amerike vse bolj razvija povpraševanje po alternativnih načinih gradnje. [8]

3.1 Ilovnata gradnja v Sloveniji

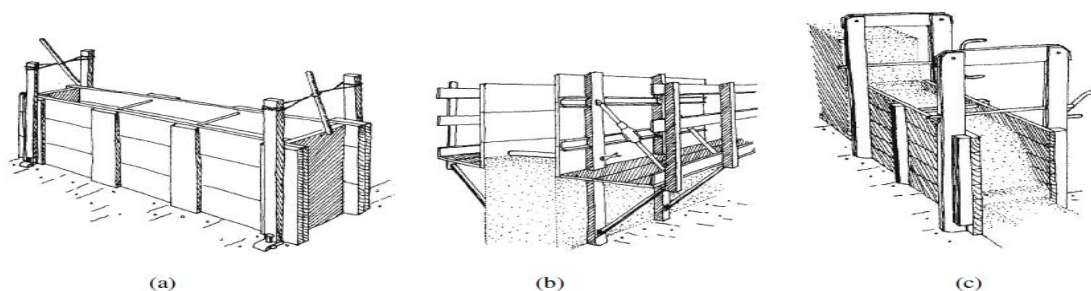
V Sloveniji so v 19. stoletju kot material za gradnjo hiš pričeli uporabljati butano ilovico. Nahajališča ilovice so v Sloveniji razmeroma razširjena, na kar lahko sklepamo tudi iz številnih središč lončarske obrti. Najbolj pogosta je bila gradnja ilovnatih hiš zaradi primerne sestave in kakovosti ilovice na območju Ptujkega polja. Nekatero ilovnate hiše so tu še vedno razmeroma dobro ohranjene medtem, ko so bile druge hiše zaradi napak pri gradnji poškodovane in so jih porušili.

V okviru Inštituta za industrijsko oblikovanje pri Fakulteti za arhitekturo, gradbeništvu in geodezijo sta Dušan Moškon in Savo Vesel raziskala načine gradnje v tem delu Slovenije in leta 1975 objavila delo z naslovom »Gradbeno tehnološka raziskava ilovnatega naboja in njena aplikativna vrednost v regionalni arhitekturi severovzhodne Slovenije«. [20] V njem sta opisala način gradnje stanovanjskih hiš iz ilovice na Ptujkem polju (slika 8), ki se razlikuje od prikazanih primerov gradnje v tuji literaturi. Prebivalci Ptujkega polja so namreč sprva gradili hiše »na mokro«, brez uporabe lesenih

opažev. Kot gradbeni material so uporabili bolj vlažno ilovico, ki so ji za večjo trdnost dodali slamo in pa borove vejice. Ko so se butani zidovi posušili, so jih obtesali.

Kasneje so kot osnovo uporabili lesen opaž, katerega so napolnili z bolj suho ilovico, ki se pri sušenju ni toliko posedala kot mokra ilovica in tudi ni toliko razpokala. Prebivalci Ptujkega polja so ilovico kot gradbeni material uporabljali zaradi dostopnosti, saj so jo lahko pridobili ob izkopu gradbene parcele, takoj pod plastjo humusa. Ilovnate hiše so gradili sami, ob pomoči sosedov in prijateljev, kar je dodatno pocenilo gradnjo. Nasprotno pa je bila, v primerjavi z ilovico, ki so jo imeli tako rekoč na dvorišču, opeka sorazmerno draga in težje dosegljiva. [21]

Danes na Ptujkem polju ilovnatih hiš ne gradijo več, tudi znanje o gradnji z ilovico se ni ohranilo. Prebivalci še ohranjenih ilovnatih hiš pa ocenjujejo bivanje v takšnih hišah za zelo ugodno. Poleti so prostori hladni, pozimi se ne ohladijo preveč, tudi stene zaradi pravilne gradnje niso vlažne. [22]



Slika 5: Primeri opažev za gradnjo z butano ilovico [1]

Pri butani tehniki gradnje sta za opaž uporabljena dva vzporedna, iz desk narejena panela. Panela ločujejo distančniki. Na sliki 5(a) je prikazan opaž, ki je pritrjen na tla in so distančniki položeni na zgornjem robu, na sliki 5(b) je prikazan način gradnje, kjer je opaž pritrjen na že utrjen sloj ilovice in so distančniki postavljeni na spodnji sloj opaža. Slika 5(c) pa prikazuje način gradnje, kjer so distančniki pritrjeni nad opažem. [1]

4 SESTAVA IN LASTNOSTI ILOVICE

Večji del zemeljske skorje sestavlja ilovica, ki je nastala v procesu preperevanja glinenih kamenin (laporja). Sestavljena je iz zmesi peskov, melja in gline. Ilovica je gradivo, ki se nahaja pod 30 - 40 cm debelo humusno plastjo in ga dobimo ob izkopu gradbene jame. Da se v tleh nahaja ilovica, prepoznamo po tem, da se meteorna voda na površini zadržuje v obliki luž. [23]

V naravi najdemo različne vrste glin. Osnovna sestavina gline je kaolin, s kemijsko sestavo Al_2O_3 , $2SiO_2$, $2H_2O$. Poleg naštetega glina vsebuje še druge spojine, predvsem železov oksid in tudi apnene, magnezijeve, manganove in druge anorganske in organske spojine. [22]

Pomembne lastnosti gline so:

- zrnatost, ki določa teksturo ilovice (ilovica mora vsebovati vse delce, od najmanjših do največjih),
- plastičnost, ki omogoča gnetenje in oblikovanje,
- stisljivost, ki omogoča zmanjšanje vsebnosti zračnih por.

V preglednici 3 so podane najvišje, še dovoljene vrednosti naravnih elementov, ki so lahko vsebovane v ilovnatih ometih. Kadar so navedene mejne vrednosti presežene, material ni primeren za uporabo.

Preglednica 3: Mejne vrednosti za naravne sestavine ilovnatih ometov [23]

Material ali učinkovina	Mejna vrednost mg/kg
Arzen	≤ 5
Kadmij	≤ 1
Kobalt	≤ 20
Krom	≤ 20
Baker	≤ 35
Živo srebro	$\leq 0,5$
Nikelj	≤ 20
Svinec	≤ 15
Antimon	≤ 5
Cink	≤ 150
Hlapne organske spojine	$\leq 100 *$

* vsebovane v suhi ilovnati malti

Ilovica in glina se med seboj razlikujeta. Ilovica je gradivo in iz nje lahko zgradimo hišo. Gline pa dajo ilovici lepljivost oziroma vezivnost. Glini, ki ima drugačne lastnosti kot ilovica, lahko dodamo pesek in jo uporabljamo za glinene omete. Gline torej ne prištevamo med gradiva, temveč ima zgolj funkcijo veziva za malte pri dekorativni obdelavi sten. Izraz glina, ki ga uporabljamo za poimenovanje

surovine za izdelavo posode, pomeni neprečiščeno glinasto maso, ki jo sestavljajo glina, ilovica, pesek, fini pesek, prod in podobne primesi. [21]

Za gradnjo zgradb iz ilovice lahko uporabljamo različne vrste ilovice. Kadar gradimo hišo iz butane ilovice, je primerna ilovica, v kateri je manj peska in več gline in mulja. Kadar želimo ilovico uporabiti za opeke, je ustrežnejša ilovica, ki vsebuje 75% peska in vsaj 10% gline. Ilovici z dobro sestavo navadno ne dodajamo stabilizatorjev. Kadar pa je ilovica siromašnejša, ji je potrebno dodati veziva, predvsem apno za peščene vrste zemlje in peščene agregate za zemljo, ki vsebuje preveč gline. [8]

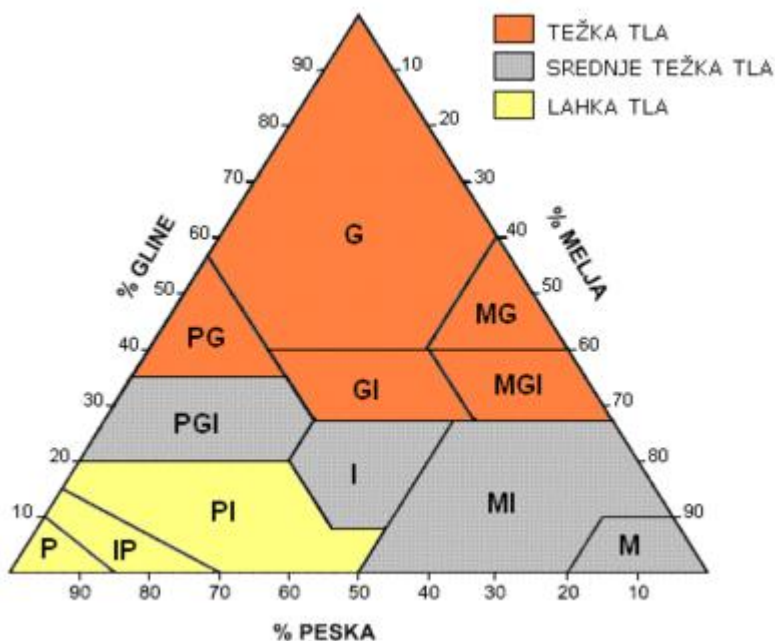
Kvaliteto ilovice v veliki meri določa njena tekstura. Na to vplivajo štirje elementi:

- glina: je drobnozrnata prst do velikosti $< 0,002\text{mm}$, tvori kepe in grude, ki so v suhem stanju trde, v vlažnem stanju pa je glina plastična – ob gnetenju nastane gosta masa,
- melj: sestavljajo ga zrna z debelino od $0,002$ do $0,02\text{mm}$. V suhem stanju tvori grude, ki pa se takoj zdobijo v mehko mokasto strukturo, ki se v vlažnem stanju takoj sprime,
- droben pesek: sestavljajo ga zrna debeline zrn od $0,02$ do $0,2\text{mm}$, ki omogočijo boljšo vezavo,
- debel pesek z debelino zrn od $0,2$ do 2mm , ki omogoča boljšo vezavo, vendar je zaradi grobosti tudi težje vgraden. [24]

Preglednica 4 prikazuje dvanajst tipov prsti, ki so razvrščene med peskom in glino. Glede na razmerje med njimi lahko določimo vrsto tal: težka, srednje težka in lahka tla, kot je prikazano v sliki 6.

Preglednica 4: Teksturni razredi prsti [25]

Oznaka	Teksturni razred
P	Pesek
IP	Ilovnat pesek
PI	Peščena ilovica
PGI	Peščeno glinasta ilovica
PG	Peščena glina
M	Melj
MI	Meljasta ilovica
MGI	Meljasto glinasta ilovica
MG	Meljasta glina
I	Ilovica
GI	Glinasta ilovica
G	Glina



Slika 6: Teksturni razredi ameriške teksturne specifikacije [25]

4.1 Prednosti ilovice:

- z uporabo ilovice prihranimo ostali gradbeni material in zmanjšamo transportne stroške. Ilovice je v naravi v izobilju, njeno izkopavanje je preprosto in poceni. Na večini gradbišč v srednji Evropi jo dobimo ob izkopu zemljišča za kletne prostore ali temelje zgradb (slika 7). Če ilovica ne vsebuje preveč gline ali prevelikih delcev kamna, jo lahko takoj uporabimo za nadaljnjo gradnjo. Pri tem moramo biti pozorni, da ilovica ob shranjevanju ne izgubi preveč naravne vlage; [1]



Slika 7: Ilovica, dobljena ob izkopu gradbene jame [26]

- ilovica ne vsebuje zdravju škodljivih in strupenih tvarin, ne draži kože (pH faktor 5-7) in nima vonja. Tudi slama, pesek in ostali dodatki, ki jih ilovnatemu gradivu dodajamo za večjo trdnost, ne smejo vsebovati alergenov in strupov. Ker se ilovica suši na podlagi izhlapevanja vsebovane vode, tudi ne oddaja strupenih hlapov; [1]
- ilovica je primerno gradivo za samograditelje, predvsem zaradi tega, ker pri gradnji z ilovico ne potrebujemo veliko strojev. Veliko dela namreč lahko opravimo ročno ali pa z uporabo ročnega orodja. Vseeno pa je priporočljivo, da gradimo s pomočjo usposobljenega strokovnjaka, saj se bomo s tem izognili napakam pri gradnji; [27]
- ilovica ima dobro razmerje med gostoto ($\rho=2300 \text{ kg/m}^3$) in specifično toploto ($c=1000 \text{ J/kgK}$). Njena toplotna prevodnost se lahko primerja z ostalimi, težkimi gradbenimi materiali;[1]

Preglednica 5 prikazuje toplotno prevodnost butane ilovice, ki je odvisna od gostote ilovice. Za doseganje minimalne toplotne prevodnosti $0,28 \text{ W/mK}$ po PURES 2010² pa je v preglednici 6 prikazana debelina zunanega zidu iz butane ilovice gostote 2200 kg/m^3 in potrebne debeline dodatnega izolacijskega sloja s toplotno karakteristiko 040^3 .

Preglednica 5:Toplotna prevodnost butane ilovice [23]

Gostota kg/m^3	Toplotna prevodnost W/mK
1700	0,82
1800	0,91
1900	1,00
2000	1,10
2100	1,20
2200	1,40
2300	1,50
2400	1,60

² Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, Uradni list RS št. 52/10

³ 040 pomeni razvrstitev izolacijskega materiala glede na njegovo toplotno prevodnost. Nižja kot je oznaka, manjšo debelino izolacijskega materiala lahko uporabimo.

Preglednica 6: Debelina dodatnega izolacijskega sloja s toplotno karakteristiko WLG 040 za doseganje toplotne prehodnosti $0,28\text{W/m}^2\text{K}$ [23]

Debelina zidu iz butane ilovice v cm Gostota 2200 kg/m^3	Izolacija (040) v cm
32,5	14
40	13
60	12
90	11
480*	0

* informativno

- ilovica uravnava vlago v prostoru, zato je zelo primerna tudi za kopalnice in druge vlažne prostore. Kadar je v zraku veliko vlage, jo veže nase in nato oddaja, ko je zrak suh. S tem skozi vse leto zagotavlja enakomerno vlago v prostoru. Z raziskavo Laboratorija za eksperimentalno gradnjo na Univerzi v Kasslu so dokazali, da v razmerah, ko zračna vlaga naraste iz 50% na 80% , zidaki iz nežgane ilovice v dveh dneh sprejmejo 30x količino vlage, kot jo sicer v enakem obdobju zidaki iz žgane opeke; [1]
- ilovico, ki je nismo žgali v opeke ali pa ji primešali snovi za večjo trdnost kot n. p. r. bitumen, lahko ponovno uporabimo tako, da suho ilovico razdrobimo v manjše kose in navlažimo. Dobljeno maso nato pregnetemo in z njo lahko ponovno gradimo;
- ilovica zaradi relativno visoke lastne teže in zaradi elastičnosti in mehknosti duši visoke frekvence in zmanjšuje resonančno nihanje. Ocenjena zvočna izolativnost sten iz butane ilovice je prikazana v Preglednici 5; [28]

Preglednica 7: Ocenjena zvočna izolativnost sten in butane ilovice [23]

Butana ilovica z gostoto 2200 kg/m^3 v cm	R'_w ⁴ dB
24	56
32,5	57
60	≥ 57

- kadar z ilovico omečemo les ali druge organske materiale kot so na primer slama ali ovčja volna, deluje ilovica kot konzervans in vzdržuje njihovo vlago ali pa ohranijo suhost in so tako varni pred plesnimi in insekti;

⁴ Indeks označuje zmogljivost dušenja zvoka

- ilovica varuje pred visokofrekvenčnimi elektromagnetnimi sevanji. Raziskava na Muenchenskem inštitutu za HF, mikrovalovno in radarsko tehniko, ki sta jo izvedla profesor Peter Pauli in Dr. Ing. Dietrich Moldan je dokazala, da že 24 cm debela ilovnata stena zmanjša visokofrekvenčna sevanja mobilnih in brezžičnih telefonov, ter podatkovnih naprav kot so naprave UMTS⁵ in GPS⁶ naprav za 22 dB medtem, ko enako debela stena iz lesenih brun le za 7 dB. [1]
- ilovica pri gostoti nad 1700 kg/m³ ni gorljiva, kar velja tudi za morebitne organske dodatke, ki jih obdaja:

Iz Preglednice 8 lahko razberemo, da lahko ilovico in mineralne dodatke opredelimo kot negorljiv gradbeni material razreda A1. Ilovico, ki ji primešamo še rastlinske dodatke in ima nižjo gostoto, pa uvrščamo med težje vnetljive materiale. [23]

Preglednica 8: Gorljivost ilovnatih gradbenih materialov [23]

Negorljiva ilovnata gradiva	
Dodatki	gostota - kg/m ³
Ilovica in ilovnati materiali z mineralnimi dodatki kot npr. pesek, mivka	
Ilovnata gradiva z naravnimi dodatki kot so rastlinska vlakna z gostoto ≥ 1700 kg/m ³	
Ilovnata gradiva z rastlinskimi dodatki	
Slama	>1200
Lesni sekanci	>1400
Žaganje	>1600
Žaganje v prahu	>2000
Težko gorljiva ilovnata gradiva	
Ilovnata gradiva z rastlinskimi dodatki	
Slama	>600
Konoplja, lan	>600
Lesni sekanci	>600

4.2 Slabosti ilovice kot gradiva

- ilovica ni standardizirani gradbeni material in priprava ilovice za gradnjo zahteva veliko znanja. Za uspešno gradnjo moramo poznati njeno sestavo in lastnosti v posamezni pokrajini. V ta namen nemški avtorji priporočajo različne teste, ki so namenjeni preverjanju

⁵ Univerzalni mobilni telekomunikacijski sistem

⁶ Globalni sistem pozicioniranja

obremenitvenih zmožnosti in enostavnosti priprave ilovice. Volhard [41] opisuje testiranje ilovice v skladu z DIN 18952 [30], kjer so opisani načini testiranja nosilnih elementov iz ilovice. Ilovica, ki jo uporabimo za vzorčenje mora biti odvzeta iz globine najmanj 50 cm, najbolje takoj po izkopu. Takšna ilovica ne vsebuje humusa in siceršnjih organskih snovi, ki sicer lahko vplivajo na rezultate testov.

- ilovica se pri sušenju krči in spreminja barvo – blede. Ko se ilovica suši, iz nje izhlapeva voda, ki ji je bila primešana zaradi lažje obdelave in večje vezivnosti. Pri tem se njen volumen manjša in nastajajo razpoke. Na manjše krčenje lahko vplivamo z zmanjševanjem deleža vode in gline v ilovnatih zmesi in mikro armaturnimi konopljinimi ali lanenimi vlakni ter slamo. [22]

V preglednici 9 je prikazan čas sušenja različnih ilovnatih materialov glede na njihovo različno debelino, ki ga je potrebno upoštevati, da je ilovica primerno suha.

Preglednica 9: Zahtevana doba sušenja pri ilovnatih gradnji [30]

Empirične vrednosti	Čas v mesecih
Butana ilovica 40 cm	4 – 6
Stena iz zlepljene ilovice	12
	4 - 6
Stene, zidane z glineno malto:	
- iz glinenih opek 25 cm	0,25 - 1
- iz opeke iz lahke gline 15 cm	0,25 - 1
Mokro zidane stene	
Lahka ilovica z dodano slamo	2 - 4
Lahka ilovica z dodanimi lesnimi delci	2 - 3
Lahka ilovica z dodanimi minerali	1 - 3
Ilovica z dodano slamo	0,5 - 2
Drobljena glina	
na stropu 10 cm	0,5 - 3
Ilovnato polnilo 10 cm med lesenimi stropniki	0,5 - 2
Notranji ilovnati omet 1 cm	0,25 - 1

- ilovica ni vodoodporna. V naravnem okolju bo ilovica vsrkala vodo in se zmeščala, saj tudi slabo prenaša fizične poškodbe. Zato je gradnja hiš iz ilovice bolj primerna v suhih podnebjih, medtem, ko je v vlažnem podnebjju potrebno graditi na dobro hidroizoliranih

temeljih in predvideti podaljšano streho, ki zunanje stene varuje pred padavinami in zmrzovanjem ter ustrezno površinsko obdelavo kot so opleski. Hiše, ki niso zgrajene na ustreznih temeljih in katerih stene niso zaščitene, lahko uničijo poplave in neurja. [8]

- ilovica se pri sušenju krči in spreminja barvo – blede. Ko se ilovica suši, iz nje izhlapeva voda, ki ji je bila primešana zaradi lažje obdelave in večje vezivnosti. Pri tem se njen volumen manjša in lahko nastajajo razpoke, kot je prikazano v sliki 8. Na manjše krčenje lahko vplivamo z zmanjševanjem deleža vode in gline v ilovnati zmesi. [22]



Slika 8: Prikaz razpokanega ometa [32]

5 TEHNIKE GRADNJE HIŠ IZ ILOVICE

Gradnjo hiš iz ilovice lahko opredelimo kot način gradnje, ki je dostopen vsakomur. Gradbeni material je na razpolago skoraj povsod, za gradnjo ne potrebujemo posebnih strojev in tehnologije. Način gradnje se je v stoletjih izpopolnil, v zadnjem času tudi zaradi pomoči strokovnih priročnikov, ki opisujejo različne uporabe ilovice in izkušnje avtorjev z gradnjo tovrstnih hiš. Čeprav je gradnja hiš z ilovice enostavno opravilo, pa kljub vsemu zahteva izkušnje in znanje.

Gradnja hiš iz ilovice je v nekaterih državah regulirana tudi z državnimi predpisi. V Nemčiji je krovna organizacija za gradnjo z ilovico - Dachverband Lehm prvič leta 1999, nato pa še leta 2002 in 2009 izdala Pravila za gradnjo z ilovico (Lehmbau Regeln) [30] V izdanem pravilniku so opisane vrste ilovice in njihova uporaba pri gradnji hiš v skladu z normami DIN, navodila glede požarne varnosti, zvočne in toplotne prehodnosti. [30]

Nekatera pravila veljajo za vse tehnike gradnje ilovnatih stavb:

- vsako steno je potrebno zaščititi pred kapilarnim dvigom vlage,
- kletne stene in fasadni podzid morajo biti vsaj 50 cm nad terenom in zidane iz betona ali iz naravnega kamna,
- med temelji (kletna stena, fasadni podzid) in glineno steno mora biti dodana vodotesna plast,
- zunanje ilovnate stene morajo biti zaščitene pred vremenskimi vplivi kot sta dež in sneg,
- ilovnate stene morajo biti suhe pred nastopom zmrzali,
- ilovnati ometi naj ne bi vsebovali škodljivih primesi. Zato je potrebno pri dodatkih, ki niso deklarirani kot stabilizirani, upoštevati, da morajo biti sestavljeni iz 100% mineralnih in obnovljivih surovin. Kot vezivo se lahko dodaja ilovica ali glina in kazein. [31]
- posamezne ilovnate tehnike niso primerne za vsako vrsto gradnje, zato je priporočljivo upoštevati predloge v preglednici 10

Preglednica 10: Priporočena uporaba različnih ilovnatih tehnik [21]

	Butana ilovica	Lepljena ilovica s slamo	Ilovica s slamo	Lahka ilovica	Koščki ilovice	Ilovnata malta	Ilovnate opeke	Ilovnate plošče
Tla	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			
Nosilne stene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Nenosilne stene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Streha			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Suhogradnja							<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Omet			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		

5.1 Tradicionalna gradnja hiš iz surove ilovice

5.1.1 Mokra tehnika gradnje

Za gradnjo ilovnatih hiš na tradicionalni mokri način, so ilovico najprej premešali z narezano slamo. Mešanici so nato dodali vodo in zmes gnetli, da je nastala prožna masa. Iz tako dobljene mase so gradili zidove v približno meter visokih plasteh, ki jih je bilo pred nanosom nove plasti potrebno posušiti. Zaradi daljše obstojnosti in da ne bi vanje prodirala vlaga, so bile tradicionalne kočice iz ilovice v Severni Evropi grajene na kamnitih temeljih in so imele podaljšane slamnate strehe. Danes za doseganje večje trdnosti ilovnatemu gradivu pogosto dodajajo apno, cement in bitumen. [8]

V deželah s toplejšim in bolj suhim podnebjem, uporabljajo mokro ilovico za ročno ali strojno oblikovanje mešanice v opeke ali bloke. Tako oblikovane potem sušijo na soncu. Ko so posušene, opeke polagajo v vrste, za vezivo pa uporabljajo ilovnato malto. Popolnoma suhe stene lahko tudi še omečejo ali pobelijo in jih s tem zaščitijo pred dežjem. Hiše iz nežgane opeke so tradicionalne po vsej Latinski Ameriki.

5.1.2 Suha tehnika gradnje

Pri suhi tehniki gradnje natlačijo ilovico v lesene okvirje ali modele. Ko se prva plast posuši, okvirje premikajo naprej in navzgor, dokler stena ni gotova. Na takšen način dobijo izjemno močne in trpežne zidove in če je sestava prsti ustrezna, niso potrebna nobena dodatna veziva ali premazi. [8]

Tradicionalne hiše iz nežgane ilovice doživljajo preporod pri ekološko usmerjenih arhitektih in graditeljih v Združenih državah Amerike, Avstraliji in Evropi, ta tehnika se je pokazala kot cenena možnost za gradnjo v afriških državah (slika 9) in v državah v razvoju.



Slika 9: Primer tradicionalne gradnje ilovnatih hiš v Tuniziji [33]

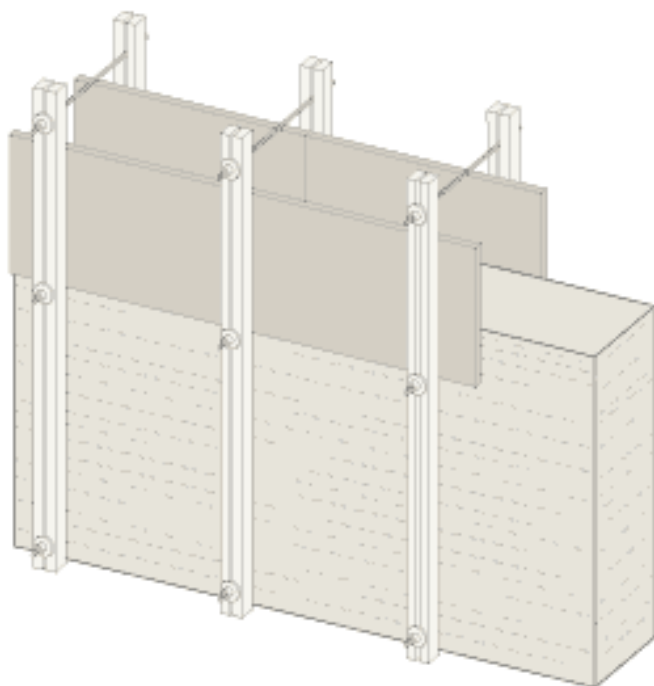
Tudi v Sloveniji so v Posočju prebivalci kot gradivo sprva uporabljali le nežgano ilovico, in sicer za ilovnate omete. Naredili so jih iz mešanice ilovice, peska in rastlinskih vlaken in jih nanесли na notranje površine lesenih ali vejevnatih sten, da bi zavarovali bivalne prostore pred uhajanjem toplote. Ilovico so uporabljali tudi za zatesnjevanje vodnih zbiralnikov in kot oblogo vkopanih jam za shranjevanje živil. Iz rekonstrukcije bivalnega objekta iz železne dobe, ki je urejen v Arheološki zbirki na Mostu na Soči je razvidno, da so tedanji prebivalci z nabijanjem in glajenjem primerno razmočene ilovice na peščeno podlago uredili tudi notranje talne površine objektov. Pravo posebnost pa predstavljajo žgane glinene ornamentirane plošče, ki so bile najdene med izkopavanji železnodobnih naselij, saj so sicer iz tega obdobja na naših tleh poznani le lončarski izdelki. [34]

5.1.3 Butana gradnja

Pri butani tehniki gradnje se kot gradivo lahko uporabi samo ilovica, ki ima pri takšnem načinu gradnje vlogo nosilnega gradiva in zato niso potrebni dodatni nosilni elementi iz drugih gradiv. Uporablja se lahko različne vrste ilovice: ilovico, ki ne vsebuje dodatkov ali pa ilovico z dodatki slame, sena, resja ali peska. [27]

V kolikor ima ustrezno sestavo, se lahko za butano gradnjo uporabi ilovica, ki je izkopana neposredno ob pripravi gradbene jame. Preizkušanje ustreznosti materiala prepustimo izkušenemu strokovnjaku. V kolikor je material ustrezen, je potrebno izkopani material do uporabe ustrezno skladiščiti, da ga zaščitimo pred prekomerno vlago ali izsuševanjem. Ilovica, ki je bolj pusta in drobljiva se lahko takoj uporabi za butano gradnjo in ne potrebuje dodatne obdelave. Takšna suha ilovica ima gostoto 1.700 – 2.000 kg/m³ in je najtežja izmed ilovnatih gradiv. Bolj mastno ilovico pa je potrebno pred gradnjo zdrobiti in osušiti z dodanim peskom. V tej fazi se ilovici lahko doda slamo in druga vlaknata gradiva, ki jih je potrebno predhodno narezati na ustrezno dolžino in namočiti z vodo. Ilovnato maso se nato zmeša. V preteklosti so za pomoč pri mešanju uporabljali posebne mline, ki jih je poganjala živina. Pred uporabo mora ilovnata masa počivati najmanj 12 do 48 ur, da pridobi lepljivost. Nato se pripravljeno vlažno gradivo buta med dva opaža v 10 do največ 15 cm visokih plasteh. Naslednjo plast dodamo šele, ko je prva plast popolnoma suha. [22]

Za izdelavo sten iz butane ilovice lahko uporabimo tako običajne kot drsne opažne sisteme. Postavljeni morajo biti tako, da prenesejo obremenitev do 60 kN/m². Pri nadaljnjem postavljanju opažev je potrebno, glede na geometrijo gradbenega dela, pustiti dovolj visok segment nadopaža, ki mora biti visok najmanj 1 meter. Da se prepreči premikanje zgornjih plasti, mora biti opaž dobro zasidran v tla. Na mestu, kjer se ilovico buta, je pritisk na opaž bistveno večji, kot pa pri betonski gradnji. Uporabljene opaže moramo pred ponovno uporabo temeljito očistiti. Ostanki olja ali cementa na opažu lahko bistveno vplivajo na videz končne stene. [35]



Slika 10: Primer opaža za butano gradnjo [35]

Med tako pripravljene opaže se polni ilovica (slika 10). Tehnika gradnje je primerna za nosilne in nenosilne stene. Butano steno ne smemo začeti graditi na začetku ali koncu stene, saj se opaž lahko premakne v vzdolžni smeri. Vsako plast je potrebno večkrat in enakomerno utrditi oziroma zbiti, dokler se ne ustvari ravna in skoraj zatesnjena površina. Pri vidnih površinah je potrebno upoštevati, da je vsaka faza delovnega procesa (opaž, polnjenje, utrjevanje) razvidna na končni površini, zato jo je treba skrbno izvesti. Za boljši oprijem ometa in kot zaščito pred erozijo, so včasih v plasti butane ilovice dodajali krajnike iz koščkov opeke ali kamnite plošče. [35]

Spoji med posameznimi plastmi naj ne bi bili narejeni previsoko, da ostane vezava stene po možnosti homogena. Spoji so lahko poševni ali stopničasti, ni pa priporočljivo, da jih naredimo nad odprtini, ker lahko nastanejo razpoke. Paziti moramo tudi pri izdelavi stenskih odprtin (okna, vrata), ki morajo biti stabilne, kar dosežemo z jeklenimi, lesenimi ali pa prekladami iz armiranega betona.

Da se lahko začne proces sušenja, je potrebno takoj po končanem delu opaže odstraniti s stene. Stena iz butane ilovice zaradi počasnega sušenja še dolgo ni primerna, da jo polno obremenimo (na primer s postavitvijo strehe). Če nismo prepričani, da so stene dovolj suhe, izmerimo vlažnost na vzorcu, ki ga izvrtamo iz stene. [35]



Slika 11: Gradnja butane hiše na Ptujskem polju (Foto: D.Moškon) [36]

Pri sušenju ilovnate butane stene se gradivo skrči, zato lahko pride do razpok. Gradivo v času gradnje ne sme zamrzniti, zato je priporočljivo, da se z gradnjo prične spomladi, ko ni več zmrzali in konča najmanj 2 meseca pred pričakovano jesensko zmrzaljo, da se stene lahko vsaj delno posušijo. Čas gradnje je v kontinentalni Evropi tako močno omejen na obdobje med majem in avgustom, kar predstavlja tudi glavno pomanjkljivost tovrstnega načina gradnje.

Tehnika gradnje hiš iz butane ilovice se je v 19. stoletju prenesla tudi v Prekmurje in na Ptujsko polje (slika 11). Še posebej se je razmahnila po drugi svetovni vojni, ko so iz ilovice nastale cele vasi, nato pa je v sedemdesetih letih popolnoma zamrla. V Sloveniji so butali ilovico med dve deski višine 40 cm, zato so bile plasti višje kot drugje. Debelina plasti je bila 5 cm in dolžina 3 do 4 m. Opažni deski sta bili med seboj horizontalno povezani z dvema kovinskima letvicama. V prvi fazi so izdelali tri vrste in po nekaj dneh sušenja še naslednje tri vrste. Debelina zunanjih zidov je bila 40 cm, notranjih pa 30 cm. Tlorisne dimenzije butanih hiš so bile običajno 9,3 m x 10 m, za kar je bilo potrebnih 100 – 120 m³ gline. [36]

Pri butani tehniki gradnje je potrebno paziti:

- da se plasti nanaša v višini največ 10 -12 cm (slika 12),
- višina posamezne stene ne presega 3,25 m,
- plasti se nanaša enakomerno in poravnano,
- opaz, med katerega se nalaga posamezna plasti ilovice, mora biti dovolj močan in čist, sicer se ilovica različno obarva,
- zaradi izgleda zidu se priporoča tudi čim večja višina opažnih desk,
- predhodna plast se mora ustrezno posušiti pred nanosom naslednje plasti,

- gradnje sten se ne sme začeti v vogalih zgradb, ampak na celotni dolžini stene,
- sušenje je povezano s posedanjem ilovnatih plasti, zato lahko pride do razpok in deformacij, še posebej, če se plasti preveč posedejo ali neenakomerno sušijo,
- kadar se gradijo tanke stene, je potrebno ilovnate stene ojačati z lesenimi navpičnimi oporniki, v razmiku do največ 1,5 m
- takoj po odstranitvi opažev se lahko videz stene izboljša s krtačenjem,
- pri gradnji zunanjih sten, ki so masivnejše, se lahko med posamezne plasti ilovice, enako kot pri betonski gradnji, za večjo trdnost doda jekleno armaturo,
- da se ilovnata masa dovolj dobro premeša, nekateri avtorji strokovne literature (Rohlen in Ziegert [23]), priporočajo uporabo tovornjaka za prevoz betona, za zadostno trdnost pa uporabo vsaj ročnih pnevmatskih orodij,
- za zmanjšanje posedanja ilovice pri sušenju ali za ojačitev vogalov sten se lahko uporabi tudi armirne mreže.



Slika 12: Lesena stropna konstrukcija z vmesnim ilovnatim polnilom [37]



Slika 13: Primer moderne hiše iz butane ilovice [38]

5.1.4 Gradnja iz ilovice, pomešane s slamo

Gradnja sten iz ilovice, ki je pomešana s slamo (slika 15), spada med najstarejše tehnike gradenj in se jo v celoti izvaja ročno. Pri gradnji opaži niso potrebni, gradivo se nanaša neposredno na podstavek iz kamna. Iz ilovice, pomešane s slamo, se lahko gradi nosilne in nenosilne stene (slika 15). Za ta namen potrebujejo ilovico z naravno vlažnostjo (stopnja vlažnosti, ki jo ima ilovica ob izkopu) ter slamo. Priporočeno razmerje med ilovico in slamo je 25kg slame na 1 m³ ilovice. Gostota tako pripravljenega suhega gradiva je 500 do 1.800 kg/m³. [22]



Slika 14:: Hiša iz ilovice, pomešane s slamo, v mestu Devon iz leta 1539 [39]

Masa za gradnjo, ki je zmes ilovice in vlaken slame ali resja z dolžino med 30 in 40 cm, mora pred uporabo nekaj dni počivati. Nato se jo na kamniti podstavek nanese z vilami in dodatno utrdi s težo človeka tako, da izvajalec z nogami tepta naloženo gradivo. Zaradi takšne tehnike izdelave, so stene precej debele in spodaj merijo 90 cm, proti vrhu pa se tanjšajo. Tako kot pri butani gradnji, se tudi pri tej tehniki nanaša gradivo v več nizih in vsak predhodni niz se mora pred nanosom naslednjega posušiti. Ko je stena izdelana in ustrezno posušena, sledi sekanje oziroma odrezovanje delov, ki štrlijo iz stene. To naredijo s posebno trikotno lopato. Nato v steno vsekajo utore, da se omet med nanašanjem bolje oprime stene. Enako kot pri butani tehniki, je tudi pri tehniki gradnje čas gradnje omejen zgolj na obdobje med majem in avgustom, saj gradivo med sušenjem ne sme zmrzniti. [22]



Slika 15: Stena, zgrajena iz ilovice, pomešane s slamo [40]

Glede na število še vedno ohranjenih zgradb, izdelanih iz ilovice, pomešane s slamo, bi lahko sklepali, da so tovrstno tradicionalno tehniko gradnje uporabljali največ v Angliji. V grofiji Devon še vedno stoji približno 20.000 stanovanjskih zgradb in enako število kmetijskih objektov. Primer hiše, izdelane s to tehniko gradnje, je predstavljen na sliki 1. Najstarejša zgradba, izdelana v takšni tehniki, je bila zgrajena približno leta 1200. Nato so takšno tehniko v Angliji uporabljali nepretrgoma do konca 19. stoletja. Glede na ohranjene zgradbe v grofiji Devon sklepajo, da so na tak način gradili različne tipe stavb - od enostavnih kmečkih hiš in gospodarskih objektov do dvorcev zemljiških posestnikov in celo javnih zgradb, kot npr. osnovno šolo v Sanfordu. Tak način gradnje ni bil omejen le na podeželje, temveč so bile iz ilovice, pomešane s slamo, zgrajene tudi številne mestne hiše v grofiji Devon. [41]

V srednji Evropi se je gradnja z ilovico, pomešano s slamo razvijala predvsem v 16. stoletju v Nemčiji, kjer je v tem obdobju primanjkovalo lesa. Uporabo lesa so, namesto gradnje z ilovico na kamnito osnovo, omejevali s predpisi, kot npr. v letu 1575 izdanem Splošnem redu za gozdarske uslužbence (Generalbestellung für die Forstbedienten). Gradnjo hiš iz lesa so dovoljevali le tam, kjer tehnike gradnje z ilovico niso bile možne. Gradnja ilovnatih hiš se je močno razširila v okolici mest Dessau, Magdeburg, Halle in Leipzig. Veliko takrat zgrajen hiš stoji še danes. Po letu 1800 je gradnjo hiš iz ilovice, pomešane s slamo začela izpodrivati butana gradnja, ki je omogočala gradnjo višjih hiš. [42]

Hiše, zgrajene iz ilovice, pomešane s slamo, najdemo tudi v zahodnem delu Normandije, v pokrajinah Bassin de Rennes, Bretagne in deloma v pokrajini Vendée. Najstarejša znana stavba je bila zgrajena leta 1750, najmlajša pa v letu 1910. V Franciji že skoraj sto let ne uporabljajo več tovrstne tehnike gradnje. [43]

5.1.5 Predalčna ilovnata gradnja

Pri predalčni ilovnati gradnji je za nosilno gradivo uporabljen lesen skelet, sestavljen iz vodoravnih in poševnih lesenih tramov. Medprostore so nato napolnili z ilovnatimi polnili. Za polnilo so večinoma uporabljali vlaknato ali slamnato ilovico. Vlaknata ilovica je mehka do kašnata mešanica iz slame ali drugih vlaken in ilovice z gostoto 1.200 do 1.700 kg/m³. Kot dodatke za ojačitev so uporabljali mehke vrste slame - rž, oves, ječmen, seno, ki so bile narezane na dolžino od 5 do 20 cm. Nato so ilovico enakomerno zmešali, da so bila vlakna popolnoma obdana z ilovico. Če je bila ilovnata zmes preveč mastna, so jo osušili z dodanim peskom. Vlaknato ilovico so med lesen skelet nanašali s pomočjo opažev iz lesa ali pa so jo nanašali na prepletene lesene palice. [29]



Slika 16: Shakespearova rojstna hiša v kraju Stratford-upon-Avon, zgrajena na način predalčne gradnje[44]

Predalčna gradnja je bila najbolj pogosta na nemškem področju. V zapisih Tacitusa iz leta 100 n.š. z naslovom *Germania* (*De origine et situ Germanorum*) [45] je zapisano, da so stari Germani gradili z lesom in ilovico ter da gradnja s kamnom in opeko tedaj ni bila poznana. Takšno tehniko gradnje so uporabljali do konca 19. stoletja, ko je ilovico kot polnilo postopoma zamenjala žgana opeka. [29]

V Angliji je bila predalčna gradnja z ilovico razširjena v pokrajinah, kjer je bilo na voljo dovolj lesa. V severovzhodnem delu Anglije in v pokrajini Lincolnshire so zaradi uporabe posebnega postopka, imenovanega »mud and stud« lahko gradili relativno tanke stene. Leseno predalčje so zapolnili s palicami, obdanimi z ilovico. Čeprav je bilo zgrajenih na tisoče takšnih hiš, se je ohranilo le še približno 200 hiš v okolici mesta Lincolnshire, vendar so nekatere izmed njih danes oblečene v opeko. [41]

5.1.6 Gradnja z ilovnatimi zidaki

Za izdelavo ilovnatih zidakov se uporablja ilovico, ki ji lahko dodajo še slamo, resje in seno. S tako dobljeno mehko ilovnato maso se zapolni lesene modele (slika 17). Odvečni material se odstrani z žico ali leseno desko, nato se ilovnate zidake suši na soncu.

Ločimo dve vrsti nežganih ilovnatih zidakov:

- ilovnate zidake,
- surovce. [1]



Slika 17: Ilovnati zidaki, pripravljene za sušenje [46]

Nežgane ilovnate zidake se lahko uporablja samo za ilovnato gradnjo. Gostota ilovice za ilovnate zidake mora biti vsaj 1.200 kg/m^3 . Imeti morajo trdno in homogeno strukturo ter biti odporni na vodo. Zidaki so lahko tudi luknjičavi, vendar je delež lukenj lahko največ 15 %. Če ilovici dodamo rastlinska vlakna iz slame, sena, resja, imajo zidaki gostoto nižjo od 1.200 kg/m^3 in jih imenujemo tudi lahki zidaki. Tako ilovnati kot lahki ilovnati zidaki se uporabljajo za polnila pri gradnji nenosilnih sten, za zgornji del stropov in za suho gradnjo zidov. Pred uporabo morajo biti ilovnati zidaki popolnoma suhi, da se po vgradnji ne krčijo in s tem nastajajo razpoke v zidovih. Kot vezivo se uporablja ilovnato ali apneno malto. [22]

Surovci so zidaki, ki so sicer namenjeni za proizvodnjo opečnih zidakov, vendar niso bili žgani. Zaradi slabe trdnosti so lomljivi, vodotopni in v vodi tudi hitro nabreknejo. Zato se jih ne uporablja kot gradivo za nosilne zidove ali pa za polnila zunanjih sten. [22]

Gradnja z ilovnatimi zidaki je sicer eden najstarejših načinov gradnje zlasti v suhih in vročih in subtropskih deželah kot npr. Jemen, Ekvador, Mehika... Tudi danes je to eden najcenejših načinov

gradnje v deželah v razvoju. V evropskem prostoru se (verjetno zaradi podnebja) ta tehnika gradnje, z izjemo Italije, ni veliko uporabljala. [1]

5.1.7 Gradnja hiš iz žgane ilovice

Pearson [8] navaja, da se je umetnost žganja razvila, ko so v pepelu našli otrdelo in lepo obarvano glineno skledico, ki je padla v ogenj. Prvi lončarji še niso poznali vretena, glino so le zgnetli in oblikovali v posode, ploščice in opeko. Znali so tudi izbrati vrsto opečne zemlje, ki je bila primerna za žganje in so jo našli v površinskih slojih starodavnih rek in jezer.

Za izdelavo opek ni primerna vsaka vrsta ilovice, ki jo najdemo na terenu. Posamezne ilovice vsebujejo različne količine rud (železo, magnezij, soli in apnenec), ki dajejo žgani opeki specifično barvo. Kadar ilovica vsebuje preveliko razmerje glin, je mastna in ob sušenju razpoka, zato ji je potrebno dodati t.i. pustila kot so kremenčev pesek, mivka ali pa tudi staro drobljeno opeko. Če je ilovica preveč pusta, se ne sprijema in jo je težko oblikovati. Žgana opeka iz puste ilovice je tudi krhka, zato ji je potrebno dodati glino. Za žganje opek naj bi bila najbolj primerna keramična masa iz 10 - 25 % kaolina, 55 - 65 % kremena in okrog 25 % glinenca. [47]

Pred žganjem ilovnato maso zvijejo in pregnetejo, oblikujejo v modelu, posutem s peskom in pustijo sušiti na zraku. Glina naj bi v tej fazi oddala večino vode. Po sušenju nato opeke žgejo v pečeh. Žganje opeke poteka v dveh stopnjah. V prvi stopnji, imenovani žarenje kemične mase, opeke segrejejo od 400°C do 600°C. Opeke pri tej temperaturi oddajo večji del kemično vezane vode ter otrdijo. V drugi stopnji, imenovani sintranje, se pri temperaturah do 1100°C kristalasti keramični delci stalijo v zmes, ki zapolni praznine med njimi in tako tvori neporozno strukturo. Opeke je potrebno pred uporabo počasi ohladiti (slika 18). Čeprav je žgana glina veliko trpežnejša in odpornejša na vreme od nežgane, se je potrebno zavedati, da lahko žganje in poraba goriva pri tem postopku ogrožata okolje. [48]



Slika 18: Žgana opeka iz goriških opekarn [49]

Pri uporabi ilovnatih zidakov moramo biti pozorni na naslednje:

- proizvajalec jim lahko doda mineralne (perlitne) ali rastlinske dodatke (lesne sekance), ki pa jih mora navesti v deklaraciji izdelka,
- ilovnati zidaki ne smejo vsebovati topljivih soli, ki bi lahko poškodovale strukturo zidakov, ometa in barvnega nanosa, kadar so konstrukcijski materiali različnih vlažnosti,
- za vezavo opečnih zidakov se uporablja ilovnata malta, ki se ob sušenju ne sme krčiti, da med posameznimi zidaki ne nastanejo razpoke.

Ilovnate zidake ločimo v različne razrede glede na njihovo uporabo. V preglednici 12 so opisani razredi uporabe ilovnatih zidakov, ki jih mora proizvajalec označiti v skladu Tehnično razvrstitvijo opečnih zidakov 2011 (Technischen Merkblatt Lehmsteine 2011). [50]

Preglednica 11: Razredi uporabe ilovnatih zidakov [50]

Možnost uporabe ilovnatih zidakov	Oznaka razreda
Za vremensko izpostavljene ometane zidove kot polnilo pri skeletnih gradnjah	Ia
Za vremensko izpostavljene zunanje ometane nosilne in nenosilne stene	Ib
Uporaba samo za notranje prostore, ali za zunanje zidove ob uporabi ometa, ki zidake zaščiti pred vremenskimi vplivi	II
Uporaba samo za suho gradnjo, obzidovanje in ometavanje ni dovoljeno	III

Zidaki razreda Ia in Ib morajo imeti homogeno strukturo. Glede na obseg uporabe morajo biti nepremočljivi in ne smejo zmrzniti. Prav tako ne smejo vpijati vode (do največ 3 cm pri nanosu mokrega ometa) in nabrekniti. Če so dovolj trdni, jih lahko uporabimo tudi za gradnjo nosilnih zidov. Zidaki razreda Ia in Ib ne smejo imeti lukenj, razen tistih, ki so namenjene oprijemanju. Delež lukenj za oprijemanje ne sme biti večji kot 7,5 %.

Zidaki razreda II morajo biti dovolj homogeni in trdni. Pri zidanju in ometavanju ne smejo vpiti preveč vode in preveč nabrekniti. Če so dovolj trdni, jih lahko uporabimo tudi za gradnjo nosilnih sten. Zidaki razreda II ne smejo imeti več kot 15 % luknjic.

Zidaki razreda III morajo biti skladno z njihovim namenom uporabe dovolj trdni in so lahko poljubno luknjičasti. [50]

5.1.8 Suhomontažni gradbeni elementi iz ilovice

Suhomontažni gradbeni elementi iz ilovice (slika19) omogočajo gradnjo objektov iz ilovnatih materialov tudi na območjih, kjer v naravi sicer ne najdemo ilovice. Gradnja iz takšnih elementov je enostavna in tudi hitrejša, saj ni potrebno čakati, da bi se posamezne plasti ilovice posušile in jo zato lahko izvajamo skozi vse letne čase.



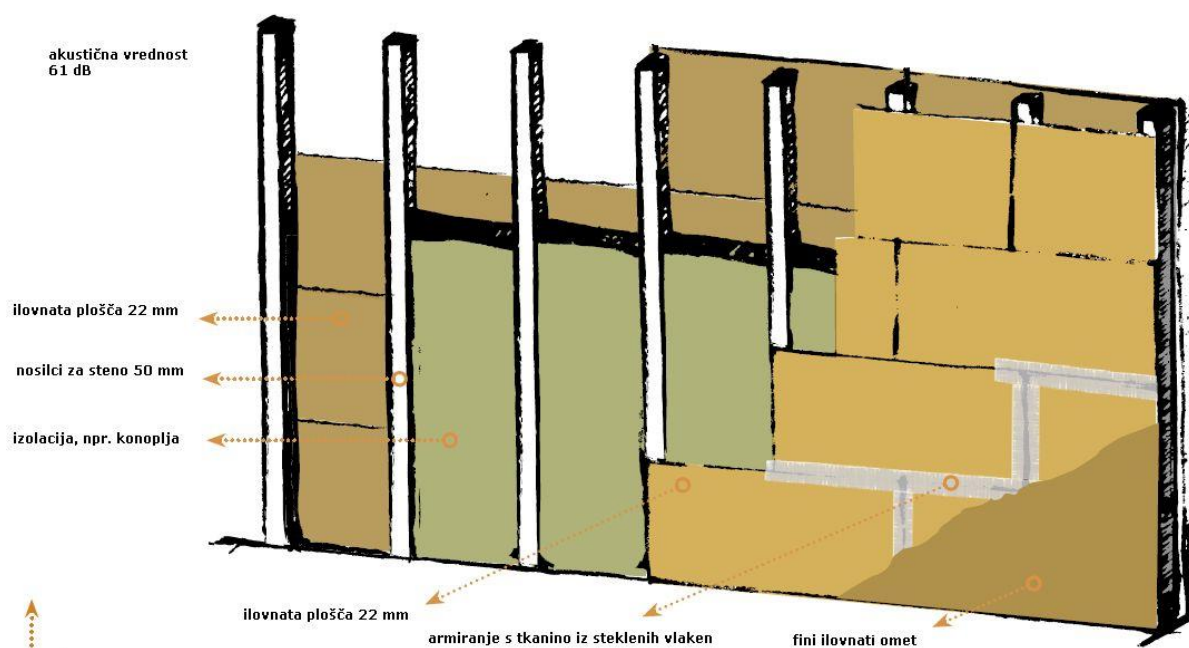
Slika 19: Primer vgradnje ilovnate suhomontažne plošče [51]

Suhomontažne ilovnate elemente lahko uporabljamo za:

- oblogo notranjih nosilnih in predelnih sten,
- izdelavo visečih stropov,
- izdelavo podstrešij,
- zapiranje medprostorov površin med nosilnim ogrodjem konstrukcije,
- izvedbo stenskega ogrevanja s posebnimi moduli, ki že vsebujejo register ogrevalnih cevi,

oblogo sten v kopalnicah, vendar le za oblogo tistih površin, ki ne pridejo v stik s tekočo vodo. [50]

Suhomontažne elemente lahko prilepimo, vpnemo ali privijačimo na trdne podlage kot so beton, opečne stene, les in iverne plošče. Način pritrditve je odvisen od debeline ilovnate plošče. Plošče debeline do 14 mm lahko prilepimo, vpnemo ali privijačimo na trdno podlago, plošče debeline 22 mm lahko vpnemo ali privijačimo na podkonstrukcijo iz lesa ali na pocinkane kovinske profile. Medosna razdalja za podkonstrukcijo pri steni znaša 62,5 cm, za montažo na strop ali poševni del stene pa 41,6 cm. Napeljave za vodo, elektriko in ogrevanje namestimo pod plošče, enako kot pri ostalih suho montažnih konstrukcijah. Ilovnate suhomontažne plošče na željeno velikost lahko razrežemo z olfa nožem. Na vertikalne stene plošče pritrdimo s spojki ali vijaki, na poševne stene in strope pa z vijaki in podložkami. Pri stenah izberemo najmanj 9, pri stropih pa najmanj 12 pritrditvenih točk. [50] Primer zidne konstrukcije iz ilovnate suhomontažne plošče je prikazan na sliki 20.



Slika 20: Primer zidne konstrukcije iz ilovnate suhomontažne plošče [51]

Podlaga, na katero polagamo suho montažne ilovnate plošče mora biti stabilna suha in čista, brez ostankov malte in prahu. Med ploščami puščamo prostor za fuge, ker se podlaga lahko premika (slika 21)



Slika 21: Obloga lesene stene s surovimi ilovnatimi opekami in ilovnato ploščo [52]

Plošče nato omečemo s tankim ometom in pri tem upoštevamo navodila proizvajalca, da suho montažne plošče ob nanosu predebelega sloja ometa lahko vpijejo preveč vlage in se napihnejo. Suhomontažne ilovnate plošče so tudi zelo počasi gorljive. V Londonu so izvedli test požarne varnosti na petnadstropnem objektu, na katerem so bile na leseno konstrukcijo z obeh strani nameščene 22mm ilovnate plošče, ki so zahtevano 60 minutno odpornost na ogenj prekoračile za 44 minut. [53]

5.2 Gradnja hiš iz ilovice danes

Uporaba ilovice v današnjem času ne pomeni vračanja nazaj v preteklost (slika 13). Ilovica kot gradivo je bila posodobljena, pri tem pa ni izgubila, v diplomski nalogi opisanih, pozitivnih lastnosti. Danes se ilovica ne uporablja več v tolikšni meri kot samostojno gradivo, temveč predvsem v sklopih z drugimi naravnimi gradbenimi materiali. Za ogrodje je tako uporabljen les ali lesene plošče, ki je izoliran s sloji naravnih toplotnih izolacij: trstiko, konopljo, lan, ovčjo volno, ilovica pa je uporabljena kot polnilo ali kot omet. Prednost sodobnega načina ilovnate gradnje je v podaljšanju gradbene sezone, ker graditelji niso več vezani le na obdobje od maja do septembra in pa v statični ustreznosti stavbe, saj leseno ogrodje omogoča potresno varnejšo gradnjo.

6 RAČUNSKI PRIMERI ANALIZE KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV S POMOČJO PROGRAMA U-WERT

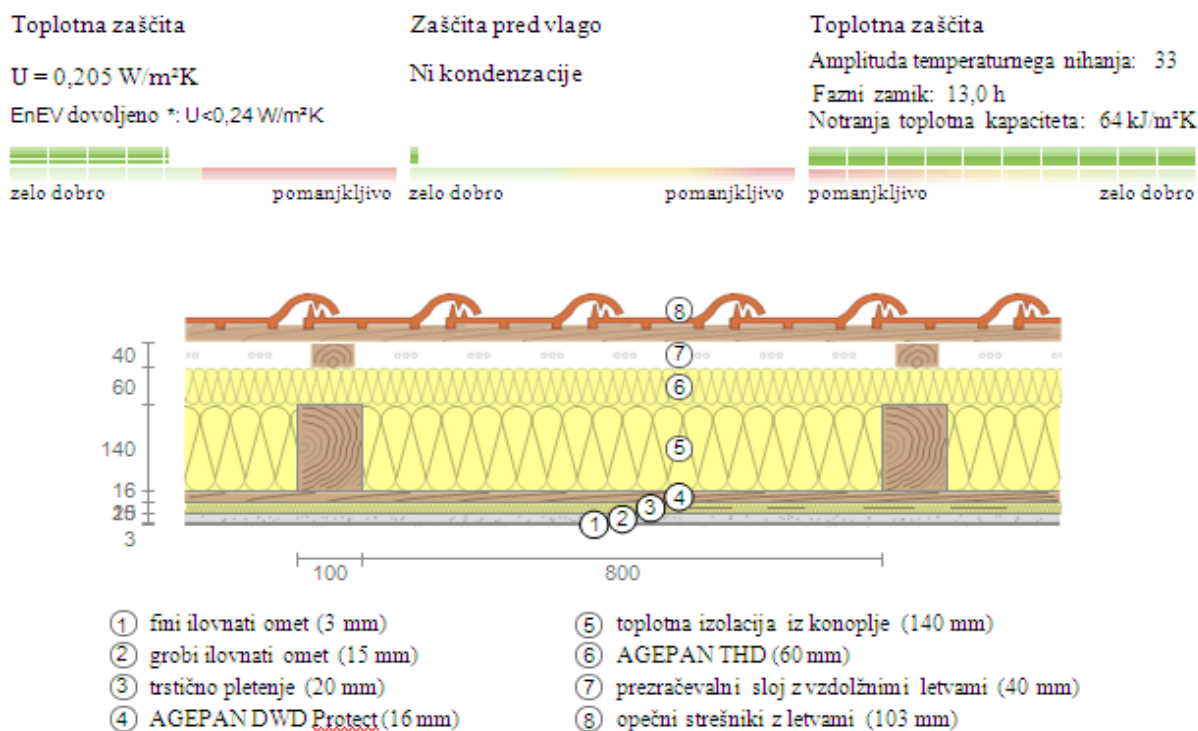
Za računsko analizo konstrukcijskih sklopov sem izbral tri različne primere, sestavljene z uporabo naravnih materialov. Izbral sem sklop strešne konstrukcije ter dva sklopa stenske konstrukcije. Prvi sklop stenske konstrukcije je sestavljen po načelih montažne suhogradnje in je lažje izvedbe, drugi sklop pa je v masivnejši izvedbi in je grajen na klasičen, moker način.

Pri analizi konstrukcijskih sklopov sem spremljal predvsem primernost toplotne zaščite, s poudarkom na toplotni stabilnosti sestava ter ustrezni zaščiti proti vlagi.

6.1 Difuzijsko odprta streha

Kot primer zaščite bivalnih prostorov na strešni površini sem predvidel sestav iz lesenega nosilnega ogrodja z vmesno toplotno izolacijo iz naravnih materialov, prezračevalnim slojem in opečno kritino, na notranji strani pa ilovnati omet na trstični podlagi.

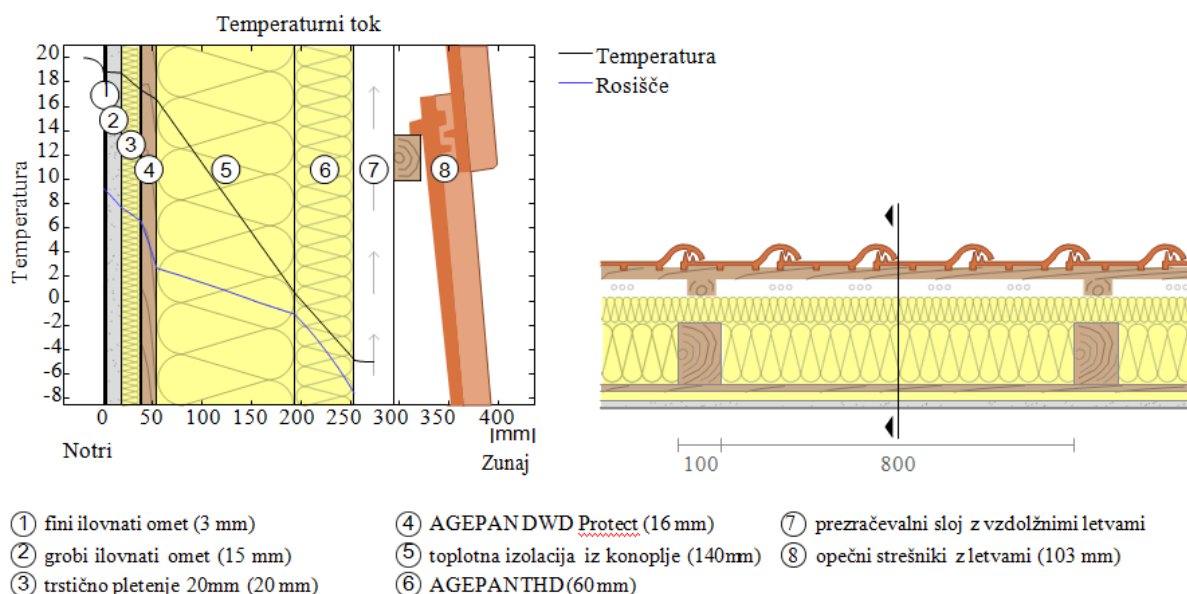
6.1.1 Analiza toplotne zaščite



Slika 22: Sestava in glavne karakteristike prereza

Na sliki 22 je prikazan povzetek pomembnejših karakteristik obravnavanega prereza, s prikazano sestavo po slojih.

6.1.2 Grafični prikaz poteka temperature skozi prerez konstrukcije



Slika 23: Prikaz poteka linije temperature relativne vlažnosti

Na sliki 23 je grafično prikazan potek linije temperature relativne vlažnosti ter potek linije rosišča, glede na spreminjanje temperature ob prehodu skozi konstrukcijski sklop. Rosišče je temperatura, pri kateri se začne iz vlažnega zraka izločati voda.

Iz slike je razvidno, da se temperatura relativne vlažnosti najbolj približa liniji rosišča v sloju toplotne izolacije, položene nad škarniki, pred prezračevalnim slojem strešine. Krivulji se ne dotikata, kar pomeni, da ne pride do kondenzacije vodne pare. V desni risbi je prikazano, v katerem prerezu sklopa je temperaturni tok računani.

6.1.3 Preglednica s prikazom vrednosti toplotne upornosti in temperaturnih ekstremov

Preglednica 12: prikaz vrednosti toplotne upornosti in temperaturnih ekstremov

Plasti (od notranjosti proti zunanosti)

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatura [°C]		teža [kg/m ²]
				min	max	
	Toplotna upornost *		0,100	18,4	20,0	
1	0,3 cm Fini ilovnati omet	0,910	0,003	18,4	18,9	4,5
2	1,5 cm Grobi ilovnati omet	0,910	0,016	18,2	18,8	24,0
3	2 cm Trstično pletenje 20mm	0,065	0,308	15,8	18,8	2,9
4	1,6 cm AGEPAN DWD Protect 16mm	0,090	0,178	14,3	17,4	9,0
5	14 cm Toplotna izolacija iz konoplje	0,040	3,500	0,6	16,6	4,5
	14 cm Škarniki (11%)	0,130	1,077	3,3	14,9	7,0
6	6 cm AGEPAN THD	0,050	1,200	-4,8	4,1	13,8
	Toplotna upornost*		0,100	-5,0	-4,7	
7	4 cm Prezračevalni sloj z vzdolžnimi letvami			-5,0	-5,0	0,0
8	10,3 cm Opečni strešniki z letvami			-5,0	-5,0	51,5
	39,7 cm Skupna debelina konstrukcije		4,878			117,2

V preglednici 12 so prikazane toplotne karakteristike materialov, uporabljenih v konstrukcijskem sklopu. Podane so vrednosti za toplotno prevodnost in toplotno upornost različnih materialov v nehomogenem konstrukcijskem sklopu. Prikazane so tudi najnižje in najvišje vrednosti temperature posamezne plasti konstrukcijskega sklopa.

Površinska temperatura na notranji strani (min/srednja/max) 18,4°C 18,7°C 18,9°C
 Površinska temperatura na zunanji strani (min/srednja/max) -4,8°C -4,8°C -4,7°C

6.1.4 Preglednica sd-vrednosti

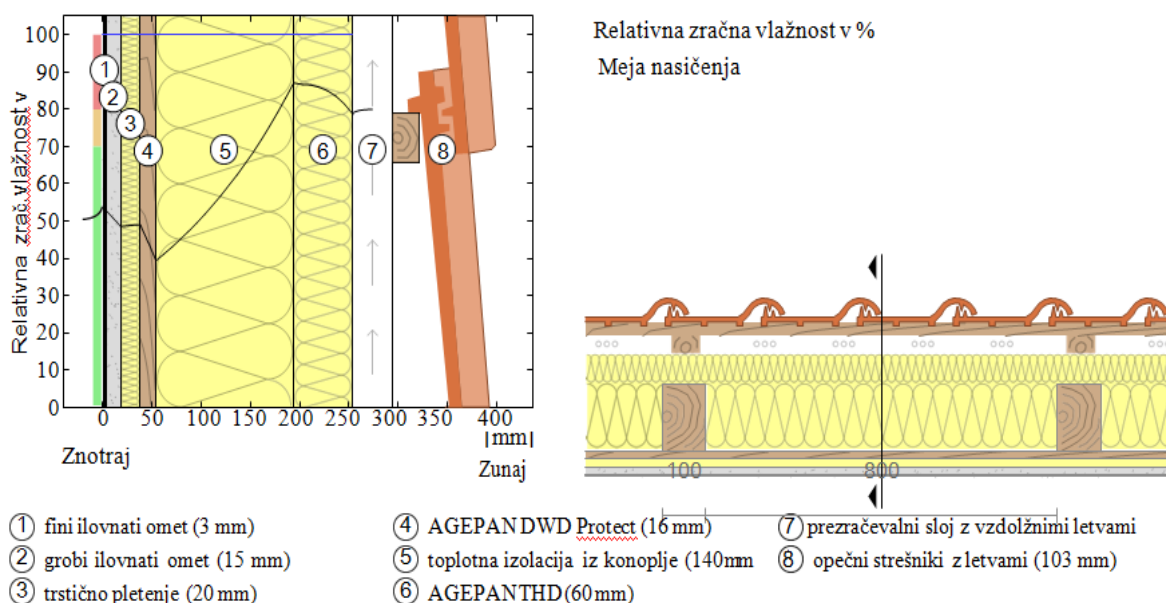
Preglednica 13: Pregled sd- vrednosti po slojih

Pod danimi pogoji vlaga ne kondenzira

#	Material	sd-Vrednost [m]	Vlaga		Teža [kg/m ²]
			[kg/m ²]	[Teža.-%]	
1	0,3 cm Fini ilovnati omet	0,01	-		4,5
2	1,5 cm Grobi ilovnati omet	0,08	-		24,0
3	2 cm Trstično pletenje 20mm	0,06	-		2,9
4	1,6 cm AGEPAN DWD Protect 16mm]	0,18	-	-	9,0
5	14 cm Toplotna izolacija iz konoplje	0,14	-		4,5
	14 cm Škarniki (11%)	7,00	-	-	7,0
6	6 cm AGEPAN THD	0,18	-		13,8
	39,7 cm Skupna debelina konstrukcije	0,71			117,2

V preglednici 13 je prikazana sd -vrednost posamezne plasti konstrukcijskega sklopa ter sd- vrednost konstrukcijskega sklopa kot celote.

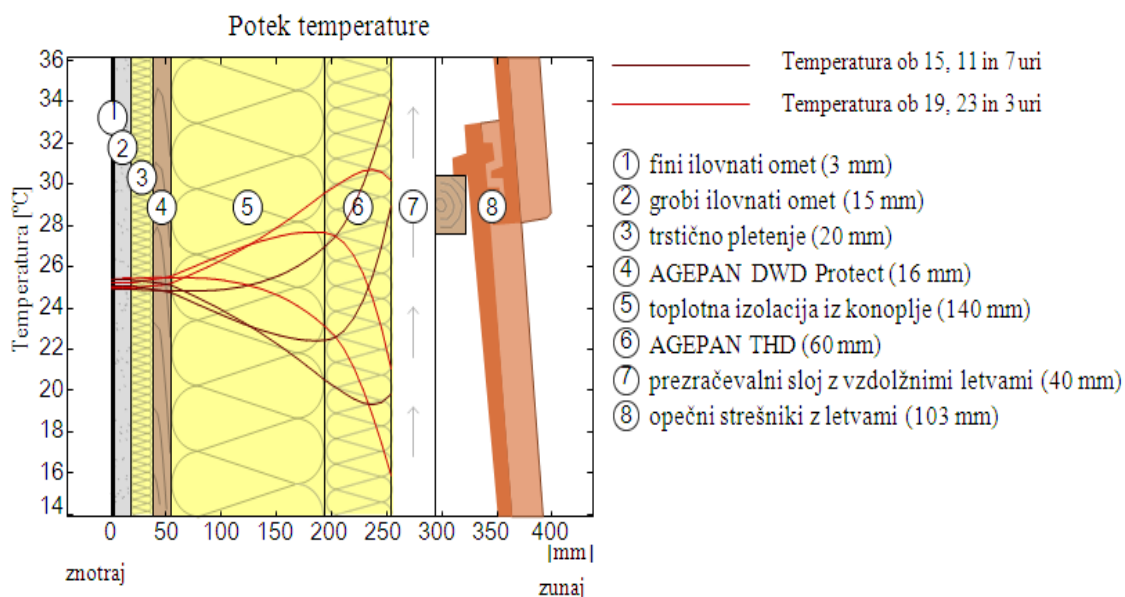
6.1.5 Potek zračne vlažnosti skozi sloje konstrukcijskega sklopa



Slika 24: Grafični prikaz poteka zračne vlažnosti

Na sliki 24 je grafično prikazana linija poteka relativne vlažnosti skozi sloje konstrukcijskega sklopa. Iz slike je razvidno, da je relativna vlažnost na površini sloja na notranji strani sklopa 55%, pri površinski temperaturi 18,4°C. Pri pogoju teh dveh vrednosti, nastanek plesni na površini notranjega sloja ni mogoč.

6.1.6 Grafični prikaz poteka temperature v okviru konstrukcijskega sklopa

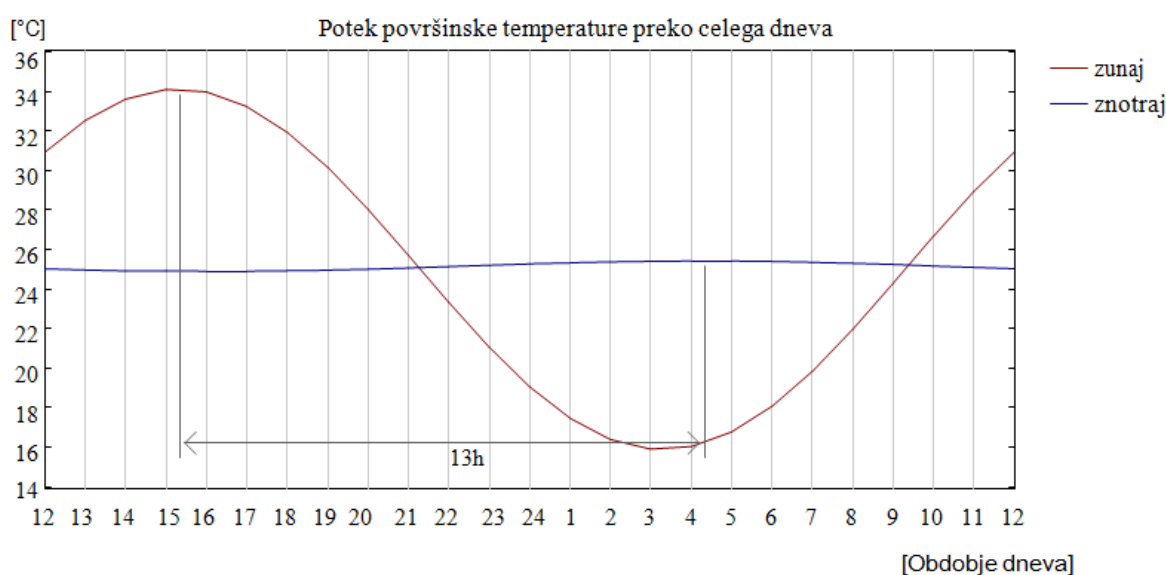


Slika 25: Ciklično nihanje temperature v okviru konstrukcijskega sklopa

Na sliki 25 je prikazan potek temperature po slojih konstrukcijskega sestava. Rjava linija prikazuje potek temperature ob izbranih urah dneva, rdeča pa ob izbranih urah noči. Za analizo zaščite notranjih prostorov pred poletno vročino, so bile upoštevane temperature vročega poletnega dne. Iz slike je razvidno, da je nihanje temperature na površini notranjega sloja minimalno, v vrednosti 0,5K, na zunanji strani pa je večje, v vrednosti 18,3K. Iz teh podatkov je razvidno, da konstrukcijski sklop zelo dobro uravnava temperaturo površine notranjega sloja konstrukcijskega sklopa.

Za analizo zaščite pred poletno vročino, so upoštevane temperature vročega poletnega dne.

Grafikon 1: Potek notranje in zunanje površinske temperature



V grafu 1 je prikazan potek notranje in zunanje površinske temperature v toku dneva. Rdeča linija označuje temperaturo zunanje površine konstrukcije, modra linija pa temperaturo notranje površine konstrukcije. Črne puščice označujejo lego temperaturnih ekstremov. Najvišja temperatura notranje površine konstrukcije nastopi v drugi polovici noči.

Preglednica 14: Karakteristike toplotnega toka

Fazni zamik*	13,0h	Čas najvišje notranje temperature:	4:15
Amplituda toplotnega toka**	33,4	Sprememba temperature na zunanji površini:	18,3°C
TAV***	0,030	Sprememba temperature na notranji površini:	0,5°C

*Fazni zamik prikaže čas, v katerem toplota iz zunanosti prodre skozi sloje konstrukcije v notranjost.

**Amplituda faznega zamika nam prikaže upornost toplotnemu toku, pri prehodu skozi konstrukcijski sklop. Vrednost 10 pomeni, da se temperatura na zunanji strani spreminja 10x močneje kot na notranji strani, npr. zunaj 15-35°C, znotraj 24-26°C.

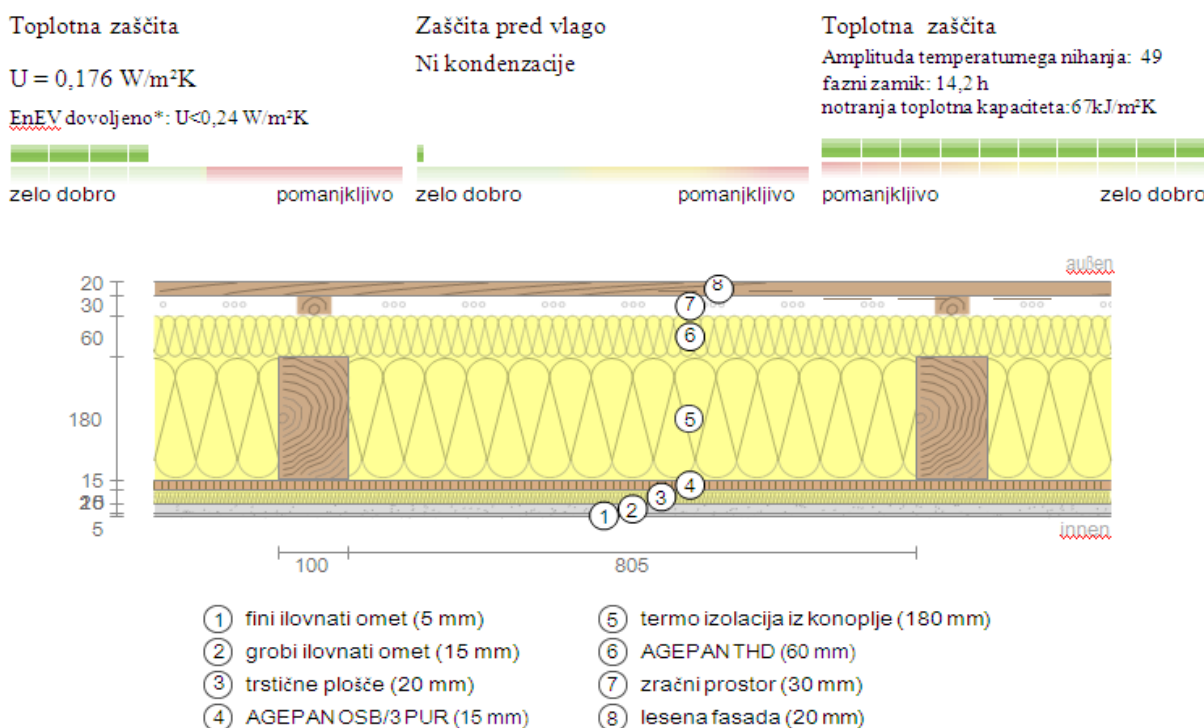
***Razmerje amplitude toplotnega toka TAV je recipročna vrednost upornosti; $TAV=1/\text{amplituda toplotnega toka}$. Predstavljeni izračuni so izdelani za 1- dimenzionalen prerez konstrukcije.

Preglednica 14 prikazuje vse karakteristike toplotnega toka pri prehodu skozi konstrukcijski sklop. Iz rezultatov je razvidno, da konstrukcijski sklop ustrezno zaščiti notranji bivalni prostor, saj je fazni zamik dovolj velik, da toplota ne prodre skozenj, kar dokazuje tudi minimalno nihanje površinske temperature notranjega sloja v sklopu

6.2 Zunanja lesena stena

Kot prvi primer obodne stene sem predvidel sestav iz lesenega nosilnega ogrodja z vmesno toplotno izolacijo iz naravnih materialov, prezračevano leseno fasado, na notranji strani pa ilovnati omet na trstični podlagi.

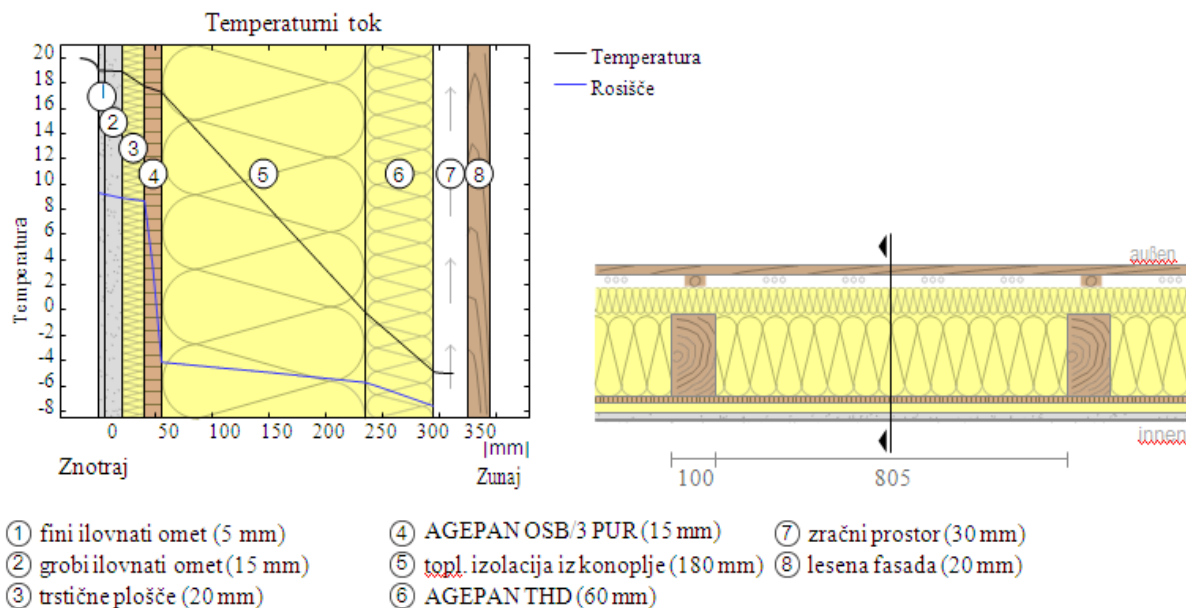
6.2.1 Analiza toplotne zaščite



Slika 26: Sestava in glavne karakteristike prereza

Na sliki 26 je prikazan povzetek pomembnejših karakteristik obravnavanega prereza, s prikazano sestavo po slojih.

6.2.2 Grafični prikaz poteka temperature skozi prerez konstrukcije



Slika 27: Prikaz poteka linije temperature relativne vlažnosti

Na sliki 27 je grafično prikazan potek linije temperature relativne vlažnosti ter potek linije rosišča, glede na spreminjanje temperature ob prehodu skozi konstrukcijski sklop. Rosišče je temperatura, pri kateri se začne iz vlažnega zraka izločati voda.

Iz slike je razvidno, da se temperatura relativne vlažnosti najbolj približa liniji rosišča v sloju toplotne izolacije, pritrjene na nosilno ogrodje stene, na zunanji strani, pred prezračevalnim slojem fasade. Krivulji se ne dotikata, kar pomeni, da ne pride do kondenzacije vodne pare. V desni risbi je prikazano, v katerem prerezu sklopa je temperaturni tok računano.

6.2.3 Preglednica s prikazom vrednosti toplotne upornosti in temperaturnih ekstremov

Preglednica 15: Prikaz vrednosti toplotne upornosti in temperaturnih ekstremov

Plasti (od notranjosti proti zunanosti)

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatura [°C]		Teža [kg/m ²]
				min	max	
	Toplotna upornost*		0,130	18,6	20,0	
1	0,5 cm Fini ilovnati omet	0,910	0,005	18,5	19,0	7,5
2	1,5 cm Grobi ilovnati omet	0,910	0,016	18,4	19,0	24,0
3	2 cm Trstične plošče (20mm)	0,065	0,308	16,2	18,9	2,9
4	1,5 cm AGEPAN OSB/3 PUR	0,130	0,115	15,3	17,7	9,5
5	18 cm Termo izolacija iz konoplje	0,040	4,500	-0,2	17,3	5,8
	18 cm Lesen nosilni okvir (11%)	0,130	1,385	2,4	15,9	9,0
6	6 cm AGEPAN THD	0,050	1,200	-4,8	3,1	13,8
	Toplotna upornost*		0,130	-5,0	-4,7	
7	3 cm zračni prostor			-5,0	-5,0	0,0
8	2 cm lesena fasada			-5,0	-5,0	9,2
	34,5 cm Skupaj debelina konstrukcije		5,691			81,6

V preglednici 15 so prikazane toplotne karakteristike materialov, uporabljenih v konstrukcijskem sklopu. Podane so vrednosti za toplotno prevodnost in toplotno upornost različnih materialov v nehomogenem konstrukcijskem sklopu. Prikazane so tudi najnižje in najvišje vrednosti temperature posamezne plasti konstrukcijskega sklopa.

Površinska temperatura na notranji strani (min/srednja/max) 18,6°C 18,9°C 19,0°C

Površinska temperatura na zunanji strani (min/srednja/max) -4,8°C -4,8°C -4,7°C

6.2.4 Preglednica sd-vrednosti

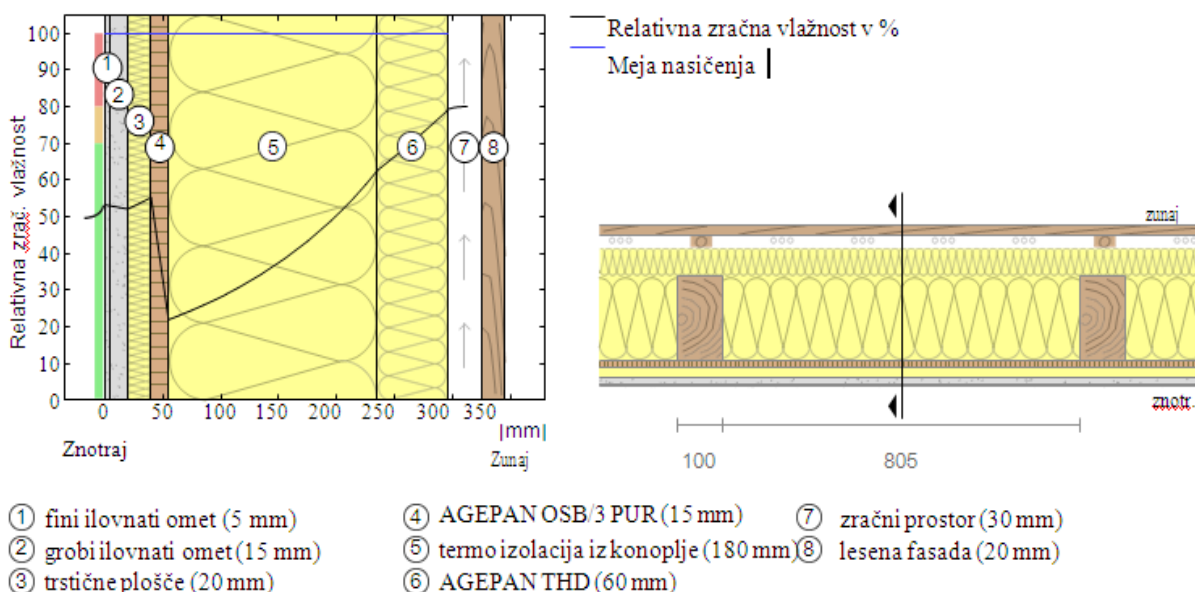
Preglednica 16: Pregled sd- vrednosti po slojih

Pod danimi pogoji vlaga ne kondenzira

#	Material	sd-vrednost [m]	Kondenz		Teža [kg/m ²]
			[kg/m ²]	[teža.-%]	
1	0,5 cm fini ilovnati omet	0,03	-		7,5
2	1,5 cm grobi ilovnati omet	0,08	-		24,0
3	2 cm trstične plošče (20mm)	0,06	-		2,9
4	1,5 cm AGEPAN OSB/3 PUR	2,25	-	-	9,5
5	18 cm termo izolacija iz konoplje	0,18	-		5,8
	18 cm lesen nosilni okvir (11%)	9,00	-	-	9,0
6	6 cm AGEPAN THD	0,18	-		13,8
	34,5 cm Skupna debelina konstrukcije	2,97			81,6

V preglednici 16 je prikazana sd- vrednost posamezne plasti konstrukcijskega sklopa ter sd- vrednost konstrukcijskega sklopa kot celote.

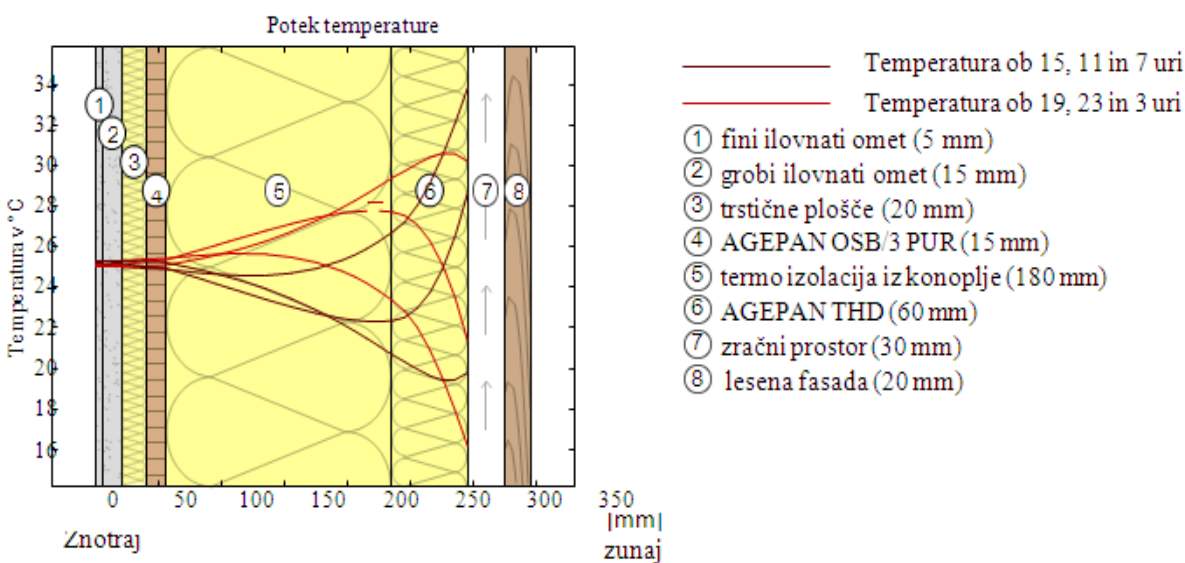
6.2.5 Potek zračne vlažnosti skozi sloje konstrukcijskega sklopa



Slika 28: Grafični prikaz poteka zračne vlažnosti

Na sliki 28 je grafično prikazana linija poteka relativne vlažnosti skozi sloje konstrukcijskega sklopa. Iz slike je razvidno, da je relativna vlažnost na površini sloja na notranji strani sklopa 55%, pri površinski temperaturi 18,6°C. Pri pogoju teh dveh vrednosti, nastanek plesni na površini notranjega sloja ni mogoč.

6.2.6 Grafični prikaz poteka temperature v okviru konstrukcijskega sklopa

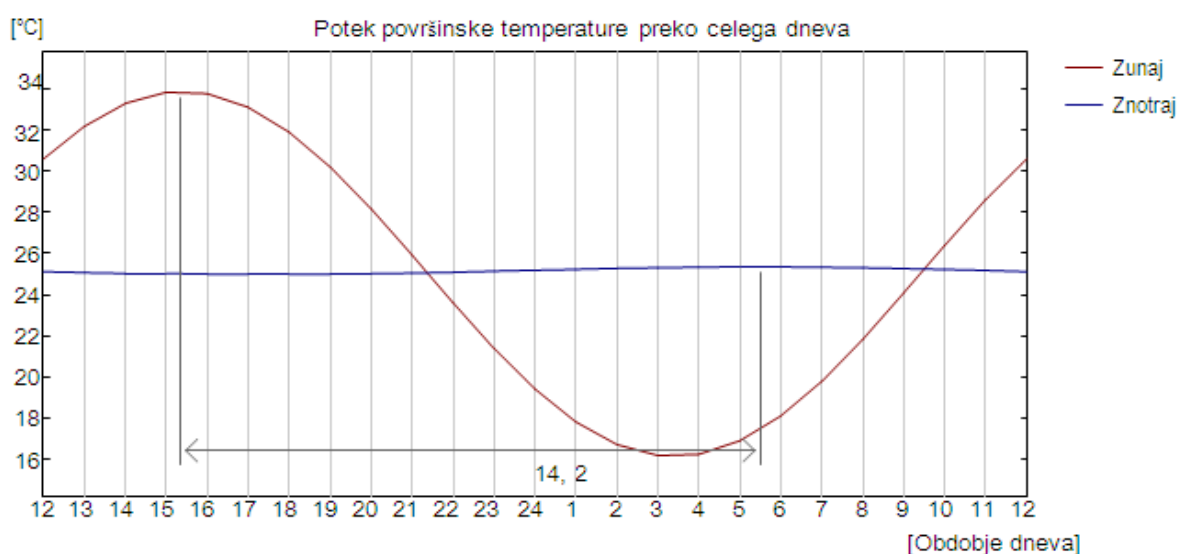


Slika 29: Ciklično nihanje temperature v okviru konstrukcijskega sklopa

Na sliki 29 je prikazan potek temperature po slojih konstrukcijskega sestava. Rjava linija prikazuje potek temperature ob izbranih urah dneva, rdeča pa ob izbranih urah noči. Za analizo zaščite notranjih prostorov pred poletno vročino, so bile upoštevane temperature vročega poletnega dne. Iz slike je razvidno, da je nihanje temperature na površini notranjega sloja minimalno, v vrednosti 0,4K, na zunanji strani pa je večje, v vrednosti 17,8K. Iz teh podatkov je razvidno, da konstrukcijski sklop zelo dobro uravnava temperaturo površine notranjega sloja konstrukcijskega sklopa.

Za analizo zaščite pred poletno vročino, so upoštevane temperature vročega poletnega dne.

Grafikon 2: Potek notranje in zunanje površinske temperature



V grafu 2 je prikazan potek notranje in zunanje površinske temperature v toku dneva. Rdeča linija označuje temperaturo zunanje površine konstrukcije, modra linija pa temperaturo notranje površine konstrukcije. Črne puščice označujejo lego temperaturnih ekstremov. Najvišja temperatura notranje površine konstrukcije nastopi v drugi polovici noči.

Preglednica 17: Karakteristike toplotnega toka

Fazni zamik*	14,2h	Čas najvišje notranje temperature:	5:30
Amplituda toplotnega toka**	48,8	Sprememba temperature na zunanji površini:	17,8°C
TAV***	0,021	Sprememba temperature na notranji površini:	0,4°C

* Fazni zamik prikaže čas, v katerem toplota iz zunanosti prodre skozi sloje konstrukcije v notranjost.

** Amplituda faznega zamika nam prikaže upornost toplotnemu toku, pri prehodu skozi konstrukcijski sklop. Vrednost 10 pomeni, da se temperatura na zunanji strani spreminja 10x močneje kot na notranji strani, npr. zunaj 15-35°C, znotraj 24-26°C.

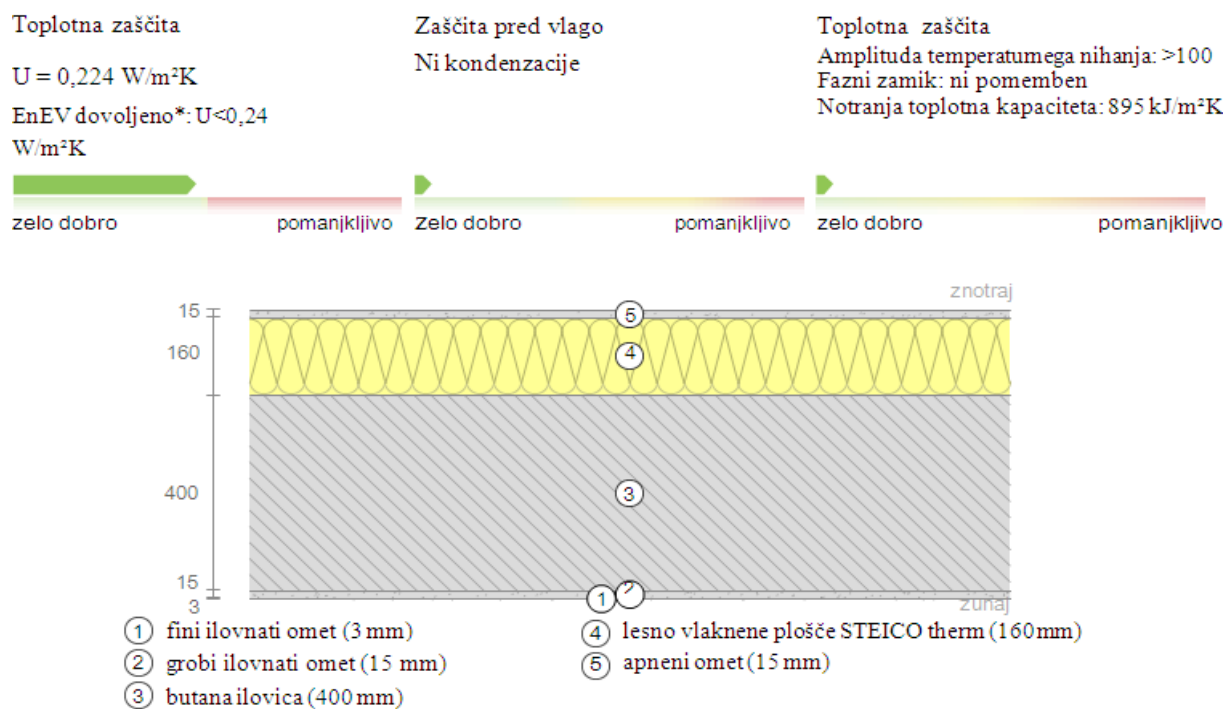
***Razmerje amplitude toplotnega toka TAV je recipročna vrednost upornosti; $TAV=1/\text{amplituda toplotnega toka}$. Predstavljeni izračuni so izdelani za 1- dimenzionalen prerez konstrukcije.

Preglednica 17 prikazuje vse karakteristike toplotnega toka pri prehodu skozi konstrukcijski sklop. Iz rezultatov je razvidno, da konstrukcijski sklop ustrezno zaščiti notranji bivalni prostor, saj je fazni zamik dovolj velik, da toplota ne prodre skozenj, kar dokazuje tudi minimalno nihanje površinske temperature notranjega sloja v sklopu.

6.3 Stena iz butane ilovice

Kot drugi primer obodne stene sem predvidel sestav iz masivne butane ilovice, slojem toplotne izolacije iz lesno vlaknenih plošč z apnenim fasadnim ometom, na notranji strani pa ilovnati omet.

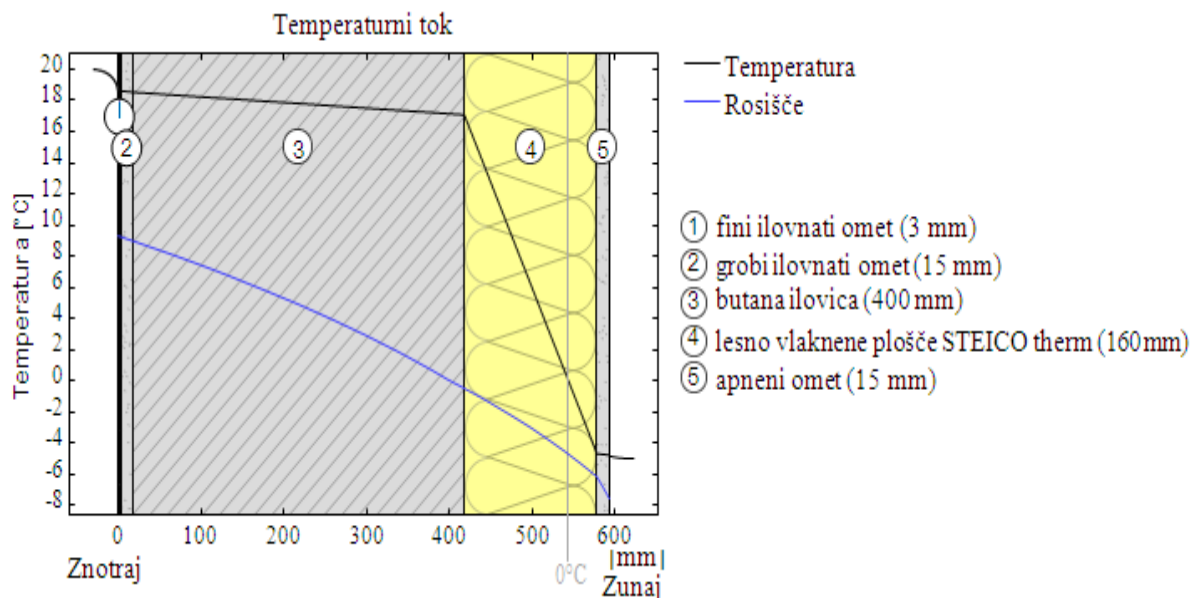
6.3.1 Analiza toplotne zaščite



Slika 30: Sestava in glavne karakteristike prereza

Na sliki 30 je prikazan povzetek pomembnejših karakteristik obravnavanega prereza, s prikazano sestavo po slojih.

6.3.2 Grafični prikaz poteka temperature skozi prerez konstrukcije



Slika 31: Prikaz poteka linije temperature relativne vlažnosti

Na sliki 31 je grafično prikazan potek linije temperature relativne vlažnosti ter potek linije rosišča, glede na spreminjanje temperature ob prehodu skozi konstrukcijski sklop. Rosišče je temperatura, pri kateri se začne iz vlažnega zraka izločati voda.

Iz slike je razvidno, da se temperatura relativne vlažnosti najbolj približa liniji rosišča v sloju toplotne izolacije, pritrjene na zunanji strani masivne stene. Krivulji se ne dotikata, kar pomeni, da ne pride do kondenzacije vodne pare.

6.3.3 Preglednica s prikazom vrednosti toplotne upornosti in temperaturnih ekstremov

Preglednica 18: prikaz vrednosti toplotne upornosti in temperaturnih ekstremov

Plasti (od notranjosti proti zunanosti)

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatura [°C]		Teža [kg/m ²]
				min	max	
	Toplotna upornost*		0,130	18,6	20,0	
1	0,3 cm Fini ilovnati omet	0,910	0,003	18,6	18,6	4,5
2	1,5 cm Grobi ilovnati omet	0,910	0,016	18,5	18,6	24,0
3	40 cm Butanailovica	1,500	0,267	17,1	18,5	920,0
4	16 cm Lesno vlaknene plošče STEICO therm	0,040	4,000	-4,7	17,1	25,6
5	1,5 cm Apneni omet	0,870	0,017	-4,8	-4,7	21,0
	Toplotna upornost*		0,040	-5,0	-4,8	
	59,3 cm Skupna debelina konstrukcije		4,474			995,1

V preglednici 18 so prikazane toplotne karakteristike materialov, uporabljenih v konstrukcijskem sklopu. Podane so vrednosti za toplotno prevodnost in toplotno upornost različnih materialov v

nehomogenem konstrukcijskem sklopu. Prikazane so tudi najnižje in najvišje vrednosti temperature posamezne plasti konstrukcijskega sklopa.

Površinska temperatura na notranji strani (min/srednja/max) 18,6°C 18,6°C 18,6°C
 Površinska temperatura na zunanji strani (min/srednja/max) -4,8°C -4,8°C -4,8°C

6.3.4 Preglednica sd-vrednosti

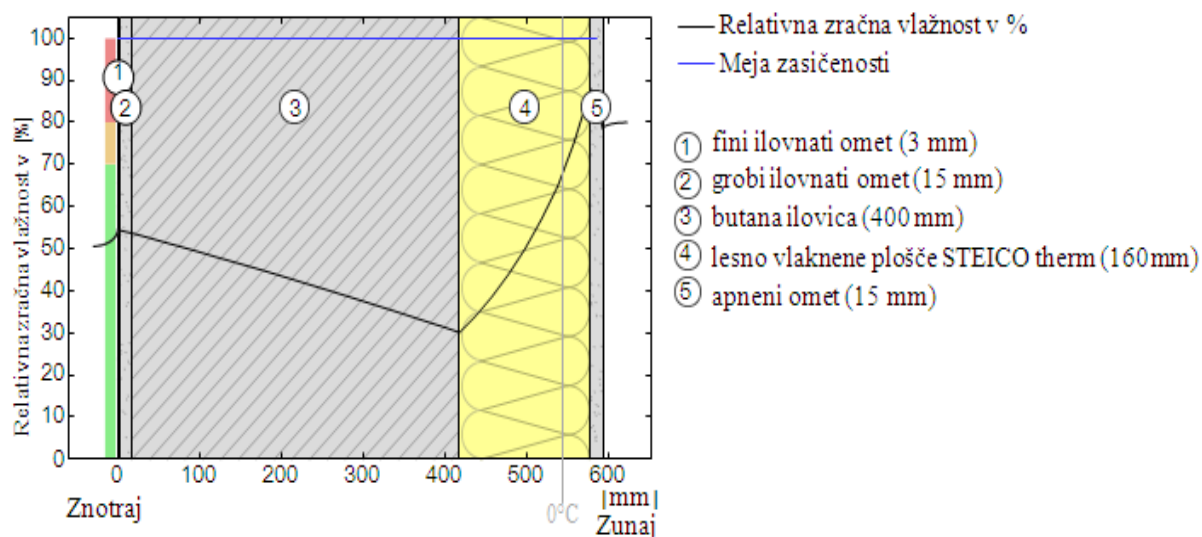
Preglednica 19: Pregled sd-vrednosti po slojih

Pod danimi pogoji vlaga ne kondenzira.

#	Material	sd-vrednost [m]	Vlaga [kg/m ³] [Teža.-%]	Teža [kg/m ³]
1	0,3 cm Fini ilovnati omet	0,01	-	4,5
2	1,5 cm Grobi ilovnati omet	0,08	-	24,0
3	40 cm Butana ilovica	2,00	-	920,0
4	16 cm Lesno vlaknene plošče STEICO them	0,80	-	25,6
5	1,5 cm Apneni omet	0,15	-	21,0
59,3 cm Skupna debelina konstrukcije		3,04		995,1

V preglednici 19 je prikazana sd vrednost posamezne plasti konstrukcijskega sklopa ter sd vrednost konstrukcijskega sklopa kot celote.

6.3.5 Potek zračne vlažnosti skozi sloje konstrukcijskega sklopa

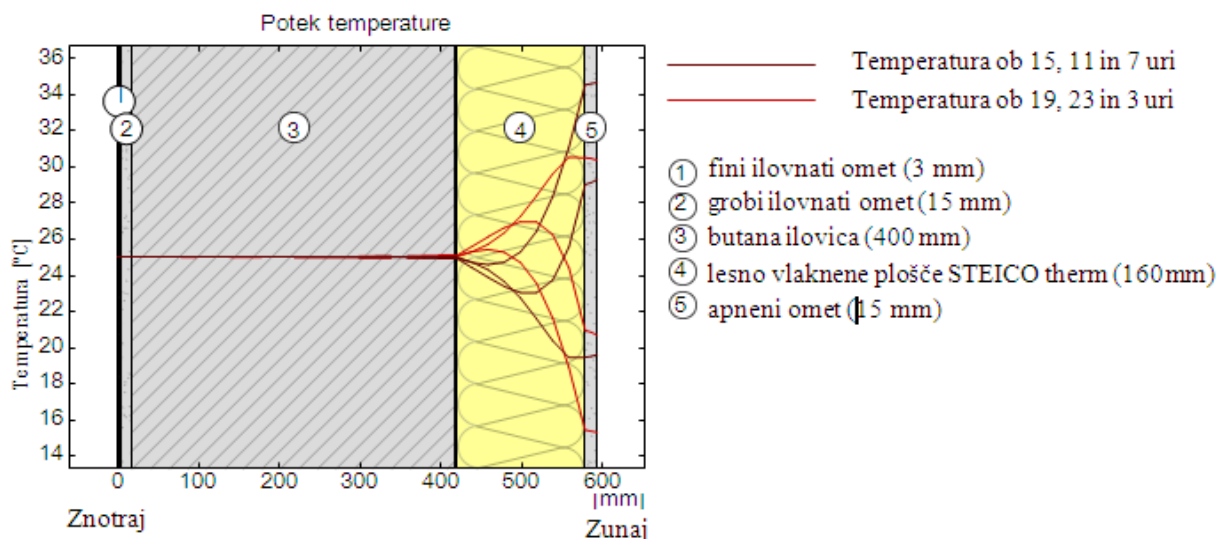


Slika 32: Grafični prikaz poteka zračne vlažnosti

Na sliki 32 je grafično prikazana linija poteka relativne vlažnosti skozi sloje konstrukcijskega sklopa. Iz slike je razvidno, da je relativna vlažnost na površini sloja na notranji strani sklopa 55%, pri

površinski temperaturi $18,6^{\circ}\text{C}$. Pri pogoju teh dveh vrednosti, nastanek plesni na površini notranjega sloja ni mogoč.

6.3.6 Grafični prikaz poteka temperature v okviru konstrukcijskega sklopa

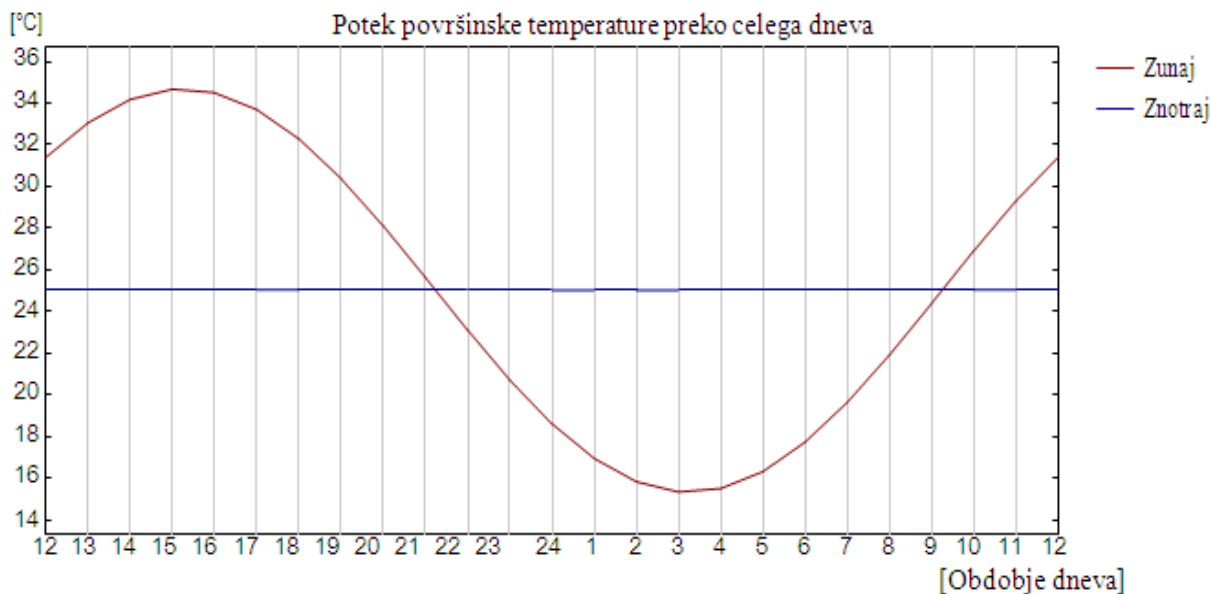


Slika 33: Ciklično nihanje temperature v okviru konstrukcijskega sklopa

Na sliki 33 je prikazan potek temperature po slojih konstrukcijskega sestava. Rjava linija prikazuje potek temperature ob izbranih urah dneva, rdeča pa ob izbranih urah noči. Za analizo zaščite notranjih prostorov pred poletno vročino, so bile upoštevane temperature vročega poletnega dne. Iz slike je razvidno, da je nihanja temperature na površini notranjega sloja ni, na zunanji strani pa je v vrednosti $19,4\text{K}$. Iz teh podatkov je razvidno, da konstrukcijski sklop zelo dobro uravnava temperaturo površine notranjega sloja konstrukcijskega sklopa.

Za analizo zaščite pred poletno vročino, so upoštevane temperature vročega poletnega dne

Grafikon 3: Potek notranje in zunanje površinske temperature



V grafu 3 je prikazan potek notranje in zunanje površinske temperature v toku dneva. Rdeča linija označuje temperaturo zunanje površine konstrukcije, modra linija pa temperaturo notranje površine konstrukcije. Črnih puščic, ki označujejo lego temperaturnih ekstremov ni, ker temperatura na notranji strani ne niha.

Preglednica 20: Karakteristike toplotnega toka

Fazni zamik*	24h	Čas najvišje notranje temperature:	
Amplituda toplotnega toka**	>100	Sprememba temperature na zunanji površini:	19,4°C
TAV***	0,001	Sprememba temperature na notranji površini:	0,0°C

* Fazni zamik prikaže čas, v katerem toplota iz zunanosti prodre skozi sloje konstrukcije v notranjost.

** Amplituda faznega zamika nam prikaže upornost toplotnemu toku, pri prehodu skozi konstrukcijski sklop. Vrednost 10 pomeni, da se temperatura na zunanji strani spreminja 10x močnejše kot na notranji strani, npr. zunaj 15-35°C, znotraj 24-26°C.

***Razmerje amplitude toplotnega toka TAV je recipročna vrednost upornosti; $TAV=1/\text{amplituda toplotnega toka}$. Predstavljeni izračuni so izdelani za 1- dimenzionalen prerez konstrukcije.

Preglednica 20 prikazuje vse karakteristike toplotnega toka pri prehodu skozi konstrukcijski sklop. Iz rezultatov je razvidno, da konstrukcijski sklop ustrezno zaščiti notranji bivalni prostor, saj je fazni zamik dolg več kot 24h. Da toplota ne prodre skozenj, kar dokazuje tudi konstantna površinska temperatura notranjega sloja v sklopu.

6.4 Zaključni komentarji

Za zaključni komentar pridobljenih rezultatov analiz prehodov toplote in difuzije vlage skozi obravnavane konstrukcijske sklope, sem kot referenco uporabil klasične konstrukcijske sklope, primerljive z obravnavanimi. Tudi te referenčne sklope sem analiziral s programom U-Wert rezultate uporabil pri sestavi preglednic.

6.4.1 Strešna konstrukcija

Za referenčni sklop strešne konstrukcije sem izbral sestav v slojih, opisanih od zunanosti proti notranjosti:

- opečni strešniki z letvami 103mm,
- prezračevalni sloj z vzdolžnimi letvami 30mm,
- lesno vlaknene plošče AGEPAN THD 60mm,
- toplotna izolacija iz mineralne volne 140mm,
- škarniki 100x140mm, na razmaku 800mm,
- parna zapora (PE folija),
- mavčno kartonske plošče pritrjene na škarnike 12,5mm.

Preglednica 21. Primerjava strešnih konstrukcijskih sklopov

	Konstrukcijski sklop iz naravnih materialov	Konstrukcijski sklop iz klasičnih materialov
Debelina sklopa	39,70 cm	37,60 cm
Koeficient toplotne prehodnosti U	0,205 W/m ² K	0,224 W/m ² K
Koeficient toplotne upornosti R	4,878 m ² K/W	4,468 m ² K/W
Fazni zamik	13 h	8,7 h
Amplituda toplotnega toka	33,4	4,5
Temperaturna sprememba na zunanji strani	18,3 ⁰ C	18,3 ⁰ C
Temperaturna sprememba na notranji strani	0,5 ⁰ C	4,0 ⁰ C
Kondenzacija	NE	NE
sd-vrednost	0,71 m	20,79 m

Iz preglednice 13 je razvidno, da je konstrukcijski sestav iz naravnih materialov enakovreden, v določenih (parametrih) pa občutno boljši od sestave iz klasičnih materialov. Razlika je predvsem pri faznem zamiku prehoda toplotnega toka skozi konstrukcijski sestav, ki je skoraj dva krat večji. Razlika je tudi v tipu sestave, sestav iz naravnih materialov je difuzijsko odprt, sestav iz klasičnih materialov pa je zaradi uporabe PE folije difuzijsko zaprt.

6.4.2 Lahka fasadna stena

Za referenčni sklop lahke fasadne konstrukcije sem izbral sestav v slojih, opisanih od zunanosti proti notranjosti:

- zaključni sloj fasade 2mm,
- armirna mrežica in cementno lepilo 6mm,
- fasadna izolacija NEOPOR 60mm,
- mavčno vlaknena plošča 15mm,
- konstrukcijsko ogrodje 140x60mm,
- mineralna volna 120mm,
- PE folija,
- mavčno vlaknena plošča 15mm.

Preglednica 22: Primerjava lahkih fasadnih sklopov

	Konstrukcijski sklop iz naravnih materialov	Konstrukcijski sklop iz klasičnih materialov
Debelina sklopa	34,50 cm	24,00 cm
Koeficient toplotne prehodnosti U	0,176 W/m ² K	0,208 W/m ² K
Koeficient toplotne upornosti R	5,691 m ² K/W	4,801 m ² K/W
Fazni zamik	14,2 h	9,5 h
Amplituda toplotnega toka	48,8	14,8
Temperaturna sprememba na zunanji strani	17,1 ⁰ C	19,6 ⁰ C
Temperaturna sprememba na notranji strani	0,4 ⁰ C	1,3 ⁰ C
Kondenzacija	NE	NE
sd-vrednost	2,97 m	22,08 m

Iz preglednice 14 je razvidno, da je konstrukcijski sklop iz naravnih materialov enakovreden, v določenih (parametrih) pa občutno boljši od sestave iz klasičnih materialov. Tudi tu je razlika predvsem pri faznem zamiku prehoda toplotnega toka skozi konstrukcijski sklop, ki je opazno večji. Razlika je tudi v tipu sestave, sklop iz naravnih materialov je difuzijsko odprt, sklop iz klasičnih materialov pa je zaradi uporabe PE folije difuzijsko zaprt. Slaba stran sklopa iz naravnih materialov pa je večja debelina.

6.4.3 Masivna fasadna stena

Za referenčni sklop masivne fasadne konstrukcije sem izbral sestav v slojih, opisanih od zunanosti proti notranjosti:

- zaključni sloj fasade 2mm,
- armirna mrežica in cementno lepilo 6mm,
- toplotna izolacija iz mineralne volne 160mm,
- opeka gostote 1400kg/m³, 290mm,
- apneno cementni omet 25mm.

Preglednica 23: Primerjava masivnih fasadnih sklopov

	Konstruktivski sklop iz naravnih materialov	Konstruktivski sklop iz klasičnih materialov
Debelina sklopa	59,30 cm	48,40 cm
Koeficient toplotne prehodnosti U	0,224 W/m ² K	0,213 W/m ² K
Koeficient toplotne upornosti R	4,474 m ² K/W	4,705 m ² K/W
Fazni zamik	24,0 h	15,6 h
Amplituda toplotnega toka	>100	>100
Temperaturna sprememba na zunanji strani	19,4 ⁰ C	19,8 ⁰ C
Temperaturna sprememba na notranji strani	0,0 ⁰ C	0,1 ⁰ C
Kondenzacija	NE	DA*
sd-vrednost	3,04 m	2,71 m

*kondenzacija se pojavi v zaključnem sloju fasade, čas izsuševanja je 25 dni

Iz preglednice 15 je razvidno, da je toplotna zaščita konstrukcijskega sklopa v obeh obravnavanih primerih ustrezna. Tudi tu je razlika predvsem pri faznem zamiku prehoda toplotnega toka skozi konstrukcijski sklop, ki je pri masivni steni iz naravnih materialov več kot 24h. Problem klasične sestave je pojav kondenza v sloju zaključnega fasadnega ometa, kar predstavlja nevarnost pojava plesni na fasadni površini.

7 ZAKLJUČEK

Namen diplomske naloge je bil predstaviti značilnosti naravnih gradbenih materialov s poudarkom na značilnostih ilovice, načine ilovnate gradnje v posameznih obdobjih in območjih ter izvesti analizo sodobnih konstrukcijskih sklopov iz ilovice z vidika gradbene fizike na primeru strešnega sklopa, fasadnega sklopa in tlaka proti terenu, s pomočjo programa U-Wert.

Ilovico so kot gradivo uporabljali že v prazgodovini, na območjih rek Evfrat, Tigris, Nil in Ganges. Njena uporaba se je nato širila po deželah Azije in Evrope, prvi angleški priseljenci so vedenja o njeni uporabnosti prenesli tudi v Ameriko in Avstralijo. Uporaba ilovice kot gradiva se je zmanjšala zaradi razvoja drugih gradbenih materialov, ki so omogočali predvsem hitrejši način gradnje. Nato se je, zaradi pomanjkanja surovin v obdobju po obeh vojnah, gradnja z ilovico spet razmahnila in kasneje zamrla. Ekološka gibanja, ki so se začela razvijati v 80 letih, so ta, že skoraj pozabljen način gradnje, spet obudila.

Tako kot drugje v Evropi, se je tudi na našem prostoru, gradnja ilovnatih hiš razmahnila po drugi svetovni vojni predvsem zaradi pomanjkanja gradbenega materiala kot tudi denarja. V tem obdobju so iz ilovice nastajale cele vasi, nato pa je gradnja hiš iz ilovice popolnoma zamrla. V zadnjih letih se tudi v Sloveniji ponovno uveljavlja gradnja hiš z uporabo ilovice kot gradbenega materiala, predvsem kot surovina za omete in pa v sklopu suhomontažnih elementov. Vendar pa je žal, kljub naraščanju uporabe ilovice in kljub surovinski pestrosti slovenske pokrajine, ilovico za potrebe gradnje še vedno potrebno uvažati. Če bi lahko pridobivali ilovico za gradnjo v lokalnem okolju, bi lahko zmanjšali vplive na okolje (transport) in pa dosegli nižje cene in posledično večjo dostopnost ilovice kot vsestranskega gradbenega materiala.

Danes je potrebno graditi hiše na način, ki zagotavlja optimalne rezultate tako glede varovanja okolja, varčnosti gradnje in kasnejšega vzdrževanja. Prav tako je pomembno dobro počutje in pa udobje stanovalcev. Če hišo ustrezno toplotno izoliramo (streha, stene in tla) ter vgradimo kvalitetna okna, bomo dosegli zrakotesnost in nižje stroške ogrevanja, ne pa nujno tudi dobro bivanjsko okolje.

V diplomski nalogi sem izvedel računsko analizo gradbeno fizikalnih lastnosti prehoda toplote in difuzije vodne pare na primeru konstrukcijskih sklopov iz ilovice s pomočjo programa U-Wert. Pričakoval sem, da bodo izbrani primeri ustrezali zahtevam sodobne gradnje in hkrati tudi zahtevam po zdravem bivalnem okolju. Kot sem predvideval, ilovica v uporabljenih primerih ustreza pričakovanim zahtevam, kot tudi zahtevam trenutno veljavne Slovenske zakonodaje.

V kolikor bi obseg diplomske naloge dopuščal, bi lahko podrobneje predstavili ilovnate omete, ogrevalne module ter ilovnate barve. Poleg tega bi bilo zanimivo predstaviti tudi analizo stroškov gradnje enodružinske stanovanjske hiše glede na uporabo klasičnih gradbenih materialov ter ilovnatega gradiva. Investitorji se namreč glede na še vedno slaba gospodarska gibanja, odločajo o rabi gradbenih materialov glede na ceno gradnje in le redki razmišljajo, kako bo uporabljeni material vplival na njihovo počutje in zdravje.

8 VIRI

- [1] Minke, G. 2004. Das neue Lehm-Bau-Handbuch: Baustoffkunde, Konstruktionen, Lehmarchitektur. 6.izdaja. Stauen bei Freiburg, Ökobuch Verlag: 349 str.
- [2] Iran Daily. 2016. Agha Morzog Mosque. Kashan.
<http://www.iran-daily.com/News/118004.html> (Pridobljeno 8. 7. 2016.)
- [3] Obradović, Đ. 2012. Hiše iz ilovice. Gradbeni vestnik. 61. Junij 2012: 137-142.
www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-2JOTJRA3/.../PDF (Pridobljeno 8. 7. 2016.)
- [4] Rijavec, P. 2013. Vse o naravni gradnji. Cena.
<http://naravnagradnja.pismenost.net/cena/> (Pridobljeno 8. 7. 2016.)
- [5] Plag, R. 2011, Računalniški program U-Wert.
<https://www.u-wert.net/berechnung/u-wert-rechner/?page=login> (Pridobljeno 8. 7. 2016.)
- [6] Slovensko združenje za trajnostno gradnjo. Trajnostna gradnja.
http://www.gbc-slovenia.si/wp-content/uploads/2014/02/GBC_Slo_Brosura.pdf (Pridobljeno 8. 7. 2016.)
- [7] Grobovšek, B. 2007. Naravni gradbeni materiali.
<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT309.htm> (Pridobljeno 8. 7. 2016.)
- [8] Pearson, D. 1989. The natural house book, London, Gaia books limited: 304 str.
- [9] Brojan, L. 2015. Do zdravja in okolja prijazno. Slama, gradbeni material prihodnosti.
<http://www.mladina.si/164589/do-zdravja-in-okolja-prijazno/> (Pridobljeno 8. 7. 2016.)
- [10] Rijavec, P. 2013. Vse o naravni gradnji. Ilovica.
<http://naravnagradnja.pismenost.net/?s=ilovica&submit=Search> (Pridobljeno 26.6.2016.)
- [11] Družina EnaA. Slama - material za sodobno gradnjo.
<http://druzina.ena.com/finance/Slama-material-za-sodobno-gradnjo.html> (Pridobljeno 8. 7. 2016.)
- [12] Inpro. 2009. Gradnja s slamnatimi balami.
<http://www.inpro-projektiranje.com/strokovni-clanki/gradnja-s-slamnatimi-balami.html> (Pridobljeno 26. 6. 2016.)
- [13] SLONEP. Ovčja volna.
<http://www.slonep.net/eko-bivanje/sonaravna-gradnja/ovcja-volna> (Pridobljeno 26.6.2016.)
- [14] Rijavec, P. 2013. Vse o naravni gradnji. Kamen.
<http://naravnagradnja.pismenost.net/?s=kamen&submit=Search> (Pridobljeno 26.6.2016.)
- [15] Wikipedia. 2015. Skril.
<https://sl.wikipedia.org/wiki/Skril> (Pridobljeno 27. 6. 2016.)
- [16] The bible journey. The site of Ancient Jericho at Tell es-Sultan.
<http://www.thebiblejourney.org/biblejourney2/27-the-israelites-move-into-canaan/the-israelites-conquer-southern-canaan/> (Pridobljeno 27. 6. 2016.)
- [17] Wikipedia. Hakka people.
https://www.google.com/search?site=&tbm=isch&source=hp&biw=1280&bih=913&q=hakkas+tribe+houses&oq=hakkas+tribe+houses&gs_l=img.3...471115.475962.3.476401.19.6.1.12.0.0.153.713.0j5.5.0....0...1ac.1.64.img..1.5.572...0j0i30k1j0i19k1.uKhmk3v_9Jk#imgrc=0BZ9D6SJCaiBMM%3A
(Pridobljeno 27. 6. 2016.)
- [18] Denk Mal Fachbetrieb fuer Restaurierung und Altbausanierung. 2016. Kurze Geschichte des Lehmbaus in Deutschland <http://www.denk-mal-fachwerk.de/dokumentationen/lehm/geschichte-des-lehmbaus.html>
(Pridobljeno 26. 6. 2016.)

- [19] Van Zamm, A. 1980. Why Your House May Endanger Your Health. New York. Simon & Schuster: 218 str.
- [20] Moškon, D., Vesel, S. 1975. Gradbeno tehnološka raziskava ilovnatega naboja in njena aplikativna vrednost v regionalni arhitekturi severo-vzhodne Slovenije.
- [21] Zbašnik-Senegačnik, M. 2000. Glina- pozabljeno gradivo: Gradbeni vestnik 1: 11-19.
<http://www.zveza-dgits.si/glina-pozabljeno-gradivo> (Pridobljeno 2. 7. 2016.)
- [22] Zbašnik-Senegačnik, M., 2005. Tradicionalna gradnja z ilovico. AR 1, 40-45.
- [23] Rohlen, U., Ziegert, C. 2010. Lehm-Bau-Praxis. Berlin. Bauwerk Verlag GmbH: 290. str
- [24] Korže – Vovk, A., 2013. Določanje teksture prsti za šolsko raziskovalno delo. Didakta.
http://www.zrss.si/pdf/011214114637_%C4%8Dlanek_ane_vovk_korze.pdf (Pridobljeno 28. 6. 2016)
- [25] Žitko, M. 2013. Gradnja z naravnimi materiali. Idrija, Porezen d.o.o.: 192 str.
- [26] Pod svojo streho.net. 2009. Temelja plošča.
<http://www.podsvojojstreho.net/vsebina/spletniki/napolitanka01/temeljna-plosca/1916>
(Pridobljeno 2. 7. 2016.)
- [27] Niemeyer, R., 1982. Der Lehm-Bau und seine praktische Anwendung mit 27 Tafeln. Staufen bei Freiburg. Ökobuch Verlag: 157 str.
- [28] Zbašnik-Senegačnik, M., 2006. Sodobna gradnja z ilovico. AR. 1, 22-27.
- [29] Vollhard., F. 1995. Leichtlehm-Bau: alter Baustoff – neue Technik. 5. Izdaja. Heidelberg, Müller: 207 str.
- [30] Dachverband Lehm e.V. 2002. Lehm-Bau Regeln.. 2. izdaja. Braunschweig, Freidr Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH.: 111 str.
- [31] Dachverband Lehm e.V. 2014. Lehm-Bau info.
http://www.dachverband-lehm.de/pdf/DVL_verbraucherinfo_de.pdf (Pridobljeno 15. 7. 2016.)
- [32] Deutsche Bauzeitung. 2015. Risse im Mauerwerksbau.
<http://www.db-bauzeitung.de/db-metamorphose/schwachstellen/risse-im-mauerwerksbau/> (Pridobljeno 15. 7. 2016.)
- [33] An architectural Humanism. Primordial Huts. 2009.
https://www.google.com/search?site=&tbm=isch&source=hp&biw=1280&bih=913&q=+tunisia+clay+houses&oeq=+tunisia+clay+houses&gs_l=img.3...45186.53746.3.53970.15.5.2.8.0.0.173.656.2j3.5.0...0...1ac.1.64.img..0.6.579...0j0i7i30k1j0i30k1j0i10i30k1j0i19k1j0i10i19k1j0i30i19k1j0i8i30i19k1.G1V8bqDLac0#imgcr=Kd6kLeDXrkLCZM%3A (Pridobljeno 15. 7. 2016.)
- [34] Tolminski muzej. Arheološki muzej Most na Soči.
<http://www.tol-muzej.si/?id=116&lang=si> (Pridobljeno 14. 7. 2016.)
- [35] Lehm-Bau Pritzl. Stampflehm. 2004.
http://www.lehm-bau-pritzl.de/neu/pdf/1.1_stampfl_arbeitsbl.pdf (Pridobljeno 14. 7. 2016.)
- [36] Moškon, D. v Zbašnik-Senegačnik, M., 2005. Tradicionalna gradnja z ilovico. AR 1, 40-45
- [37] Gnezdo d.o.o. Galerija materialov.
http://www.gnezdo.si/e107_plugins/sgallery/gallery.php?view.1.1.1 (Pridobljeno 14. 7. 2016.)
- [38] Lehm Ton Erde. Haus Rauch
<http://www.lehmtonerde.at/en/projects/project.php?PID=7> (Pridobljeno 18. 8. 2016.)
- [39] Dr Victoria. Build your very own mud house.

<http://drvictoria.org/archives/63> (Pridobljeno 14. 7. 2016.)

[40] Desert Wilderness Community. More Pallets, More Cob, More Straw-Clay 2013
<https://desertcommunity.wordpress.com/2013/12/28/more-pallets-more-cob-more-straw-clay>
(Pridobljeno 16. 7. 2016.)

[41] Watson, Linda, Lehmabau in England,
http://www.moderner-lehmabau.com/deutsch/editorial/lr_d75.htm (Pridobljeno 16. 7. 2016.)

[42] Rüger, B. 1998. Modern Bauen mit Lehm. Berlin, Overall Verlag Klaus Wiese: 372 str.

[43] Delaie, C. Wellerbauten in Frankreich.
http://www.moderner-lehmabau.com/deutsch/editorial/lr_d55.htm (Pridobljeno 16. 7. 2016.)

[44] Mail Online. Great Shakes: Stratford is reborn as the new RSC theatre gives The Bard a reboot. 2011.
<http://www.dailymail.co.uk/travel/article-1372523/Shakespeare-weekends-Stratford-comes-life-new-RSC-theatre-opens.html> (Pridobljeno 16. 7. 2016.)

[45] Tacitus, De origine et situ Germanorum
<http://www.gottwein.de/Lat/tac/Germ01.php> 2015 (Pridobljeno 16. 8. 2016.)

[46] Solar Sicherheit.de. Mit welchen Zutaten kann man Lehmsteine selbst herstellen? <http://solar-sicherheit.de/2008-oekologischbauen/lehmsteine-herstellen.htm> (Pridobljeno 16. 7. 2016.)

[47] Žarnić, R. Lastnosti gradiv. 2005. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij: 350 str.

[48] Kozelj, J. 2015, Polna opeka normalnega formata, proizvedena s starim postopkom žganja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
http://drugg.fgg.uni-lj.si/5202/1/BOG092_Kozelj.pdf (Pridobljeno 15.7.2016)

[49] Goriške opekarne. Opeka vredna zaupanja.
http://www.go-opekarne.si/index.php?str=5_slo (Pridobljeno 15.7.2016)

[50] Röhlen, U., Ziegert, C., 2010. Lehmabau- Praxis: Planung und Ausführung. Berlin, Bauwerk Verlag GmbH: 290 str.

[51] Gnezdo d.o.o.. Tehnični list- suhomontažne plošče.
http://www.gnezdo.si/e107_files/downloads/Lehm%20Orange.pdf (Pridobljeno 15.7.2016)

[52] Claytec. Holzbau und Niedrigenergiebauweise.
<http://www.claytec.be/de/bauherren/lehmbaustoffe/> (Pridobljeno 15.7.2016)

[53] Lebast Lehmabaustoffe. Der Stoff, aus dem die Träume sind. Der Stoff, mit dem wir bauen.
<http://www.lebast-lehmabaustoffe.de/lehmbauplatte.htm> (Pridobljeno 20.7.2016)