

**VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA  
MARIBOR**

# **IZOLACIJSKI SISTEMI ZA POŠEVNE STREHE**

Kandidat: Sašo Šabeder

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: gradbeništvo

Mentor predavatelj: Vladimir Dragorajac, univ. dipl. inž. grad.

Mentor v podjetju: Goran Gabrovec, inž. gradb.

Lektor: dr. Katja Bergles Bricman, doktorica slavistike

Maribor, 2023

## **IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA**

Podpisani Sašo Šabeder, sem avtor diplomskega dela z naslovom Izolacijski sistemi za poševne strehe, ki sem ga napisal pod mentorstvom Vladimirja Dragorajca, univ. inž. gradb.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel/a, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Zgornja Korena, marec 2023

Podpis študenta:

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju Vladimirju Dragorajcu, univ. inž. gradb., za sprejeto mentorstvo ter za strokovno svetovanje pri pisanju diplomskega dela. Prav tako gre zahvala kolektivu Višje strokovne šole Academia. Posebna zahvala tudi ženi Claudiji za srčno podporo.

## POVZETEK

Razumeti streho pomeni razumeti, da streha ni samo strešna kritina, temveč veliko kompleksnejši sistem. S kvalitetno streho si zagotovimo ustrezne bivalne pogoje. Velikokrat napačna izbira plasti strehe, razlike med zunanjo in notranjo temperaturo ter zračno vlago povzročijo poškodbe strehe.

Ob vse pogostejših obnovah streh v zadnjih desetletjih se vzporedno pojavlja vedno več rešitev. Velikokrat so v ospredju stroški: bolj kot je konstrukcija ekonomična, večja je verjetnost, da bo uporabljena. V ekonomskem smislu je to večinoma tudi najbolj primerna rešitev, saj je gledana samo z vidika stroškov. Z vidika gradbeništva je pa veliko bolj primerno, da gledamo na dolgotrajnost in kvalitetno izvedbo, saj se z njo skozi leta prihrani tudi veliko denarja, ki bi drugače bil porabljen za ogrevanje neprimerno izoliranih prostorov ter sanacije in obnove sistemov.

To je vsekakor bistven vidik, vendar pa je vseeno treba upoštevati standarde in strokovna pravila. Dober toplotni izolacijski sistem zahteva predvsem zrakotesnost izolacijskega sloja, saj je stopnja zrakotesnosti bistvena kakovostna lastnost stanovanjskega objekta.

Vrste strešnih konstrukcij, razumevanje poti vlage, nastajanje toplotnih mostov, opis sekundarne kritine sistema ali podkrova ter kdaj uporabiti parno oviro ali parno zaporo, so vprašanja, ki so odgovorjena v tem diplomskem delu. Opisane so tudi neto ničelna prihodnost gradbene industrije ter lastne izkušnje večletnega krovcja; navedeni so tudi praktičnimi primeri, ki smo jih v podjetju obravnavali.

Poznamo različne izolacije materiale: organske, mineralne, sintetične. Vse tri vrste izpolnjujejo tehnične zahteve učinkovite rabe in rabe obnovljenih virov. Odpirajo se vprašanja glede lastnosti, požarne zaščite, ekologije in stroškov. Vsak projekt ima svoje specifične, tudi z enakimi izolacijskimi lastnostmi so lahko različni izolacijski materiali zelo različni glede splošne energetske bilance, trajnosti, stroškov in požarne zaščite. Dotaknemo se tudi primerne izbire toplotne izolaciji glede na objekt.

Če pa na stavbo gledamo kot na celoto bivalne kakovosti, oskrbe in poznejšega recikliranja, dopolnjeno z ustrezno energijsko in CO<sub>2</sub> bilanco stavbe, pridemo do jasnega zaključka, da je kvalitetna in trajnostna gradnja prava smer.

**Ključne besede:** *streha, toplotna izolacija, toplotni most, izolacijski sistem, hidroizolacija*

## **ZUSAMMENFASSUNG**

### **»DÄMMSYSTEME FÜR GENEIGTE DÄCHER«**

Das Dach verstehen is verstehen, dass das Dach nicht nur eine Dacheindeckung ist, das ein Qualitätsdach nicht bedeutet, wie viele Jahre Garantie der einzelne Hersteller gibt. Unter einem Qualitätsdach sichert man sich die Lebensbedingungen. Das heisst die richtige Zusammensetzung des Daches. In vielen Fällen führt eine falsche Auswahl der Dachschicht, der Unterschied in der Außentemperatur und der Luftfeuchtigkeit von innen zu Schäden am Dach.

Mit der zunehmenden Sanierung von Dächern in den letzten Jahrzehnten etablieren sich parallel immer mehr Lösungen. Oft stehen die Kosten im Vordergrund: Je wirtschaftlicher eine Konstruktion ist, desto wahrscheinlicher wird sie genutzt. Dies ist sicherlich ein wesentlicher Aspekt, dennoch müssen Normen und Berufsregeln eingehalten werden. Eine gute Wärmedämmung setzt in erster Linie die Luftdichtheit der Dämmschicht voraus, denn der Grad der Luftdichtheit ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal eines Wohngebäudes.

Einteilung von Dächern nach Neigung. Wir kennen Flach und Steildach, die wiederum in kalte, die einen Lüftungskanal zwischen zwei Schichten haben, und warme, die hauptsächlich für Flachdächer verwendet werden, unterteilt werden. Die Vorteile eines Dachbodens oder Unterdachung der unter der eigentlichen Dacheindeckung eingebaut wird.

Wir versuchen, all diese Fragen zu beantworten, indem wir den Weg der Feuchtigkeit, die Bildung von Wärmebrücken und den Einsatz einer Dampfsperre oder Sperre verstehen.

Wir kennen verschiedene Dämmstoffe, organisch, mineralisch, synthetisch. Alle drei erfüllen die technischen Anforderungen der effizienten Nutzung und Nutzung Nachwachsender Rohstoffe. Es stellen sich Fragen zu Eigenschaften, Brandschutz, Ökologie und Kosten. Jedes Projekt hat seine Besonderheiten, selbst bei gleichen Dämmeigenschaften können unterschiedliche Dämmstoffe hinsichtlich Gesamtenergiebilanz, Dauerhaftigkeit, Kosten und Brandschutz sehr unterschiedlich sein.

Betrachtet man jedoch das Gebäude als Ganzes aus Wohnqualität, Pflege und anschließendem Recycling, ergänzt um die entsprechende Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz des Gebäudes, so kann man zu einem eindeutigen Ergebnis kommen: Bauqualität ist die richtige Richtung.

**Schlüsselwörter:** *dach, wärmedämmung, wärmebrücke, hydroisolierung.*

## KAZALO VSEBINE

|                                                                   |                                       |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. UVOD .....                                                     | 8                                     |
| 1.1 Opis področja in opredelitev problema .....                   | 8                                     |
| 1.2 Namen, cilji in osnovne trditve.....                          | 9                                     |
| 1.3 Predpostavke in omejitve .....                                | 9                                     |
| 1.4 Uporabljene raziskovalne metode .....                         | 9                                     |
| 2. SKUPINSKI DEL .....                                            | <b>Napaka! Zaznamek ni definiran.</b> |
| 3. TEORETIČNI DEL.....                                            | 14                                    |
| 3.1 Splošno o strehi in strešni konstrukciji.....                 | 14                                    |
| 3.2 Hladne in tople strehe .....                                  | 15                                    |
| 3.3 Podkrov in vlaga.....                                         | 17                                    |
| 3.4 Toplotni mostovi .....                                        | 21                                    |
| 3.5 Toplotna odpornost in prevodnost.....                         | 25                                    |
| 3.6 Izolacijski materiali .....                                   | 29                                    |
| 3.7 Izbira toplotne izolacije .....                               | 33                                    |
| 4. NETO NIČELNA PRIHODNOST GRADBENE INDUSTRIJE -KROVNA TEMA ..... | 35                                    |
| 4.1 Osebne izkušnje .....                                         | 37                                    |
| 4.2 Primeri iz prakse .....                                       | 40                                    |
| 5. SKLEP.....                                                     | 45                                    |
| 6. VIRI, LITERATURA.....                                          | 48                                    |
| KAZALO SLIK.....                                                  | <b>Napaka! Zaznamek ni definiran.</b> |
| KAZALO TABEL.....                                                 | <b>Napaka! Zaznamek ni definiran.</b> |

## KAZALO SLIK

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1:Prezračevana streha v prerezu.....                                  | 10 |
| Slika 2: Detajl poševne strehe.....                                         | 12 |
| Slika 3: Izoliran pločevinasti panel za hleve spodnji sloj PVC.....         | 14 |
| Slika 4: Parna ovira Knauf insulation.....                                  | 16 |
| Slika 5: Najpogostejše točke toplotnih mostov.....                          | 18 |
| Slika 6: Linijski toplotni most(levo) in točkovni toplotni most(desno)..... | 19 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Slika 7: Prikaz toplotne prevodnosti.....                       | 22 |
| Slika 8: U vrednost.....                                        | 23 |
| Slika 9: Mineralna volna.....                                   | 26 |
| Slika 10: PIR pena.....                                         | 27 |
| Slika 11: Izolacija iz celuloznih vlaken.....                   | 29 |
| Slika 12: Blower door test.....                                 | 30 |
| Slika 13: Prikaz vpliva TI na okolje za ustrezno izolacijo..... | 31 |
| Slika 14: Prikaz TI nad špirovci.....                           | 36 |
| Slika 15: Prikaz prereza MV+PIR in PIR.....                     | 37 |
| Slika 16: Prikaz izračuna MV+PIR in PIR.....                    | 37 |
| Slika 17: Sanacija strehe s pločevinasto trapezno kritino.....  | 38 |
| Slika 18: Sanacija strehe.....                                  | 38 |
| Slika 19: Plesen na sekundarni kritini.....                     | 39 |
| Slika 20: Poškodovano ostrešje s plesnijo.....                  | 39 |
| Slika 21: Toplotne izgube skozi streho.....                     | 40 |
| Slika 22: Primer dobro izolirane strehe.....                    | 40 |

## KAZALO TABEL

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Prikaz izbire materiala za različne naklone strehe.....                | 9  |
| Tabela 2: Prikaz dimenzioniranja višine odprtine glede na naklon strehe.....     | 11 |
| Tabela 3: Prikazuje temperature rosišča pri temperaturi 20 °C, 22 °C, 24 °C..... | 18 |
| Tabela 4: Prikaz mejnih U vrednosti.....                                         | 21 |
| Tabela 5: Prikaz mejnih U vrednosti po ekoskladu.....                            | 21 |

# 1. UVOD

## *1.1 Opis področja in opredelitev problema*

Streha je zaščitni del objekta, ki z izolacijskimi sistemi objekt varuje pred zunanjimi in notranjimi vplivi. Ti vplivi so različni glede na geografsko lokacijo in letni čas. V preteklosti so se gradile stavbe, katerih podstrešja niso bila načrtovana za stanovanjske namene. Streha je služila le kot zaprtje ali zaščita. Kasneje se je podstrešje zaradi povečanih potreb po bivalnem prostoru in rasti cen zemljišč začelo uporabljati v stanovanjske namene ali namene shrambe. Iz tega razloga je treba streho ustrezno zaščititi.

S tem diplomskim delom v ospredje postavljamo izolacijske sisteme in elemente, ki jih tvori streha. Pri gradnji se govori veliko o konstrukcijskem delu strehe (legi, špirovcih, škarnikih ...), kritini, vendar se spregleda nadvse pomemben izolacijski del. Toplota se izgublja po celotni zunanji površini stavbe. Največji delež imajo zunanje stene s ~30 %, sledijo okna z ~28 % in streha z ~22 %. Cilj energetske učinkovite gradnje je zmanjšati te izgube. Pri stenah, strehi in stropni/talni plošči se to izvede z dodajanjem dodatnih slojev na stene ali v strešno konstrukcijo. V ta namen so bili razviti posebni gradbeni materiali (izolacijski materiali) in postopki za najrazličnejše uporabe in situacije. Streha je sestavljena iz nosilne konstrukcije in sestavnih delov, ki so razporejeni po plasteh, od katerih mora vsaka izpolnjevati eno ali več naslednjih nalog: tesnost, zaščito pred dežjem, varnost pred pihanjem snega in manjšim puščanjem kritine (krov), zaščito pred vetrom, toplotno izolacijo, ustvarjanje zrakotesnosti, nadzor difuzije pare. Odvisno od razporeditve in materiala lahko različne plasti izpolnjujejo eno ali več nalog.

Izbira pravega izolacijskega materiala in razmeram primerna vgradnja sta ključnega pomena za uspešno gradnjo, s katero lahko poleg glavnega cilja – zmanjšanje toplotnih izgub – dosežemo še vrsto drugih pozitivnih stranskih učinkov.

Če želimo zagotoviti dobre bivalne pogoje, moramo streho obdelati s konstrukcijskega in izolativnega vidika. Napačna izbira elementov lahko vodi do poškodb, ki jih lahko z dobrim načrtovanjem preprečimo.



## ***1.2 Namen, cilji in osnovne trditve***

Namen diplomskega dela je spoznati in obdelati nove materiale, tehnologije in izvedbe izolacije pri poševni strehi. Te izolacijske sisteme bomo nato opredelili po slabostih in prednostih in jih med seboj primerjali. S tem bomo dobili splošen pregled nad različnimi izolacijskimi sistemi in razlikami med njimi. Med pisanjem diplomskega dela smo si zastavili hipoteze, ki smo jih obdelali in v sklepu potrdili ali zavrnili:

**H1 Energetska učinkovitost:** Z dobrim načrtovanjem in kvalitetno izvedbo lahko bistveno izboljšamo energetske učinkovitost objekta in preprečimo toplotne mostove, vdor vlage in kondenzacije ter nastanek plesni.

**H2 Prednost pri obdelavi:** Pravilna izbira izolacijskih sistemov, ki imajo prednosti pri obdelavi, vpliva na dolgotrajnost in ekonomičnost gradnje.

**H3 Ekološko in alergikom prijazno:** Z uporabljanjem ekoloških okolju in človeku prijaznih materialov pri gradnji in sanaciji lahko zagotovimo zdravje alergikom in uporabnikom.

**H4 Neto ničelna prihodnost gradbene industrije:** Prihodnost neto ničelnih izolacijskih materialov v gradbeništvu temelji na uporabi CO<sub>2</sub>, ki je izolacija prihodnosti.

## ***1.3 Predpostavke in omejitve***

Predpostavke in trditve diplomskega dela so naslednje:

- omejili se bomo samo na poševne strehe oziroma strehe z naklonom, v diplomskem delu se ne obravnavajo ravne strehe,
- preverjali bomo energetske učinkovitost različnih sistemov.

## ***1.4 Uporabljene raziskovalne metode***

Tekom priprave diplomskega dela bomo:

- zbirali, pregledali in študirali literaturo s področja izolacijskih sistemov, materialov, toplotnih mostov, kondenzacije in vlage;
- opisali in med seboj primerjali izolacijske sisteme;
- izračunali energetske učinkovitost posameznih sistemov;
- obdelali in opredelili sisteme glede na zahtevnost gradnje;
- ovrednotili in komentirali dobljene rezultate.

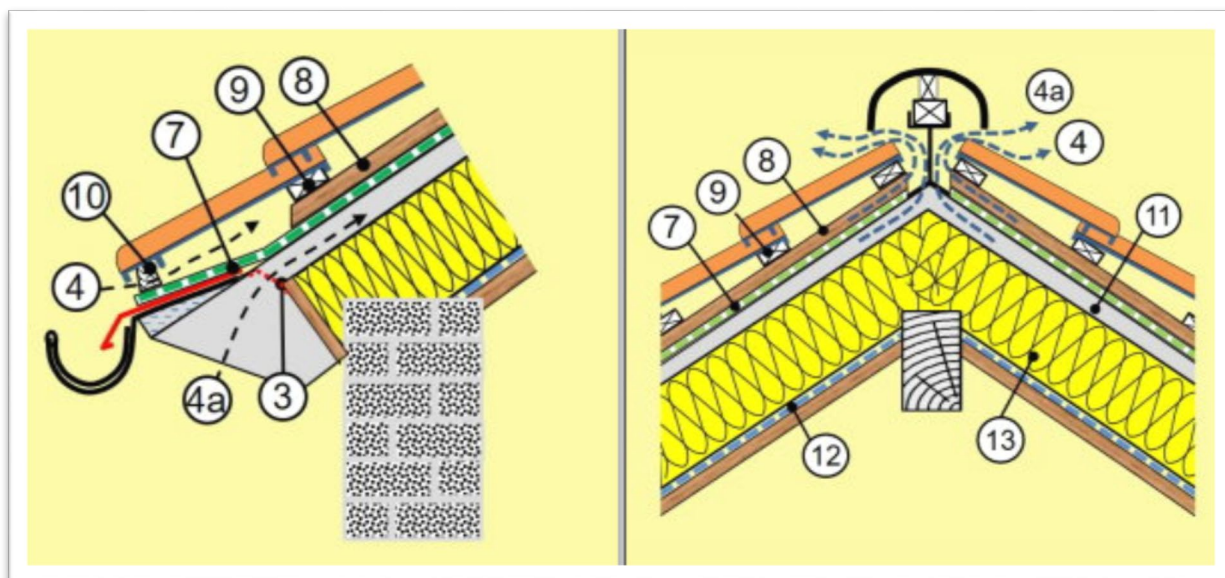
## 2. DELO V PROJEKTNi SKUPINI

Preden smo pričeli s pisanjem diplomskim del, smo vsi rešili Belbinov popis tima in Myers-Briggs-ov test osebnosti. Myers-Briggs-ov test je vprašalnik za samoocenjevanje, ki kaže na različne psihološke preference v tem, kako ljudje dojemajo svet in sprejemajo odločitve. Belbinov timski test identificira vedenjske lastnosti posameznika in jih opredeli pod timsko vlogo. Učinkovita ekipa je sestavljena iz mešanice ljudi z različnimi komplementarnimi lastnostmi. Razdelili smo se v projektne skupine na podlagi rezultatov obeh testov. Glede na teste sem dobil vlogo konzula in preiskovalca virov.

Ko smo se s skupino prvič srečali, sem predstavil temo svojega diplomskega dela. Seznanil sem jih s tem, da želim opisati tehnologije in izvedbe izolacije pri poševni strehi. Te izolacijske sisteme bi nato opredelili po slabostih in prednostih in jih med seboj primerjali. S tem bi dobili splošen pregled nad različnimi izolacijskimi sistemi in razlikami med njimi. Poudarek bi bil na pravilni izvedbi strehe, za kar je potrebno znanje o materialih, toplotnih mostovih, sestavah strehe, kondenzaciji itd.

Začeli smo z raziskovanjem streh in strešnih konstrukcij, kjer smo jih ločili glede na naklone, sestave in načine izvedbe. Tukaj smo se v glavnem lotili razlike med hladno in toplo streho, kjer smo ugotovili, da je bistvena razlika med njima v tem, da ima ena zračni sloj, medtem ko ga druga nima. Opisali smo tudi sekundarno kritino, imenovano podkrov. Ugotovili smo, da je sekundarna kritina odvisna od več parametrov: SD vrednosti, natezne trdnosti, teže in UV obstojnosti. Ugotovili smo, da je streha sestavljena iz nosilne konstrukcije in sestavnih delov, ki so razporejeni po plasteh, od katerih mora vsaka izpolnjevati eno ali več nalog, navedenih v nadaljevanju.

Slika 1 prikazuje primer strehe po plasteh. V tem primeru gre za prezračevano streho, kjer je prikazan pretok zraka v kapu in slemenu.



Slika: 1 Prezračevana streha v prerezu

Vir: [https://www.ing-büro-junge.de/html/geneigtes\\_dach.html](https://www.ing-büro-junge.de/html/geneigtes_dach.html)

Na sliki so vidni: od spodaj parna ovira ali zapora (12), izolacija mineralna volna (13), zračni prostor za prezračevanje mineralne volne (11), smer pretoka zraka (4a), sekundarna kritina (7), kontra letev za zgornji prezračevalni kanal (8), potek zraka po zračnem kanalu (4), linijski prezračevalni element – trak (10), prečna letev za vpetje opeke (9). Da bi razumeli principe dobre izvedbe, smo se pri različnih virih pozanimali o nastanku toplotnih mostov. Ugotovil smo, da so toplotni mostovi mesta v zgradbi, kjer se toplota prenaša hitreje ali počasneje kot skozi okoliški material. Do tega pride, ko obstaja prekinitev toplotne izolacije med dvema deloma stavbe, kar povzroči spremembo toplotnega prenosa med tema dvema deloma. Primeri toplotnih mostov vključujejo okna in vrata, stene, ki se srečujejo s tlemi in stropi, in spoje med streho in stenami. To so kraji, kjer se toplota lahko enostavno prenaša iz notranjosti stavbe navzven ali obratno. Toplotni mostovi lahko povzročijo velike izgube energije in povečanje računa za ogrevanje ali hlajenje. Prav tako lahko povzročijo nelagodje v prostoru, kot so občutek mraza ali vročine, kondenzacija, nastanek plesni in druge težave s kakovostjo zraka v zaprtih prostorih. Preprečevanje toplotnih mostov vključuje dobro izolacijo, pravilno namestitvev oken in vrat ter uporabo materialov z nizko toplotno prevodnostjo na mestih, kjer se deli stavbe srečujejo. Prav tako se lahko uporabi termografija, da se odkrijejo toplotni mostovi in da se jih pravočasno odpravi.

Opisali smo različne materiale, ki delujejo kot toplotni izolatorji in hidro izolatorji, ter z različnih strani pridobili njihove vrednosti glede toplotne, odpornosti in prepustnosti. Tako smo

imeli dober pregled nad vsemi komponentami, ki so potrebne za izdelavo kvalitetne strehe. Materiali za toplotno izolacijo strehe so ključni elementi pri zmanjševanju izgub energije ter pri zmanjšanju računa za ogrevanje in hlajenje. Glede na specifično situacijo so lahko različni materiali bolj primerni za toplotno izolacijo. Spodaj je naštetih nekaj materialov, ki se pogosto uporabljajo za toplotno izolacijo strehe:

**Mineralna volna:** Ta material je zelo učinkovit za toplotno izolacijo in je enostaven za namestitvev. Mineralna volna je na voljo v različnih debelinah in gostotah ter je zelo dostopna.

**Polistiren:** Ta material se pogosto uporablja za toplotno izolacijo strehe zaradi svojih odličnih izolacijskih sposobnosti. Polistiren je lahek in enostaven za namestitvev ter je na voljo v ploščah ali pa v obliki plošč z utori in peresi.

**Ekstrudiran polistiren:** Ta material je še boljši za toplotno izolacijo kot običajen polistiren. Ekstrudiran polistiren je gost in trden ter zagotavlja boljšo odpornost na vlago in pritisk.

**Celulozna izolacija:** Ta material se običajno uporablja kot alternativa mineralni volni in polistirenu. Celulozna izolacija je narejena iz recikliranega papirja in kartona ter ima odlično sposobnost zadrževanja toplote.

**Lesne vlaknene plošče:** Ta material se pogosto uporablja pri obnovi starejših stavb zaradi svoje naravne sestave in trajnosti. Lesne vlaknene plošče so na voljo v različnih debelinah in gostotah ter zagotavljajo dobro toplotno izolacijo.

**Kamniti volneni paneli:** Ta material se pogosto uporablja za toplotno izolacijo strehe zaradi svojih odličnih izolacijskih sposobnosti in odpornosti na ogenj. Kamniti volneni paneli so precej lahkini in enostavni za namestitvev.

Da lažje obdelamo delo skupine ter sebe kot preiskovalca, si zastavimo vprašanja, da dobimo boljši pregled.

### **Kako smo zadovoljni z rezultatom našega skupinskega dela?**

Z rezultatom smo zadovoljni, obdelali smo veliko gradiva ter prišli do kvalitetnih zaključkov v zelo kratkem času.

### **Katere situacije so nam bile všeč?**

Delo v timu poveča motivacijo posameznih članov in delo je bolj zabavno.

### **Kakšne težave smo imeli in kako smo jih reševali?**

V skupinah se lahko hitro zgodi, da člani skupine postanejo samotarji, torej ne delajo več na

skupni nalogi, ker se ne vidijo kot odgovorni. Odgovornost za uspešnost naloge nosi več ljudi, zato se samotarji pri reševanju naloge zanašajo na druge. Sprejeti je treba ukrepe za povečanje zaupanja. Da se to zgodi, se morajo zaposleni počutiti varne in cenjene. Ko vsak zaposleni čuti, da je v dobrih rokah, lahko komunicira bolj odprto in svobodno, zato je pomembno za te člane ekipe najti motivacijo ter razumevanje za postavljeni skupni cilj. Na ta način člani ne delujejo drug ob drugem ali drug mimo drugega, temveč skupaj – in s skupnim delom dosegamo boljše rezultate.

### **Kako zadovoljen sem s preiskovanjem virov?**

Zadovoljen, saj mi je uspelo ustvariti zelo dobro delovno klimo ter dobro razporeditev vlog. Učinkovito sodelovanje deluje le, če vsak član ekipe točno ve, na čem dela in na koga se lahko obrne po pomoč.

### **Kako dobro sem lahko prispeval svoje sposobnosti in sebe?**

Preiskovalci virov so dobri pogajalci, spretni pri raziskovanju, znajo hitro razmišljati, izkoristijo priložnost, najdejo vire izven skupine. Njihova moč je sposobnost iskanja uporabnih ljudi in obetajočih idej, zato vsak član ekipe vnaša v ekipo svoje sposobnosti in prednosti. Ob pravilni uporabi teh veščin lahko v skupini ustvarimo rezultat, ki ga pri individualnem delu ne bi dosegli.

Po končanem skupinskem delu je pomembno, da člani v skupini razmislijo o skupnem delu.

To smo v naši skupini obdelali ustno. Obdelali smo potek dela in kaj je še posebej dobro delovalo. Obravnavani pa so bili tudi problemi in predlogi za izboljšave. Tako se lahko vsak član skupine nekaj nauči za naslednje skupinsko delo. Čeprav je morda preprosto razumeti načelo timskega dela, se je pomembno zavedati, da od ljudi ne moremo kar zahtevati, da učinkovito sodelujejo. Vesel sem in hvaležen, da je naše delo potekalo motivirano ter uspešno.

### 3. TEORETIČNI DEL

#### 3.1 Splošno o strehi in strešni konstrukciji

Streha je del, ki pokriva in ščiti stavbo pred padavinam, oziroma gornji zaključek poslopja iz strešnih nosilcev in kritine. Streha je sestavljena iz strešnega krova in nosilne strešne konstrukcije.

V ovojni lupini stavbe je streha zgornji zaključni del, stavbni pokrov, ki stene ščiti pred neposrednimi vremenskimi vplivi: padavinami, soncem, vetrom, mrazom in vročino ter pred hrupom, prahom in plini. Oblikovana je tako, da odvaja vodo, zato je vedno nagnjena od horizontalne ravnine. Naklon strešine je odvisen od več dejavnikov: podnebnih razmer, arhitekture objekta ali prostorskih dejavnikov in predpisov v prostorski dokumentaciji. Glede na naklon so strehe lahko:

- strme,  $\alpha > 30^\circ$ ,
- blago naklonjene,  $8^\circ > \alpha > 30^\circ$ ,
- ravne,  $\alpha < 8^\circ$ ,

izbira materiala glede na obliko pa je prikazana v tabeli 1.

Tabela 1: Prikaz izbire materiala za različne naklone strehe

| Vrsta kritine          | Naklon v stopinjah |      |       |
|------------------------|--------------------|------|-------|
|                        | min.               | max. | povp. |
| večslojne HI           | 2                  | 3    | 2–3   |
| strešna lepenka        | 6                  | 18   | 10    |
| pločevina              | 6                  | 12   | 10    |
| opečni zarezniki       | 24                 | 45   | 35–40 |
| valovita pločevina     | 12                 | 35   | 25    |
| valoviti vlaknocement  | 7                  | 45   | 15–20 |
| eternit (ravne plošče) | 18                 | 45   | 30–45 |
| naravni skrilj         | 20                 | 50   | 30–50 |
| betonski zarezniki     | 17                 | 76   | 20–45 |
| steklo                 | 1                  | 90   | 6     |
| korci                  | 18                 | 45   | 25–30 |
| bobrovci               | 33                 | 60   | 35–40 |
| skodle                 | 45                 | 50   | 45    |
| slama                  | 45                 | 80   | 60–70 |
| PVC                    | 0                  | 90   | 0–8   |

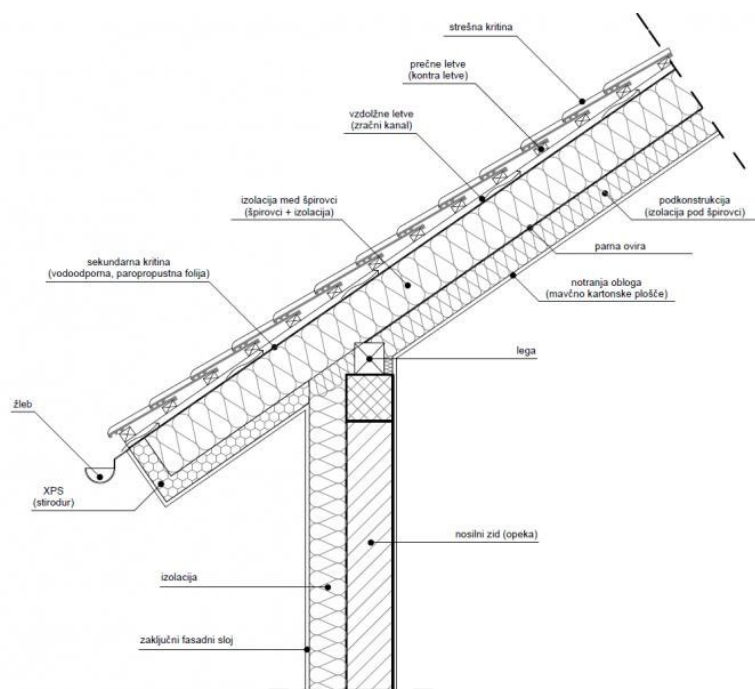
Vir: (Davorin Žitnik, 2012)

### 3.2 Hladne in tople strehe

Hladna in topla poševna streha imata v osnovi enako sestavo, razlikujeta se predvsem v tem, da topla streha nima zračnega kanala med strešno kritino in podkrovom in v vrstnem redu izolacijskih materialov. Topla streha ima kritino položeno neposredno na toplotno izolacijo. Hladna streha ima nameščen zračni kanal med sekundarno kritino, imenovano podkrov, in toplotno izolacijo. V obeh konstrukcijskih primerih so na voljo tri možnosti izvedbe toplotne izolacije:

- toplotna izolacija med špirovci,
- toplotna izolacija pod špirovci,
- toplotna izolacija nad špirovci.

Hladne strehe so prezračevalne strehe v dvoslojni konstrukciji. Prezračevalni sloj se nahaja med dvema slojema, pod strešno membrano in nad nivojem izolacije. V osnovi je sestavljena iz primarne strešne kritine, strešne letve, sekundarne kritine ali podkrova, zračnega kanala, toplotne izolacije med špirovci, parne ovire, toplotne izolacije pod špirovci in notranje zaključne obloge, kot je prikazano na sliki 2. (Erik Nekrep, 2005)



Slika 2: Detajl poševne strehe

Vir: ([https://www.mojmojster.net/clanek/857/Sestava\\_posevne\\_strehe](https://www.mojmojster.net/clanek/857/Sestava_posevne_strehe))

Veter nam kot naravna pogonska sila za gibanje zraka podkrepi tehnično obliko zgradbe. Razlika zračnega pritiska nastane takrat, kadar se zaradi temperaturnega vpliva greti zrak širi in postaja lažji glede na sosednji zrak. Topel zrak se vedno dviguje, zato zagotovimo dostop zraka na najnižji točki strehe ter izhod na najvišji točki strehe. Prednost imajo redke kritine, ki dovajajo zrak skozi celotno krovno površino.

Kot primer si lahko pogledamo dimenzioniranje zračnih prereзов. Za prostor med kritino in podkrovom je izbran neto presek za zračenje  $250 \text{ cm}^2/\text{m}$  pri dolžini špirovca 10 m. Dolžina je definirana kot razdalja od kapi strehe do slemena strehe. Dimenzije so odvisne tudi od nagiba strehe. (Davorin Žitnik, 2012)

Tabela 2: Prikaz dimenzioniranja višine odprtine glede na naklon strehe

|                             |    |    |    |    |
|-----------------------------|----|----|----|----|
| <b>Nagib strehe (°)</b>     | 45 | 35 | 25 | 15 |
| <b>Višina odprtine (cm)</b> | 2  | 3  | 4  | 5  |

Vir: (Erik Nekrep, 2005)

Tople strehe so najpogostejše pri ravnih strehah, pri poševnih strehah se pojavljajo kot integrirana izolacija na strešni kritini. Sodobna toplotno zaščitená topla poševna streha vsebuje naslednje elemente: primarno strešno kritino, strešne letve, toplotno izolacijo, parno oviro in zaključno notranjo oblogo. Lahko se pojavi dodaten sloj toplotne izolacije med parno oviro in notranjim zaključnim slojem, ki pa po standardih ne sme presegati petine skupne debeline toplotne izolacije. Ta dodatna toplotna izolacija predstavlja tudi primeren prostor za namestitev inštalacijskih cevi, zato ga imenujemo inštalacijska ravnina. Na ta način v konstrukcijo strehe ne posegamo in ne prediramo parne ovire.

Pri skladiščih in hlevih je zelo razširjen strešni trapezni pločevinasti panel z izolacijo na spodnji strani kritine. Takšne panele se ne polaga na prezračevalni raster iz letev. Sistem je zaprt, da izolacija, ki se nahaja pod kritino, pomaga pri izolaciji strehe. Paneli so samonosilni, izolirani s polnilom iz poliuretana in pocinkano barvno pločevino. Panel je prikazan na sliki 3.





Slika 3: Izoliran pločevinasti panel za hleve, spodnji sloj PVC

Vir: (Lastni vir)

### ***3.3 Podkrov in vlaga***

Vsaka kritina lahko zamaka, zato se vgrajuje sekundarna streha ali sekundarna kritina, imenovana podkrov. Nad izolacijo je obvezna vgradnja paroprepustnih folij ali vodoneprepustnih izolacijskih plošč, ki morajo biti med seboj ustrezno zlepljene in nepredušne za vdor zraka. Naloge sekundarne kritine so preprečevanje vdora atmosferskih vod in zraka v izolacijo, kontrola prehoda vlage in toplote, varovanje podstrešja pred nesnago, prahom ter glodavci in varovanje podstrešja pred padavinami suhega snega.

Sekundarna kritina mora nuditi termalno zaščito in imeti sposobnost difuzije parne vode. Difuzija je proces, kjer vodna para prehaja iz prostora z višjim parnim tlakom v prostor z nižjim parnim tlakom ali drugače, iz z vlago bolj nasičenega prostora v z vlago manj nasičen prostor. V bivalnih prostorih se namreč nenehno oddaja vodna para v ozračje z dihanjem, kuhanjem, tuširanjem itd. Izločanje vodne pare pa lahko pri štiričlanski družini doseže tudi količino do 15 litrov dnevno.

Poleg zagotovitve ustrezne izolacije je treba ravno tako preprečiti možnost vdora zraka skozi izolacijo, saj na mestih, kjer notranja ali zunanja folija ni lepljena, pride do preboja toplote in t. i. toplotnih srkov, skozi katere se izgublja tudi do 40 odstotkov več energije, zato je spoje med

folijami vedno treba zlepiti. Hkrati je prepustnost za zračno paro skozi parno oviro z vrednostjo  $SD = 2$  približno  $5 \text{ g/m}^2$  na dan.

V primeru, da je v parni oviri zareza dimenzij  $1 \text{ mm}$  na  $1 \text{ m}$ , lahko pri enakih pogojih pride do  $800 \text{ g/m}^2$ , kar je 160-krat več. Ta vlaga preide v toplotno izolacijo in se zaradi velike nasičenosti kondenzira na spodnji strani strešne sekundarne folije, zato moramo celotno streho projektirati tako, da bo prehod pare skozi izolacijo in na zunanjo stran sekundarne strehe pravilen, saj v nasprotnem primeru lahko pride do vlaženja izolacije in s tem zmanjšanja toplotne izolativnosti ter vlaženja lesene konstrukcije in omogočanja rasti plesni, drevesnih gob in trohnenja. Sekundarne kritine so opremljene z naslednjimi podatki:

- SD vrednost – ker ima zrak gostoto približno  $1,2 \text{ kg/m}^3$  (približno 800-krat manj kot voda), je v prehodu skozi zrak določen upor. SD vrednost pove, kolikšna je debelina, skozi katerega mora preiti vodna para ( $SD = 1 \text{ m}$  je ekvivalentno upor 1 m debelega zračnega sloja). Vrednosti SD sekundarnih kritin so različne, ponavadi med  $0,02 \text{ m}$  in  $1 \text{ m}$ ;
- natezna trdnost – je podatek, ki pove, kolikšna sila je potrebna, da se material poruši (pretrga);
- teža – izražena v gramih, ki pove, kolikšna je teža materiala na  $\text{m}^2$ ;
- UV obstojnost – koliko časa je folija lahko izpostavljena dnevni svetlobi, da še ohrani deklarirano difuzijsko lastnost.

#### ROSIŠČE:

Topel zrak veže več molekul vode kot hladen zrak. Kjer koli se zrak ohladi, se molekule vode usedejo. Na podstrešju je ta točka običajno na eni strani izolacijskega sloja, na spodnji strani odprte strehe ali na sestavnih delih strešne konstrukcije.

Če se vlaga gradbenih materialov razvije znotraj podstrešja, išče izhod. Izhlapevanje prenaša molekule vode v zrak podstrešja. Ko se ohladi, se začne zgoraj opisani proces in se nenehno dopolnjuje. Strešne konstrukcije, ki nimajo zrakotesnost izolacijskega sloja, si najprej poiščejo prostor za zadrževanje, da bi nato sodelovale tudi pri oskrbi zraka z vodnimi molekulami.

## TEMPERATURA ROSIŠČA PRI VLAGI

Tabela 3: Prikazuje temperature rosišča pri temperaturah 20 °C, 22 °C in 24 °C

| Temperatura<br>zraka | 30 % | 40 % | 50 % | 60 % | 70 % | 80 % | 90 % |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 20 °C                | 1,9  | 6,0  | 9,3  | 12   | 14,3 | /    | 18,3 |
| 22 °C                | 3,6  | 7,8  | 11,1 | 13,9 | 16,3 | 18,4 | 20,3 |
| 24 °C                | 5,4  | 9,6  | 12,9 | 15,8 | 18,2 | 20,3 | 22,3 |

Vir: Lastni vir

Fizična lokacija točke, na kateri voda teče in zmoči trdne komponente, je rosišče. Lahko je zunaj strehe ali točno na oblogi stavbe.

Primer: Kuhinja s temperaturo zraka +24 °C in relativno vlago 60 %. Iz zgornje tabele št. 3 poiščemo odgovarjajočo temperaturo rosišča 15,8 °C. To pomeni, da bo vodna para na notranji površini zidu kuhinje kondenzirala, ko bo površina zidu 15,8 °C ali nižja.

Če je na podstrešju nameščena folija, na primer kot parna ovira za zaščito izolacije, je streha pretesna in bo voda iskala druga mesta, kjer bo tekla.

Iz pogoja preprečevanja površinske kondenzacije lahko enostavno izračunamo minimalno potrebno vrednost toplotne izolacije opazovanega gradbenega elementa. Ko torej opazimo vlažna mesta na površini nekega zunanega gradbenega elementa, moramo najprej ugotoviti, kaj je s toplotno izolacijo. Najprej se navlažijo toplotni mostovi oz. vogali prostorov.

Da vemo, ali izbrati parno zaporo ali parno oviro, moramo najprej poznati bistvene razlike med njima. Oba izraza sta zelo podobna in imata kot gradbeni material skoraj enake naloge, razlikujeta se po strukturi in učinku. Parna zapora vlage v celoti ne prepušča, medtem ko parna ovira omogoči njeno razpršitev v odmerjenih količinah. Izberemo jih glede na izolacijske materiale in načrtovane slojne strukture.

Parna ovira, prikazana na sliki 4, preprečuje prehod vodne pare, a ga ne onemogoči povsem. Folija še vedno omogoča dihanje konstrukcije in enakomeren prehod vodne pare. V tem primeru para lahko prehaja v toplotno izolacijo, ta pa se suši tako navzven kot tudi navznoter. Pri vgrajevanju parne ovire moramo izbrati pravilno kombinacijo ovire in izolacije, saj lahko tako izboljšamo klimo v notranjosti objekta. Priporočljiva je izbira naravnih izolativnih materialov, saj ti paro akumulirajo in oddajajo nazaj v prostor. Parna ovira se vgrajuje na notranji topli strani konstrukcije.

Parozaporna folija povsem preprečuje prehod vlage skozi konstrukcijo objekta. Tako preprečuje, da bi vlaga, ki nastane v prostoru zaradi dihanja, kuhanja, likanja ipd., prehajala globlje v steno in tam povzročala kondenzacijo. Prostor, kjer je vgrajena parna zapora, moramo večkrat prezračiti, saj objekt ne diha. (<https://www.knaufinsulation.si/>, n.d.)



Slika 4: Parna ovira Knauf insulation

Vir: (<https://atraktiv.si/cache/atraktiv/402-lds2silk-35e3908800df1d7b.jpg>)

### ***3.4 Toplotni mostovi***

Toplotni most je mesto na zunanjem ovoju zgradbe, kjer je bistveno povečano prehajanje toplote kot posledica nenatančnosti pri načrtovanju in izvedbi ali gradnji stavbe. Nastajajo zaradi različnih vzrokov:

- popolnega ali delnega prediranja ovoja stavbe z elementom z drugačno toplotno prevodnostjo,
- spremembe oblike ali debeline konstrukcije ali posameznih slojev konstrukcije,
- razlike v velikosti med zunanjo in notranjo površino, kotom se zgodijo v stikih med stenami, ploščami in tlemi.

Na območjih, kjer nastane toplotni most, se toplotni tok spremeni, linije toplotnega toka niso več ravne črte, ampak se začnejo upogibati. Običajno pride do povečanja toplotnih izgub, zato se želimo toplotnim mostovom čim bolj izogniti. To pa lahko naredimo z izbiro primerne toplotne izolacije, ustreznim načrtovanjem detajlov in kakovostno izvedbo pri gradnji stavbe. Poleg toplotnih izgub pa toplotni mostovi povzročajo tudi higienske in zdravstvene težave, saj se lahko na notranji površini zaradi kondenzacije pojavi plesen.

Značilna mesta, kjer se pojavljajo toplotni mostovi, so:

- stik kletne plošče ali talne plošče s steno,
- preboj plošče skozi steno (balkon, terasa),
- stik stene s streho (napušč),
- preboj stene skozi strop proti neogrevanemu podstrešju,
- okenske špalete,
- omarica za rolete in žaluzije,
- stik temeljev s steno,
- stik stopnic in talne plošče,
- vogali sten ipd.

Termovizija je zelo učinkovit način za hitro ugotavljanje prisotnosti in položaja toplotnih mostov. Posnetki s kamero, ki prepoznava toplotno infrardeče sevanje, pokažejo različno obarvane stene stavbe. Tam, kjer so velike toplotne izgube, so stene svetle barve, dobro izolirana območja pa so temnejše modrikaste barve. Za izvedbo posnetkov je najbolj primeren

zimski čas, ko je notranjost stavbe ogreta, zunanost pa ohlajena. Prikaz najbolj pogostih toplotnih mostov je na sliki 5.



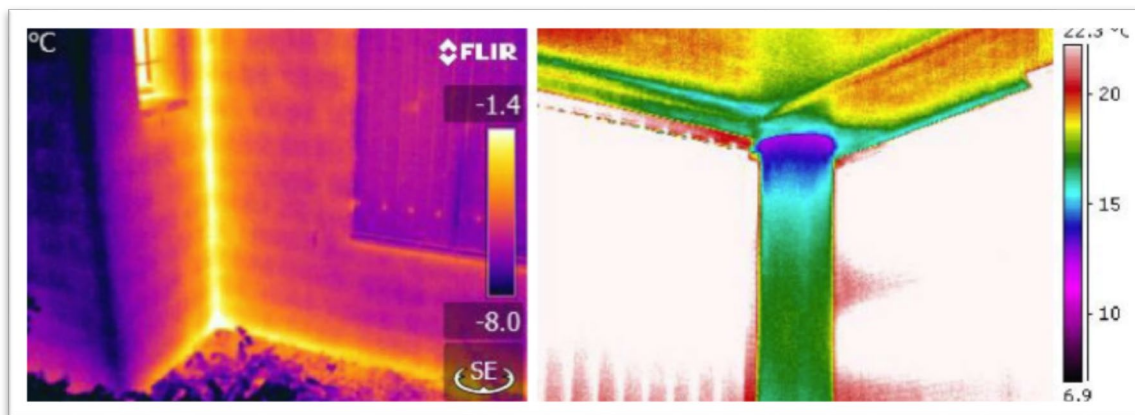
Slika 5: Najpogostejše točke toplotnih mostov

Vir: ([https://www.varcevanje-energije.si/images/stories/dec08/TOPLLOTNI\\_MOST\\_PRIMERI.jpg](https://www.varcevanje-energije.si/images/stories/dec08/TOPLLOTNI_MOST_PRIMERI.jpg))

V splošnem delimo toplotne mostove na več vrst, saj se pojavljajo zaradi različnih vzrokov. Poznamo konstrukcijske, ki nastanejo, kadar je ovoj stavbe predrt z materialom, ki ima drugačno, običajno večjo toplotno prevodnost (balkon). Geometrijski toplotni mostovi se pojavijo na delih, kjer je površina dela konstrukcije zunaj večja ali manjša od notranje (zunanji vogal stavbe). Kombinirani pomenijo, da se geometrijski in konstrukcijski toplotni most pojavita hkrati. Zadnji tip je konvekcijski toplotni most, ki nastane zaradi slabega tesnjenja stikov, zaradi česar je možen vdor vlažnega notranjega zraka v konstrukcijski sklop in pride do kondenzacije vodne pare.

Glede na obliko razlikujemo med dvema tipoma toplotnih mostov: linijskim in točkovnim. Linijski (dvodimenzionalni) toplotni most je definiran kot toplotni most s konstantnim prerezo vzdolž ene izmed treh osi. To pomeni, da je podolgovate oblike, mi pa opazujemo potek toplotnih tokov po prerezu, postavljenem pravokotno na dimenzijo, daljšo v eni osi. Tako postane problem dvodimenzionalen.

Točkovni (tridimenzionalni) toplotni most je omejen na točko ali na relativno majhno področje glede na debelino konstrukcije. Pojavi se lahko v presečišču treh med seboj pravokotnih konstrukcijskih sklopov (v kotu prostora) ali na elementih za pritrjevanje izolacije (ti imajo višjo toplotno prevodnost in točkovno prebadajo izolacijsko plast) ipd. V splošnem lahko vpliv točkovnih toplotnih mostov zanemarimo (če so npr. posledica križanja linijskih toplotnih mostov), razen če se pojavijo izredni, močni točkovni toplotni mostovi. Razlika med linijskim in točkovnim toplotni mostom je prikazana na sliki 6.



Slika 6: Linijski toplotni most (levo) in točkovni toplotni most (desno)

Vir: ([https://www.flir.eu/globalassets/industrial/discover/professional-tools/termitetrails\\_inwalls.jpg](https://www.flir.eu/globalassets/industrial/discover/professional-tools/termitetrails_inwalls.jpg))

Kot že omenjeno, toplotni mostovi vplivajo na porabo energije za ogrevanje ali hlajenje in na kakovost bivalnega okolja. Pri slabše izoliranih stavbah je delež toplotnih izgub zaradi toplotnih mostov relativno majhen, saj že sicer skozi ovoj prehaja veliko toplote. Pri boljše izoliranih hišah (npr. nizkoenergijskih in pasivnih hišah), kjer ima ovoj zelo nizke toplotne prepustnosti, pa je delež izgub v primeru toplotnih mostov večji. Na teh območjih se poveča odlaganje prahu, v primeru dovolj nizkih temperatur v prostoru in ob visoki relativni vlažnosti ter slabem prezračevanju pa je lahko površinska temperatura nižja od rosišča, zaradi česar prihaja do kondenzacije vodne pare. To lahko povzroči poškodbe materiala in razvoj plesni, ki lahko povzroči zdravstvene težave. Površinsko kondenzacijo lahko preprečimo s pogostejšim prezračevanjem, kar znižuje vlažnost zraka v prostoru, ali pa s povišanjem temperature. S takim početjem pa spet povečamo toplotne izgube skozi celoten ovoj stavbe, kar pomeni povečanje porabe energije. (Peter Šteflič, 2014)

## ZAKONODAJA

Na podlagi zakona o graditvi objektov področje učinkovite rabe energije urejata Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES) in Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije. Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah "določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ali njihove kombinacije, priprave tople vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije za delovanje sistemov v stavbi ter metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavbe v skladu z Direktivo 31/2010/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb". Pravilnik določa mejne vrednosti učinkovite rabe energije v stavbi.

Poleg tega navaja še ostale pogoje za doseg energijske učinkovitosti stavbe:

- maksimalno dovoljeno letno potrebno toploto za ogrevanje stavbe;
- maksimalen dovoljen letni potreben hlad za hlajenje stavbe;
- maksimalno letno primarno energijo za delovanje sistemov v stavbi;
- mejne vrednosti toplotnih prepustnosti iz tehnične smernice ne smejo biti presežene.

Nadalje se energijska učinkovitost dosega z ustrezno orientacijo stavbe, z ugodnim razmerjem med površino toplotnega ovoja stavbe in njeno ogrevano oz. hlajeno prostornino, z optimalno razporeditvijo prostorov v stavbi in tako, da materiali in elementi konstrukcije omogočajo učinkovito upravljanje s toploto. Površino toplotnega ovoja stavbe in ločilne elemente posameznih delov stavbe, ki imajo različne režime ogrevanja oz. hlajenja, je treba toplotno zaščititi, tako da:

- zmanjšamo prehod energije skozi toplotni ovoj stavbe;
- zmanjšamo pregrevanje ali podhlajevanje stavbe;
- je gradbena konstrukcija sestavljena tako, da ne prihaja do škodljivih vplivov zaradi difuzije vodne pare;
- nadzorujemo zrakotesnost stavbe.
- Pravilnik omenja tudi toplotne mostove; zapisano je namreč, da "je stavbe treba projektirati in graditi tako, da je vpliv toplotnih mostov na letno potrebo po energiji za ogrevanje in hlajenje čim manjši in da toplotni mostovi ne povzročajo škode stavbi ali njenim uporabnikom"



(Peter Šteflič, 2014). V nadaljevanju pravilnik podaja navodila, kako zagotoviti energetske učinkovito ogrevanje in hlajenje stavbe ter pripravo tople vode, prezračevanje in razsvetljavo. Poleg tega določa, kolikšen delež končne energije, ki jo stavba porabi, mora biti zagotovljen z uporabo obnovljivih virov energije, da je dosežena energijska učinkovitost stavbe, ter kako se le-ta dokazuje v projektni dokumentaciji. Določa tudi nekoliko lažje dosegljive mejne vrednosti učinkovite rabe energije v prehodnem obdobju. Napoti nas tudi k uporabi prej omenjene tehnične smernice, ki "določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za doseg zahtev iz tega pravilnika in določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe in predpisuje njeno uporabo kot obvezno". (Peter Šteflič, 2014)

### ***3.5 Toplotna odpornost in prevodnost***

Za izračun izolativnosti materialov kot takih in konstrukcijskih sistemov si pomagamo z izračunom R-vrednosti (toplotna odpornost) in U-vrednosti (toplotna prevodnost). Pri izračunu je treba upoštevati toplotno razliko med notranjostjo stavbe in zunanjo temperaturo.

R-vrednost je meritev, ki nam pove, kako odporen je izdelek na toplotni tok, in meri hitrost toplote z ene strani predmeta na drugo. V gradbeništvu nam pove, kako dobro plast izolacije, okna, stena ali strop odbijajo prevodni tok toplote. R-vrednost je temperaturna razlika na enoto toplotnega toka, ki je potrebna za vzdrževanje ene enote toplotnega toka med toplejšo in hladnejšo površino pregrade v pogojih ustaljenega stanja. Izračuna se z enačbo (1.)

$$R = \frac{l}{\lambda} (1.),$$

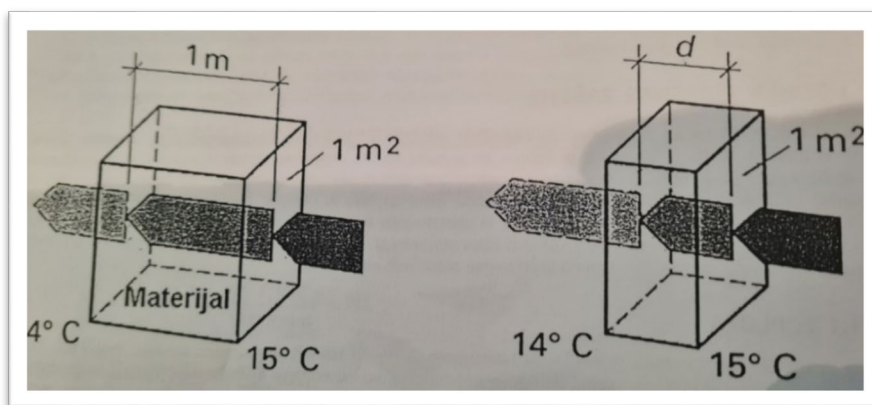
kjer je:

$R$  toplotna odpornost,

$l$  debelina materiala,

$\lambda$  toplotna prevodnost.

Toplotna prevodnost neke snovi nam pove, koliko toplote gre vsako sekundo skozi vsak m<sup>2</sup> površine snovi debeline 1 m in preseka 1 m na 1 m, če je temperaturna razlika med eno in drugo stranjo 1 K (C<sup>0</sup>). Enota je W/m K. Prikazana je na sliki 7.



Slika 7: Prikaz toplotne prevodnosti

Vir: (Žemva, 2010)

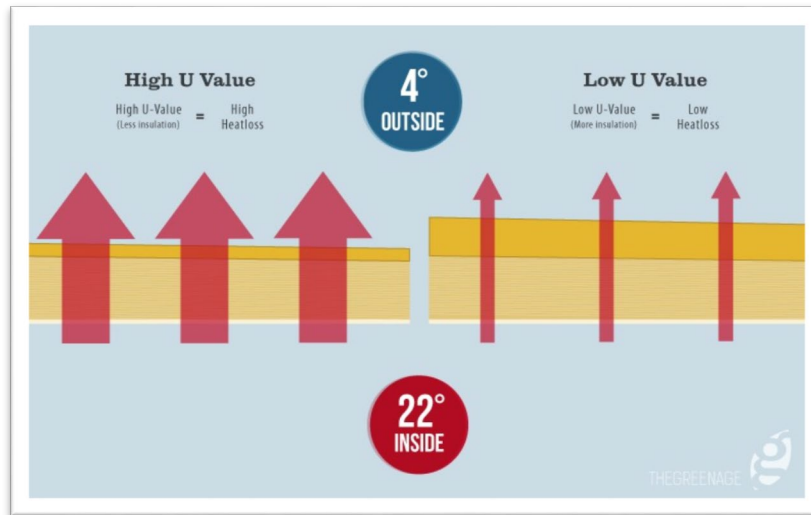
R-vrednost je torej razmeroma preprost način za primerjavo dveh izolacijskih materialov. Izračunamo jo lahko, v kolikor imamo za vsak material podatek za toplotno prevodnost. Prav tako nam omogoča, da izračunamo učinek dodajanja debelejših plasti istega izolacijskega materiala. V praksi je v zgradbah stena sestavljena iz različnih plasti materiala. Skupna toplotna upornost celotne stene se izračuna tako, da se sešteje toplotna upornost vsake posamezne plasti. Na žalost toplota vstopa in izstopa iz vašega doma na več različnih načinov in R-vrednost upošteva samo prevodnost. Ne vključuje niti konvekcije niti sevanja, zato se lahko odločimo za uporabo U-vrednosti, ki upošteva vse različne mehanizme toplotnih izgub. Ker vse kovine dobro prevajajo toploto, so slabi toplotni izolatorji. Zrak in mirujoče kapljevine slabo prevajajo toploto. Pri vlaknastih materialih je zrak ujet med vlakni, porozni materiali imajo zrak v porah, zato so dobri toplotni izolatorji.

V večini primerov se tudi toplotna prevodnost materiala nekoliko poveča z naraščanjem temperature. Čim pa pride do faznega prehoda ali spremembe agregatnega stanja, na primer iz trdnega v tekoče, se toplotna prevodnost pogosto nenadoma spremeni.

U-vrednost gradbenega elementa navaja toplotni tok, ki prehaja skozi konstrukcijski element s površino  $1 \text{ m}^2$  pri temperaturni razliki  $1 \text{ K}$ . To je obratna vrednost toplotne upornosti  $R$ . Vključuje tri glavne načine izgube, to so toplotna prevodnost, konvekcija, sevanje. Veliko vlogo igrata notranja in zunanja temperatura stavbe.

Če si predstavljamo notranjo površino  $1 \text{ m}^2$  dela zunanje stene ogrevane stavbe v hladnem podnebju, toplota v ta odsek priteka s sevanjem iz vseh delov notranjosti stavbe in s konvekcijo

iz zraka v stavbi, zato je treba upoštevati dodatne toplotne upornosti, povezane z notranjo in zunanjo površino vsakega elementa. Ti upornosti se imenujeta  $R_{si}$  in  $R_{so}$  s skupnimi vrednostmi 0,12  $\text{Km}^2/\text{W}$  oziroma 0,06  $\text{Km}^2/\text{W}$  za notranjo in zunanjo površino. Nižja kot je vrednost  $U$ , boljši je material kot toplotni izolator, kar je prikazano na sliki 8



Slika 8: U-vrednost

Vir: (<https://stireks.si/wp-content/uploads/2021/12/U-vrednost-toplotne-izgube.jpg>)

Toplotna prevodnost se izračuna po enačbi (2)

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R + R_{so}},$$

kjer so:

$U$  toplotna prevodnost,

$R_{si}$  toplotna odpornost notranje površine elementa

$R_{so}$  toplotna odpornost zunanje površine elementa

$R$  toplotna odpornost posameznih materialov.

V praksi je to precej zapleten izračun, zato je najbolje uporabiti računalniško opremo za izračun toplotne prevodnosti. Mejne U-vrednosti po standardu SIST EN ISO 80000-5 so prikazane v tabeli 3, po eko skladu pa v tabeli 4. (<https://www.ekosklad.si>, 2021)

Tabela 4: Prikaz mejnih U-vrednosti

| Gradbeni elementi stavb, ki omejujejo ogrevane prostore                                                                                        | Toplotna prepustnost<br>$U_{\max}$ [W/(m <sup>2</sup> K)] |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom                                                                                             | 0,28                                                      |
| Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom – manjše površine, ki skupaj ne presegajo 10 % površine neprozornega dela zunanje stene     | 0,60                                                      |
| Stene, ki mejijo na ogrevane sosednje stavbe                                                                                                   | 0,50                                                      |
| Stene med stanovanji in stene proti stopniščem, hodnikom in drugim manj ogrevanim prostorom                                                    | 0,70                                                      |
| Notranje stene in medetažne konstrukcije med ogrevanimi prostori različnih enot, različnih uporabnikov ali lastnikov v nestanovanjskih stavbah | 0,90                                                      |
| Zunanja stena ogrevanih prostorov proti terenu                                                                                                 | 0,35                                                      |
| Tla na terenu (ne velja za industrijske stavbe)                                                                                                | 0,35                                                      |
| Tla nad neogrevano kletjo, neogrevanim prostorom ali garažo                                                                                    | 0,35                                                      |
| Tla nad zunanjim zrakom                                                                                                                        | 0,30                                                      |
| Tla na terenu in tla nad neogrevano kletjo, neogrevanim prostorom ali garažo pri panelnem – talnem ogrevanju (ploskovnem gretju)               | 0,30                                                      |
| Strop proti neogrevanemu prostoru, stropi v sestavi ravnih ali poševnih streh (ravne ali poševne strehe)                                       | 0,20                                                      |
| Terase manjše velikosti, ki skupaj ne presegajo 5 % površine strehe                                                                            | 0,60                                                      |
| Strop proti terenu                                                                                                                             | 0,35                                                      |
| Vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi z okvirji iz lesa ali umetnih mas                                                   | 1,30                                                      |
| Vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi z okvirji iz kovin                                                                  | 1,60                                                      |
| Strešna okna, steklene strehe                                                                                                                  | 1,40                                                      |
| Svetlobniki, svetlobne kupole (do skupno 5 % površine strehe)                                                                                  | 2,40                                                      |
| Vhodna vrata                                                                                                                                   | 1,60                                                      |
| Garažna vrata                                                                                                                                  | 2,00                                                      |

Vir: (Technical Committee EIC/TC 25, 2019)

Tabela 5: Prikaz mejnih U-vrednosti po eko skladu

| Tip strehe                                                                                               | $U_{\max}$ (W/m <sup>2</sup> K) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Strop proti neogrevanemu prostoru, stropi v sestavi ravnih ali poševnih streh (ravne ali poševne strehe) | 0,20                            |
| Terase manjše velikosti, ki skupaj ne presegajo 5% površine strehe                                       | 0,60                            |
| Strop proti terenu                                                                                       | 0,35                            |

Vir: (<https://ekosklad.si/prebivalstvo/informacije/strokovni-prispevek/toplotna-zascita-strehe>)

### ***3.6 Izolacijski materiali***

Organski izolacijski materiali so običajno sestavljeni iz naravnih in obnovljivih surovin iz živali ali rastlin. Za boljšo vezavo in večjo protipožarno zaščito so impregnirani ali opremljeni z umetnimi vlakni. Navsezadnje to tudi pomeni, da organski izolacijski materiali sami po sebi niso povsem trajnostni in naravni, kljub temu pa so običajno bolj okolju prijazni kot mineralne ali sintetične rešitve. Izolacijske materiale je mogoče uporabiti v vseh prostorih, razen v delih hiše, ki so izpostavljeni ekstremnim obremenitvam.

Mineralni izolacijski materiali so sestavljeni iz anorganskih snovi, kot so kamen, pesek ali apno. Ti so lahko tako sintetičnega kot naravnega izvora. Za izolacijske materiale je poleg dobre toplotne izolativnosti značilna naravna protipožarna zaščita.

Sintetični izolacijski materiali so poceni in ne gnijejo, zaradi česar so priljubljeni pri številnih gradbenikih. Sestavljeni so iz plastike, ki je bila predelana v trde pene. Čeprav so sintetični izolacijski materiali manj trajnostni v proizvodnji kot organski ali mineralni materiali zaradi svoje naftne osnove, so sintetični izolacijski materiali še posebej odporni in zato trpežni.

Bolj detajlno opišimo najpogostejše uporabljene izolacijske materiale.

#### ***3.6.1 Mineralna volna***

Mineralna volna (8) ali izolacijski materiali iz mineralnih vlaken vključujejo kameno in stekleno volno. Kamena volna je izdelana iz kamnin, kot so diabaz, bazalt ali dolomit, steklena volna je sestavljena iz 70 % odpadnega stekla, peska, sode in apna.

Umetno proizvedeni izolacijski materiali iz mineralnih vlaken imajo več kot 50-odstoten tržni delež in jih zaradi raznolikih področij uporabe najdemo v skoraj vseh delih stavb. V preteklosti so nekatere anorganske snovi sproščale vdihljiv vlaknat prah, ki je imel rakotvoren potencial. Izolacijski materiali iz mineralne volne, ki se danes proizvajajo, so brez možnosti nastanka zdravstvenih težav. Kameno volno je mogoče 100-odstotno reciklirati, če je obdelana glede na predelavo, ki je še bolj trajnostna kot recikliranje.

Različni proizvodni procesi privedejo do široke palete izolacijskih materialov iz mineralnih vlaken z različnimi lastnostmi, ki jih je mogoče uporabiti kjer koli v stavbi. Izdelki so na voljo za izolacijo poševnih streh, kot plošče za ravne strehe, fasadne plošče, za izolacijo predelnih sten, notranjo izolacijo, izolacijo proti udarnemu zvoku in za tehnično izolacijo. Izolacijski materiali iz mineralnih vlaken so negorljivi, vodoodbojni, se ne starajo in jih je enostavno obdelati. Imajo odlične izolativne lastnosti in so zato med najpogostejše uporabljenimi materiali za toplotno, zvočno in požarno zaščito.

Tehnične specifikacije:

Toplotna prevodnost  $\lambda$ : 0,030–0,050 W/(mK)

Gostota  $\rho$ : 8–500 kg/m<sup>3</sup>

Difuzijski upor vodne pare  $\mu$ : 1–2

Razred gradbenega materiala po DIN 4102: A1/A2



Slika 9: Mineralna volna

Vir: (<https://www.knaufinsulation.com/what-we-do/insulation-range/glass-mineral-wool>)

### ***3.6.2 Poliuretanske plastične pene***

Tako PUR (9) kot PIR sta narejena iz komponent izocianata (MDI) in polyola. Medtem ko komponenti MDI in polyol reagirata v uravnoteženem razmerju glede na molekulsko maso v PUR, obstaja znaten presežek MDI pri proizvodnji PIR. Ta komponenta nato delno reagira sama s seboj. Rezultat je PIR, zelo močno premrežena plastika z obročasto strukturo. Visoka stopnja povezanosti in obročaste strukture dajejo trdi peni PIR visoko stabilnost. PIR ima tudi odlično toplotno stabilnost in je dimenzijsko stabilen.

PIR je izboljšana različica PUR s še boljšo izolacijsko vrednostjo in boljšo požarno zaščito. Izolacijski material se proizvaja kot trda pena v ploščah z robovi na pero in utore. Pokrivni sloji

iz mineralnega flisa ali aluminijaste folije služijo na primer kot parna zapora, vidna površina ali kot zaščita pred mehanskimi poškodbami.

Trda pena PIR je lahka, odporna na pritisk, dimenzijsko stabilna, trajno vodoodbojna in odporna na večino kemikalij, ki se uporabljajo v gradbeništvu. Ne topi se niti pri visokih temperaturah in ima nizko toplotno prevodnost. Izolacijski materiali iz PIR-a so še posebej primerni za izolacijo ravnih streh s povečanimi zahtevami po tlačni obremenitvi, kot so parkirne strehe, pa tudi za tla, strope kleti, strop v zgornjem nadstropju in kot notranja izolacija.

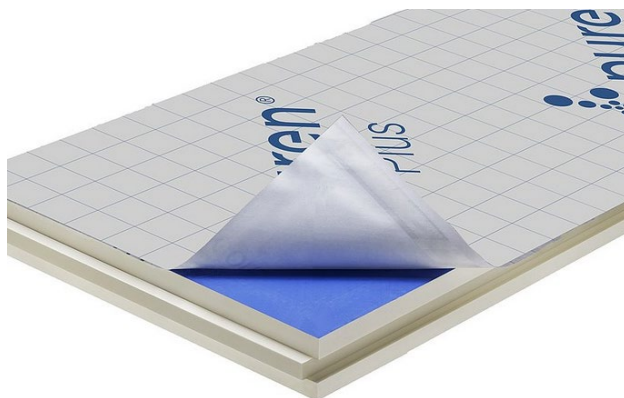
Tehnične specifikacije:

Toplotna prevodnost  $\lambda$ : 0,023–0,029 W/mK

Gostota: približno 30 kg/m<sup>3</sup> (Odvisno od področja uporabe in zahtevanega profila lastnosti so možne večje nasipne gostote do 250 kg/m<sup>3</sup>.)

Razred gradbenega materiala po DIN 4102-1: B2 normalno vnetljiv in B1 težko vnetljiv

Razred gradbenega materiala po DIN EN 13501-1: C negorljiv in D, E normalno vnetljiv



Slika 10: PIR pena

Vir: (<https://www.gbfoam.co.uk/polyurethane-foam-polyethylene/>)

### ***3.6.3 Izolacijski materiali iz celuloznih vlaken***

Izolacijski materiali iz celuloze (10) so narejeni iz mehansko zdrobljenega časopisnega papirja. Papir je razrezan, posušen, potresen in zapakiran. Ta izolacijski material se najpogosteje uporablja kot izolacija za vpihovanje, na voljo pa so tudi celulozne blazine ali peleti. Zahteve za celulozne izolacijske materiale urejajo soglasja gradbenih organov in DIN EN 15101-1 toplotnoizolacijski materiali za stavbe – toplotnoizolacijski material iz celuloznega polnila, proizvedenega na mestu uporabe (LFCI). Poraba primarne energije za proizvodnjo, vključno z vsemi procesi, je približno 50 kWh/m<sup>3</sup> (pri 50 kg/m<sup>3</sup>).

S kemičnimi dodatki (3–20 % borovih soli ali amonijevega fosfata) se dosega razrede gradbenih materialov od B2 do B1/B-s2, d0; C-s2, d0. Poleg tega morajo dodatki preprečiti napade škodljivcev. Izdelati je mogoče komponente z razredi požarne odpornosti od ognjevarnih do ognjeodpornih. Povprečna toplotna prevodnost je 0,04 W/(mK). Dobra toplotna sposobnost materiala ( $c = 2150 \text{ J/kgK}$ ) pomeni dobro poletno toplotno zaščito. Surova gostota materiala 60 kg/m<sup>3</sup> skupaj z debelino materiala daje prednost temu učinku. Pride do faznega premika (časovnega premika). Zunanja toplota zato pride v notranjost z zakasnitvijo (od 10 do 14 ur). To ublaži vročino. Gradbeni material lahko absorbira vlago iz okoliškega zraka in jo ponovno odda. Difuzijsko število vodne pare je med 1 in 2. Tudi zvočnoizolacijske lastnosti so dobre.

Obdelava običajno poteka s stroji, s katerimi se vlakna vpihujejo v komponente, ki jih izoliramo do debeline 40 cm. Tako nastane z vseh strani zaprta votlina, v katero se nato skozi odprtine vpihuje izolacijski material. Material je mogoče napihniti tudi za toplotno izolacijo neizoliranih zgornjih strešnih stropov, po katerih ni treba hoditi. V izjemnih primerih je možen tudi postopek škropljenja. V ta namen celulozo navlažimo z rahlo vodno meglico, poškopimo in odstranimo presežek s ploščato krtačo. Pri tem procesu je treba upoštevati čas sušenja, ki je odvisen od podnebja in uporabljenih materialov.

Druga možnost je, da nekaj proizvajalcev ponuja celulozo kot celulozne izolacijske preproge. Toplotna prevodnost je tu izboljšana na 0,039 W/mK. Surova gostota je 70kg/m<sup>3</sup>, tako da se lahko uporablja tudi kot zvočna izolacija. Predeluje se kot vpenjalni filc za polnilo v lesenih konstrukcijah in strešnih nosilcih. Debelina materiala se giblje od 30 do 180 mm. Širina vpenjanja je od 400 do 1100 mm. Na voljo so tudi peleti iz celuloze, to so granulati različnih velikosti (cca. 3–8 mm), ki se uporabljajo predvsem kot polnilo v tleh. (<https://www.isocell.com>, 2019)

Tehnične specifikacije:



Toplotna prevodnost  $\lambda$ : 0,04 W/(mK)

Gostota  $\rho$ : 60 kg/m<sup>3</sup>

Difuzijski upor vodne pare  $\mu$ : 1–2

Razred gradbenega materiala po DIN 4102: B2 normalno vnetljivo



Slika 11: Izolacija iz celuloznih vlaken

Vir: ([www.thespruce.com/cellulose-insulation-basics-1821904.png](http://www.thespruce.com/cellulose-insulation-basics-1821904.png))

### ***3.7 Izbira toplotne izolacije***

Večina izolacij izpolnjuje tehnične zahteve učinkovite rabe in rabe obnovljenih virov. Odpirajo se vprašanja o lastnosti, požarni zaščiti, ekologiji in stroških. Vsak projekt ima svoje specifikke, tudi z enakimi izolacijskimi lastnostmi so lahko različni izolacijski materiali zelo različni glede splošne energetske bilance, trajnosti, stroškov in požarne zaščite.

Obstaja več rešitev izolacije poševnih stavb, vendar se moramo držati veljavnih energetskih zakonov o stavbah. Smernice standardov so jasne za izvedbo. V tujini je eden od preizkusov preizkus zrakotesnosti. Za preverjanje zrakotesnosti zgradbe se lahko uporabi blower door test. Le če je stavba dovolj zrakotesna, lahko toplota ostane v hiši.

Prezračevalna vrata (12) so preprosto diagnostično orodje, ki se uporablja za merjenje količine zračnih filtrov iz vaše hiše (zrakotesnost doma). Odpihovalna vrata preizkuševalcem omogočajo dosledno izmeriti pritisk na hišo, tako da je hiše mogoče natančno primerjati. Ta

aparatus bo energetskega revizorja omogočil kvantificiranje. Revizor bo svoja vrata za pihanje postavil v zunanja vrata, obrnjena navzven, da zmanjša pritisk v domu (v večini primerov). Sistematično se bo premikal po domu in pripravljaj hišo za preizkus. Za natančne rezultate testa je treba nastaviti nekaj parametrov. Ko se konča prehod, bo revizor začel s preizkusom. Odvisno od velikosti doma test traja približno 2–4 ure. (<https://www.energy.gov>, 2021)

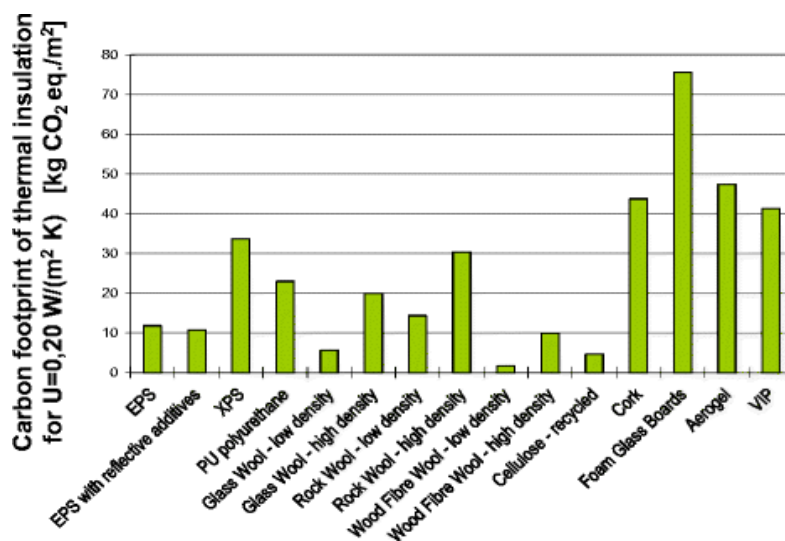


Slika 12: Blower door test

Vir: ([https://www.bpihomeowner.org/sites/default/files/styles/panopoly\\_image\\_original/public/blower-door-1.jpg](https://www.bpihomeowner.org/sites/default/files/styles/panopoly_image_original/public/blower-door-1.jpg))

## 4. NETO NIČELNA PRIHODNOST GRADBENE INDUSTRIJE – KROVNA TEMA

V okviru skupnega projekta "DreamResource" (FKZ 033RC002), ki ga financira zvezno ministrstvo za izobraževanje in raziskave (BMBF), je podjetje Puren gmbh iz Überlingena skupaj s Covestro Deutschland AG, Leverkusen in drugimi raziskovalnimi partnerji doseglo odlične rezultate. Tehnični napredek pri razvoju regenerativnih surovinskih komponent za proizvodnjo visokozmogljivega izolacijskega materiala poliuretanske trde pene je uspel. Proizvodnja surovin deloma temelji na ogljikovem dioksidu ( $\text{CO}_2$ ), ki nastaja v velikih količinah pri zgorevanju ogljikovih spojin in velja za enega glavnih povzročiteljev podnebnih sprememb. Z uporabo komponent iz trde pene na osnovi  $\text{CO}_2$  je bil v Überlingenu razvit in izdelan prvi prototip izolacijske plošče. Prve izolacijske plošče, ki uporabljajo surovino na osnovi  $\text{CO}_2$ , so popolnoma standardno skladne, kar je potrdilo tudi uradno testiranje neodvisnega raziskovalnega inštituta za toplotno izolacijo FIW iz Münchna. V večini so tehnične specifikacije že primerljive s tržnim standardom. Na poti do neto ničelne prihodnosti gradbene industrije bo izolacija stavb še bolj trajnostna, zahvaljujoč tej obetavni tehnologiji  $\text{CO}_2$ , odvisnost od fosilnih surovin pa bo zmanjšana. Seveda se zavedamo, da energetski prehod ne more uspeti brez učinkovite trajnostne izolacije stavb in brez optimizacije rabe energije obstoječih stavb. Prikaz primerjave karbonskega vpliva posameznih toplotnih izolacij je prikazan na sliki 13. (Technical Committee EIC/TC 25, 2019)



Slika 13: Prikaz vpliva TI na okolje za ustrezno izolacijo

Vir: (<https://www.researchgate.net/publication/Carbon-footprint-of-thermal-insulation-materials-needed-to-achieve-the-value-of-thermal.png>)

## **Kako izgleda izolacija prihodnosti?**

Inovativni izolacijski materiali, za katere velja naslednje: Dovoljeno je vse, kar je primerno za posamezen ukrep prenove. Čista narava, klasični izolacijski materiali ali visokotehnološki izdelki so prepuščeni željam lastnika in seveda denarnici.

Kako pa je videti izolacija prihodnosti? Ali obstajajo novosti pri izolacijskih materialih?

**Aerogeli:** Aerogeli so zelo porozne trdne snovi, v katerih do 99,98 % prostornine sestavljajo pore. Obstajajo različne vrste aerogelov, trenutno so najpogostejši tisti na osnovi silikata. Velikost por je v nanometriškem območju, notranje površine pa so lahko izredno velike – do 1000 m<sup>2</sup> na gram. Zaradi tega so aerogeli idealni za uporabo kot izolacijski materiali. Aerogeli so na voljo kot ohlapni izolacijski materiali za votline, pa tudi kot podloge. Razvit je bil tudi visoko zmogljiv izolacijski omet z aerogeli kot dodatki, ki izolira bistveno bolje kot klasični izolacijski omet. Zgodovinske stavbe je na primer mogoče energetsko prenoviti, ne da bi spremenili njihov videz. Slabost: stroški aerogelov so trenutno še vedno zelo visoki.

**Penasta plastika** iz polimerizirane mlečne kisline: glede celične strukture, izolacijskih lastnosti in tlačne trdnosti so takšni izolacijski materiali podobni EPS. To snov lahko pridobimo iz sladkorja ali koruze. Kot pogonsko gorivo se uporablja CO<sub>2</sub>. Material je popolnoma kompostiran. Gradbeni organi pa materiala še niso odobrili.

**Vakuumske izolacijske plošče (VIP):** VIP so visoko zmogljive plastične folije, ki vsebujejo podporno jedro iz praškastega izolacijskega materiala v vakuumu. Zaradi zelo majhne debeline izolacijskega materiala so vakuumске izolacijske plošče zanimive za energijsko zelo učinkovite sanacije in utesnjene prostore. Zaradi bistveno izboljšane kakovosti proizvodov in manjšajočih se cen se VIP vse bolj obravnava kot alternativa izolaciji strehe ali fasade. Predvsem pa je njihova uporaba vedno priporočljiva takrat, ko je mogoče prihraniti pri nadaljnjih ukrepih, kot sta na primer podaljšanje strešnega previsa ali zamik okenskih in vratnih odprtih, skratka, ko v gradbeni konstrukciji ni dovolj prostora.

## **4.1 Osebne izkušnje**

Mnenje mentorja je, da bi kot krovec napisal poglavje iz prakse, napisano iz osebnih izkušenj, zato bom poskušal odgovoriti na tri najpogostejše zastavljena vprašanja.

Kot krovec je pomembno vedeti, kaj je boljše – parna zapora ali parna ovira, premisliti je treba tudi mesto vgradnje – kje vgraditi izolacijo in katero.

### **Kaj je boljše, parna ovira ali parna zapora?**

Oba izraza se pogosto uporabljata kot sopomenki, vendar to ni pravilno. Čeprav imata oba gradbena materiala podobne naloge, se razlikujeta po učinku in strukturi. Medtem ko parna zapora vlage sploh ne prepušča, parne ovire omogočajo njeno prepuščanje v dovoljenih količinah.

Parne zapore se praviloma izvedejo na toplejši strani konstrukcije in morajo biti zrakotesne. Težava: če vlaga prodre v konstrukcijo skozi povezave komponent, reže ali spoje, ne more več najti izhoda. Da bi to preprečili, mora biti torej izvedba parne zapore popolnoma brez napak. Parna zapora se uporablja v mokrih prostorih, na primer v bazenu ali parni sobi, tam, kjer mora transport vlage delovati samo v eni smeri.

Parna ovira je material, ki mora svojo prepustnost za vodno paro prilagoditi podnebjem in relativni vlažnosti okolja. Parna ovira, ki se spreminja glede na vlago, je pozimi posebej tesna, poleti pa prepušča veliko vlage. Govori se o potencialu ponovnega sušenja, ki preprečuje poškodbe zaradi vlage v konstrukciji.

Pri izvedbi parne ovire med sloji toplotne izolacije je pravilo, da je največ 20 % toplotnega sloja pod parno oviro. To je zelo pogost primer pri sanacijah streh.

Kot krovec za poševne strehe glede na svojo prakso svetujem parno oviro, s tem mnenjem se iz prakse strinja tudi moj mentor Vladimir Dragorajac, univ. dipl. inž. grad.

### **Kje vgraditi izolacijo?**

Izolacija strehe od zunaj: Izolacija se pritrdi z zunanje strani nad špirovce. Prednost takšne izolacije je v neprekinjeni izolaciji strehe. Ker ni špirovcev, ki bi prekinjali toplotno plast, je na podstrešju manj šibkih točk.

Izolacija strehe med špirovci: Izolacijo je možno montirati z zunanje ali notranje strani. Ta varianta je priporočljiva, če je strešna kritina, vključno z letvami, v celoti obnovljena. Pri izdelavi izolacije ni treba odstraniti notranje obloge za kasnejšo izolacijo in prostore lahko uporabljamo tudi med obnovo strehe. Prednosti sta manjša celotna debelina krova in izkoriščena celotna debelina.

Izolacija strehe pod špirovci: Izolacija se pritrdi z notranje strani nad špirovce. Prednost takšne izolacije je v neprekinjeni izolaciji strehe. Velikokrat se uporablja v kombinaciji z izolacijo med špirovci. Največkrat se uporablja kot dodatna plast toplotne izolacije pri sanacijah.

Kot krovec na podlagi svoje prakse svetujem izolacijo med špirovci, ker pa je debelina špirovcev v večini manjša od potrebne debeline izolacije, se dodatno izbere ustrezna rešitev nad ali pod špirovci.

### **Katero izolacijo vgraditi?**

Kot monter že vrsto let vgrajujem izolacije, ki so najpogostejše iz mineralne volne. Poznamo vrednosti, ki jih moramo dosegati, da bo toplo. Pozabimo pa, kako topla so bila zadnja poletja in da ne bo šlo v prihodnje na bolje, potem se postavlja vprašanje, kaj lahko prepreči poletno vročino in ali jo lahko zmanjšamo na znosno mejo?

Kot krovec na podlagi prakse svetujem vpihovanje z ekološkimi izolacijskimi materiali, kot so lesna vlakna, celuloza, konoplja ...

Zato moramo vedeti, kaj je fazni zamik, ki se nanaša na zamudo pri prenosu toplote. Pomeni čas od trenutka, ko se pojavi najvišja temperatura na zunanji strani, do trenutka, ko je dosežena najvišja temperatura na notranji strani.

Da bo pregledno, bom prikazal na primeru:

1. PREREZ: Kritina

Letve s kontra letvami

Parna ovira

Izolacija lesena vlakna 200 mm

Parna ovira

Izolacija lesena vlakna 60 mm

Mavčna plošča 12,5 mm **Fazni zamik = 12 ur**



$$U = 0,17 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

1. PREREZ: Kritina

Letve s kontra letvami

Parna ovira

Izolacija mineralna volna 200 mm

Parna ovira

Izolacija mineralna volna 60 mm

Mavčna plošča 12,5 mm



$$U = 0,16 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

**Fazni zamik = 7ur**

V zgornjem primeru je podobna toplotna prevodnost, vendar veliko slabši rezultati faznega zamika. Z izbiro prave izolacije imamo skoraj enkrat boljše možnosti, da preprečimo poletno vročino. Vendar pa je odvajanje toplote navzven s prenosom skozi streho, ki je dobro izolirana, skoraj zanemarljivo. Pomaga le nočno zračenje (podnevi zaprta okna in zasenčena). Prezračite takoj, ko in dokler je zunanja temperatura nižja od notranje temperature.

## 4.2 Primeri iz prakse

Ko v praksi izvajamo toplotno izolacijo, moramo pred tem določiti, kje bo izolacija, ali bo streha prezračevalna ali ne in na kakšen način bomo izolirali. Najpogosteje se odločimo za toplotno izolacijo nad špirovci (slika 14), ker to najučinkoviteje prepreči toplotne mostove. Zaradi tega se ta vrsta izolacije uporablja pri večini novogradenj, vendar povzroča višje stroške. Izolacija med in pod špirovci je bistveno cenejša in lažja za vgradnjo. Ima pa tudi slabosti, da špirovci ostanejo kot obstoječi toplotni most in da je v notranjosti zmanjšana izolacija.

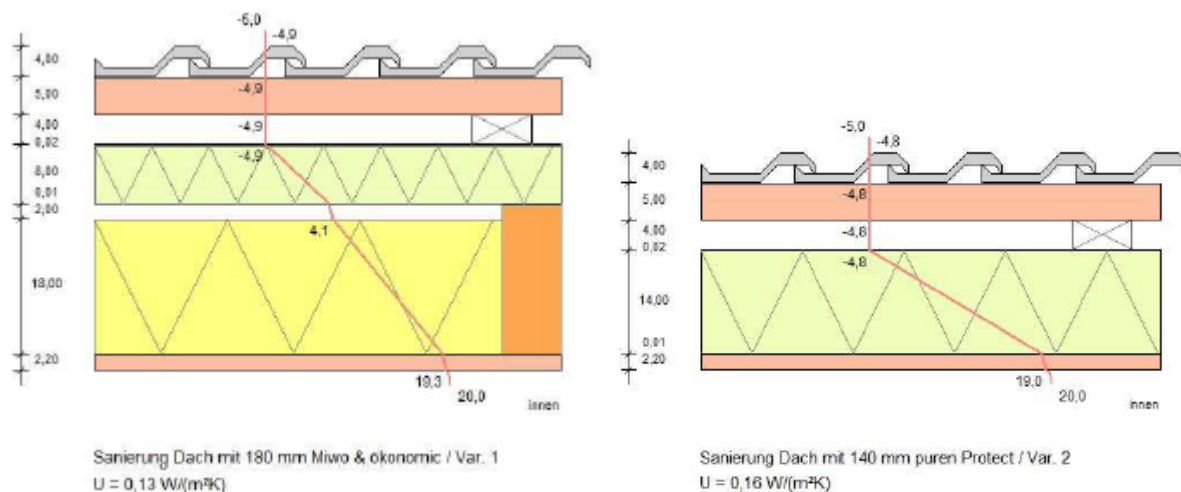


Slika 14: Prikaz TI nad špirovci

Vir: Lastni vir

Način izolacije objekta se naredi tako, da načrtujemo prečni prerez z izolativnimi materiali, ki jih lahko uporabimo, in da izberemo najprimernejšega glede na vrsto ali zahtevo. Glavni stvari, ki ju tukaj želimo izvedeti, sta debelina toplotne izolacije in U-vrednost, kar je opisano v prejšnjem poglavju. Primer dveh takih sistemov je prikazan na sliki 15, kjer je na levi strani prikazan primer z mineralno volno + PIR izolacijo z integrirano paroprepustno folijo, na katero se montira kontra letve ter prečne s kritino. Na desni strani je prikazan primer debelejšega sloja PIR (iz 8 cm na 14 cm), na katerega se montira kontra letve in prečne s kritino. Izračuni toplotne odpornosti posameznih materialov je prikazan na sliki 16.





Slika 15: Prikaz prereza z MV + PIR (levo) in PIR (desno)

Vir: (K. Hottges, 2002)

### 1.3 Rahmenbereich

| Rahmenbreite                        | Achsabstand | zusammengesetztes Bauteil |                        |                  |                         |
|-------------------------------------|-------------|---------------------------|------------------------|------------------|-------------------------|
| 8,0 cm                              | 95,0 cm     | 8,4 %                     | 71,0 kg/m <sup>2</sup> |                  |                         |
| Rahmenanteil von innen              | s<br>cm     | ρ<br>kg/m <sup>3</sup>    | kg/m <sup>2</sup>      | λ<br>W/(mK)      | R<br>m <sup>2</sup> K/W |
| R <sub>s1</sub>                     |             |                           |                        |                  | 0,100                   |
| 01 Holzschalung 22 mm               | 2,20        | 600                       | 13,2                   | 0,130            | 0,169                   |
| 02 Nutzholz 500                     | 20,00       | 500                       | 100,0                  | 0,130            | 1,538                   |
| 03 ökonomik hygrotop                | 0,01        | 400                       | 0,1                    | —                | —                       |
| 04 ökonomik                         | 8,00        | 30                        | 2,4                    | 0,027            | 2,963                   |
| 05 integrierte Unterdeckbahn Diffuc | 0,02        | —                         | —                      | —                | —                       |
| 06 Konterlattung                    | 4,00        | —                         | —                      | —                | —                       |
| 07 Traglattung                      | 5,00        | —                         | 2,0                    | —                | —                       |
| 08 Dachdeckung                      | 4,00        | —                         | 40,0                   | —                | —                       |
| R <sub>se</sub>                     |             |                           |                        |                  | 0,040                   |
|                                     | 43,23       |                           | 157,7                  | R <sub>T</sub> = | 4,81                    |

### 1.2 Querschnitt

| von innen                           | s<br>cm | ρ<br>kg/m <sup>3</sup> | kg/m <sup>2</sup> | λ<br>W/(mK)      | R<br>m <sup>2</sup> K/W |
|-------------------------------------|---------|------------------------|-------------------|------------------|-------------------------|
| R <sub>s1</sub>                     |         |                        |                   |                  | 0,100                   |
| 01 Holzschalung 22 mm               | 2,20    | 600                    | 13,2              | 0,130            | 0,169                   |
| 02 puren TOP DSB 100                | 0,01    | 200                    | 0,0               | —                | —                       |
| 03 puren Protect                    | 14,00   | 30                     | 4,2               | 0,023            | 6,087                   |
| 04 integrierte Unterdeckbahn Diffuc | 0,02    | —                      | —                 | —                | —                       |
| 05 Konterlattung                    | 4,00    | —                      | —                 | —                | —                       |
| 06 Traglattung                      | 5,00    | —                      | 2,0               | —                | —                       |
| 07 Dachdeckung                      | 4,00    | —                      | 40,0              | —                | —                       |
| 08                                  | —       | —                      | —                 | —                | —                       |
| R <sub>se</sub>                     |         |                        |                   |                  | 0,040                   |
| d =                                 | 29,23   | G =                    | 59,4              | R <sub>T</sub> = | 6,40                    |

Slika 16: Prikaz izračuna MV + PIR (zgoraj) in PIR (spodaj)

Vir: (K. Hottges, 2002)

Na sliki 17 je bila narejena sanacija strehe s pločevinasto trapezno kritino z integrirano izolacijo poliuretan. Na sliki 18 je prikazana sanacija s pocinkanimi Z-profilmi, vijачenimi v AB-ploščo, med katere se je položila parna zapora. Vmesni prostor Z-profilov se je zapolnil s puhasto izolacijo, na katero se je pritrdila pločevinasta kritina z integrirano izolacijo.



Slika 17: Sanacija strehe s pločevinasto trapezno kritino

Vir: Lasten vir



Slika 18: Sanacija strehe

Vir: Lasten vir

Posledice slabe izolacije: na slikah 19 in 20 je prikazana plesen, ki najraje raste na toplih in vlažnih mestih. Običajno jo najprej prepoznamo po nastalih krogih, ki se kmalu razširijo, če ne ukrepamo. Črna plesen naj bi bila strupena in povzroča številne zdravstvene težave.



Slika 19: Plesen na sekundarni kritini

Vir: Lasten vir



Slika 20: Poškodovano ostrešje s plesnijo

Vir: <https://www.gutachter-schimmel.de/Schimmel-im-Dach>

Posledice slabe izolacije so vidne tudi na sliki 21, na kateri se vidijo velike toplotne izgube skozi streho. To je najbolj vidno, ko na objekt pade sneg, ki se na krajih z velikimi toplotnimi izgubami stali veliko hitreje kot drugje. Primer dobro izolirane strehe je prikazan na sliki 22, kjer je sneg enakomerno razporejen po celotni površini, kar pomeni, da ne prihaja do toplotnih mostov kot v prvem primeru.



Slika 21: Toplotne izgube skozi streho

Vir: <https://www.randrheating.com/wp-content/uploads/2016/11/prevent-ice-dams.webp>



Slika 22: Primer dobro izolirane strehe

Vir: <https://media.askthebuilder.com/legacy/snowroof02.jpg>



## 5. SKLEP

Pred pisanjem diplomskega dela smo si zadali štiri hipoteze.

Hipotezo H1, da lahko z dobrim načrtovanjem in kvalitetno izvedbo izboljšamo energetsko učinkovitost, lahko potrdimo, saj je razvidno iz poglavij, da pravilna in kvalitetna izvedba vodi do preprečevanja toplotnih mostov, vdora vlage in nastanka plesni. Pravilno načrtovanje celotnega prereza, strešna kritina katera varuje objekt pred raznimi vplivi. Sekundarna kritina je zaščita pred vdorom meteorne vode, napihanega snega in prahu pod strešno površino. Toplotnoizolacijski sloj (mineralna volna, PIR, celuloza) varuje pred mrazom, vročino, hrupom. Parna zaščitna uravnava pretok vodne pare in ščiti pred vlago. Polaga se neposredno pod plast toplotne izolacije. Pri izolaciji je treba upoštevati, da vlaga ne kondenzira v strehi in stenah. To ne bi vplivalo samo na izolacijo, ampak bi tudi poškodovalo komponente, zato mora biti izolacijska konstrukcija izdelana tako, da omogoča prehod vlage skozi komponento, ali pa je treba na notranji strani prostora izvesti parno oviro oz. zaporo. Preboji skozi to parno oviro ali zaporno plast za inštalacije, kot so svetilke ali slike, morajo biti narejeni v skladu s pravili. Vse druge inštalacije, kot sta voda in elektrika, naj bodo nameščene proti notranjosti pred zrakotesno plastjo.

Hipoteza H2 se nanaša na pravilno izbiro izolacijskih sistemov, ki imajo prednost pri premišljanju vpliva na dolgotrajnost in ekonomičnost gradnje. Lahko jo potrdimo, saj smo ugotovili, da se izbira izolacijskih sistemov razlikuje glede na potrebe, ki jih objekt zahteva. V primeru, da ne izberemo pravilnega izolacijskega sistema, lahko v objektu pride do velikih napak, kot so vdor vlage, toplotni mostovi in nastanek plesni. Vse toplotne izolacije niso namenjene za vse objekte, razlikujejo se po fizikalnih lastnostih, kot sta trdnost in toplotna prepustnost, in z ekonomskega vidika tudi po ceni. Za izolacijo med špirovci so materiali v obliki blazin, vlaken ali zvitkov. Za izolacijo na špirovcih se običajno uporabljajo trdne izolacijske plošče iz pene ali lesene vlaknene plošče. Izolacijski material mora biti primeren za področje uporabe. Ekonomičnost gradnje pomeni, da mora biti material primeren za področje uporabe in da mora ohranjati energijo ter naravne vire.

Hipoteza H3 se nanaša na uporabo ekoloških okolju in človeku prijaznih materialov pri gradnji in sanaciji, s čimer zagotovimo zdravje alergikom in ostalim uporabnikom. Hipotezo H3 tudi potrdimo, saj z izogibanjem škodljivih snovi in emisij bistveno povečamo vpliv na počutje in zdravje uporabnikov objekta. Vzroke za bolezni in alergije vse pogosteje najdemo med lastnimi

štirimi stenami in v materialih, ki so v njih uporabljeni, če gradnja ni izvedena strokovno ali če so bili uporabljeni slabši materiali, zato delamo predvsem z gradbenimi materiali, ki so zdravi za bivanje in biološko neškodljivi, da preprečimo alergije in bolezni. Hladne stene, vlažna gradbena tkanina, plesen, prepih ter hladna tla in stropi so pogosto vzrok za slabo počutje in bolezni. S pomočjo pravilne energetske gradnje lahko te zdravju škodljive dejavnike odpravimo. Ob velikem varčevanju z energijo imamo tudi pozitivne učinke: občutno se poveča kakovost življenja in v stanovanju ali hiši se počutite veliko udobneje.

Zadnja hipoteza H4 govori o neto ničelni prihodnosti gradbeništva in uporabi CO<sub>2</sub> ter ostalih materialov prihodnosti za toplotne izolatorje. Hipotezo lahko delno potrdimo, saj je to dobra ekološka rešitev, vendar se moramo zavedati, da energetski prehod ne more uspeti brez optimizacije rabe energije že obstoječih stavb. Z uporabo CO<sub>2</sub>, aerogelov, penaste plastike in vakuumsko izolacijskih plošč lahko bistveno pomagamo okolju.

Dobri kriteriji za toplotno izolacijo so okolju prijazna montaža, kratke transportne poti, možnost recikliranja, izogibanje nevarnim odpadkom. Surovina za lesnovlaknene plošče se pogosto uvaža iz vzhodne Evrope, perlit se pridobiva v južni Evropi ali Južni Ameriki. Tudi kremenčev pesek, surovina za stekleno volno, je sporen kot omejeni vir, vendar so se posamezni proizvajalci že odzvali na to težavo in v proizvodnji uporabljajo odpadno steklo. Penasti izolacijski materiali temeljijo na fosilni surovini – surovi nafti, vendar so transportni stroški in poraba surovin nizki (XPS je sestavljen iz 98 % zraka). Sintetični dodatki so pogosto uporabljeni tudi pri izolacijskih materialih za plošče iz obnovljivih surovin, kar pomeni, da je kompostiranje ali materialna reciklaža izolacijskih materialov izključena, medtem ko je reciklaža materiala tehnično mogoča že pri penastih izolacijskih materialih. Noben izolacijski material ne more brez transporta, energije za predelavo in surovin.

O kompleksnih učinkih izolacijskih ukrepov je zato treba razpravljati z vidika trajnosti. Ta izraz je uporabljen pri okoljevarstvenih, socialnih in ekonomskih merilih. Najboljši ekološki koncepti so neuporabni, če jih ni mogoče implementirati na vseh področjih in niso cenovno dostopni večini lastnikov stanovanj. Ekologija za višje zaslužke s strani države torej ne more biti trajnostna.

Zaradi razprave o varstvu podnebja in okoljevarstveni ozaveščenosti tudi pri gradbenih materialih prihajajo v ospredje okoljevarstveno pomembni vidiki. Vendar pa so izolacijski materiali pomemben del okolju prijazne in trajnostne gradnje ter pomagajo zmanjšati vpliv

človekovih dejavnosti na okolje. Učinki izolacijskih ukrepov so neodvisni od izbire surovin in v vsakem primeru očitno presegajo porabo virov in energije.

Na koncu te analize ima vsak nekoliko drugačno številčno vrednost. In ta je tudi najpomembnejša osnova za ekološko gradnjo hiše, od katere je odvisno, kako bo objekt na koncu izpadel.

Če pa na stavbo gledamo kot na celoto bivalne kakovosti, oskrbe in poznejšega recikliranja, dopolnjeno z ustrezno energijsko in CO<sub>2</sub> bilanco stavbe, lahko pridemo do jasnega zaključka, da je kvalitetna gradnja vedno prava smer – tako za naročnika kot za prebivalce, še bolj pa za naš planet.

## 6. VIRI, LITERATURA

- Davorin Žitnik, J. L. (2012). *Gradbeniški priročnik*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.
- Erik Nekrep, M. P. (2005). *Strehe: krovška dela*. Ljubljana: Obrtna zbornica Slovenije.
- K. Hottges, D. A. (2002). *Deutsche Energieeinsparverordnung*. Berlin.
- Peter Šteflič, M. P. (2014). *Analiza natančnosti ponastavljenih metod za toplotne mostove*. Maribor: Univerza v Mariboru.
- Technical Committee EIC/TC 25. (2019). *SIST EN ISO 80000-5*. Geneva: Switzerland.
- Žemva, Š. (2010). *Gradbene kalkulacije z osnovami operativnega planiranja in obračunom gradnje objekta*. Ljubljana: Gospodarska zbornica Slovenije.
- Slobodan N. Ilić (1999). *Klasični drveni krovovi*. Tiraž: Edicija Archigram.
- R. Muller Verlag (2017). *Dach, Wand und Abdichtungstechnik*. Bad Hersfeld:
- <https://www.ekosklad.si>. (2021). Pridobljeno s <https://www.ekosklad.si/prebivalstvo/informacije/strokovni-prispevek/toplotni-mostovi-v-ovoju-stavb>
- <https://www.energy.gov>. (2021). Pridobljeno s <https://www.energy.gov/energysaver/blower-door-tests>
- <https://www.knaufinsulation.si/>. (brez datuma). Pridobljeno s <https://www.knaufinsulation.si/>: (<https://www.knaufinsulation.si/>)
- <https://www.mojmojster.net>. (2016). Pridobljeno s MojMojster: <https://www.mojmojster.net>
- <https://www.isocell.com>. (2019). Pridobljeno s <https://www.isocell.com/sl/celulozna-izolacija>
- <https://si.puren.com/gradnja/posevna-streha/>
- <https://www.knaufinsulation.si/>
- <https://stireks.si/r-vrednost-in-u-vrednost-toplotna-izolacija/>
- <https://www.gutachter-schimmel.de/Schimmel-im-Dach>