VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

PRIMERJAVA IZOLACIJE IZ EKSPANDIRANEGA POLISTIRENA (EPS) IN IZOLACIJE IZ LESNIH VLAKEN

Kandidatka: Anaja Leljak

Vrsta študija: študentka izrednega študija

Študijski program: Gradbeništvo

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

Mentor v podjetju: Katja Arhar, univ. dipl. inž. arh.

Lektor: Nina Rabzelj, dipl. slov. (UN)

Maribor, 2026

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisana Anaja Leljak sem avtorica diplomskega dela z naslovom *Primerjava izolacije iz ekspandiranega polistirena (EPS) in izolacije iz lesnih vlaken*, ki sem ga napisala pod mentorstvom Vladimirja Dragorajca.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela;
- sem poskrbela, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor;
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot mojih lastnih – 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.

Škofljica, julij 2026 Podpis študenta:

ZAHVALA

Hvala družini in prijateljem za podporo in spodbujanje pri pisanju.

POVZETEK

Diplomsko delo primerja izolacijo iz ekspandiranega polistirena (EPS) in izolacijo iz lesnih vlaken z vidika tehničnih, toplotnih, okoljskih, ekonomskih in trajnostnih lastnosti. Namen dela je bil ugotoviti, kako se izbrana materiala razlikujeta pri uporabi v fasadnih sistemih ter kateri material je primernejši glede na različne zahteve gradbenega projekta. Primerjava je bila izvedena na podlagi strokovne literature, tehničnih listov proizvajalcev, okoljskih deklaracij proizvodov in praktičnega primera stanovanjske hiše Z. V delu sta bila analizirana fasadni EPS JUBIZOL EPS F – W1 in lesno-vlaknena izolacija STEICOspecial dry. Pri osnovnih toplotnih lastnostih je bilo ugotovljeno, da imata materiala zelo podobno toplotno prevodnost. EPS ima nekoliko nižjo vrednost toplotne prevodnosti, zato pri enaki debelini dosega nekoliko boljšo stacionarno toplotno izolativnost. Lesno-vlaknena izolacija pa ima bistveno večjo gostoto in višjo specifično toplotno kapaciteto, zaradi česar bolje akumulira toploto in ugodneje vpliva na poletno toplotno stabilnost stavbe. Poseben poudarek je bil namenjen tudi faznemu zamiku in faktorju dušenja, saj ta kazalnika bolje prikažeta obnašanje konstrukcije pri poletnem pregrevanju. Primerjava celotnega stenskega sklopa je pokazala, da lesno-vlaknena izolacija dosega večji fazni zamik in boljše dušenje temperaturnega vala kot EPS. To pomeni, da je primernejša za objekte, kjer je pomembno poletno bivalno ugodje. Okoljska primerjava je temeljila na LCA analizi oziroma EPD deklaracijah. Ugotovljeno je bilo, da ima lesno-vlaknena izolacija ugodnejši ogljični odtis, saj je izdelana iz obnovljive surovine in v času uporabe skladišči biogeni ogljik. EPS temelji na fosilnih surovinah, zato ima večji vpliv na okolje, čeprav je zaradi nizke mase, dobre izolativnosti in enostavne vgradnje še vedno zelo razširjen material. Na primeru hiše Z je bila izdelana tudi stroškovna primerjava. Izračun je pokazal, da je izvedba z EPS izolacijo bistveno cenejša od izvedbe z lesno-vlakneno izolacijo. EPS je zato ekonomsko ugodnejša izbira, medtem ko lesno-vlaknena izolacija predstavlja dražjo, vendar trajnostno in toplotno učinkovitejšo rešitev z vidika poletnega ugodja. Končna ugotovitev dela je, da izbira izolacijskega materiala ne sme temeljiti samo na ceni ali toplotni prevodnosti, ampak mora vključevati širšo primerjavo tehničnih, okoljskih, ekonomskih in izvedbenih dejavnikov.

Ključne besede: *EPS, lesno-vlaknena izolacija, toplotna prevodnost, fazni zamik, ogljični odtis, fasadna izolacija.*

ABSTRACT

Comparison of expanded polystyrene (EPS) insulation and wood fiber insulation

The diploma thesis compares expanded polystyrene insulation (EPS) and wood fibre insulation in terms of their technical, thermal, environmental, economic and durability-related properties. The purpose of the thesis was to determine how the selected materials differ when used in façade systems and which material is more suitable depending on the requirements of a specific construction project. The comparison was based on professional literature, manufacturers' technical data sheets, environmental product declarations and a practical case study of residential house Z, which has 230 m² of façade surface.

The analysed materials were JUBIZOL EPS F – W1 façade EPS and STEICOspecial dry wood fibre insulation. In terms of basic thermal properties, the comparison showed that both materials have very similar thermal conductivity. EPS has a slightly lower thermal conductivity value, which means that at the same thickness it provides slightly better steady-state thermal insulation. Wood fibre insulation, however, has a significantly higher density and higher specific heat capacity, which allows it to store more heat and contributes to better summer thermal stability of the building. Special attention was also given to phase shift and the decrement factor, as these indicators provide a better understanding of how the construction behaves during summer overheating. The comparison of the complete wall assembly showed that wood fibre insulation achieves a greater phase shift and better attenuation of the temperature wave than EPS. This means that it is more suitable for buildings where summer indoor comfort is an important design criterion. The environmental comparison was based on LCA analysis and environmental product declarations. The results showed that wood fibre insulation has a more favourable carbon footprint, as it is made from a renewable raw material and stores biogenic carbon during its service life. EPS, on the other hand, is based on fossil raw materials and therefore has a greater environmental impact. Nevertheless, due to its low weight, good insulation performance and simple installation, it remains a widely used insulation material. A cost comparison was also carried out on the example of house Z.

The calculation showed that the façade system using EPS insulation is significantly cheaper than the system using wood fibre insulation. EPS is therefore the more economical choice, while wood fibre insulation represents a more expensive but more sustainable and thermally effective solution, especially in terms of summer comfort. The final conclusion of the thesis is that the

selection of an insulation material should not be based solely on price or thermal conductivity, but should include a broader comparison of technical, environmental, economic and installation-related factors.

Keywords: *EPS, wood fibre insulation, thermal conductivity, phase shift, carbon footprint, façade insulation.*

KAZALO VSEBINE

1 UVOD 10

1.1 OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA 10

1.2 NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE 10

1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE 11

1.4 UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE 12

2 DELO V PROJEKTNI SKUPINI 13

2.1 VARSTVO PRI DELU IN ORGANIZACIJA GRADBIŠČA 16

3 OPIS PRIMERJANIH IZOLACIJ 20

3.1 EKSPANDIRAN POLISTIREN 20

3.1.1 Postopek proizvodnje 20

3.1.2 Zgodovinski razvoj EPS 20

3.1.3 Uporaba v gradbeništvu 21

3.1.4 Slabosti in omejitve uporabe 21

3.2 LESNO-VLAKNENA IZOLACIJA 22

3.2.1 Postopek proizvodnje 22

3.2.2 Razvoj lesno-vlaknene izolacije 23

3.2.3 Uporaba v gradbeništvu 23

3.2.4 Slabosti in omejitve uporabe 24

4 PRIMERJAVA IZOLACIJ 25

4.1 FIZIKALNE LASTNOSTI 25

4.1.1 Lesno-vlaknena izolacija Steico special dry 25

4.1.2 EPS izolacija JUBIZOL EPS F – W1 26

4.1.3 Primerjava toplotnih lastnosti EPS in lesno-vlaknene izolacije 26

4.1.4 Dolgoročna trajnost izolacij 28

4.2 OGLJIČNI ODTIS 29

4.2.1 Povzetek LCA analize za lesno-vlakneno izolacijo STEICOspecial dry 31

4.2.2 Povzetek LCA analize za EPS izolacijo 34

4.2.3 Primerjava LCA analize EPS in lesno-vlaknene izolacije 37

4.3 FAZNI ZAMIK 38

4.3.1 CLT konstrukcija z 20 cm lesno-vlaknene izolacije STEICOProtect dry 41

4.3.2 CLT konstrukcija z 20 cm JUBIZOL EPS F-W1 42

4.3.3 Primerjava rezultatov 43

4.4 STROŠKI GRADNJE 45

4.4.1 Strošek materiala 45

4.4.2 Strošek vgradnje 47

4.4.3 Primerjava na obravnavanem primeru 47

5 UGOTOVITVE 50

6 SKLEP 52

7 VIRI, LITERATURA 55

KAZALO SLIK

SLIKA 1: PREČNI PREREZ HIŠE Z 14

SLIKA 2: SEVEROZAHODNA FASADA 15

SLIKA 3: RENDER HIŠE Z 16

SLIKA 4: PRIMER GRADBENEGA ODRA Z VSEMI ELEMENTI: ZAŠČITNO OGRAJO, ROBNIMI DESKAMI , DIAGONALAMI ITD. 17

SLIKA 5: ZAŠČITNA ČELADA 18

SLIKA 6: ZAŠČITNI DELOVNI ČEVLJI S KAPICO IN NEDRSEČIM PODPLATOM 18

SLIKA 7: VAROVALNI PAS ZA DELO NA VIŠINI 18

SLIKA 8: JUBIZOL EPS F -W1 20

SLIKA 9: FASADNA LESNO-VLAKNENA PLOŠČA STEICOSPECIAL DRY 22

SLIKA 10: SUHI NAČIN PRIDELOVANJA LESNO-VLAKNENIH IZOLACIJSKIH PLOŠČ 23

SLIKA 11:PRIKAZ FAZ ŽIVLJENJSKEGA CIKLA LESNO-VLAKNENE IZOLACIJE STEICOSPECIAL DRY 32

SLIKA 14: IZRAČUN Z LESNO-VLAKNENO IZOLACIJO 41

SLIKA 15: IZRAČUN Z EPS IZOLACIJO 42

SLIKA 16: IZSEK IZ CENIKA ZA IZOLACIJO STEICOPROTECTDRY 46

SLIKA 17: IZSEK IZ CENIKA ZA IZOLACIJO JUBIZOL EPS F-W1 46

SLIKA 18: DELAVNIŠKI NAČRT CLT KONSTRUKCIJE, NA KATERO SE JE ZMONTIRALA FASADNA IZOLACIJA 47

KAZALO TABEL

TABELA 1: GWP REZULTATI IZ OKOLJSKE DEKLARACIJE PROIZVODA 33

TABELA 2: GWP REZULTATI IZ OKOLJSKE DEKLARACIJE PROIZVODA EPS 36

TABELA 3: PRIMERJAVA REZULTATOV IZ KALKULATORJA 43

TABELA 4: CENOVNA PRIMERJAVA IZOLACIJ 48

SEZNAM KARTIC

EPS = ekspandirani polistiren

ETICS = kontaktni fasadni sistem

LCA = analiza življenjskega cikla proizvoda

EPD = okoljska deklaracija proizvoda

GWP = potencial globalnega segrevanja

1 UVOD

Učinkovita toplotna zaščita stavb danes predstavlja enega ključnih dejavnikov trajnostne gradnje, energetske učinkovitosti in bivalnega udobja. Izolacijski materiali imajo pri tem osrednjo vlogo, saj pomembno vplivajo na toplotne izgube, porabo energije ter dolgoročne stroške uporabe objektov. Hkrati se zaradi vse večjega poudarka na varovanju okolja in trajnostni rabi virov v ospredje postavlja tudi vprašanje izbire ustreznega izolacijskega materiala.

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Raziskovalno področje diplomskega dela zajema toplotno izolacijo stavb ter primerjavo dveh pogosto uporabljenih izolacijskih materialov – ekspandiranega polistirena (EPS) in izolacije iz lesnih vlaken – z vidika njunih fizikalnih, toplotnih, ekoloških in ekonomskih lastnosti. V sodobnem gradbeništvu ima izbira ustrezne toplotne izolacije ključno vlogo pri zagotavljanju energijske učinkovitosti, trajnosti objektov in kakovosti bivalnega okolja. Hkrati narašča pomen uporabe naravnih materialov ter zmanjševanja ogljičnega odtisa v celotnem življenjskem ciklu stavb.

Osrednji problem raziskave predstavlja vprašanje, kako se EPS in lesna vlakna med seboj razlikujejo glede toplotne prevodnosti, odziva na temperaturne in vlažnostne razmere, vpliva na okolje, stroškov skozi življenjski cikel ter dolgoročne trajnosti. Dodatno je pomembno ugotoviti, kateri material je primernejši za različne vrste gradbenih projektov in v katerih primerih lahko naravna izolacija predstavlja enakovredno ali bolj trajnostno alternativo sintetičnim materialom. Temo sem izbrala zaradi svoje neposredne poklicne vpetosti v področje gradnje lesenih hiš, kjer je poznavanje lastnosti izolacijskih materialov ključno za strokovno svetovanje investitorjem in kakovostno izvedbo projektov.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je primerjati lastnosti ekspandiranega polistirena (EPS) in izolacije iz lesnih vlaken z vidika toplotne učinkovitosti, ekološkega vpliva, trajnosti, stroškov ter primernosti uporabe v različnih gradbenih projektih. Cilj je pridobiti poglobljeno razumevanje razlik med sintetičnimi in naravnimi izolacijskimi materiali ter oblikovati strokovno utemeljene zaključke za njihovo uporabo v praksi.

Glavni cilji diplomskega dela so:

- analizirati fizikalne in toplotne lastnosti EPS in lesnih vlaken;
- primerjati toplotno prevodnost in izolativnost obeh materialov;
- raziskati ekološke učinke, ogljični odtis ter možnosti recikliranja skozi celoten življenjski cikel;
- primerjati stroške nabave, montaže in dolgoročnega vzdrževanja;
- določiti primernost posamezne izolacije za različne vrste gradbenih projektov;
- oceniti dolgoročno trajnost materialov glede odpornosti na vlago, plesni in mehanske obremenitve.

Osnovne hipoteze diplomskega dela so:

H1: Lesna vlakna kot izolacijski material povzročijo manjši ogljični odtis skozi celoten življenjski cikel v primerjavi z EPS.

H2: Izolacija iz lesnih vlaken ima slabšo toplotno prevodnost kot EPS.

H3: Izolacija iz lesnih vlaken ima boljši fazni zamik kot EPS.

H4: Toplotna izolacija iz EPS bistveno prispeva k nižjim stroškom gradnje, zato je pogosteje uporabljena pri gradnji dostopnih stanovanj v primerjavi z izolacijo iz lesnih vlaken.

1.3 Predpostavke in omejitve

Pri izdelavi diplomskega dela izhajam iz predpostavke, da so podatki iz strokovne literature, tehničnih listov proizvajalcev in relevantnih standardov zanesljivi ter medsebojno primerljivi. Predpostavljam tudi, da analizirane lastnosti materialov ustrezno odražajo njihovo dejansko uporabo v gradbeni praksi.

Omejitve raziskave se lahko pojavijo zaradi omejene dostopnosti nekaterih strokovnih virov, razlik v metodologiji meritev med proizvajalci ter dejstva, da analiza temelji predvsem na sekundarnih virih in ne na lastnih eksperimentalnih meritvah. Dodatna omejitev je osredotočenost na izbrane ključne lastnosti materialov in tipične gradbene aplikacije, zato rezultati ne bodo nujno prenosljivi na vse možne konstrukcijske rešitve ali specifične projektne pogoje.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomskem delu bodo uporabljene naslednje raziskovalne metode:

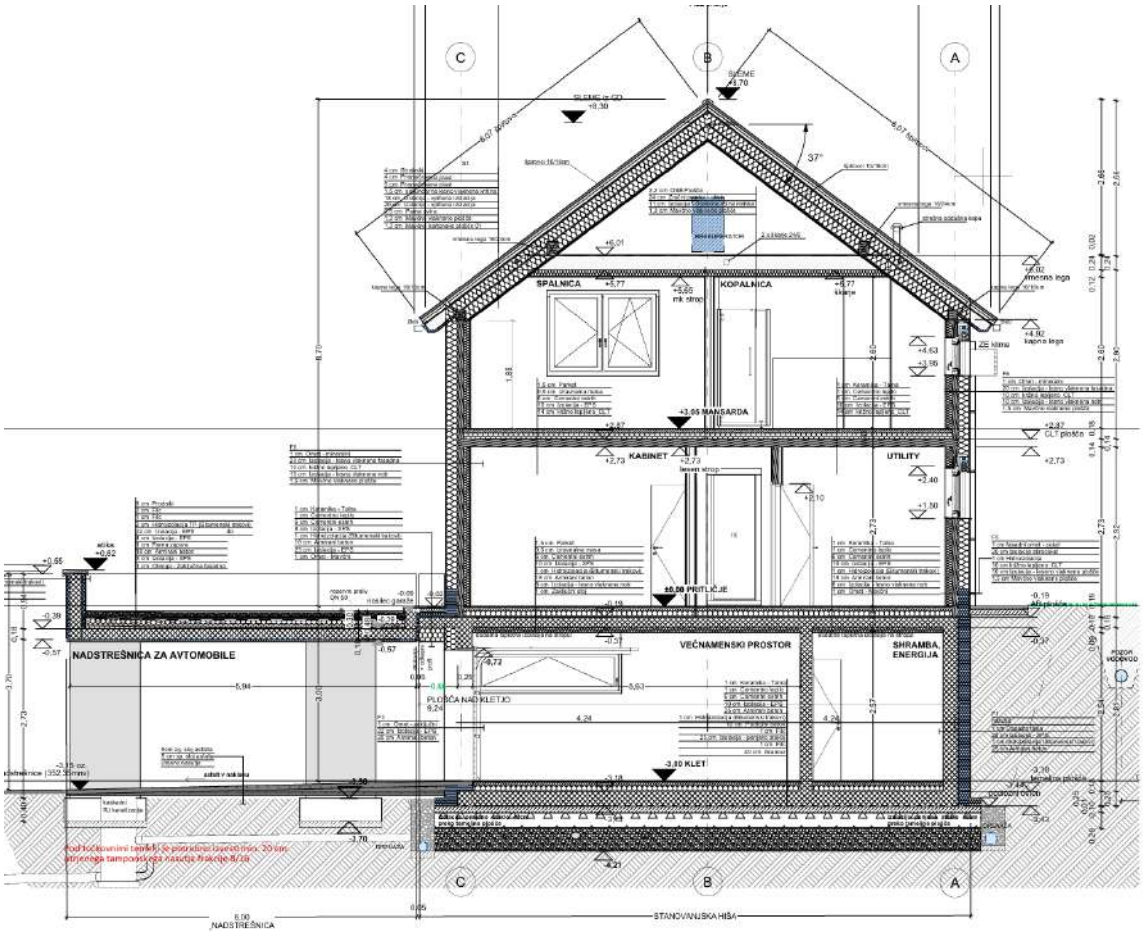
- analiza in sinteza strokovne literature, tehničnih dokumentov in standardov s področja toplotne izolacije
- primerjalna metoda za sistematično primerjavo lastnosti EPS in lesnih vlaken.

2 DELO V PROJEKTNI SKUPINI

Pred začetkom priprave diplomskega dela smo se v okviru študijskega procesa udeležili uvodnega srečanja, kjer smo reševali Belbinov vprašalnik timskih vlog ter test osebnostnih značilnosti. Na podlagi dobljenih rezultatov smo se razporedili v manjše projektne skupine, znotraj katerih smo si izmenjali teme diplomskih nalog in se medsebojno podpirali pri načrtovanju raziskovalnega dela. Takšen način sodelovanja je omogočil širši vpogled v različne pristope k reševanju strokovnih problemov ter učinkovitejšo organizacijo dela, kar potrjuje tudi pomen jasno razdeljenih nalog, odprte komunikacije in medsebojnega zaupanja v skupini. Skupinsko delo je tako predstavljalo pomembno izhodišče za nadaljnje samostojno raziskovanje ter oblikovanje strokovno utemeljenih rešitev.

V skupinskem procesu sem glede na rezultate Belbinove analize prepoznala svojo prevladujočo vlogo **izvajalca**. Za to vlogo so značilni dobra organiziranost, samodisciplina, nagnjenost k sistematičnemu reševanju nalog ter usmerjenost k zanesljivemu doseganju ciljev. Posamezniki v tej vlogi dajejo prednost strukturiranemu delu, vztrajnosti in odgovornemu odnosu do obveznosti, zaradi česar predstavljajo stabilen in zanesljiv del projektne skupine. Njihova prednost je predvsem v sposobnosti pretvarjanja idej v konkretne, izvedljive korake ter v doslednem spremljanju napredka projekta. Hkrati se lahko pri tej vlogi pojavijo tudi določene omejitve, kot sta manjša prožnost pri soočanju z novimi, še nepreverjenimi pristopi, ter večja zadržanost do hitrih sprememb, kar zahteva dodatno prilagodljivost in sodelovanje z drugimi člani skupine. Pri obravnavi moje raziskovalne teme so se lastnosti izvajalca pokazale predvsem v načrtnem zbiranju podatkov, dosledni analizi strokovne literature ter sistematični primerjavi tehničnih, okoljskih in ekonomskih vidikov obeh materialov.

V okviru priprave diplomskega dela smo v skupini večkrat razpravljali o vsebini, metodologiji in načinu primerjave fasadnih izolacijskih materialov. Osrednja tema dela je primerjava lesno-vlaknene izolacije in fasadne EPS izolacije, pri čemer smo želeli primerjavo oblikovati čim bolj praktično in uporabno za realen gradbeni primer. Zato smo se odločili, da primerjave ne bomo izvedli samo teoretično, ampak jo bomo povezali z aktualnim projektom podjetja, v katerem sem zaposlena. Kot primer smo izbrali hišo Z, za katero v nadaljevanju prilagam načrt. Na podlagi projektne dokumentacije je bila določena neto fasadna površina, na katero se vgrajuje izolacija, in sicer 230 m².



Slika 1: prečni prerez hiše Z

Vir: (D&R Damir Leljak, s. p.)

Na prvem sestanku smo se osredotočili predvsem na zasnovo dela in izbiro primerjanih materialov. Razpravljali smo o tem, da sta EPS in lesno-vlaknena izolacija primerna za primerjavo, saj se oba uporabljata kot fasadna izolacija, hkrati pa se precej razlikujeta po izvoru surovin, ceni, okoljskih vplivih in dinamičnih toplotnih lastnostih. Dogovorili smo se, da primerjava ne bo temeljila samo na toplotni prevodnosti, ampak bo vključevala več vidikov: tehnične lastnosti, LCA analizo, fazni zamik, stroške izvedbe in dolgoročno trajnost materialov. Že na začetku smo določili, da bo pomemben del tudi primerjava na konkretnem objektu, saj tak pristop omogoča bolj razumljivo oceno dejanskih razlik med materialoma.

Na drugem sestanku smo se posvetili zbiranju strokovnih virov in tehnične dokumentacije. Pregledali smo, katere podatke je mogoče pridobiti iz tehničnih listov proizvajalcev in kateri podatki bodo potrebni za primerjavo fizikalnih lastnosti materialov. Pri tem smo ugotovili, da

vsi tehnični listi ne vsebujejo enakega nabora podatkov, zato sem se odločila, da bom pri manjkajočih podatkih to v delu jasno označila in ne bom navajala nepreverjenih vrednosti.

Na tretjem sestanku smo obravnavali okoljski del primerjave. Razpravljali smo o pomenu EPD deklaracij, LCA analize, modulov življenjskega cikla in kazalnika GWP. Dogovorili smo se, da bo treba LCA rezultate predstaviti ločeno po posameznih fazah življenjskega cikla, saj samo končni seštevek ne pokaže dovolj jasno, kje nastajajo največji okoljski vplivi materiala.



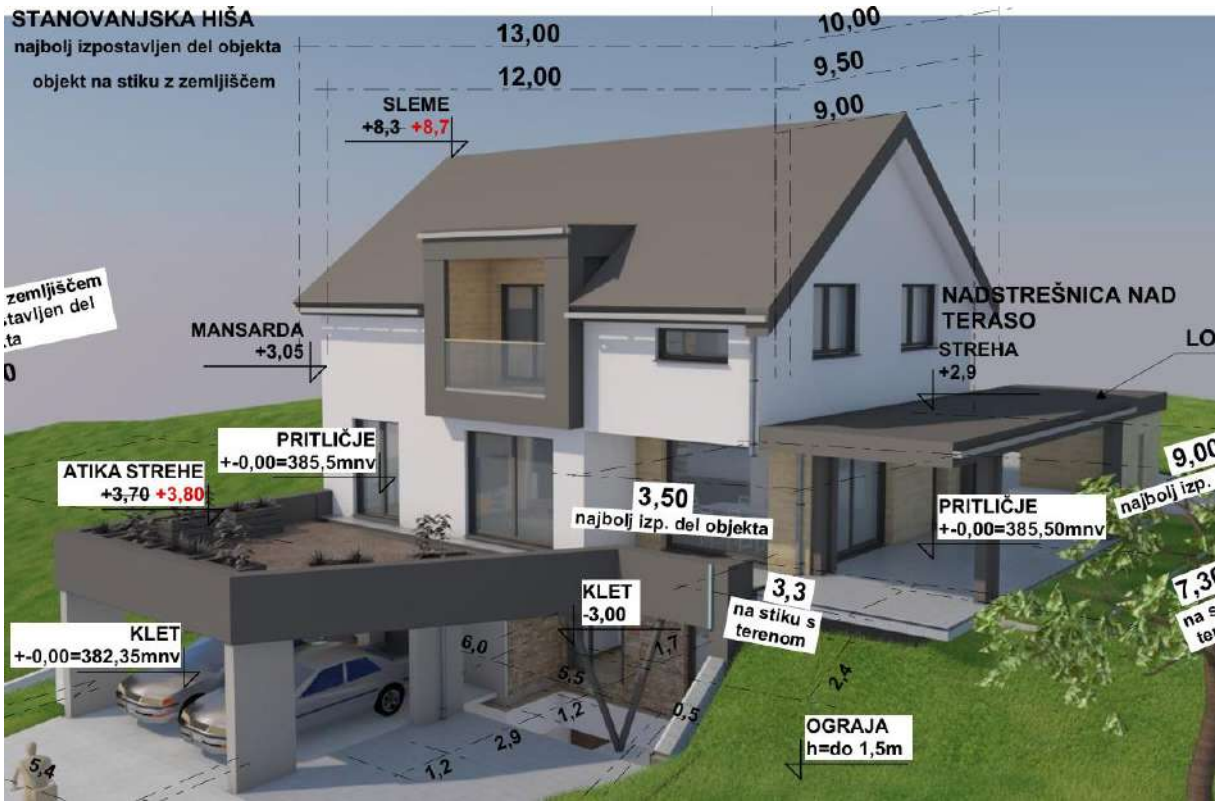
Slika 2: severozahodna fasada

Vir: (D&R Damir Leljak, s. p.)

Na četrtem sestanku smo razpravljali o faznem zamiku in poletnem pregrevanju objekta. Ugotovili smo, da fazni zamik ni lastnost samo posamezne izolacijske plošče, ampak je odvisen od celotnega konstrukcijskega sklopa. Zato sem se odločila, da bom za primerjavo uporabila enak stenski sestav, pri katerem se spremeni samo vrsta izolacije.

Na petem sestanku smo se osredotočili na ekonomski del primerjave. Ker smo delo povezali s konkretnim projektom hiše Z, smo se dogovorili, da bom stroškovno primerjavo izvedla na dejanski površini fasade iz projektne dokumentacije.

Na zadnjem sestanku smo pregledali celotno zasnovo primerjave in se pogovorili o tem, kako uravnoteženo predstaviti prednosti in slabosti obeh materialov.



Slika 3: render hiše Z

Vir: (D&R Damir Leljak, s. p.)

2.1 Varstvo pri delu in organizacija gradbišča

Izvajanje fasadne izolacije predstavlja pomemben del gradbenih del, pri tem pa je treba poleg tehničnih lastnosti materialov upoštevati tudi varstvo pri delu in ustrezno organizacijo gradbišča, saj gre za delo na višini, uporabo gradbenih odrov, manipulacijo z materiali ter uporabo različnih orodij. V Sloveniji to področje ureja predvsem Zakon o varnosti in zdravju pri delu (ZVZD-1) ter podzakonski akti, kot so pravilniki o varnosti na gradbiščih in delu na višini.

Ustrezna organizacija gradbišča je ključna za varno in učinkovito izvajanje fasaderskih del. Gradbišče mora biti organizirano tako, da omogoča varno gibanje delavcev, transport materiala ter nemoten potek del. Najprej je treba zagotoviti ustrezno ograjo gradbišča in označitev nevarnih območij. Gradbišče mora biti jasno označeno z opozorilnimi tablami, ki opozarjajo na

delo na višini, uporabo odrov in premikanje gradbenega materiala. S tem se zmanjša tveganje za poškodbe tako delavcev kot tudi mimoidočih oseb.

Pomemben element organizacije je tudi skladiščenje materiala. Izolacijske plošče (EPS ali lesno-vlaknene plošče) morajo biti skladiščene na suhem in ravnem mestu ter zaščitene pred vremenskimi vplivi, saj lahko vpijajo vlago, kar vpliva na njihove lastnosti. Lepila, armirne mrežice in drugi materiali morajo biti prav tako ustrezno shranjeni in zaščiteni.

Organizacija gradbišča mora vključevati tudi transport materiala na višino, ki se običajno izvaja z dvigalom, gradbenim dvigalom ali ročnim prenašanjem po odru. Transportne poti morajo biti proste in stabilne, da ne pride do zdrsa delavca ali padca materiala.

Pri izvedbi fasadne izolacije se večina del izvaja na gradbenem odru, kar pomeni povečano tveganje za padce z višine. Gradbeni oder mora biti postavljen v skladu s tehničnimi standardi in mora imeti ustrezne zaščitne elemente, kot so zaščitne ograje, delovne platforme in dostopne lestve. Pred začetkom del je treba preveriti stabilnost odra, pravilno sidranje v objekt ter stanje delovnih površin. Delovne platforme morajo biti dovolj široke in nedrseče, da omogočajo varno gibanje delavcev. Na odru ne sme biti nepotrebnega materiala ali orodja, ki bi lahko povzročilo spotikanje.



Slika 4: Primer gradbenega odra z vsemi elementi: zaščitno ograjo, robnimi deskami, diagonalami itd.

Vir: (https://viba.si/gradbeni-in-fasadni-odri-varnost/)

Pri delu na višini morajo delavci uporabljati **osebno varovalno opremo**, ki vključuje:

- zaščitno čelado;



Slika 5: zaščitna čelada

Vir: (https://www.gamat.si/zascitna-celada-portwest-ps63-height-endurance-prezracevalna)

- zaščitno obutev z nedrsečim podplatom;



Slika 6: zaščitni delovni čevlji s kapico in nedrsečim podplatom

Vir: (https://www.merkur.si/delavnica/delovna-zascita/delovni-cevlji/)

- po potrebi tudi varovalni pas oziroma varovalni sistem proti padcu.



Slika 7: Varovalni pas za delo na višini

Vir: (https://www.lorencic.si/varovalni-pas-set-kratos-za-delo-na-visini_100620_3.htm)

Pri vgradnji fasadne izolacije se pojavljajo tudi specifične nevarnosti, povezane z uporabo materialov in orodij. Pri EPS izolaciji je potrebno paziti predvsem pri rezanju plošč, saj se uporabljajo noži ali električni rezalniki. Nepravilna uporaba orodja lahko povzroči poškodbe rok. Prav tako je EPS lahek material, ki ga lahko ob močnem vetru odnese z odra. Pri lesno-vlakneni izolaciji so plošče nekoliko težje in bolj vlaknaste strukture. Pri rezanju nastajajo prah in drobni delci, zato je priporočljiva uporaba zaščitnih očal in v nekaterih primerih tudi zaščitne maske.

Pomembno je tudi pravilno mehansko pritrjevanje izolacije s sidri, kjer se uporablja vrtalni stroj. Pri tem obstaja nevarnost poškodb zaradi vrtečih se delov ali električnega orodja, zato je treba uporabljati ustrezno zaščitno opremo in preverjeno električno opremo.

Za zmanjšanje tveganj na gradbišču je treba izvajati več preventivnih ukrepov:

- Usposabljanje delavcev za varno delo, kjer so delavci seznanjeni z nevarnostmi pri delu na višini, pravilno uporabo odra ter ravnanjem z materiali. Redni varnostni pregledi gradbišča pomagajo pravočasno odkriti morebitne pomanjkljivosti ali nevarnosti.
- Uporaba ustrezne osebne zaščitne opreme. Delavci morajo opremo uporabljati ves čas izvajanja del, še posebej pri delu na višini.
- Redno vzdrževanje gradbene opreme, kot so odri, lestve in električno orodje. Poškodovana ali neustrezna oprema lahko predstavlja resno nevarnost za delavce.
- Gradbišče mora biti vedno urejeno in čisto, saj raztresen material ali odpadki povečujejo tveganje za padce in poškodbe.

3 OPIS PRIMERJANIH IZOLACIJ

3.1 Ekspandiran polistiren

Ekspandirani polistiren (EPS) je eden najpogosteje uporabljenih toplotnoizolacijskih materialov v gradbeništvu. Gre za penjeni polimerni material**,** ki nastane iz polistirena, pridobljenega s polimerizacijo stirena, monomera naftnega izvora. Osnovna surovina so majhne kroglice polistirena, ki se med proizvodnjo napolnijo s penilnim sredstvom, najpogosteje pentanom. Ko se granule segrejejo s paro, ekspandirajo in povečajo svojo prostornino za približno 40-krat. Tako nastane material, sestavljen iz približno 98 % zraka in 2 % trdne snovi (British Plastics Federation, 2025).



Slika 8: Jubizol EPS F – W1

Vir: (https://www.merkur.si/fasadni-stiropor-jub-jubizol-eps-f-w1-20-cm-s-preklopom-zav-1-5-m2/)

3.1.1 Postopek proizvodnje

Postopek proizvodnje EPS poteka v več fazah. Najprej se granule polistirena predpenijo s pentanom, nato pa sledi faza staranja, v kateri se kroglice ohladijo in izpustijo ostanke pentana. Tako dosežejo enakomerno velikost in gostoto, zaradi česar jih je kasneje lažje oblikovati. V naslednjem koraku se v kalup doda določena količina kroglic, ki se jih ponovno segreje s paro, pri čemer se razširijo za dodatnih 10 % in spojijo med seboj. Tako nastane embalaža različnih oblik ali plošče, ki se po ohlajanju razrežejo v želene debeline. Pri proizvodnji EPS se danes pogosto uporabljajo grafitni dodatki, ki zmanjšajo toplotno prevodnost materiala. Takšna izvedba je znana pod imenom sivi EPS ali grafitni EPS (British Plastics Federation, 2025).

3.1.2 Zgodovinski razvoj EPS

Razvoj polistirena se je začel že konec dvajsetih let prejšnjega stoletja, ko je v Nemčiji podjetje IG Farben prvič komercialno proizvedlo ta material. V tridesetih letih je njegovo tehnologijo

prevzelo in nadgradilo ameriško podjetje Dow Chemical Company, ki je kasneje pomembno prispevalo k širši uporabi polistirenskih pen. Med drugo svetovno vojno se je penjeni polistiren že uporabljal v Nemčiji in ZDA, a je šele leta 1954 podjetje Dow širše predstavilo komercialno različico pod blagovno znamko Styrofoam. Izum je nastal po naključju, ko je znanstvenik podjetja, Ray McIntire, pri raziskovanju nadomestkov za gumo združil stiren in izobutilen, kar je povzročilo nastanek lahke, elastične penaste strukture. Tako se je začela industrijska uporaba ekspandiranega polistirena, ki se je zaradi svoje lahkosti in toplotnoizolacijskih lastnosti hitro uveljavil v različnih panogah, zlasti v gradbeništvu in embalažni industriji (British Plastics Federation, 2025).

3.1.3 Uporaba v gradbeništvu

EPS se uporablja v številnih gradbenih sklopih – najpogosteje kot del kontaktnega fasadnega sistema (ETICS). Uporablja se tudi za izolacijo tal, ravnih in poševnih streh, kleti in temeljnih plošč. Posebne vrste EPS (npr. EPS 150 ali EPS 200) so primerne za visoko obremenjene površine, kjer je pomembna tlačna trdnost. V gradbeništvu se EPS pogosto uporablja tudi kot izolacija pri dilatacijah**,** izolaciji cevi ter kot polnilo v lahkih konstrukcijah.

Zaradi nizke mase in enostavne obdelave je EPS zelo priljubljen tudi pri sanacijah objektov, kjer se želi doseči večja energetska učinkovitost brez večje obremenitve konstrukcije. Plošče se lepijo na podlago s posebnimi lepilnimi maltami in dodatno pritrdijo z mehanskimi sidri.

3.1.4 Slabosti in omejitve uporabe

Kljub številnim prednostim ima EPS tudi nekaj pomanjkljivosti. Glavna težava je gorljivost**,** saj polistiren spada v razred gorljivosti E. Čeprav se pri proizvodnji dodajajo zaviralci gorenja, se EPS pri visokih temperaturah tali in sprošča dim ter pline. Zaradi tega se pri projektiranju fasadnih sistemov upošteva stroge požarne zahteve, zlasti pri večstanovanjskih objektih, kjer se namesto EPS uporablja kamena volna.

Druga omejitev je okoljski vidik, saj je EPS naftni derivat in ni biološko razgradljiv. Po koncu življenjske dobe predstavlja odpadek, ki ga je težko reciklirati. Obstajajo sicer postopki mehanskega in kemičnega recikliranja, vendar se večina odpadnega EPS-ja še vedno sežiga ali odlaga na deponije.

Kljub temu EPS ostaja standardni izolacijski material zaradi dobre toplotne učinkovitosti, enostavne montaže in nizke cene, zato ima še vedno pomembno vlogo pri gradnji energijsko učinkovitih stavb.

3.2 Lesno-vlaknena izolacija

Lesno-vlaknena izolacija je naravni toplotnoizolacijski material, izdelan iz lesnih vlaken, ki se pridobivajo predvsem iz ostankov lesne industrije. Med proizvodnjo se lesna vlakna mehansko in termično obdelajo ter oblikujejo v izolacijske plošče različnih debelin in gostot. Material ima dobre toplotnoizolacijske lastnosti, hkrati pa je paroprepusten in omogoča uravnavanje vlage v konstrukciji. Lesno-vlaknena izolacija se pogosto uporablja pri fasadah, strehah in lesenih konstrukcijah, predvsem v energetsko učinkoviti in trajnostni gradnji.



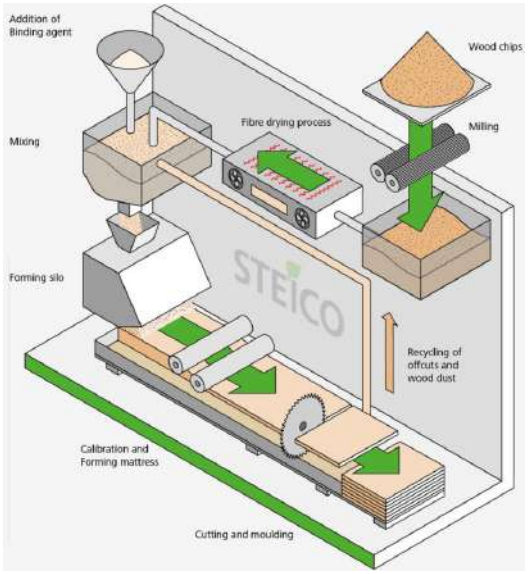
Slika 9: Fasadna lesno-vlaknena plošča STEICOSpecial dry

Vir: (https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/importer/downloads/umwelt-produktdeklaration_epd/STEICO_environmental-product-declaration_special-dry_EUR_en_i.pdf.pdf)

3.2.1 Postopek proizvodnje

Za proizvodnjo izolacijskih materialov iz lesnih vlaken se uporabljata dva postopka – mokri in suhi postopek. Pri obeh postopkih se svež les iglavcev s paro in mehansko obdelavo razdeli na posamezna vlakna, ki se nato nadalje obdelujejo.

- Pri **mokrem postopku** se namočena vlakna oblikujejo v plošče. Nato se plošče razdelijo po debelini in posušijo kot celi kosi. Pri mokrem postopku plošče veže lesni naravni lignin. To pomeni, da niso potrebna zunanja lepila, zaradi česar so izolacijske plošče, izdelane po mokrem postopku, okolju zelo prijazne in koristne za bivalno okolje.
- Pri **suhem postopku** se vlakna pred oblikovanjem plošč posušijo. Na vlakna se nanese majhna količina veziva, potem se jih oblikuje v plošče. Suho obdelane izolacijske plošče iz lesnih vlaken so lažje in jih je mogoče izdelati v večjih debelinah, zato se pogosto uporabljajo za izolacijo ovoja stavbe, npr. za izolacijo nad špirovci ali izolacijo fasade. Izolacijo za vpihovanje se prav tako proizvede po suhem postopku (Steico, 2026).



Slika 10: suhi način pridelovanja lesno-vlaknenih izolacijskih plošč

Vir: (https://www.steico.com/eur/solutions/product-advantages/steico-insulation-materials)

3.2.2 *Razvoj lesno-vlaknene izolacije*

Lesna vlakna se v različnih industrijah uporabljajo že stoletja. Za uporabo v gradbeništvu pa so se plošče začele razvijati v 20. stoletju. V Evropi so podjetja, kot je Gutex (ustanovljen v Nemčiji leta 1932), razvila toge izolacijske plošče iz lesnih vlaken. Do šestdesetih let prejšnjega stoletja so na trg vstopile vlaknene plošče srednje gostote (MDF), kasneje pa še vlaknene plošče visoke gostote (HDF) (Fernandes, brez datuma).

3.2.3 Uporaba v gradbeništvu

Lesno-vlaknena izolacija se uporablja v različnih gradbenih sklopih, najpogosteje kot del fasadnih sistemov, predvsem pri difuzijsko odprtih konstrukcijah in prezračevanih fasadah. Pogosto se uporablja tudi za izolacijo streh, predvsem pri poševnih strehah, ter pri lesenih montažnih objektih in skeletnih konstrukcijah. Zaradi dobre paroprepustnosti in sposobnosti uravnavanja vlage je primerna za konstrukcije, kjer je pomembno zagotavljanje zdrave bivalne klime in preprečevanje kondenzacije vlage v konstrukciji.

Zaradi relativno visoke gostote ima lesno-vlaknena izolacija tudi dobro sposobnost akumulacije toplote, kar prispeva k boljšemu poletnemu toplotnemu ugodju v stavbah. Plošče se na podlago samo mehansko sidrajo, za razliko od drugih fasadnih izolacijskih sistemov. Pomembna je tudi ustrezna zaščita pred vremenskimi vplivi med vgradnjo.

3.2.4 Slabosti in omejitve uporabe

Lesno-vlaknena izolacija ima poleg prednosti tudi nekatere omejitve. Ker je izdelana iz lesnih vlaken, ni primerna za trajno izpostavljenost vodi oziroma dolgotrajno navlažitev, zato mora biti v konstrukciji pravilno zaščitena pred zamakanjem in gradbeno vlago. Material je gorljiv, kar potrjuje tudi požarni razred E, zato je treba pri načrtovanju in izvedbi upoštevati zahteve požarne varnosti. Pri rezanju in obdelavi plošč nastaja prah, zato je potrebna uporaba ustrezne zaščite, na primer zaščitne maske. Dodatna praktična omejitev je tudi večja masa plošč, posebej pri večjih debelinah, zaradi česar sta prenašanje in rezanje zahtevnejša kot pri lažjih izolacijskih materialih, kot je EPS.

4 PRIMERJAVA IZOLACIJ

Za čim bolj natančno analizo sem se odločila za uporabo materialov, ki se uporabljajo tudi v Sloveniji. Kot lesno-vlakneno izolacijo bom analizirala fasadne plošče STEICOSpecial dry, pri EPS pa bo to Jubov JUBIZOL EPS F – W1.

4.1 FIZIKALNE LASTNOSTI

Toplotna prevodnost λ (lambda) predstavlja lastnost materiala, ki opisuje, kako dobro material prevaja toploto. Manjša kot je vrednost λ, boljši je material kot toplotni izolator, saj skozi njega prehaja manj toplote. Toplotna prevodnost se izraža v enoti W/mK (vat na meter kelvin) (URSA Insulation, 2009).

Toplotna izolacija pomeni zmanjšanje prenosa toplote skozi konstrukcijo. Izolacijski materiali delujejo predvsem tako, da v svoji strukturi zadržujejo zrak, kar zmanjšuje prehajanje toplote. Učinkoviti izolacijski materiali imajo zato majhno gostoto in nizko toplotno prevodnost (URSA Insulation, 2009).

Prenos toplote vedno poteka iz toplejšega proti hladnejšemu območju. V gradbeništvu se toplota prenaša predvsem s prevajanjem skozi stene, streho in tla. Namen izolacije je zmanjšati te toplotne izgube in s tem zmanjšati porabo energije za ogrevanje ali hlajenje objektov.

Toplotna upornost konstrukcije R predstavlja odpornost materiala proti prehodu toplote. Večja kot je toplotna upornost, manjše so toplotne izgube skozi konstrukcijo. Toplotna prehodnost U pa predstavlja količino toplote, ki preide skozi konstrukcijo. Med njima velja povezava:

$$U = \frac{1}{R}$$

To pomeni, da večja toplotna upornost povzroči manjšo U-vrednost in s tem boljšo toplotno zaščito objekta. Večja debelina izolacijskega materiala poveča toplotno upornost konstrukcije in zmanjša prehod toplote skozi steno ali streho. Optimalna izolativnost se dosega z ustreznimi U-vrednostmi in primerno debelino izolacije (URSA Insulation, 2009).

4.1.1 Lesno-vlaknena izolacija Steico special dry

Pri lesno-vlakneni izolaciji STEICOspecial dry znaša deklarirana toplotna prevodnost **λ = 0,040 W/(m·K)** (STEICO SE, 2025).

Toplotna upornost R predstavlja odpornost materiala proti prehodu toplote in je odvisna predvsem od debeline izolacije in toplotne prevodnosti materiala. Iz tehničnega lista STEICOspecial dry (STEICO SE, 2025) je razvidno, da se z večanjem debeline izolacije povečuje tudi toplotna upornost materiala:

- 60 mm → R = 1,50 (m²K)/W;
- 100 mm → R = 2,50 (m²K)/W;
- 160 mm → R = 4,00 (m²K)/W;
- 200 mm → R = 5,00 (m²K)/W.

4.1.2 EPS izolacija JUBIZOL EPS F – W1

Pri fasadnem EPS materialu JUBIZOL EPS F – W1 znaša deklarirana toplotna prevodnost **λ = 0,039 W/mK** (JUB, d. o. o., 2024).

Toplotna upornost R predstavlja odpornost materiala proti prehodu toplote in je odvisna predvsem od debeline izolacije in toplotne prevodnosti materiala. Iz tehničnega lista JUBIZOL EPS F – W1 (JUB, d. o. o., 2024) je razvidno, da se z večanjem debeline izolacije povečuje tudi toplotna upornost materiala:

- 50 mm → R = 1,25 (m²K)/W;
- 100 mm → R = 2,55 (m²K)/W;
- 160 mm → R = 4,10 (m²K)/W;
- 200 mm → R = 5,10 (m²K)/W.

4.1.3 Primerjava tehničnih lastnosti EPS in lesno-vlaknene izolacije

Primerjava tehničnih lastnosti EPS izolacije in lesno-vlaknene izolacije kaže, da imata oba materiala dobre toplotnoizolacijske lastnosti, vendar se razlikujeta predvsem v toplotni prevodnosti, gostoti materiala in načinu delovanja pri toplotni zaščiti objekta.

4.1.3.1 Toplotna prevodnost λ

Toplotna prevodnost λ predstavlja sposobnost materiala za prevajanje toplote. Manjša kot je vrednost λ, boljšo toplotno izolativnost ima material. Pri lesno-vlakneni izolaciji STEICOspecial dry znaša **λ = 0,040 W/mK**. Pri EPS izolaciji JUBIZOL EPS F – W1 pa **λ = 0,039 W/mK**.

Iz primerjave je razvidno, da ima EPS nekoliko nižjo toplotno prevodnost, kar pomeni malce boljšo izolativnost pri enaki debelini materiala. Razlika med materialoma je sicer majhna.

4.1.3.2 Toplotna upornost R

Pri obeh materialih se z večanjem debeline povečuje tudi toplotna upornost.

Lesno-vlaknena izolacija STEICOspecial dry:

- 100 mm → R = 2,50 (m²K)/W;
- 160 mm → R = 4,00 (m²K)/W;
- 200 mm → R = 5,00 (m²K)/W.

EPS izolacija JUBIZOL EPS F – W1:

- 100 mm → R = 2,55 (m²K)/W;
- 160 mm → R = 4,10 (m²K)/W;
- 200 mm → R = 5,10 (m²K)/W.

EPS pri enaki debelini dosega nekoliko višjo toplotno upornost zaradi nižje λ-vrednosti.

4.1.3.3 Toplotna prehodnost U

Pri EPS izolaciji tehnični list navaja:

- 100 mm → U = 0,39 W/m²K;
- 160 mm → U = 0,244 W/m²K;
- 200 mm → U = 0,195 W/m²K.

Lesno-vlaknena izolacija ima zaradi nekoliko višje λ-vrednosti malenkost višje U-vrednosti pri enaki debelini, vendar še vedno zagotavlja zelo dobro toplotno zaščito objekta. Točnih podatkov tehnični list ne navaja.

4.1.3.4 Druge lastnosti materialov

Lesno-vlaknena izolacija ima večjo gostoto (140 kg/m³), zato bolje akumulira toploto in nudi boljšo zaščito pred poletnim pregrevanjem objekta. Poleg tega ima visoko specifično toploto 2100 J/(kgK). EPS izolacija je bistveno lažji material, zato je enostaven za transport in vgradnjo, vendar ima manjšo sposobnost akumulacije toplote.

Primerjava torej kaže, da ima EPS nekoliko boljše toplotnoizolacijske lastnosti pri enaki debelini, saj dosega nižjo λ-vrednost in višjo toplotno upornost.

4.1.4 Dolgoročna trajnost izolacij

4.1.4.1 Odpornost na vlago

Lesno-vlaknena izolacija STEICOspecial dry je difuzijsko odprt in po celotnem prerezu hidrofobiran material. Tehnični list navaja faktor difuzijskega upora vodni pari $\mu = 3$ in kratkotrajno vpijanje vode največ 1,0 kg/m². Material ima vodoodbojno površino, vendar ga je treba zaščititi pred dolgotrajno oziroma trajno navlažitvijo. Prekomerno gradbeno vlago je treba odstraniti s prezračevanjem, mokre plošče pa pred nadaljevanjem del posušiti (Steico, brez datuma).

JUBIZOL EPS F – W1 ima zaprto celično strukturo, zato je EPS na splošno manj občutljiv za vpijanje vode. Evropski EPD za primerljiv fasadni EPS navaja, da material ob pravilni vgradnji ohranja izolacijske in mehanske lastnosti skozi življenjsko dobo ter da visoka vlažnost bistveno ne spremeni njegove izolativnosti (Industrieverband Hartschaum e.V., IVH, 2022).

4.1.4.2 Odpornost na plesen

Lesno vlakno je organski material, zato lahko dolgotrajno visoka vlažnost ob neustrezni izvedbi poveča tveganje za pojav plesni. Raziskave kažejo, da je dobro higrotermalno obnašanje lesno vlaknenih sistemov mogoče doseči s pravilno sestavo konstrukcije, nadzorovanjem notranje vlage, preprečevanjem zamakanja in ustreznim sušenjem gradbene vlage (Marincioni & Altamirano-Medina, 2023).

Laboratorijski preskus po ASTM C1338 je pokazal, da testirani EPS v 28-dnevnem obdobju ni podpiral rasti petih vrst plesni. To pa ne pomeni, da se plesen ali alge ne morejo pojaviti na zaključnem ometu fasade, saj je njihov razvoj odvisen tudi od površinske vlage, umazanije, senčenja, orientacije fasade in kakovosti zaključnega sloja (EPS Molders Association , 2004).

4.1.4.3 Mehanska odpornost

Z mehanskega vidika ima STEICOspecial dry tlačno trdnost najmanj 100 kPa in natezno trdnost pravokotno na površino najmanj 20 kPa. Plošča je zato primerna kot nosilna podlaga za predvideni fasadni omet, če je izvedena skladno s sistemskimi navodili in ni trajno izpostavljena vlagi (STEICO SE, 2025).

Mehanske lastnosti JUBIZOL EPS F – W1 vključujejo tlačno trdnost najmanj 70 kPa, upogibno trdnost najmanj 115 kPa in natezno trdnost pravokotno na površino najmanj 150 kPa. EPS ima torej nižjo deklarirano tlačno trdnost kot STEICO, vendar bistveno višjo natezno trdnost pravokotno na površino (JUB, d. o. o., 2024).

EPS je zaradi zaprte celične strukture praviloma manj občutljiv na vlago in sam po sebi ne predstavlja ugodnega okolja za razvoj plesni. Lesno-vlaknena izolacija lahko vlago sprejema, prerazporeja in oddaja, vendar je njena dolgoročna trajnost bolj odvisna od pravilnega načrtovanja konstrukcije, preprečevanja trajnega zamakanja in možnosti sušenja. Pri obeh materialih na končno trajnost pomembno vplivajo kakovost izvedbe, nepoškodovan zaključni omet, pravilno sidranje ter redno vzdrževanje fasade.

4.2 OGLJIČNI ODTIS

Ogljični odtis predstavlja skupno količino emisij toplogrednih plinov, predvsem CO_2, ki nastanejo pri proizvodnji, transportu, uporabi in odstranitvi nekega izdelka ali materiala. V gradbeništvu govorimo predvsem o t. i. »vgrajenem ogljiku« (embodied carbon), ki vključuje emisije skozi celoten življenjski cikel gradbenega materiala (Brightworks Sustainability, WAP Sustainability, 2021).

Gradbeni sektor ima zelo velik vpliv na podnebne spremembe, saj je grajeno okolje odgovorno za približno 40 % neposrednih in posrednih emisij ogljika. Približno polovica teh emisij nastane zaradi pridobivanja surovin, proizvodnje, gradnje in transporta gradbenih materialov.

Pri gradbenih materialih emisije CO_2 nastajajo v različnih fazah:

- pri pridobivanju surovin;
- med proizvodnjo materialov;
- pri transportu do gradbišča;
- med vgradnjo;
- med uporabo in vzdrževanjem;
- ob rušenju, reciklaži ali odstranjevanju materiala.

Emisije se delijo na:

- **operativne emisije**, ki nastajajo med uporabo stavbe zaradi ogrevanja, hlajenja, razsvetljave in porabe energije;
- **vgrajene emisije**, ki nastanejo skozi življenjski cikel gradbenih proizvodov – od pridobivanja surovin do konca življenjske dobe materiala (Brightworks Sustainability, WAP Sustainability, 2021).

Za ocenjevanje okoljskih vplivov materialov se uporablja metoda **LCA** (Life Cycle Assessment) oziroma analiza življenjskega cikla. To je znanstvena metoda za ocenjevanje okoljskih vplivov izdelka od pridobivanja surovin ("cradle") do odstranitve ali reciklaže ("grave").

Rezultati LCA analiz so objavljeni v obliki:

- LCA poročil;
- poenostavljenih okoljskih deklaracij izdelkov – **EPD** (Environmental Product Declaration).

Življenjski cikel gradbenega materiala je razdeljen na več faz (Dodd, Donatello, & Cordelia, 2021):

- A1–A3: pridobivanje surovin in proizvodnja;
- A4–A5: transport in vgradnja;
- B1–B7: uporaba, vzdrževanje in obratovanje;
- C1–C4: rušenje, transport odpadkov, obdelava in odstranjevanje;
- D: potencialne koristi reciklaže ali energetske izrabe po koncu življenjske dobe.

Omenila bom tudi **GWP**, kar pomeni Global Warming Potential oziroma **potencial globalnega segrevanja**. To je kazalnik, ki pokaže, koliko nek material ali proces prispeva k segrevanju ozračja zaradi emisij toplogrednih plinov. Rezultat je izražen v **kg CO_2 ekvivalenta (kg CO_2-eq.)**. To pomeni, da se vsi toplogredni plini (CO_2, metan, dušikov oksid itd.) preračunajo v enakovreden vpliv ogljikovega dioksida (Brightworks Sustainability, WAP Sustainability, 2021).

PERT (Primary Energy Renewable Total) predstavlja skupno porabo obnovljive primarne energije skozi življenjski cikel izdelka. Vključuje energijo iz obnovljivih virov, kot so biomasa, sončna, vetrna in hidroenergija, ki se porabi pri pridobivanju surovin, proizvodnji, transportu

in drugih fazah življenjskega cikla materiala. Višja vrednost PERT pomeni večjo uporabo obnovljivih virov energije (Brightworks Sustainability, WAP Sustainability, 2021).

PENRT (Primary Energy Non-Renewable Total) predstavlja skupno porabo neobnovljive primarne energije skozi življenjski cikel izdelka. Vključuje porabo energije iz fosilnih goriv in drugih neobnovljivih virov, kot so nafta, zemeljski plin, premog in jedrska energija. Ta kazalnik prikazuje odvisnost materiala od neobnovljivih virov ter vpliv izdelka na izčrpavanje naravnih virov (Brightworks Sustainability, WAP Sustainability, 2021).

4.2.1 Povzetek LCA analize za lesno-vlakneno izolacijo STEICOspecial dry

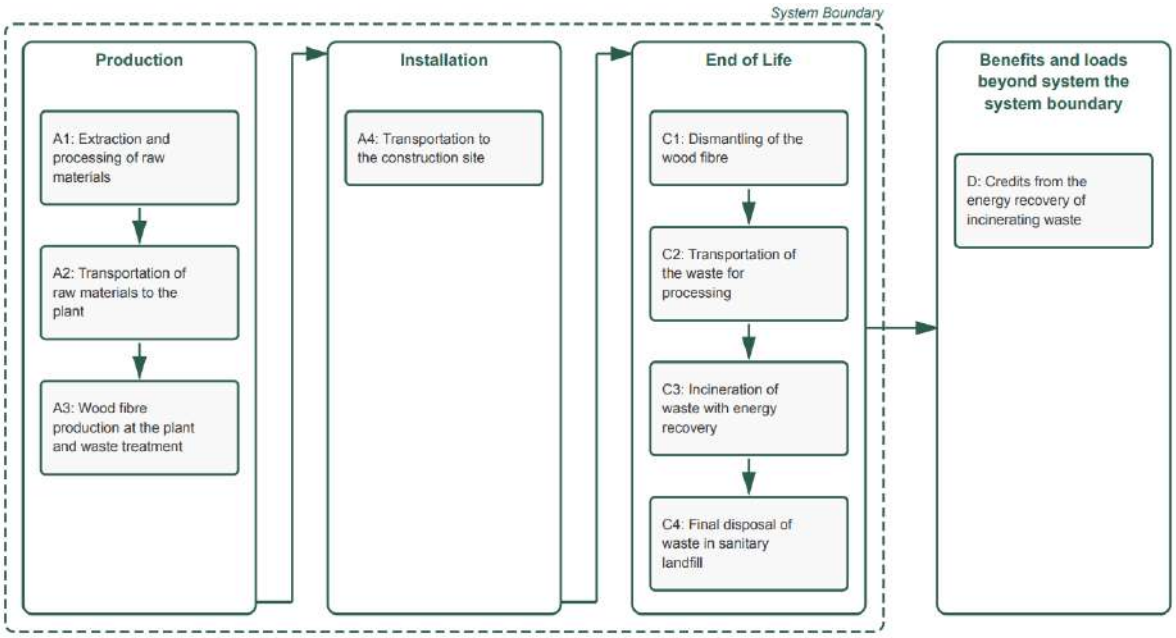
LCA analiza za lesno-vlakneno izolacijo STEICOspecial dry prikazuje okoljske vplive izdelka skozi celoten življenjski cikel – od pridobivanja surovin do končne obdelave in energetske izrabe po uporabi. Analiza je pripravljena skladno s standardoma ISO 14025 in EN 15804+A2.

Osnovne značilnosti izdelka: izolacija je izdelana pretežno iz lesa (80–100 % mase), vsebuje pa tudi manjše deleže polimerov, lepil in dodatkov. Namenjena je toplotni in akustični izolaciji streh, sten, tal in fasadnih sistemov. Gostota materiala znaša 140 kg/m³, toplotna prevodnost pa 0,040 W/Mk (STEICO SE, 2026).

Življenjski cikel izdelka (Dodd, Donatello, & Cordelia, 2021):

EPD (okoljska deklaracija proizvoda) vključuje naslednje faze:

- A1–A3: pridobivanje surovin, transport in proizvodnja;
- A4: transport do gradbišča;
- C1–C4: demontaža, transport odpadka, sežig in odlaganje;
- D: koristi zaradi energetske izrabe po koncu življenjske dobe.



Slika 11: prikaz faz življenjskega cikla lesno-vlaknene izolacije STEICOspecial dry

Vir: (https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/importer/downloads/umwelt-produktdeklaration_epd/STEICO_environmental-product-declaration_special-dry_EUR_en_i.pdf.pdf)

Referenčna življenjska doba izdelka je 50 let.

Ključni okoljski rezultati:

Skupni potencial globalnega segrevanja (GWP-total) pri lesno-vlakneni izolaciji nastane kot vsota emisij iz fosilnih virov (GWP-fossil), biogenega ogljika (GWP-biogenic) in vplivov spremembe rabe zemljišč (GWP-luluc). Rezultati v nadaljevanju so povzeti iz STEICO SE okoljske deklaracije proizvoda (2026).

- V proizvodni fazi A1–A3 nastane približno 107 kg CO_2-eq. emisij zaradi porabe energije in proizvodnje, hkrati pa lesna vlakna skladiščijo približno 243 kg CO_2-eq. biogenega ogljika, ki ga drevesa med rastjo absorbirajo iz ozračja. Dodatni vpliv zaradi rabe zemljišč (emisije zaradi sečnje, upravljanja gozdov, spremembe rabe zemljišč) znaša 0,57 kg CO_2-eq. Ker količina shranjenega biogenega ogljika presega emisije proizvodnje, znaša skupni GWP **–135 kg CO_2-eq.**, kar pomeni, da material v tej fazi deluje kot začasno skladišče ogljika.
- V fazi A4 (transport do gradbišča) znaša skupni GWP **4,64 kg CO_2-eq.**, kar predstavlja emisije predvsem zaradi porabe goriva pri transportu. Pri tej fazi je vpliv biogenega ogljika

praktično zanemarljiv (0,002 kg CO_2-eq.), zato skupni vpliv skoraj v celoti izhaja iz fosilnih virov.

- V fazi C1 (demontaža) tabela ne prikazuje pomembnih vplivov, saj vse vrednosti znašajo 0 kg CO_2-eq., kar pomeni, da pri odstranitvi izdelka ni predvidenih dodatnih emisij.
- V fazi C2 (transport odpadka) znaša skupni GWP **0,725 kg CO_2-eq.**, kar je povezano predvsem s transportom odpadnega materiala. Tudi pri tem prevladujejo emisije fosilnih goriv, medtem ko je vpliv biogenega ogljika zanemarljiv.
- Največja sprememba nastopi v fazi C3 (predelava odpadka), kjer skupni GWP doseže **238 kg CO_2-eq.** Ta izrazit porast nastane zaradi sproščanja prej shranjenega biogenega ogljika. Vrednost GWP-biogenic = 236 kg CO_2-eq. kaže, da se ogljik, ki je bil v lesu vezan med rastjo drevesa, ob sežigu ali predelavi ponovno sprosti v ozračje. Zato v tej fazi skupni ogljični odtis močno naraste.
- Pri fazi C4 (odlaganje) vplivov ni zaznanih, saj so vrednosti enake 0 kg CO_2-eq.
- Modul D predstavlja okoljske koristi po koncu življenjske dobe izdelka. Skupni GWP znaša **–102 kg CO_2-eq.**, kar pomeni, da se zaradi energetske izrabe ali nadomeščanja drugih energentov ustvarijo okoljske koristi. Negativna vrednost kaže, da lahko material po koncu uporabe prispeva k zmanjšanju prihodnjih emisij toplogrednih plinov.

Tabela 1: GWP rezultati iz okoljske deklaracije proizvoda

Indicator	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
GWP-total	kg CO_2-eq.	-1.35e+02	4.64e+00	0.00e+00	7.25e-01	2.38e+02	0.00e+00	-1.02e+02
GWP-fossil	kg CO_2-eq.	1.07e+02	4.64e+00	0.00e+00	7.25e-01	2.18e+00	0.00e+00	-1.01e+02
GWP-biogenic	kg CO_2-eq.	-2.43e+02	2.33e-03	0.00e+00	3.64e-04	2.36e+02	0.00e+00	-4.14e-01
GWP-luluc	kg CO_2-eq.	5.71e-01	1.65e-03	0.00e+00	2.57e-04	5.33e-04	0.00e+00	-2.49e-02

Vir: (https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/importer/downloads/umwelt-produktdeklaration_epd/STEICO_environmental-product-declaration_special-dry_EUR_en_i.pdf.pdf)

Raba energije in virov:

Izdelek temelji predvsem na obnovljivih virih:

- skupna raba obnovljive primarne energije (PERT) znaša **3750 MJ/m³**;
- neobnovljiva energija (PENRT) pa **1750 MJ/m³**.

V proizvodnji se uporablja električna energija iz vetrnih virov na Poljskem z nizkim emisijskim faktorjem: 0,03 kg CO_2e/kWh.

Sklep:

LCA analiza kaže, da je lesno-vlaknena izolacija STEICOspecial dry okoljsko ugoden izolacijski material, predvsem zaradi:

- visoke vsebnosti obnovljivih surovin;
- skladiščenja biogenega ogljika;
- nizkega ogljičnega odtisa v proizvodnji;
- možnosti energetske izrabe po koncu življenjske dobe.

Glavni okoljski vplivi nastanejo pri:

- uporabi lepil in dodatkov;
- transportu;
- sproščanju biogenega CO_2 pri sežigu ob koncu življenjske dobe.

Kljub temu izdelek v primerjavi s klasičnimi izolacijami predstavlja zelo ugodno rešitev z vidika trajnostne gradnje in zmanjševanja emisij toplogrednih plinov.

4.2.2 Povzetek LCA analize za EPS izolacijo

LCA analiza za EPS izolacijo prikazuje okoljske vplive izdelka skozi celoten življenjski cikel – od pridobivanja surovin in proizvodnje do obdelave po koncu življenjske dobe ter energetske izrabe materiala. Analiza je pripravljena skladno s standardoma ISO 14025 in EN 15804+A2.

Ker za izdelek JUBIZOL EPS F – W1 javno dostopna EPD deklaracija ni bila na voljo, je bila za primerjalno LCA analizo uporabljena evropska EPD deklaracija EPS izolacije za ETICS fasadne sisteme. Izbrani EPD opisuje EPS plošče primerljive namembnosti in lastnosti (fasadna izolacija po EN 13163), zato predstavlja ustrezen približek za obravnavani material.

Osnovne značilnosti izdelka: EPS (ekspandirani polistiren) je toplotnoizolacijski material z zaprto celično strukturo, sestavljeno iz približno 98 % zraka. Namenjen je predvsem uporabi v fasadnih sistemih ETICS. Deklarirana enota znaša 1 m^3 EPS izolacije, povprečna gostota materiala pa 15 kg/m^3. Toplotna prevodnost znaša 0,039 W/mK. Material sestavljajo predvsem

polistirenska zrnca (90–93 %), manjši delež polimerov in penilo pentan (Industrieverband Hartschaum e.V., IVH, 2022).

Življenjski cikel izdelka:

EPD vključuje naslednje faze (Dodd, Donatello, & Cordelia, 2021):

- A1–A3: pridobivanje surovin, transport in proizvodnja;
- A5: ravnanje z embalažo in vgradnja;
- C1–C4: demontaža, transport odpadka, predelava in odlaganje;
- D: koristi zaradi energetske izrabe po koncu življenjske dobe.

Referenčna življenjska doba izdelka znaša najmanj 50 let, pri fasadnih ETICS sistemih pa približno 40 let (Industrieverband Hartschaum e.V., IVH, 2022).

Ključni okoljski rezultati:

Skupni potencial globalnega segrevanja (GWP-total) pri EPS izolaciji nastane kot vsota emisij iz fosilnih virov (GWP-fossil), biogenega ogljika (GWP-biogenic) in vplivov spremembe rabe zemljišč (GWP-luluc). Spodnji rezultati so povzeti iz Industrieverband Hartschaum e.V., IVH okoljske deklaracije proizvoda (2022).

- V proizvodni fazi A1–A3 znaša skupni **GWP 47 kg CO_2-eq.** Večina vpliva izvira iz fosilnih virov (46,8 kg CO_2-eq.), kar je povezano predvsem s proizvodnjo polistirena in porabo energije. Biogeni ogljik je zanemarljiv (0,175 kg CO_2-eq.), saj EPS ni izdelan iz obnovljive biomase.
- V fazi A5 (vgradnja in ravnanje z embalažo) znaša skupni **GWP 0,59 kg CO_2-eq.**, kar je povezano predvsem z odstranitvijo embalaže.
- V fazi C1 (demontaža) vplivi niso zaznani, saj vrednosti znašajo 0 kg CO_2-eq.
- V fazi C2 (transport odpadka) znaša skupni **GWP 0,045 kg CO_2-eq.**, kar je posledica transporta materiala do obdelave.
- V fazi C3 (predelava odpadka – termična obdelava) znaša skupni **GWP 50,4 kg CO_2-eq.** Ta faza predstavlja največji vpliv po proizvodnji, saj se material termično obdela oziroma energetsko izrabi in izhaja iz fosilnih virov.
- V fazi C4 (odlaganje) dodatnih vplivov ni zaznanih (0 kg CO_2-eq.).

- Modul D predstavlja okoljske koristi po koncu življenjske dobe izdelka. Skupni GWP znaša **–21 kg CO_2-eq.**, kar pomeni, da energetska izraba materiala omogoča nadomeščanje drugih energentov in zmanjšanje prihodnjih emisij toplogrednih plinov. Tudi pri tem večina vpliva izvira iz fosilnih virov.

Tabela 2: GWP rezultati iz okoljske deklaracije proizvoda EPS

Core indicator	Unit	A1-A3	A5	C1	C2	C3	C4	D
Total GWP	[kg CO_2 eq.]	4.70E+1	5.91E-1	0.00E+0	4.53E-2	5.04E+1	0.00E+0	-2.10E+1
GWP fossil	[kg CO_2 eq.]	4.68E+1	5.23E-1	0.00E+0	4.49E-2	5.04E+1	0.00E+0	-2.09E+1
GWP biogenic	[kg CO_2 eq.]	1.75E-1	6.75E-2	0.00E+0	1.67E-4	2.77E-3	0.00E+0	-9.61E-2
GWP luluc	[kg CO_2 eq.]	1.38E-2	3.33E-5	0.00E+0	2.89E-4	5.52E-4	0.00E+0	-1.27E-2

Vir: (https://www.austrotherm.at/fileadmin/user_upload/Umweltproduktdeklarationen_fuer_EPS.pdf?)

Raba energije in virov:

Izdelek temelji predvsem na neobnovljivih virih energije:

- skupna raba obnovljive primarne energije (PERT) znaša **27,1 MJ/m³**;
- neobnovljiva energija (PENRT) pa **1370 MJ/m³**.

Sklep:

LCA analiza kaže, da EPS zagotavlja dobro toplotno izolativnost in dolgo življenjsko dobo, vendar ima zaradi uporabe fosilnih surovin in energije višji ogljični odtis kot naravni izolacijski materiali.

Glavni okoljski vplivi nastanejo pri:

- proizvodnji polistirena;
- uporabi fosilnih surovin;
- porabi neobnovljive primarne energije;
- termični obdelavi oziroma sežigu po koncu življenjske dobe;
- transportu in ravnanju z odpadki.

EPS ne vsebuje pomembne količine biogenega ogljika, zato ne deluje kot skladišče CO_2. Njegov ogljični odtis je v proizvodni fazi pozitiven, saj je povezan predvsem z uporabo fosilnih surovin in energije. Modul D sicer pokaže okoljske koristi zaradi energetske izrabe po koncu življenjske dobe, vendar EPS kot material še vedno temelji predvsem na neobnovljivih virih.

4.2.3 Primerjava LCA analize EPS in lesno-vlaknene izolacije

Primerjava LCA analiz lesno-vlaknene izolacije STEICOspecial dry in EPS izolacije pokaže pomembne razlike v okoljskih vplivih, predvsem pri ogljičnem odtisu, porabi energije, izvoru surovin in obnašanju materiala ob koncu življenjske dobe. Pri EPS je bila uporabljena evropska EPD deklaracija za beli EPS z nizko gostoto, namenjen predvsem fasadnim ETICS sistemom, zato je primerljiva z uporabo fasadnega EPS, kot je JUBIZOL EPS F – W1. Deklarirana enota je pri obeh analizah 1 m^3 izolacijskega materiala, kar omogoča neposrednejšo primerjavo rezultatov.

4.2.3.1 Ogljični odtis

Največja razlika med materialoma se pokaže pri potencialu globalnega segrevanja (GWP). Lesno-vlaknena izolacija ima v proizvodni fazi A1–A3 negativen ogljični odtis, in sicer približno –135 kg CO_2-eq./m^3. Razlog za to je skladiščenje biogenega ogljika v lesnih vlaknih, saj drevo med rastjo absorbira CO_2 iz ozračja, ta ogljik pa ostane začasno vezan v izolacijskem materialu.

Pri EPS izolaciji je ogljični odtis v proizvodni fazi pozitiven in znaša približno +47 kg CO_2-eq./m^3. Večina tega vpliva izvira iz fosilnih virov, saj je EPS izdelan iz polistirena, ki temelji na naftnih surovinah. EPS ne vsebuje pomembne količine biogenega ogljika, zato ne deluje kot skladišče CO_2.

Če upoštevamo celoten življenjski cikel z modulom D, ima lesno-vlaknena izolacija približno **+5 do +6 kg CO_2-eq./m^3**, EPS pa približno **+77 kg CO_2-eq./m^3**. To pomeni, da ima EPS skozi celoten obravnavani življenjski cikel bistveno višji skupni ogljični odtis, medtem ko se pri lesno-vlakneni izolaciji velik del vpliva izravna zaradi skladiščenja biogenega ogljika in koristi energetske izrabe po koncu življenjske dobe.

4.2.3.2 Raba energije

Lesno-vlaknena izolacija temelji predvsem na obnovljivih virih. Njena skupna raba obnovljive primarne energije (PERT) znaša približno 3750 MJ/m^3, raba neobnovljive primarne energije (PENRT) pa približno 1750 MJ/m^3. Visoka vrednost PERT je povezana predvsem z uporabo lesa oziroma biomase kot obnovljive surovine.

Pri EPS izolaciji je razmerje drugačno. Skupna raba obnovljive primarne energije (PERT) znaša le približno 27,1 MJ/m^3, medtem ko raba neobnovljive primarne energije (PENRT) znaša

približno 1370 MJ/m³. Iz tega je razvidno, da proizvodnja EPS temelji predvsem na neobnovljivih virih energije in fosilnih surovinah.

4.2.3.3 Konec življenjske dobe

Ob koncu življenjske dobe se pri lesno-vlakneni izolaciji v fazi C3 sprosti velik del prej shranjenega biogenega ogljika, zato ta faza doseže približno 238 kg CO_2-eq./m³. Kljub temu modul D prinaša pomembne okoljske koristi v višini približno –102 kg CO_2-eq./m³, saj se material lahko energetsko izrabi in s tem nadomesti druge vire energije.

Pri EPS izolaciji je konec življenjske dobe v EPD predviden kot 100-odstotna termična obdelava oziroma energetska izraba. V fazi C3 znaša GWP približno 50,4 kg CO_2-eq./m³, modul D pa prinaša dobropis približno –21 kg CO_2-eq./m³ zaradi energetske izrabe materiala. EPS je sicer mogoče reciklirati, vendar EPD kot standardni scenarij upošteva termično recikliranje oziroma energetsko izrabo.

4.2.3.4 Rezultat

Primerjava LCA analiz kaže, da se materiala okoljsko razlikujeta predvsem zaradi izvora surovin in obravnave ogljika v življenjskem ciklu. Lesno-vlaknena izolacija ima v proizvodni fazi izrazito nižji oziroma negativen ogljični odtis zaradi skladiščenja biogenega ogljika, medtem ko ima EPS pozitiven ogljični odtis že v proizvodni fazi, saj temelji na fosilnih surovinah. EPS ima prednosti predvsem v nizki masi, dobri toplotni izolativnosti, enostavni vgradnji in dolgi življenjski dobi, vendar je njegova proizvodnja povezana z večjo odvisnostjo od neobnovljivih virov.

Z vidika LCA rezultatov je lesno-vlaknena izolacija okoljsko ugodnejša predvsem zaradi uporabe obnovljive surovine, skladiščenja biogenega ogljika in večjega deleža obnovljive primarne energije. EPS pa ostaja funkcionalno učinkovit izolacijski material, vendar njegov okoljski vpliv izhaja predvsem iz proizvodnje polistirena, rabe fosilnih virov in emisij ob termični obdelavi po koncu življenjske dobe.

4.3 FAZNI ZAMIK

Prenos toplote skozi konstrukcijo predstavlja prehajanje toplote skozi gradbene elemente, kot so stene, streha in tla. Na toplotno stabilnost konstrukcijskega sklopa vplivajo predvsem toplotna kapaciteta, termična difuzivnost, toplotna zakasnitev in dušenje temperature. Pri lahkih konstrukcijah z majhno maso in nizko toplotno kapaciteto ne moremo pričakovati velike

temperaturne stabilnosti, zato je pomembna dobra toplotna izolativnost konstrukcije (Kunič, 2009).

Fazni zamik oziroma toplotna zakasnitev predstavlja časovni zamik temperaturnega nihanja na notranji strani konstrukcije glede na zunanje temperaturno nihanje. Enota faznega zamika je časovna enota, najpogosteje ura. Konstrukcije z ustreznim faznim zamikom zmanjšujejo vpliv zunanjih temperaturnih sprememb na notranje prostore in izboljšujejo bivalno ugodje. Energetsko učinkovitejši so objekti s faznim zamikom med 6 in 18 urami (Kunič, 2009).

Poletno pregrevanje objekta je povezano s prehitrim prehodom toplote skozi konstrukcijo v notranje prostore. Konstrukcije z majhno maso in nizko toplotno kapaciteto se hitreje segrevajo, zato težje zagotavljajo stabilno notranjo temperaturo. Večjo toplotno stabilnost prostora dosežemo z materiali, ki imajo veliko maso in veliko toplotno kapaciteto, saj se notranja temperatura spreminja počasneje glede na zunanje temperaturne vplive in sončno sevanje (Kunič, 2009).

Specifična toplotna kapaciteta predstavlja količino toplote, potrebno za segrevanje enega kilograma snovi za en kelvin, in se izraža v enoti J/kgK (Kunič, 2009).

Za opis časovno spremenljivega prenosa toplote se uporablja termična difuzivnost materiala:

$$a = \frac{\lambda}{\rho c}$$

kjer:

- λ predstavlja toplotno prevodnost materiala;
- ρ gostoto materiala;
- c specifično toplotno kapaciteto.

Majhna termična difuzivnost je značilna za materiale, ki slabo prevajajo toploto in imajo veliko gostoto ali veliko specifično toploto. Takšni materiali počasneje prepuščajo toploto skozi konstrukcijo, zato zagotavljajo boljšo zaščito pred poletnim pregrevanjem in večji fazni zamik (Kunič, 2009).

Fazni zamik konstrukcijskega sklopa se praviloma ne določa le za posamezen material, temveč za celoten konstrukcijski sklop. Za izračun dinamičnih toplotnih lastnosti gradbenih komponent se uporablja standard EN ISO 13786, ki podaja metodo za izračun odziva konstrukcije pri časovno spremenljivem toplotnem toku. Ker fazni zamik ni lastnost samo posameznega

izolacijskega materiala, temveč celotnega konstrukcijskega sklopa, sem izvedla primerjavo za enak stenski sestav, pri katerem se je spreminjal le izolacijski sloj. Dinamične toplotne lastnosti konstrukcije so bile ovrednotene po metodologiji EN ISO 13786, ki obravnava fazni zamik, dušenje temperaturnega vala in toplotno akumulacijo gradbenih komponent.

Izračun je bil izveden s pomočjo HTflux kalkulatorja, ki vse navedene vrednosti izračunava skladno s standardom EN ISO 13786.

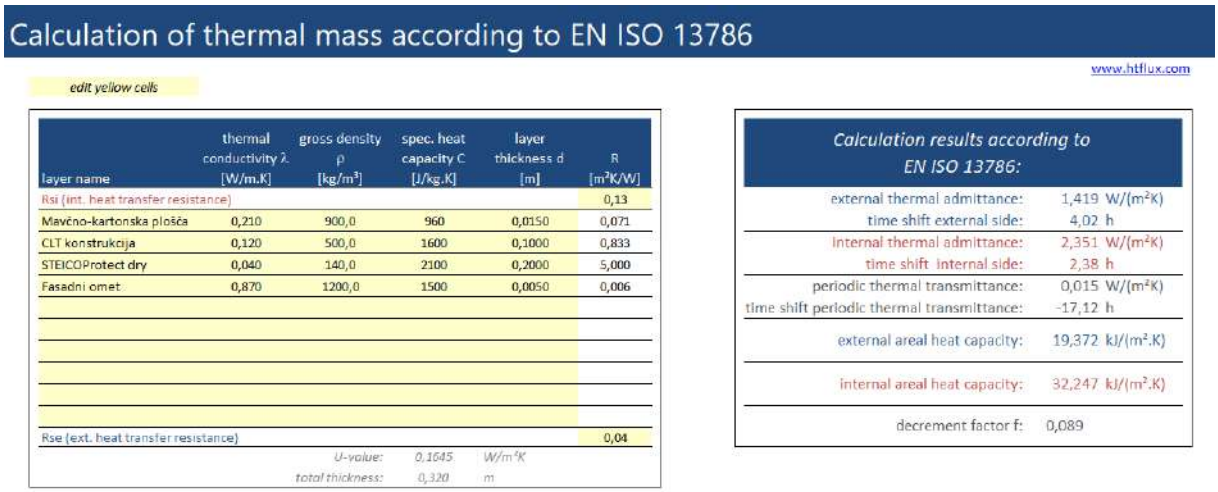
Pomen izrazov v HTflux kalkulatorju (Rüdisser, 2018):

- Thermal conductivity λ [W/mK] pomeni toplotno prevodnost materiala. Nižja kot je vrednost λ, boljši toplotni izolator je material.
- Gross density ρ [kg/m³] pomeni gostoto materiala. Materiali z večjo gostoto imajo običajno večjo sposobnost akumulacije toplote.
- Specific heat capacity C [J/kgK] pomeni specifično toplotno kapaciteto. Pove, koliko energije je potrebno, da se 1 kg materiala segreje za 1 K. Višja vrednost pomeni večjo sposobnost shranjevanja toplote.
- Layer thickness d [m] pomeni debelino posameznega sloja konstrukcije.
- R [m²K/W] pomeni toplotno upornost sloja. Večja kot je R-vrednost, bolj sloj omejuje prehod toplote.
- U-value [W/m²K] pomeni toplotno prehodnost celotnega stenskega sklopa. Nižja U-vrednost pomeni manjše toplotne izgube skozi konstrukcijo.
- Internal thermal admittance pomeni sposobnost notranje strani konstrukcije, da sprejema in oddaja toploto pri dnevnem temperaturnem nihanju. Pomembna je za poletno ugodje, saj kaže, koliko lahko notranja stran stene blaži temperaturna nihanja.
- External thermal admittance pomeni sposobnost zunanje strani konstrukcije, da sprejema in oddaja toploto pri zunanjem temperaturnem nihanju. Pomembna je predvsem za obnašanje fasadne površine.
- Periodic thermal transmittance pomeni dinamično toplotno prehodnost. Pove, koliko temperaturno nihanje na eni strani konstrukcije vpliva na toplotni tok na drugi strani. Nižja vrednost pomeni boljše dušenje zunanjih temperaturnih nihanj.

- Time shift periodic thermal transmittance je podatek, ki ga najpogosteje povezujemo s faznim zamikom. Pove, za koliko ur se temperaturni oziroma toplotni val zakasni pri prehodu skozi konstrukcijo. Negativni predznak v HTflux pomeni, da toplotni tok zaostaja za temperaturnim nihanjem na drugi strani konstrukcije.
- Internal areal heat capacity [kJ/m²K] pomeni notranjo površinsko toplotno kapaciteto. Pove, koliko toplote lahko shrani 1 m² konstrukcije pri temperaturnem nihanju za 1 K. Večja vrednost pomeni manjša notranja temperaturna nihanja in boljšo zaščito pred poletnim pregrevanjem.
- External areal heat capacity [kJ/m²K] pomeni zunanjo površinsko toplotno kapaciteto. Pomembna je za obnašanje zunanje fasadne površine; nizka zunanja toplotna kapaciteta je značilna za lahke izolacijske materiale s tankim zaključnim ometom.
- Decrement factor f pomeni faktor dušenja temperaturnega vala. Nižja kot je vrednost, bolj konstrukcija zmanjša oziroma zaduši vpliv zunanjega temperaturnega nihanja.

Za najboljšo primerjavo sem na enakih konstrukcijskih sklopih spreminjala le fasadne izolacije. Primer je narejen z uporabo CLT lesene konstrukcije kot osnovne nosilne konstrukcije, saj se takšni konstrukcijski sklopi uporabljajo tudi v realnosti.

4.3.1 CLT konstrukcija z 20 cm lesno-vlaknene izolacije STEICOProtect dry



Calculation of thermal mass according to EN ISO 13786

www.htflux.com

edit yellow cells

layer name	thermal conductivity λ [W/m.K]	gross density ρ [kg/m³]	spec. heat capacity C [J/kg.K]	layer thickness d [m]	R [m²K/W]
Rsi (int. heat transfer resistance)					0,13
Mavčno-kartonska plošča	0,210	900,0	960	0,0150	0,071
CLT konstrukcija	0,120	500,0	1600	0,1000	0,833
STEICOProtect dry	0,040	140,0	2100	0,2000	5,000
Fasadni omet	0,870	1200,0	1500	0,0050	0,006
Rse (ext. heat transfer resistance)					0,04
		U-value:	0,1645	W/m²K	
		total thickness:	0,320	m	

Calculation results according to EN ISO 13786:	
external thermal admittance:	1,419 W/(m²K)
time shift external side:	4,02 h
internal thermal admittance:	2,351 W/(m²K)
time shift internal side:	2,38 h
periodic thermal transmittance:	0,015 W/(m²K)
time shift periodic thermal transmittance:	-17,12 h
external areal heat capacity:	19,372 kJ/(m².K)
internal areal heat capacity:	32,247 kJ/(m².K)
decrement factor f:	0,089

Slika 12: izračun z lesno-vlakneno izolacijo

Vir: (Htflux kalkulator)



Slika 13: Lesno-vlaknena izolacija na CLT konstrukciji

Vir: (Lastni vir)

4.3.2 CLT konstrukcija z 20 cm JUBIZOL EPS F – W1

Calculation of thermal mass according to EN ISO 13786

www.htflux.com

edit yellow cells

layer name	thermal conductivity λ [W/m.K]	gross density ρ [kg/m³]	spec. heat capacity C [J/kg.K]	layer thickness d [m]	R [m²K/W]
Rsi (int. heat transfer resistance)					0,13
Mavčno-kartonska plošča	0,210	900,0	960	0,0150	0,071
CLT konstrukcija	0,120	500,0	1600	0,1000	0,833
JUBIZOL EPS F–W1	0,039	20,0	1450	0,2000	5,128
Fasadni omet	0,870	1200,0	1500	0,0050	0,006
Rse (ext. heat transfer resistance)					0,04
		U-value:	0,1611	W/m²K	
		total thickness:	0,320	m	

Calculation results according to EN ISO 13786:	
external thermal admittance:	0,824 W/(m²K)
time shift external side:	4,88 h
internal thermal admittance:	2,385 W/(m²K)
time shift internal side:	2,35 h
periodic thermal transmittance:	0,050 W/(m²K)
time shift periodic thermal transmittance:	-8,85 h
external areal heat capacity:	11,946 kJ/(m².K)
internal areal heat capacity:	33,469 kJ/(m².K)
decrement factor f:	0,311

Slika 14: izračun z EPS izolacijo

Vir: (Htflux kalkulator)



Slika 15: EPS na CLT konstrukciji

Vir: (Lastni vir)

4.3.3 Primerjava rezultatov

Tabela 3: primerjava rezultatov iz kalkulatorja

Kazalnik	**STEICOprotect dry**	**JUBIZOL EPS F – W1**	**Razlaga**
U-vrednost	0,1645 W/m²K	0,1611 W/m²K	Razlika je majhna, vendar ima EPS malenkost nižjo U-vrednost, zato je pri enaki debelini nekoliko boljši pri toplotni izolativnosti.
Periodic thermal transmittance	0,015 W/m²K	0,050 W/m²K	Steico ima bistveno nižjo dinamično toplotno prehodnost, kar

			pomeni boljše dušenje zunanjih temperaturnih nihanj.
Fazni zamik	17,12 h	8,85 h	Steico doseže skoraj dvakrat večji fazni zamik kot EPS.
Decrement factor f	0,089	0,311	Steico precej bolje duši temperaturni val; nižja vrednost je ugodnejša.
External areal heat capacity	19,372 kJ/m²K	11,946 kJ/m²K	Zunanja stran sklopa s Steico ima večjo sposobnost akumulacije toplote.
Internal areal heat capacity	32,247 kJ/m²K	33,469 kJ/m²K	Vrednosti sta zelo podobni, ker so notranji sloji pri obeh primerih enaki.
Internal thermal admittance	2,351 W/m²K	2,385 W/m²K	Skoraj enaki vrednosti; notranji odziv konstrukcije je podoben.
External thermal admittance	1,419 W/m²K	0,824 W/m²K	Steico ima večjo sposobnost toplotnega odziva na zunanji strani fasade.

Vir: (Lastni vir)

Primerjava rezultatov po standardu EN ISO 13786 kaže, da imata oba stenska sklopa zelo podobno stacionarno toplotno izolativnost. U-vrednost pri sklopu z lesno-vlakneno izolacijo STEICOprotect dry znaša 0,1645 W/m²K, pri sklopu z EPS izolacijo JUBIZOL EPS F – W1 pa 0,1611 W/m²K. To pomeni, da ima EPS pri enaki debelini nekoliko nižjo U-vrednost, vendar je razlika med materialoma majhna.

Večje razlike se pokažejo pri dinamičnem toplotnem obnašanju konstrukcije. Pri sklopu z lesno-vlakneno izolacijo znaša **fazni zamik 17,12 h**, pri sklopu z EPS izolacijo pa **8,85 h**. To pomeni, da konstrukcija z lesno-vlakneno izolacijo bistveno bolj zakasni prehod temperaturnega vala skozi steno. Takšna zakasnitev je ugodna predvsem poleti, saj toplota v notranjost prehaja počasneje oziroma šele v kasnejšem delu dneva.

Tudi faktor dušenja je pri lesno-vlakneni izolaciji ugodnejši. Pri STEICOprotect dry znaša 0,089, pri EPS pa 0,311. Ker nižja vrednost pomeni boljše dušenje temperaturnega nihanja, rezultat kaže, da lesno-vlaknena izolacija precej učinkoviteje zmanjša vpliv zunanjih temperaturnih sprememb na notranjo stran konstrukcije.

Pomembna razlika je tudi pri dinamični toplotni prehodnosti. Pri STEICOprotect dry znaša 0,015 W/m²K, pri EPS pa 0,050 W/m²K. Nižja vrednost pri lesno-vlakneni izolaciji pomeni, da se skozi konstrukcijo prenese manjši delež zunanjega temperaturnega nihanja. To potrjuje boljše dinamično obnašanje lesno-vlaknene izolacije pri poletni toplotni zaščiti.

Notranja površinska toplotna kapaciteta je pri obeh primerih zelo podobna: pri STEICO znaša 32,247 kJ/m²K, pri EPS pa 33,469 kJ/m²K. Razlog je v tem, da so notranji sloji konstrukcije pri obeh primerih enaki, zato se notranja toplotna akumulacija bistveno ne spremeni. Večja razlika se pojavi na zunanji strani, kjer ima sklop s STEICO višjo zunanjo površinsko toplotno kapaciteto (19,372 kJ/m²K) kot sklop z EPS (11,946 kJ/m²K).

Na podlagi rezultatov lahko zaključimo, da sta materiala pri stacionarni toplotni izolativnosti zelo podobna, saj imata skoraj enaki U-vrednosti. Vendar pa ima lesno-vlaknena izolacija bistveno boljše dinamične lastnosti: večji fazni zamik, manjši faktor dušenja in nižjo periodično toplotno prehodnost. Zato je sklop z lesno-vlakneno izolacijo ugodnejši z vidika poletne toplotne zaščite in zmanjševanja pregrevanja objekta, medtem ko je EPS nekoliko ugodnejši le pri osnovni U-vrednosti.

4.4 STROŠKI GRADNJE

4.4.1 Strošek materiala

Prilagam izseka iz cenikov za obravnavani vrsti izolacije za leto 2025.

STEICO*protectdry L*



Izolacijske plošče iz lesnih vlaken za fasadne sisteme

- difuzijsko odprte izolacijske plošče iz naravnih lesnih vlaken
- namenska uporaba za kontaktne fasade za CLT ali zidane stavbe

Gostota 110 kg/m³, λ = 0,037 W/mK

raven rob

Velikost	Pokrivne mere	Debelina	Kos / paleto	m² / paleto	Cena / m²
1200 * 400 mm	1200 * 400 mm	100 mm	22	10,560	*25,20 €*
1200 * 400 mm	1200 * 400 mm	120 mm	18	8,640	*30,30 €*
1200 * 400 mm	1200 * 400 mm	140 mm	16	7,680	*35,30 €*
1200 * 400 mm	1200 * 400 mm	160 mm	14	6,720	*40,30 €*
1200 * 400 mm	1200 * 400 mm	180 mm	12	5,760	*45,40 €*
1200 * 400 mm	1200 * 400 mm	200 mm	12	5,760	*50,40 €*
1200 * 400 mm	1200 * 400 mm	220 mm	10	4,800	*55,50 €*
1200 * 400 mm	1200 * 400 mm	240 mm	10	4,800	*60,50 €*

Velikost palete: 1,20 * 0,80 * 1,20 m; teža palete cc.120kg

Slika 16: izsek iz cenika za izolacijo SteicoProtectDry

Vir: (cenik podjetja Arting, d. o. o., za leto 2025, pridobljeno od podjetja D&R Damir Leljak, s. p.)

JUBIZOL EPS F-W1 Beli fasadni EPS s preklopom		5 cm	3838527458663	1002400	zavoj	5,0 m²	1	m²	**4,340**
		6 cm	3838527458670	1002401	zavoj	4,0 m²	1	m²	**5,160**
		8 cm	3838527458694	1002402	zavoj	3,0 m²	1	m²	**6,880**
		10 cm	3838527458717	1002404	zavoj	2,5 m²	1	m²	**8,600**
		12 cm	3838527458731	1002405	zavoj	2,0 m²	1	m²	**10,320**
		14 cm	3838527458755	1002407	zavoj	2,0 m²	1	m²	**12,040**
		15 cm	3838527458762	1002408	zavoj	1,5 m²	1	m²	**12,900**
		16 cm	3838527458779	1002409	zavoj	1,5 m²	1	m²	**13,760**
		17 cm	3838527458786	1004530	zavoj	1,5 m²	1	m²	**14,620**
		18 cm	3838527458793	1002410	zavoj	1,5 m²	1	m²	**15,480**
	eko sklad	19,5 cm	3838527659510	1012824	zavoj	1,5 m²	1	m²	**16,770**
		20 cm	3838527458816	1002411	zavoj	1,5 m²	1	m²	**17,200**

Slika 17: izsek iz cenika za izolacijo JUBIZOL EPS F – W1

Vir: (https://www.jub.si/app/uploads/2025/02/JUB_CENIK_IZDELKOV_FEB25_A4_SLO.pdf)

Primerjava stroškov je izvedena za izolacijski plošči debeline 20 cm, pri čemer so uporabljene cene iz priloženih cenikov. Za fasadno izolacijo JUBIZOL EPS F – W1 znaša cena 17,20 €/m², za lesno-vlakneno izolacijo STEICOprotect dry L debeline 200 mm pa 50,40 €/m².

Razlika v ceni znaša:

$$50{,}40 - 17{,}20 = 33{,}20\ €/\mathrm{m}^2$$

Lesno-vlaknena izolacija je tako pri enaki debelini za 33,20 €/m² dražja od EPS izolacije. Njena cena je skoraj 3-krat višja, kar pomeni približno 193 % višji strošek izolacijskega materiala.

Primerjava pokaže, da je EPS pri debelini 20 cm bistveno cenovno ugodnejši. Ker sta bila v predhodnem izračunu stenska sklopa zasnovana z enako debelino izolacije in sta dosegla zelo podobni U-vrednosti, je primerjava stroška na m² smiselna tudi z vidika osnovne toplotne izolativnosti. Lesno-vlaknena izolacija zahteva višjo začetno investicijo, vendar poleg toplotne izolativnosti zagotavlja boljše dinamične toplotne lastnosti, kot so večji fazni zamik, učinkovitejše dušenje temperaturnega vala in večja zunanja toplotna kapaciteta.

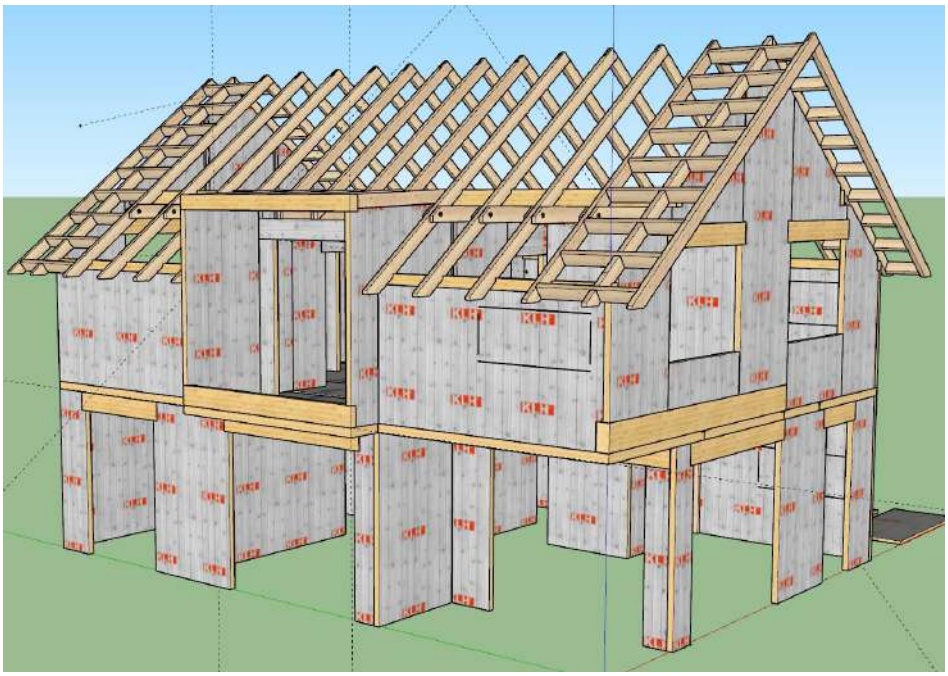
4.4.2 Strošek vgradnje

Način vgradnje se med materialoma razlikuje. Plošče JUBIZOL EPS F – W1 se na podlago najprej lepijo, nato pa še mehansko pritrdijo s fasadnimi sidri. Lesno-vlaknene plošče STEICOprotect dry pa se na konstrukcijo pritrdijo samo mehansko s sidri, brez lepljenja. Kljub različnemu postopku je strošek dela pri obeh sistemih enak.

Po podatkih podjetja D&R Damir Leljak, s. p., v katerem sem zaposlena, znaša strošek vgradnje za fasadno EPS izolacijo 15 €/m2, za lesno-vlakneno izolacijo pa 11 €/m². Cena zajema strošek dela skupaj s sidrnim materialom (vijaki, podložke) ter fasadnim lepilom pri EPS.

4.4.3 Primerjava na obravnavanem primeru

Obravnavana hiša Z ima 230 m2 fasade, na katero smo dali 20 cm izolacije.



Slika 18: delavniški načrt CLT konstrukcije, na katero se je vgradila fasadna izolacija

Vir: (D&R Damir Leljak, s. p.)

Tabela 4: cenovna primerjava izolacij

Material	**Cena izolacije**	**Cena vgradnje**	**Skupaj na m²**	**Skupaj za 230 m²**
JUBIZOL EPS F – W1	17,20 €/m²	15,00 €/m²	32,20 €/m²	7.406,00 €
STEICO lesno-vlaknena izolacija	50,40 €/m²	11,00 €/m²	61,40 €/m²	14.122,00 €

Vir: (Lastni vir)

Razlika:

$$14.122{,}00 - 7.406{,}00 = \mathbf{6.716{,}00}\ €$$

Pri hiši z 230 m² fasade je izvedba z lesno-vlakneno izolacijo za 6.716 € dražja od izvedbe z EPS izolacijo. Razlika na kvadratni meter znaša:

$$61{,}40 - 32{,}20 = 29{,}20\ €/\mathrm{m}^2$$

Investitor se je kljub višjim začetnim stroškom odločil za uporabo lesno-vlaknene izolacije zaradi boljšega faznega zamika. Odločitev so podprle tudi spodbude na ravni države, ki subvencionirajo uporabo naravnih materialov. V nadaljevanju prilagam sliko vgrajene lesno-vlaknene fasadne izolacije na izbranem projektu. Kljub temu je v predelu pete oziroma podzidka uporabljena izolacija EPS Strong, proizvajalca JUB, ki je zaradi posebne obdelave odporna na vlago in tako primerna za uporabo v predelu stika objekta s tlemi. Te plošče so izdelane v kalupu, imajo zaprto celično strukturo ekspandiranih kroglic, nizko vodovpojnost in izboljšane mehanske lastnosti.



Slika 19: slika dokončane lesno-vlaknene izolacije na obravnavanem projektu

Vir: (Lastni vir)

5 UGOTOVITVE

V diplomskem delu sem primerjala izolacijo iz ekspandiranega polistirena EPS in izolacijo iz lesnih vlaken z vidika tehničnih, toplotnih, okoljskih, ekonomskih in trajnostnih lastnosti. Primerjava je bila izvedena na osnovi strokovne literature, tehničnih listov proizvajalcev, okoljskih deklaracij proizvodov in izračunov za konkreten primer stanovanjske hiše Z.

Pri primerjavi osnovnih toplotnih lastnosti sem ugotovila, da imata oba materiala zelo podobno toplotno izolativnost. EPS JUBIZOL EPS F – W1 ima deklarirano toplotno prevodnost 0,039 W/mK, lesno-vlaknena izolacija STEICOspecial dry pa 0,040 W/mK. Razlika je majhna, vendar EPS pri enaki debelini dosega nekoliko boljšo stacionarno toplotno izolativnost. To se kaže tudi pri toplotni upornosti, saj ima EPS pri debelini 200 mm toplotno upornost 5,10 m²K/W, lesno-vlaknena izolacija pa 5,00 m²K/W.

Večje razlike med materialoma so se pokazale pri dinamičnem toplotnem obnašanju. Lesno-vlaknena izolacija ima bistveno večjo gostoto in višjo specifično toplotno kapaciteto kot EPS, zato bolje akumulira toploto. V izračunu celotnega stenskega sklopa je konstrukcija z lesno-vlakneno izolacijo dosegla fazni zamik 17,12 h, konstrukcija z EPS izolacijo pa 8,85 h. Prav tako je bil faktor dušenja pri lesno-vlakneni izolaciji nižji, kar pomeni, da bolje duši prehod zunanjega temperaturnega vala v notranjost objekta. Iz tega izhaja, da je lesno-vlaknena izolacija ugodnejša predvsem z vidika poletnega toplotnega ugodja in zmanjševanja pregrevanja.

Pri okoljskem delu primerjave sem ugotovila, da ima lesno-vlaknena izolacija ugodnejši ogljični odtis kot EPS. Glavni razlog je v tem, da je izdelana pretežno iz obnovljive surovine in da v času uporabe skladišči biogeni ogljik. EPS je po drugi strani izdelan iz polistirena, ki temelji na fosilnih surovinah, zato ima v proizvodni fazi pozitiven ogljični odtis. Čeprav imata oba materiala po koncu življenjske dobe možnost energetske izrabe oziroma recikliranja, lesno-vlaknena izolacija izstopa kot okoljsko ugodnejši material.

Pri primerjavi trajnosti sem ugotovila, da imata materiala različne prednosti in omejitve. EPS je zaradi zaprtocelične strukture manj občutljiv na vlago in lažji za vgradnjo, vendar je gorljiv in temelji na neobnovljivih surovinah. Lesno-vlaknena izolacija je paroprepustna, omogoča boljše uravnavanje vlage v konstrukciji in prispeva k boljši toplotni stabilnosti, vendar mora biti zaščitena pred dolgotrajnim navlaževanjem. Pri obeh materialih je za dolgoročno trajnost

ključna pravilna izvedba fasadnega sistema, zaščita pred zamakanjem, kakovostno sidranje in redno vzdrževanje zaključnega sloja.

Na konkretnem primeru hiše Z sem izvedla tudi stroškovno primerjavo. Pri fasadni površini 230 m² in debelini izolacije 20 cm je bila izvedba z EPS izolacijo cenovno ugodnejša. Skupni strošek EPS izolacije z vgradnjo znaša 7.406,00 €, medtem ko strošek izvedbe z lesno-vlakneno izolacijo znaša 14.122,00 €. Razlika znaša 6.716,00 €, kar pomeni, da je lesno-vlaknena izolacija bistveno dražja predvsem zaradi višje cene izolacijskih plošč. EPS je zato ekonomsko ugodnejša izbira, lesno-vlaknena izolacija pa predstavlja dražjo, vendar bolj trajnostno in v poletnem času toplotno učinkovitejšo rešitev.

6 SKLEP

V diplomskem delu sem obravnavala primerjavo izolacije iz ekspandiranega polistirena EPS in izolacije iz lesnih vlaken. Namen dela je bil ugotoviti, kako se materiala razlikujeta po svojih tehničnih, toplotnih, okoljskih, ekonomskih in trajnostnih lastnostih ter kateri material je primernejši za uporabo v različnih gradbenih primerih. Primerjavo sem povezala tudi s konkretnim projektom iz prakse, in sicer s stanovanjsko hišo Z, ki ima 230 m² fasadne površine. S tem delo ni ostal samo na teoretični ravni, ampak je bilo dopolnjeno s praktičnim izračunom stroškov in primerjavo uporabnosti materialov na dejanskem objektu.

Zastavljene cilje diplomskega dela sem dosegla. Analizirala sem osnovne fizikalne in toplotne lastnosti obeh materialov, primerjala njuno toplotno prevodnost in izolativnost, raziskala okoljske vplive skozi LCA oziroma EPD podatke, primerjala stroške nabave in vgradnje ter ocenila dolgoročno trajnost materialov glede vlage, plesni in mehanskih obremenitev. Pri tem sem ugotovila, da noben material ni najboljši v vseh obravnavanih kategorijah. EPS je ugodnejši pri ceni, masi in osnovni toplotni izolativnosti, medtem ko lesno-vlaknena izolacija izstopa pri trajnostnih lastnostih, ogljičnem odtisu in dinamičnem toplotnem obnašanju konstrukcije.

Prva hipoteza **H1** je bila, da lesna vlakna kot izolacijski material povzročijo manjši ogljični odtis skozi celoten življenjski cikel v primerjavi z EPS. To hipotezo lahko potrdim. Lesno-vlaknena izolacija je izdelana pretežno iz obnovljive surovine in v času uporabe skladišči biogeni ogljik. Zaradi tega ima v proizvodni fazi bistveno ugodnejši ogljični odtis kot EPS. EPS je izdelan iz polistirena, ki temelji na fosilnih surovinah, zato so njegovi okoljski vplivi povezani predvsem s proizvodnjo osnovne surovine, porabo neobnovljive energije in ravnanjem z materialom po koncu življenjske dobe. Čeprav ima tudi EPS možnost recikliranja ali energetske izrabe, je z vidika ogljičnega odtisa lesno-vlaknena izolacija boljša rešitev.

Druga hipoteza **H2** je bila, da ima izolacija iz lesnih vlaken slabšo toplotno prevodnost kot EPS. Tudi to hipotezo lahko potrdim, vendar je treba poudariti, da je razlika zelo majhna. JUBIZOL EPS F – W1 ima deklarirano toplotno prevodnost 0,039 W/mK, STEICOspecial dry pa 0,040 W/mK. EPS ima zato pri enaki debelini nekoliko boljšo stacionarno toplotno izolativnost. To se pokaže tudi pri toplotni upornosti, saj EPS pri debelini 200 mm dosega nekoliko višjo vrednost kot lesno-vlaknena izolacija. Kljub temu razlika ni tako velika, da bi lahko samo na podlagi toplotne prevodnosti določili bistveno boljši material. Pri izbiri izolacije je treba

upoštevati tudi druge lastnosti, predvsem gostoto, specifično toploto, fazni zamik, okoljski vpliv in strošek izvedbe.

Tretja hipoteza **H3** je bila, da ima izolacija iz lesnih vlaken boljši fazni zamik kot EPS. To hipotezo lahko potrdim. Pri izračunu celotnega stenskega sklopa je konstrukcija z lesno-vlakneno izolacijo dosegla fazni zamik 17,12 h, konstrukcija z EPS izolacijo pa 8,85 h. To pomeni, da lesno-vlaknena izolacija bistveno bolj zakasni prehod zunanjega temperaturnega vala skozi konstrukcijo. Takšna lastnost je posebej pomembna poleti, ko želimo zmanjšati pregrevanje notranjih prostorov. Lesno-vlaknena izolacija ima večjo gostoto in večjo sposobnost akumulacije toplote, zato omogoča boljše dinamično toplotno obnašanje stavbnega ovoja. EPS sicer zelo dobro zmanjšuje toplotne izgube pozimi, vendar zaradi manjše gostote in manjše toplotne akumulacije slabše vpliva na poletno toplotno stabilnost.

Četrta hipoteza **H4** je bila, da toplotna izolacija iz EPS bistveno prispeva k nižjim stroškom gradnje, zato je pogosteje uporabljena pri gradnji dostopnih stanovanj v primerjavi z izolacijo iz lesnih vlaken. Tudi to hipotezo lahko potrdim. Na primeru hiše Z je bila primerjava izvedena za 230 m² fasade in izolacijo debeline 20 cm. Skupni strošek EPS izolacije z vgradnjo znaša 7.406,00 €, medtem ko skupni strošek lesno-vlaknene izolacije z vgradnjo znaša 14.122,00 €. Razlika znaša 6.716,00 €, kar je za investitorja pomemben podatek. EPS je zato cenovno dostopnejša rešitev in zaradi tega v praksi pogosto izbran material, predvsem pri projektih, kjer je pomembna nižja začetna investicija.

Ključna ugotovitev dela je, da EPS in lesno-vlaknena izolacija nista neposredno primerljiva samo po eni lastnosti. Če primerjamo samo toplotno prevodnost in ceno, je EPS ugodnejši material. Če pa primerjavo razširimo na okoljski vpliv, fazni zamik, poletno toplotno ugodje in uporabo obnovljivih surovin, ima več prednosti lesno-vlaknena izolacija. Zato je izbira materiala odvisna od ciljev posameznega projekta. Pri projektih, kjer je najpomembnejši čim nižji začetni strošek, je EPS racionalna izbira. Pri projektih, kjer so pomembni trajnostna gradnja, nižji ogljični odtis, naravni materiali in boljše poletno ugodje, pa predstavlja primernejšo rešitev lesno-vlaknena izolacija.

Pomembna ugotovitev je tudi, da mora biti pri obeh materialih veliko pozornosti namenjene pravilni izvedbi. Pri EPS je treba upoštevati njegovo gorljivost, občutljivost na UV sevanje ter zaščito z zaključnim slojem in ustrezno izvedbo celotnega fasadnega sistema. Pri lesno-vlakneni izolaciji je pomembna zaščita pred dolgotrajno vlago, pravilno skladiščenje, zaščita med vgradnjo in natančna izvedba detajlov, saj lahko dolgotrajno navlaževanje vpliva na

trajnost materiala. Pri obeh izolacijah je končna kakovost odvisna ne samo od lastnosti materiala, ampak tudi od pravilnega načrtovanja, kakovostne vgradnje in vzdrževanja fasade.

Na podlagi izvedene primerjave lahko kot ključni predlog izpostavim, da se izbira izolacijskega materiala ne sme sprejemati samo na podlagi cene ali samo na podlagi toplotne prevodnosti. Smiselno je uporabiti širši pristop, ki vključuje tehnične, okoljske, ekonomske in izvedbene kriterije. Pri stanovanjskih hišah, kjer investitor želi nižji strošek izvedbe, je EPS še vedno zelo uporabna in ekonomsko upravičena rešitev. Pri objektih, kjer je poudarek na trajnostni gradnji, naravnih materialih, manjšem ogljičnem odtisu in boljši zaščiti pred poletnim pregrevanjem, pa je smiselno razmisliti o uporabi lesno-vlaknene izolacije.

Predlagam tudi, da se pri prihodnjih projektih poleg osnovne U-vrednosti bolj pogosto upoštevajo dinamične toplotne lastnosti konstrukcije, predvsem fazni zamik in faktor dušenja. V praksi se pogosto največ pozornosti nameni zimski toplotni zaščiti, vendar postaja zaradi vse pogostejših vročinskih valov vedno pomembnejša predvsem poletna toplotna stabilnost stavb. Lesno-vlaknena izolacija se je v tem delu primerjave pokazala kot zelo učinkovita rešitev. Pri projektiranju energijsko učinkovitih in trajnostnih stavb bi bilo zato smiselno vrednotiti tudi vpliv materiala na poletno bivalno ugodje, ne samo na zmanjševanje toplotnih izgub pozimi.

Končna ugotovitev diplomskega dela je, da EPS ostaja cenovno ugoden, tehnično učinkovit in široko uporaben izolacijski material, medtem ko lesno-vlaknena izolacija predstavlja bolj trajnostno, okoljsko ugodnejšo in poleti učinkovitejšo alternativo. Lesno-vlaknena izolacija zaradi višje cene ni vedno ekonomsko najugodnejša izbira, vendar lahko njene prednosti upravičijo višjo začetno investicijo pri projektih, kjer so pomembni dolgoročna kakovost bivanja, manjši vpliv na okolje in uporaba obnovljivih materialov. S tem diplomsko delo potrjuje, da je za strokovno izbiro izolacije potreben celovit pristop, ki presega zgolj primerjavo cene in osnovne toplotne prevodnosti.

7 VIRI, LITERATURA

Academia. (18. december 2015). *Gostujoče predavanje sodelavcev časopisa Večer*. Pridobljeno iz Academia Novice: http://academia.si/novice/gostujoce-predavanje-sodelavcev-casopisa-vecer/

Asdrubali, F., Evangelisti, L., Guattari, C., Roncone, M., & Milone, D. (19. Januar 2023). Experimental Analysis of the Thermal Performance of Wood. *Sustainability 2023, 15, 1963*. Pridobljeno iz https://doi.org/10.3390/

Booker, J., & Roe, G. (brez datuma). *Heat, Conduction, and Diffusion.* Pridobljeno iz Department of earth and space sciences, College of environment, University of Washington: https://earthweb.ess.washington.edu/roe/Web_page_314/ESS314/Week_4_files/314diffusion.pdf

Brightworks Sustainability, WAP Sustainability. (November 2021). *Sector Supplement for Measuring and Accounting for Embodied.* Pridobljeno iz https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2023-03/wri-embodied-emissions-sector-supplement-2022_1.pdf?

British Plastics Federation. (2. 11 2025). *British Plastics Federation*. Pridobljeno iz Expanded Polystyrene (EPS): https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/expanded-and-extruded-polystyrene-eps-xps.aspx

Bučar, F. (2012). *Rojstvo države.* Ljubljana: Didakta.

Dodd, N., Donatello, S., & Cordelia, M. (januar 2021). *Level(s) indicator 1.2:Life cycle Global Warming Potential (GWP).* Pridobljeno iz User manual: introductory briefing, instructions and guidance: https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2021-01/UM3_Indicator_1.2_v1.1_37pp.pdf?

EPS Molders Association . (november 2004). *EPS Insulation Mold Resistance.* Pridobljeno iz https://buildblock.com/wp-content/uploads/EPSIA-EPS-Insulation-Mold-Resistance.pdf

Fernandes, V. (brez datuma). *Wood Fibre as a Building Material*. Pridobljeno iz https://www.firstinarchitecture.co.uk/wood-fibre-as-a-building-material

Hashimoto, T. (September 2017). Temperature Wave Analysis. *SCIENTIFIC INSTRUMENT NEWS Technical magazine of Electron Microscope and Analytical Instruments., 9*.

Industrieverband Hartschaum e.V., IVH. (15. oktober 2022). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION.* Pridobljeno iz https://eumeps.eu/images/newsroom/publications/EPD_2023/EPS_rigid_foam_density_15_kgm_EN.pdf

Industrieverband Hartschaum e.V., IVH. (15. avgust 2022). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION EPS hard foam – white with low bulk density.* Pridobljeno iz https://www.austrotherm.at/fileadmin/user_upload/Umweltproduktdeklarationen_fuer_EPS.pdf?

JUB d.o.o. (4. 7 2024). *JUBIZOL EPS F - W1 tehnični list.* Pridobljeno iz https://www.jub.si/app/uploads/pim-files/TDS/80747_000210000200000031_JUBIZOL%20EPS%20F%20-%20W1_TDS_SLO_VER_2.pdf

Kunič, d. R. (10 2009). Mehanizem prehoda toplote skozi. *Gradbenik*. Pridobljeno iz https://icold-bw2022.fgg.uni-lj.si/wp-content/uploads/2017/12/Gradbenik-Prehod-toplote_2.pdf?

Marincioni, V., & Altamirano-Medina, H. (2023). The Behaviour of Wood Fibre Insulation Systems for Solid Wall Buildings: Lessons from a Long-term Monitoring Study. *Journal of Physics: Conference Series 2654*.

Rüdisser, D. (20. 4 2018). *A brief guide and free tool for the calculation of the thermal mass of building components (according to ISO 13786).* Pridobljeno iz https://www.researchgate.net/publication/324654258_A_brief_guide_and_free_tool_for_the_calculation_of_the_thermal_mass_of_building_components_according_to_ISO_13786

Steico. (2026). *STEICO Insulation Materials*. Pridobljeno iz Wood fibre: nature´s high-tech insulation material: https://www.steico.com/eur/solutions/product-advantages/steico-insulation-materials

Steico. (brez datuma). *Handling instructions STEICO sarking and sheathing boards.* Pridobljeno iz

https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/International_Media/Technical_Installation/Technical_Documents/STEICO_handling-instructions_sheathing-boards_EUR_en_i.pdf

STEICO SE. (11. 6 2025). *Steico special dry technical data sheet.* Pridobljeno iz https://www.steico.com/uk/resources/documents/dop-archive

STEICO SE. (27. marec 2026). *ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION STEICOspecial dry*. Pridobljeno iz https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/importer/downloads/umwelt-produktdeklaration_epd/STEICO_environmental-product-declaration_special-dry_EUR_en_i.pdf.pdf

URSA Insulation. (2009). Pridobljeno iz Ursa.tmedia.biz: https://ursa.tmedia.biz/si/prirocniktoplotna/zepni-prirocnik-o-izolacijah.pdf?