

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA
MARIBOR

VPLIV NIZKOENERGIJSKE HIŠE NA OKOLJE
V OBČINI LOVRENC NA POHORJU NA
PRAKTIČNEM PRIMERU

Kandidat: Matija Švajger

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor predavatelj: Vladimir Dragorajac univ. dipl. inž.

Mentor v podjetju: Vidko Švajger inž. les.

Lektorica: mag. Janja Polajner. prof. slov. jez. in knjiž.

Maribor, 2025

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Matija Švajger, sem avtor diplomskega dela z naslovom Vpliv nizkoenergijske hiše na okolje v občini Lovrenc na Pohorju na praktičnem primeru, ki sem ga napisal/a pod mentorstvom Vladimirja Dragorajaca univ.dipl.inž..

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.

Lovrenc na Pohorju, Februar 2025

Podpis študenta:

ZAHVALA

Rad bi se zahvalil vsem, ki so mi pomagali pri pisanju tega diplomskega dela. Najprej bi se rad zahvalil svojemu mentorju Vladimiru Dragorajacu univ. dipl. inž., za njegovo potrpežljivost, strokovno vodstvo in dragocene nasvete. Njegova podpora je bila ključnega pomena za dokončanje tega dela.

Posebno zahvalo namenjam tudi Bojanu Dapčeviću, univ. dipl. inž. grad., ki mi je nudil predvsem moralno podporo, in kasneje tudi tehnično pomoč pri diplomu. Njegova vztrajnost je bila v teh dolgih 10 ali več letih neprecenljiva.

Zahvaljujem se tudi očetu in hkrati tudi direktorju Vidku Švajgerju. Njegova podpora mi je dala motivacijo in energijo, da sem lahko premagal vse izzive. Ne smem pozabiti na celoten kolektiv v podjetju Pergola d. o. o., ki so mi v času pisanja diplomskega dela stali ob strani in me spodbujali.

Seveda ne smem pozabiti na svojo družino, ki mi je v vseh letih študija nudila nesebično podporo in razumevanje. Hvala Vam, da ste verjeli vame in mi omogočili, da sem prišel do te točke.

Zahvaliti se moram svoji ženi Nini Švajger, za vso ljubezen, podporo in razumevanje v času pisanja tega diplomskega dela. Tvoja spodbuda mi je bila v veliko oporo.

Iskrena hvala vsem, ki ste kakorkoli prispevali k nastanku tega diplomskega dela.

POVZETEK

Stavbe močno vplivajo na okolje, saj porabljajo ogromne količine naravnih virov in sproščajo emisije, ki povzročajo globalno segrevanje. Trajnostna gradnja je gradbeni pristop, ki je prijazen tako do človeka kot do okolja, varčuje z naravnimi viri in preprečuje onesnaževanje. Zasnova nizkoenergijske stavbe velja za izvedljivo možnost za zmanjšanje negativnih vplivov povečane porabe energije v procesih gradnje in vzdrževanja. Ta oblikovalski pristop je sestavljen iz iznajdljivega izkoriščanja oblike zgradbe in ovoja z namenom varčevanja z energijo. Tema nizkoenergijskih stavb je v zadnjih letih zaradi politik varčevanja z energijo v razvitih državah deležna širokega in vse večjega zanimanja. Zasnova nizkoenergijske stavbe je obravnavana z ukrepi za varčevanje z energijo in proizvodnjo energije iz obnovljivih virov, vendar pravilna ocena pojavov, ki se dogajajo v stavbi, običajno zahteva izvedbo dinamičnih simulacij in analizo več scenarijev za doseganje optimalne rešitve. Cilj nizkoenergijske zasnove je narediti stavbe čim bolj »pasivne«, kar pomeni, da lahko zadovoljijo večino potreb svojih stanovalcev po ogrevanju, hlajenju in razsvetljavi iz zunanjega okolja – in nato ohranijo udobje stanovalcev kot zunanji cikel iz dneva v noč, poletje v zimo.

Namen dela je bil ugotoviti vpliv na okolje pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju. V raziskovalnem delu smo predstavili izračune, ki so potrebni za preverjanje zastavljenih hipotez. Projekt obsega nizkoenergijsko hišo v občini Lovrenc na Pohorju. Gre za enostanovanjsko hišo.

Ugotovili smo, da je gradnja nizkoenergijske hiše v občini Lovrenc na Pohorju ugodnejša od klasične gradnje zaradi nizke porabe primarne energije, nizkega koeficienta specifičnih transmisijskih toplotnih izgub, poleg tega pa je več kot 25 % celotne končne energije pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju zagotovljeno z uporabo obnovljivih virov. Poleg tega pa ima ugoden vpliv na okolje, saj je letni izpusti CO_2 pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju je nižji kot je dovoljeno.

Ena od prvih prednosti energetske učinkovitih domov je znatno znižanje računov. Z izboljšanjem energetske učinkovitosti doma se zmanjša odvisnost od tradicionalnih virov energije in se na ta način zmanjšajo emisije ogljika. Izboljšanje energetske učinkovitosti doma spodbuja tudi ohranjanje naravnih virov.

Ključne besede: nizkoenergijska gradnja, materiali, obnovljivi viri, toplotna izguba, okolje

ZUSAMMENFASSUNG

Gebäude üben einen großen Einfluss auf die Umwelt aus, da der Bau dieser Gebäude große Mengen an natürlichen Ressourcen verbraucht und Emissionen freisetzt, die die globale Erwärmung verursachen. Nachhaltiges Bauen ist ein Bauansatz, der menschen- und umweltfreundlich ist, natürliche Ressourcen einspart und Umweltverschmutzung vorbeugt. Konzepte von Niedrigenergiegebäuden gelten als machbare Möglichkeit zur Reduzierung negativer Einflüsse auf erhöhten Energieverbrauch in Bau- und Instandhaltungsprozessen. Dieser Ansatz besteht aus der ausgeklügelten Nutzung von Gebäudeform und Gebäudehülle, damit Energie eingespart werden kann. Das Thema Niedrigenergiegebäude stößt in den letzten Jahren durch die Energiesparpolitik in Industrieländern auf großes und wachsendes Interesse. Niedrigenergie- Gebäudekonzepte werden durch Energiesparmaßnahmen und Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen angegangen, jedoch erfordert die korrekte Beurteilung, der im Gebäude auftretenden Phänomene in der Regel die Durchführung dynamischer Simulationen und die Analyse mehrerer Szenarien um eine optimale Lösung zu finden. Das Ziel der Niedrigenergie-Gebäudeentwürfe besteht darin, die Gebäude so passiv wie möglich zu gestalten, was wiederum bedeutet, dass sie die meisten Bedürfnisse ihrer Bewohner erfüllen, wie Heizung, Kühlung, Beleuchtung von außen. Dabei müssen diese Gebäude den Komfort der Bewohner trotz externem Zyklus von Tag und Nacht und Sommer und Winter bewahren.

Ziel dieser Arbeit ist es die Umweltauswirkungen eines Niedrigenergiehauses in der Gemeinde Lovrenc na Pohorju festzustellen. Im Forschungsteil der Arbeit werden notwendige Berechnungen für die Überprüfung aufgestellter Hypothesen vorgestellt. Das Projekt umfasst ein Niedrigenergiehaus in Lovrenc na Pohorju. Es handelt sich dabei um ein Einfamilienhaus.

Es wurde festgestellt, dass das Bauen eines Niedrigenergiehauses in Lovrenc na Pohorju, günstiger ist als der Hausbau auf klassische Bauweise, was auf den niedrigen Primärenergieverbrauch und den niedrigen Koeffizient spezifischer Transmissionswärmeverluste zurück zu führen ist, außerdem wird mehr als 25 % der gesamten Endenergie bei diesem Niedrigenergiehaus durch erneuerbare Energien gewonnen. Die Auswirkungen auf die Umwelt sind günstig, da die jährlichen Emissionen beim Niedrigenergiehaus sogar niedriger als zulässig sind.

Einer der ersten Vorteile bei energieeffizienten Häusern ist eine deutliche Reduzierung der Rechnungen. Durch die Verbesserung der Energieeffizienz des Hauses verringert sich die

Abhängigkeit von herkömmlichen Energiequellen und somit werden die CO₂-Emissionen reduziert. Die Verbesserung der Energieeffizienz schont auch den Verbrauch natürlicher Ressourcen.

Stichwort: Niedrigenergiebau, Materialien, erneuerbare Ressourcen, Wärmeverlust, Umwelt

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	9
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA.....	9
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	10
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	10
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	10
2	DELO V SKUPINI	11
3	NIZKOENERGIJSKA GRADNJA	12
3.1	ORIENTACIJA STAVBE PRI NIZKOENERGIJSKI GRADNJI	12
3.2	MATERIALI PRI NIZKOENERGIJSKI GRADNJI	14
3.3	IZOLACIJA PRI NIZKOENERGIJSKI GRADNJI.....	15
3.3.1	<i>Toplotna izolacija pri nizkoenergijski gradnji</i>	<i>15</i>
3.3.2	<i>Zvočna izolacija pri nizkoenergijski stavbi</i>	<i>24</i>
3.4	VIRI ENERGIJE PRI NIZKOENERGIJSKI GRADNJI	25
3.5	MEHANSKO PREZRAČEVANJE IN VRAČANJE TOPLOTE	26
4	VPLIV NIZKOENERGIJSKE GRADNJE NA OKOLJE	27
4.1	OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE	27
4.2	TOPLOTNA IZGUBA	28
4.3	IZPUST CO ₂	28
5	VPLIV NIZKOENERGIJSKE HIŠE NA OKOLJE V OBČINI LOVRENC NA POHORJU V PRIMERJAVI S KLASIČNO GRADNJO	30
5.1	METODE RAZISKOVALNEGA DELA	30
5.2	OPIS PROJEKTA	30
5.3	PREVERJANJE ZASTAVLJENIH HIPOTEZ	39
5.4	STROŠKOVNIK	44
5.5	UGOTOVITVE	47
5.6	PREDNOSTI NIZKOENERGIJSKE HIŠE V POVEZAVI Z VPLIVOM NA OKOLJE	48
6	SKLEP.....	50
7	LITERATURA	52

KAZALO SLIK

SLIKA 1: PREČNI PREREZ STAVBE VIR: PZI DOKUMENTACIJA	31
SLIKA 2: VZDOLŽNI PREREZ STAVBE VIR: PZI DOKUMENTACIJA	31
SLIKA 3: OSTREŠJE VIR: PZI DOKUMENTACIJA	32
SLIKA 4: IDEJNA REŠITEV SOSESKE V OBČINI LOVRENC NA POHORJU VIR: PZI DOKUMENTACIJA	35
SLIKA 5: UMESTITEV PROJEKTA V OKOLJE VIR: PZI DOKUMENTACIJA	36
SLIKA 6: FASADA STAVBE SV VIR: PZI DOKUMENTACIJA	36
SLIKA 7: FASADA STAVBE JZ VIR: PZI DOKUMENTACIJA	37
SLIKA 8: STAVBA V ZAKLJUČENEM STANJU S SPREDNJE STRANI VIR: LASTEN VIR	37
SLIKA 9: STAVBA V ZAKLJUČENEM STANJU Z ZADNJE STRANI JZ VIR: LASTEN VIR	38
SLIKA 10: STAVBA V ZAKLJUČENEM STANJU S STRANI VIR: LASTEN VIR	38
SLIKA 11: STAVBA V ČASU GRADNJE VIR: LASTEN VIR	47
SLIKA 12: CELOTNI PROJEKT V ČASU GRADNJE VIR: LASTEN VIR	48

KAZALO TABEL

TABELA 1: PODATKI O IZBRANEM PROJEKTU VIR: PZI DOKUMENTACIJA	32
TABELA 2: TOPLOTNE PREHODNOSTI NEPOROZNIH ELEMENTOV OVOJA STAVBE VIR: PZI DOKUMENTACIJA	33
TABELA 3: TOPLOTNE PREHODNOSTI POROZNIH ELEMENTOV OVOJA STAVBE VIR: PZI DOKUMENTACIJA	34
TABELA 4: KLIMATSKI PODATKI ZA IZBRANO LOKACIJO VIR: PZI DOKUMENTACIJA	34
TABELA 5: PORABA PRIMARNE ENERGIJE VIR: PZI DOKUMENTACIJA	40
TABELA 6: TOPLOTNE IZGUBE SKOZI TLA V KLETI VIR: PZI DOKUMENTACIJA	40
TABELA 7: TOPLOTNE IZGUBE SKOZI TLA NA TERENU VIR: PZI DOKUMENTACIJA	41
TABELA 8: TOPLOTNE IZGUBE ZARADI PREZRAČEVANJA VIR: PZI DOKUMENTACIJA	41
TABELA 9: LETNI IZPUST CO ₂ PRI NIZKOENERGIJSKI HIŠI V OBČINI LOVRENC NA POHORJU VIR: PZI DOKUMENTACIJA	42
TABELA 10: STROŠKOVNIK ZA NIZKOENERGIJSKO HIŠO V OBČINI LOVRENC NA POHORJU VIR: PERGOLA D.O.O.	44
TABELA 11: STROŠKOVNIK ZA NIZKOENERGIJSKO HIŠO V OBČINI LOVRENC NA POHORJU MANJŠA ENOTA VIR: PERGOLA D.O.O.	45
TABELA 12: STROŠKOVNIK ZA NIZKOENERGIJSKO HIŠO V OBČINI LOVRENC NA POHORJU VEČJA ENOTA VIR: PERGOLA D.O.O.	46

1 UVOD

Prakse nizkoenergijske in pasivne hiše so nastale zaradi potrebe po varčevanju z energijo, zanje pa je značilna povečana izolacija, visoka zrakotesnost ovoja stavbe in nadzorovano mehansko prezračevanje z rekuperacijo toplote. Številni in različni izrazi se uporabljajo za označevanje strategij za nizkoenergijske hiše, kot so nizkoenergijske, ničenergijske in pasivne hiše (Arvela idr., 2014)

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Stavbe močno vplivajo na okolje, saj porabljajo ogromne količine naravnih virov in sproščajo emisije, ki povzročajo globalno segrevanje. Zgradbe so dogovorne za 17 % svetovnega črpanja sladke vode, 25 % posekanega lesa in 40 % pretoka materiala in energije, ki pomembno vpliva na okolje. Poročilo o globalnem stanju Programa Združenih narodov (UNEP) za leto 2017 je poročalo, da stavbe in konstrukcije (vključno s proizvodnjo materialov in izdelkov) skupaj prispevajo približno 36 % svetovne porabe energije in 39 % z energijo povezanih emisij ogljikovega dioksida (CO₂). Vpliv stavb na okolje je postal pomembno vprašanje in opravljene so bile številne raziskave, ki so oblikovale različna analitska orodja za oceno vplivov in raziskovale načine za zmanjšanje porabe energije in njenega vpliva na okolje (Shrestha, 2021).

Trajnostna gradnja je gradbeni pristop, ki je prijazen tako do človeka kot do okolja, varčuje z naravnimi viri in preprečuje onesnaževanje. Najbistvenejše projektantske in izvedbene značilnosti pri tovrstnem pristopu gradnje so: uporaba obnovljivih virov energije za ohranjanje naravnih virov; znižanje porabe energije tehnoloških procesov; zmanjševanje količine materialnih odpadkov (s spremembo ali posodobitvijo uporabljenih tehnologij gradbenih materialov); omejevanje porabe energije obstoječih in projektiranih stavb; sodobne instalacije v stavbah; računalniška pomoč pri trajnostnem načrtovanju stavb.

Energetsko učinkovita gradnja se razvija šele v zadnjem času; presenetljivo pa je področje njene uporabe, temu pa je tako zaradi različnih razlogov. Prvič, nenehno naraščajo emisije ogljikovega dioksida v ozračje. V tem primeru je nujno treba zmanjšati količino porabljenega goriva kot celote. Drugič, energetski viri postajajo dragi zaradi zmanjševanja obnovljivih virov energije. Posledično postaja varčevanje z energijo globalno vprašanje. Eno od področij zmanjševanja porabe energije je gradnja hiše, ki porabi približno 30 do 40 % vseh energetskih virov (Perlova idr., 2015).

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen dela je ugotoviti vpliv na okolje pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju.

Cilji, ki smo si jih zastavili so naslednji:

- Predstaviti teoretična izhodišča s področja gradnje nizkoenergijskih stavb in njihovega vpliva na okolje.
- Ugotoviti kakšen je vpliv nizkoenergijske hiše v občini Lovrenc na Pohorju na okolje.
- Podati prednosti nizkoenergijske hiše v povezavi z vplivom na okolje.

Raziskovalno vprašanje, ki smo si ga zastavili se glasi:

Kakšen je vpliv nizkoenergijske hiše v občini Lovrenc na Pohorju na okolje?

Hipoteze diplomskega dela:

H1: Letna raba primarne energije pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju je nižja od dovoljene.

H2: Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub nizkoenergijske hiše v občini Lovrenc na Pohorju je nižji od dovoljene.

H3: Letni izpusti CO pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju je nižji kot je dovoljeno.

H4: Najmanj 25 % celotne končne energije pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju je zagotovljeno z uporabo obnovljivih virov.

1.3 Predpostavke in omejitve

Omejitev je, da je v raziskavi uporabljen le en primer nizkoenergijske gradnje.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Uporabili bomo študijo primera, kjer bomo ugotavljali vplive na okolje pri nizkoenergijski gradnji na primeru. Na ta način bomo dobili natančen vpogled v dejstva glede na vplive na okolje pri nizkoenergijski gradnji.

Področje raziskovanja je nizko energijska gradnja, trajnostni razvoj, vpliv gradnje na okolje.

2 DELO V SKUPINI

Na koncu šolanja so potekale vodene delavnice za pripravo diplomskega dela na Višji strokovni šoli Academia. Na pripravah smo izvedli Belbinov popis tima in Myers-Briggsov test osebnosti. Na podlagi rezultatov teh testov smo se razdelili v projektne skupine, kjer smo upoštevali posameznikove naravne vloge in prednosti, ter predstavili svoje zamisli in teme diplomskih del.

Z ostalimi člani skupine in mentorji smo razpravljali o naših temah diplomskih del in o smernicah za raziskovanje v sklopu diplomskega dela. Mentorji so nas pri vsem tem usmerjali glede pravilnega postavljanja hipotez, pisanja diplomskega dela. Na naslednjih srečanjih smo se osredotočili na pripravo in razvoj diplomskih del. Vsaka skupina je delovala kot nekakšna simulacija dejanskega projektne tima. Vsaka skupina je bila sestavljena iz različnih k vlog. Te vloge so bile naslednje: vodja projekta, projektant, komercialist, kalkulant in oseba, zadolžena za pripravo del. Na osebnostnem testu se je moja vloga pokazala kot vloga vodje projekta. Tudi drugače v svoji firmi opravljam podobno delo, kot je organizacija dela, koordinacija, načrtovanje, stiki z stranko in ostalo.

Ko smo si razdelili vloge smo se pogovorili o svojih temah in si razdelili delo. Predstavil sem svoj projekt, ki je dejansko delo naše firme. Odločil sem se preučiti vpliv gradnje nizkoenergijske hiše na okolje v kraju kjer živim in kjer so te hiše tudi postavljene, torej v Lovrencu na Pohorju. Danes živimo v svetu, ki postaja vedno bolj onesnažen in prenasičen z vsemi nevarnimi snovmi. Ker v našem podjetju gradimo oziroma izdelujemo nizkoenergijske hiše, mi je to bil dodaten izziv, saj se gradnja in materiali nenehno spreminjajo in vsi stremimo k temu, da bi svet obvarovali pred škodljivimi vplivi. Skupini sem predstavil potek izgradnje nizkoenergijske hiše, kakšne materiale uporabljamo, kakšna je poraba energije. Predstavil sem tudi okvirno oceno stroškov.

Delo v skupini se je pokazalo kot pozitivno in dokaz, da skupaj zmoremo več. Vsak je s svojo vlogo dodal delček mozaika naših diplomskih del. Vzpostavili smo konstruktiven dialog, kjer smo si zastavili jasne cilje in dosegli dobre rezultate.

3 NIZKOENERGIJSKA GRADNJA

Na gradbeništvo v Evropi še posebej vpliva potreba po soočanju z vse hitrejšim segrevanjem sveta, saj je ta sektor kot celota odgovoren za 40 % emisij CO_2 iz končne porabe Evropske unije. Odlika nizkoenergijske gradnje je gradnja stavb z izjemno nizko letno porabo energije, da bi dosegli nacionalne in mednarodne cilje zmanjšanja emisij ogljikovega dioksida. S temeljnimi smernicami, podanimi v treh ključnih direktivah EU – direktivi o energetske učinkovitosti stavb (EPBD 2010), direktivi o obnovljivih virih energije (RES ali RED 2009) in direktivi o energetske učinkovitosti (EED 2012) – načrt EU predlaga 80 % zmanjšanje emisij CO_2 v stavbah do leta 2050, ki ga je treba doseči z energetske učinkovitimi ovoji stavb, podprtimi z obnovljivimi/nizkoenergetskimi storitvami stavb. S tehničnega vidika zahteva nizkoenergijska gradnja bistveno drugačen pristop od običajnih načinov gradnje, ki stavbni ovoj priznava kot enotno toplotno enoto s tehnologijami obnovljivih virov in kot sestavljen iz elementov (Clarke idr., 2017)

Zasnova nizkoenergijske stavbe velja za izvedljivo možnost za zmanjšanje negativnih vplivov povečane porabe energije v procesih gradnje in vzdrževanja. Ta oblikovalski pristop je sestavljen iz iznajdljivega izkoriščanja oblike zgradbe in ovoja z namenom varčevanja z energijo (Tokbolat idr., 2016).

3.1 Orientacija stavbe pri nizkoenergijski gradnji

Značilnosti lokacije, kot so postavitve in orientacija, okoliško ozemlje in podnebje, prevladujoči vetrovi, sončni vir, sosednje stavbe in dostop do infrastrukture, so prevladujoči dejavniki, ki neposredno vplivajo na obliko in orientacijo stavbe. Včasih, tako kot v urbanih okoljih, sosednje stavbe zagotavljajo senčenje pred soncem v korist ali slabost stavbe. Te dejavnike je mogoče s skrbnim načrtovanjem izkoristiti v korist zgradbe glede na njeno porabo energije (Tokbolat idr., 2016).

Orientacija stavbe predstavlja razmerje med njenimi višinami in prvotno geografsko smerjo. V procesu načrtovanja je pomembno upoštevati dejansko količino sončnega sevanja na fasadah stavbe kot celote, saj vpliva na toplotno obremenitev stavbe ter nadzoruje toplotno obnašanje in količino toplotnega ugodja prostora. Poleg tega vpliva na količino prezračevanja znotraj stavbe, kar posledično vpliva na količino energije, ki se v njej porabi za doseganje toplotnih in življenjskih zahtev (Ashmawy & Azmy, 2018).

Med parametri, ki posegajo v pasivno solarno zasnovu stavb, je orientacija najpomembnejša in tudi največkrat raziskana. Raven neposrednega sončnega sevanja, ki ga prejme fasada stavbe, je odvisna od azimuta v steni in s tem od orientacijskega kota stavbe. Usmerjenost fasade vpliva tudi na druge parametre pasivne zasnove, kot sta senčenje ali zmogljivost sončnega ovoja. Prednosti optimalne orientacije stavbe so naslednje (Pacheco idr., 2012):

- Gre za nizkocenovni ukrep, ki se uporablja v začetnih fazah načrtovanja projekta.
- Zmanjšuje potrebo po energiji.
- Zmanjšuje uporabo bolj sofisticiranih pasivnih sistemov.
- Poveča učinkovitost drugih kompleksnih pasivnih tehnik.
- Poveča količino dnevne svetlobe, zmanjša porabo energije za umetno svetlobo in manj prispeva k notranji ogrevalni obremenitvi stavbe.
- Izboljša delovanje sončnih kolektorjev.

Na splošno velja, da je južna orientacija optimalna za pridobivanje toplote pozimi in za nadzor sončnega sevanja poleti. Splošno pravilo je, da naj bodo najdaljši deli stene usmerjeni proti jugu. Vendar pa je orientacijo mogoče preučiti tudi z namenom optimizacije drugih parametrov, kot so skupno prejeta sončno sevanje, oblika stavbe, tlorsna površina in letna potreba po energiji (Pacheco idr., 2012).

Okna so odprtine, ki predstavljajo šibka mesta v zunanjem ovoju stavbe, kjer je stavba dovzetna za največjo jakost sevanja skozi odprtino, kar pomeni, da omogoča vstop sončnega sevanja v notranje prostore. Zato ima ravnanje z okni učinkovito vlogo pri zmanjševanju toplotnih obremenitev znotraj zgradbe. Razmerje oken na fasadi se spreminja glede na njeno orientacijo. Toplotna obremenitev fasade stavbe se spreminja iz ene smeri v drugo smer glede na gibanje sonca poleti in pozimi, kar zahteva zmanjšanje oken na določenem delu fasade in povečanje letih na določenih fasadah (Ashmawy & Azmy, 2018).

Splošno sprejet način gradnje pasivnih hiš je bil, da imajo majhna okna obrnjena proti severu in velika okna proti jugu. S tem zmanjšamo izgube na severni strani, medtem ko pridobimo čim več sončne toplote na južni. Notranja temperatura se vzdržuje na udobni ravni s pasivnimi metodami, z uporabo sončnih dobitkov in notranjih dobitkov gospodinjskih aparatov in stanovalcev. Toplotne izgube so zelo majhne, saj je ovoj stavbe dobro izoliran in ker so vgrajena moderna troslojna okna s premazom (Persson idr., 2006).

Sistem senčenja je sredstvo, ki se uporablja za obdelavo različnih odprtih za znatno zmanjšanje pridobivanja toplote v stavbo skozi njih. Poleg tega izboljša kakovost naravne osvetlitve prostorov, odvisno od števila in lokacije oken. Prav tako prispeva k izboljšanju vizualnega in toplotnega udobja uporabnikov z zmanjšanjem bleščanja in pridobivanja toplote, poleg nadzora naravnega prezračevanja (Ashmawy & Azmy, 2018).

Oblika stavbe vpliva na količino sončne energije, ki jo sprejme, kot tudi na njeno skupno porabo energije. Sončno sevanje, ki zadene stavbo, lahko poveča potrebo po energiji za hlajenje do 25 %. Skladno s tem oblika stavbe ne določa le skupne površine fasade in strehe, ki sprejemata sončno sevanje, temveč tudi površino, ki je izpostavljena navzven in s tem energetskim izgubam. Ko je stavba načrtovana, mora biti razmerje med njeno zunanjo površino in celotno zgrajeno prostornino čim manjše in težiti k idealnemu primeru poloble. Vendar zaradi težav z zasnovo in konstrukcijo ta oblika v večini projektov ni dosegljiva. Spremenljivke, ki so povezane z obliko stavbe in vplivajo na zahteve ogrevanja in hlajenja, so naslednje:

- indeks kompaktnosti;
- faktor oblike;
- podnebje; in
- vpliv oblike na življenjski cikel stavbe.

Značilnosti ovoja stavbe so ključne spremenljivke, ki jih je treba upoštevati, ker so pomembne za energetske zahteve za vzdrževanje ugodne temperature v stavbi (Pacheco idr., 2012).

3.2 *Materiali pri nizkoenergijski gradnji*

Pri uporabi sodobnih gradbenih materialov je treba paziti na energijsko intenzivnost materialov, porabljene naravne vire in surovine, recikliranje in varno odstranjevanje in vpliv na okolje. Optimalna stavba je tista, ki pozimi prepušča najmanj toplote iz notranjosti na prosto in prepušča najmanjšo količino sončnega obsevanja poleti. Ovoj stavbe je zelo pomemben dejavnik pri načrtovanju stavb, saj opravlja več funkcij zaščite pred zunanjim okoljem, kot sta hrup in onesnaženje, ter zagotavlja udobno notranjost. Najpomembneje pa je, da določa hitrost pretoka energije v notranjem in zunanjem okolju stavbe. Učinkovitost ovoja neposredno vpliva na porabo energije stavbe. Lahko povzroči nepotrebno predimenzioniranje mehanske opreme, če ni skrbno zasnovana. Vendar pa bi pravilna zasnova lahko v veliki meri pomagala zmanjšati

mehansko obremenitev. Ovoj stavbe sestavljajo predvsem temelji, stene, streha in okna (Tokbolat idr., 2016).

Ovoj stavbe ter čas delovanja ogrevalnega sistema so dejavniki, ki najbolj vplivajo na skupno porabo energije stavbe. Ovoj določa notranje razmere in s tem dodatno porabo energije za ogrevanje in hlajenje. Vplivi na elemente, ki sestavljajo ovoj zgradbe, imajo lahko pozitiven vpliv na določene energetske potrebe in negativno na druge. Posledično je treba oceniti učinkovitost zgradbe kot celote (Pacheco idr., 2012).

Toplotna izolacija se uporablja za zmanjšanje prenosa toplote od zunaj navznoter in obratno. Študije kažejo, da je toplota, ki se poleti prenaša skozi stene in strop, približno 60–70 % toplote, ki jo odvzame klimatska naprava. Preostanek prihaja iz oken in zračnikov ter zahteva porabo električne energije do 66 % celotne porabe energije. Zato moramo uporabiti toplotnoizolacijske materiale, ki zmanjšajo dotok in pretok toplote skozi različne konstrukcijske elemente in tako pripomorejo k racionalizaciji porabe električne energije pri poletnem hlajenju in pozimi pri ogrevanju (Ashmawy & Azmy, 2018).

Lesene stavbe zahtevajo veliko manj procesne energije in povzročajo nižje emisije ogljika kot zgradbe iz drugih materialov, kot so opeka, aluminij, jeklo in beton. Sprememba v smeri uporabe lesa v stavbah je mogoča, ker je nizka potreba po fosilnem gorivu za proizvodnjo lesa v primerjavi z drugimi materiali dolgoročno veliko pomembnejša od ogljika, shranjenega v lesenih gradbenih izdelkih (Cabeza idr., 2013).

Steklo je ena od pomembnih determinant odprtin; je sredstvo za prenos svetlobnih žarkov v notranje prostore. Ko sončno sevanje pade na površino stekla, del le-tega vstopi v prostor in se absorbira, stekleni material absorbira drugi del, ostalo pa se odbije izven prostora. Odbiti del je odvisen od vpadnega kota sončnega sevanja; kateri koli absorbirani del se bo prenesel preko konvekcijskih in prevodnih lastnosti materialov (Ashmawy & Azmy, 2018).

3.3 Izolacija pri nizkoenergijski gradnji

3.3.1 Toplotna izolacija pri nizkoenergijski gradnji

V zadnjih desetletjih se je pozornost do energetskih in okoljskih vprašanj eksponentno povečala, razvite pa so bile tudi številne mednarodne in nacionalne politike, da bi planetu zagotovili bolj trajnostno prihodnost. V tem okviru je Evropska unija posebno pozornost

namenila stavbnemu sektorju, saj je odgovoren za 40 % celotne porabe energije v Evropi. Poleg tega so nerealizirani potenciali energetske učinkovitosti v stavbnem sektorju ogromni in množično sprejemanje ukrepov za varčevanje z energijo v tem sektorju bi lahko predstavljalo rešitev za močno zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Zunanji ovoj stavbe ima pomembno vlogo, saj močno vpliva na okoliško mikroklimo in je meja med notranjim in zunanjim okoljem ter vpliva na toplotno ugodje prebivalcev in izgube energije v fazi obratovanja. V kontekstu trajnosti postaja ocena življenjskega cikla sestavnih delov stavb in tudi celotnih stavb vse pomembnejša, da bi se upoštevala celotna raba energije od gradnje do rušenja (Schiavoni idr., 2016).

V zadnjih letih so se inovacije v gradbenem sektorju osredotočile na razvoj in uporabo visoko izolativnih in trajnostnih materialov. Nedavne evropske direktive so spodbudile raziskovalne dejavnosti na tem področju, o čemer priča tudi znanstvena literatura. Meje izolacijskih materialov se nenehno razvijajo, z vprašanjem izgub energije skozi ovoj stavbe pa se je mogoče soočiti z materiali z visoko tehnološko vsebnostjo. Objavljenih je bilo več del o uporabi aerogelov in vakuumskih izolacijskih plošč (Nardi idr., 2016).

Izolacijski materiali morajo v celotnem življenjskem ciklu stavbe zagotavljati sprejemljivo učinkovitost, vendar toplotna učinkovitost ni edini parameter, ki ga je treba upoštevati pri izbiri izolatorja; pri izbiri teh materialov v gradbenem sektorju se začnemo uporabljati celostni pristop, ki upošteva tudi netoplotne lastnosti, kot so zvočna izolacija, požarna odpornost, prepustnost za vodno paro ter vpliv na okolje in zdravje ljudi. Posledično hitro narašča trg okolju prijaznih, lokalnih in trajnostnih izolacijskih materialov, za katere so značilne spodobne izolacijske lastnosti in nizka vsebovana energija. Hkrati na trg vstopajo inovativni izolatorji, kot so vakuumski izolacijski paneli (Vacuum Insulation Panels), plošče, napolnjene s plinom (Gas Filled Panels) in aerogeli, ki združujejo tankost, lahkotnost in izjemno nizke vrednosti toplotne prevodnosti (Jelle, 2011). Najprej v nadaljevanju predstavljamo konvencionalne materiale.

Konvencionalni materiali pri nizkoenergijski gradnji so:

- Kamena volna, ki se proizvaja s taljenjem več vrst kamnin, kot so doloston, bazalt in diabaz, pri 1600 °C, pri čemer se pridobijo vlakna, ki se nato povežejo z vezivi, običajno smolami, škrobom in olji. Kamena volna se trži v obliki plošč, filca, cevni profilov ali zvitkov. Za te komercializirane materiale so običajno značilne vrednosti toplotne prevodnosti od 0,033 do 0,040 W/m K, gostote od 40 do 200 kg/m³ in specifične toplote od 0,8 do 1,0 kJ/kg K. Poleg tega je precej poceni se lahko enostavno obdelujejo, ne da bi pri tem izgubili toplotne

lastnosti. Raziskave so pokazale, da na toplotnoizolativne lastnosti materialov iz kamene volne za uporabo v stavbah negativno vpliva kondenzacija vodne pare. Kameno volno lahko štejemo za dober absorber zvoka. Proizvajalci kamene volne lahko materiale reciklirajo ali pa jih odložijo na odlagališča (Karamanos idr., 2008).

- Steklena volna se proizvaja z mešanjem naravnega peska in stekla (običajno recikliranega) pri 1300–1450 °C. Preoblikovanje v vlakna poteka s centrifugiranjem in pihanjem, nato se vlakna povežejo z dodatkom smol. Toplotne lastnosti so podobne kot pri kameni volni. Raziskave so pokazale, da visoka temperatura in vlaga ne vplivata na toplotno izolativnost materialov iz steklene volne za uporabo v gradbeništvu (Tatematsu idr., 2014).
- Ekspandirani polistiren ali stirodur običajno dobimo z izparevanjem pentana, dodanega v zrna polistirena. Ta postopek omogoča izdelavo bele, toge in zaprtocelične pene, za katero je značilna toplotna prevodnost od 0,031 do 0,037 W/mK, gostota od 15 do 75 kg/m³ in specifična toplota približno 1,25 kJ/kgK; večja kot je gostota, večje so izolacijske lastnosti. Stirodur zaradi zaprte poroznosti in majhne gostote nima pomembnih akustičnih lastnosti. Ker je material lahko vnetljiv in se pri gorenju sproščajo nevarni plini, se v proizvodnem procesu pogosto doda sredstvo za zaviranje gorenja. Običajno se tržijo v obliki plošč, ki jih je mogoče zlahka obdelovati in rezati, ne da bi pri tem izgubili svoje lastnosti. Postopek recikliranja tovrstnih materialov izvajajo specializirane industrije (Lakatos & Kalmár, 2013).
- Ekstrudirani polistiren se proizvaja s taljenjem poliestrskih zrn v ekstruderju z dodatkom pihalnega sredstva. Ekstrudirani polistiren ima podobne izolacijske lastnosti kot stirodur, vendar absorbira manj vlage (0,3 % v primerjavi z 2–4 %) in ima tudi večjo specifično toploto (med 1,3 in 1,7 kJ/kg K). Vlaga negativno vpliva na vrednosti toplotne prevodnosti. Kljub temu je cena ekstrudiranega polistirena običajno za 10–30 % višja od cene stirodurja. Glede recikliranja in izgorevanja obstajajo enake težave kot pri stirodurju (Vo idr., 2011).
- Fenolna pena je organski material, za katerega so značilne nizke vrednosti toplotne prevodnosti, 0,018–0,028 W/mK, in gostota, večja od drugih plastičnih pen (do 160 kg/m³). Toplotna prevodnost fenolnih pen se lahko poveča z vsebnostjo vode. Specifična toplota je približno 1,3–1,4 kJ/kgK. Za te materiale je običajno značilna dobra reakcija na ogenj, čeprav se pri požaru običajno sprošča dim (Schiavoni idr., 2016).

- Poliuretan se proizvaja z eksotermno reakcijo med di ali poliizocianatom in polieterskim poliolom. Poliuretan se lahko uporablja za izdelavo plošč in cevnih profilov ali pa se kot pena uporabi na gradbišču. Toplotna prevodnost je od 0,022 do 0,040 W/m K, gostota od 15 do 45 kg/m³, specifična toplota pa od 1,3 do 1,45 kJ/kg K. Na toplotno prevodnost vpliva velikost celic in se zmanjšuje, ko se velikost celic zmanjšuje. V zvezi z vprašanji recikliranja in izgorevanja se pojavljajo enake težave kot pri stirodurju, čeprav se v zadnjih letih preučuje negorljivi poliuretan (Chattopadhyay & Webster, 2009).
- Poliizocianurat imenovan tudi PIR, nastane s kemijsko reakcijo, podobno poliuretanski, vendar z uporabo poliola poliestrskega izvora in večjega deleža metilen difenil diizocianata. Za materiale PIR je značilna višja požarna odpornost v primerjavi s poliuretanom (razred B, boljši od razreda E poliuretanskega izolatorja), med penastimi plastmi pa so materiali PIR tisti z najboljšo požarno odpornostjo. V primerjavi z izolatorjem iz poliuretana je zanje značilna nižja toplotna prevodnost, med 0,018 in 0,027 W/m K, ter podobne vrednosti gostote (15–45 kg/m³) in specifične toplote (približno 1,4 kJ/kg K). Recikliranje teh izolatorjev morajo izvajati specializirane industrije. Trenutno se proučujejo odprtocelične nanooblike PIR z morfologijo, ki je podobna aerogelom iz silicijevega dioksida in drugim polimernim aerogelom (Mitchener, 2014).
- Celuloza za toplotno in zvočno izolacijo se proizvaja iz recikliranega papirja, lesnih vlaken in nekaterih kemičnih kompozitov, da bi izboljšali njeno odpornost proti škodljivcem, požaru in gnitju. Čeprav je mogoče izdelati plošče in role, se v večji meri trži kot sipek material, ki se vpahuje v stenske votline. Za celulozo je značilna toplotna prevodnost med 0,037 in 0,042 W/m K, gostota med 30 in 80 kg/m³ in specifična toplota med 1,3 in 1,6 kJ/kg K. Kakovost izvornega papirja lahko vpliva na toplotne lastnosti materiala (Kwon & Yarbrough, 2004). Kar zadeva akustične lastnosti, v primeru uporabe plošč njihova elastičnost omogoča uporabo kot elastičnih materialov v plavajočih tleh, medtem ko so vrednosti poroznosti in tokovne upornosti primerne za absorpcijo zvoka. Te materiale je mogoče reciklirati, vendar zaradi vsebnosti borovih soli niso primerni za kompostiranje (Asdrubali idr., 2012).
- Pluta se lahko uporablja v številne namene. Plutovinasti hrastovi materiali se zaradi svojih toplotnih in zvočnih lastnosti pogosto uporabljajo v gradbeništvu. Toplotna prevodnost teh materialov znaša med 0,037 in 0,050 W/m K, gostota med 110 in 170 kg/m³, specifična toplota pa med 1,5 in 1,7 kJ/kg K. Za materiale iz plutovinastih zrn so značilne tudi dobre

akustične lastnosti za udarno izolacijo, izolacijo zraka in absorpcijo zvoka. Ta material se trži v ploščah, trakovih, v razsutem stanju ali dodan v omet, poleg tega ga je mogoče enostavno reciklirati (Gil, 2015).

- Les pridobljen v trajnostnem gozdarstvu, ter ostanki žagarske industrije in vzdrževanja gozdov se lahko uporabijo za proizvodnjo lesnih vlaken za izolacijske namene. Dodamo lahko vezivo, lahko pa lesni lignin aktiviramo z aluminijevim sulfatom. Slednje sredstvo deluje tudi kot pesticid in sredstvo proti moljem. Toplotna prevodnost teh materialov je od 0,038 do 0,050 W/m K, gostota od 50 do 270 kg/m³, specifična toplota pa od 1,9 do 2,1 kJ/kg K. Toplotna prevodnost se povečuje z naraščajočimi vrednostmi temperature in vsebnosti vlage. Za elastične materiale iz lesnih vlaken je značilna dinamična togost med 30 in 50 MN/m³. Lesna vlakna je mogoče enostavno reciklirati (Troppová idr., 2015).
- Mineralizirana lesna vlakna se pridobivajo z mineralizacijo lesnih materialov, pridobljenih iz topola, jelke (ali drugih hitro rastočih rastlin) ali ostankov žagarske industrije. Postopek izboljša odpornost vlaken proti ognju, glodavcem in žuželkam. Portlandski cement se uporablja kot vezivo za izdelavo plošč, ki so precej težke (gostota med 320 in 600 kg/m³). Toplotna prevodnost je med 0,060 in 0,107 W/m K, specifična toplota pa med 1,8 in 2,1 kJ/kg K. Kar zadeva lastnosti zvočne izolacije, obstajajo sistemi z mineraliziranimi lesnimi vlakni, katerih tehtani indeks zmanjšanja zvoka znaša 58 dB. Ti materiali se lahko reciklirajo tudi kot agregati za beton (Schiavoni idr., 2016)
- Lahki ekspandirani glineni agregat (LECA) je celični material, proizveden z izkoriščanjem procesov raztezanja gline pri visokih temperaturah. Granuliran material se lahko uporablja v razsutem stanju ali v mešanici z ometom. Uporablja se tudi za proizvodnjo lahkega betona. Toplotna prevodnost teh materialov je precej visoka (0,08–0,20 W/m K), vendar visoka gostota (290-750 kg/m³) omogoča doseganje nizkih ravni toplotne difuzivnosti. Specifična toplota LECA je med 0,9 in 1,0 kJ/kg K. LECA se lahko učinkovito uporablja kot absorber zvoka v širokem frekvenčnem območju. LECA se lahko reciklira kot agregat za beton ali odloži na odlagališčih (del Coz Díaz idr., 2013).
- Ekspandirani vermikulit se proizvaja s segrevanjem vermikulita, filosilikata, pri 800-1100 °C, kar povzroči njegovo odlusčenje in raztezanje. Je inerten in pri segrevanju ne sprošča nevarnih plinov. Uporablja se lahko v razsutem stanju (velikost zrn 0,1–15 mm), v opekah in lahkih betonih ali v mešanici z vezivom, njegove toplotnoizolacijske lastnosti pa so dolgo časa stabilne. Poleg tega ga ne morejo poškodovati glodavci in insekti kot vsak drug

mineralni material. Toplotna prevodnost ekspandiranega vermikulita je med 0,062 in 0,090 W/m K, mešanice z vezivom pa med 0,080 in 0,100 W/m K. Gostota sipkega materiala je med 85 in 105 kg/m³, specifična toplota pa med 0,8 in 1 kJ/kg K. Tako kot pri drugih zrnatih materialih je mogoče dobre akustične lastnosti tega razreda poroznih materialov doseči z izbiro natančne velikosti zrn ter uporabo natančne koncentracije in debeline veziva. Po odstranitvi se lahko ponovno uporabi ali reciklira kot agregat za beton (Maderuelo-Sanz idr., 2016).

- Ekspandirani perlit se proizvaja po podobnih postopkih kot LECA in ekspandirani vermikulit. Ta material se lahko uporablja v razsutem stanju, v mešanici z vezivom za izdelavo plošč in v opekah. Gostota sipkih materialov je med 80 in 150 kg/m³, toplotna prevodnost med 0,040 in 0,052 W/m K, specifična toplota pa med 0,9 in 1,0 kJ/kg K. Za ekspandirani perlit je značilna najnižja vrednost toplotne prevodnosti v primerjavi z drugimi mineralnimi materiali. Plošče iz ekspandiranega perlita imajo večjo gostoto (150–280 kg/m³), vendar enake toplotnoizolacijske lastnosti. Koeficient absorpcije zvoka je podoben kot pri drugih granuliranih materialih, kot sta LECA in ekspandirani vermikulit (Maderuelo-Sanz idr., 2016).

Alternativni izolacijski materiali pa so:

- Konoplja, ki je tekstilno vlakno, proizvedeno iz Cannabis sativa, ki se uporablja za gradbeništvo, običajno v mešanici s poliestrskimi vlakni in zaviralci gorenja. Toplotna prevodnost komercializiranih materialov je med 0,038 in 0,060 W/m K, gostota med 20 in 90 kg/m³ in specifična toplota med 1,6 in 1,7 kJ/kg K. Materiali na osnovi konoplje, tako kot vsak naravni material, težijo k absorbiranju velike količine vode iz zraka, kar posledično poveča toplotno prevodnost. Zach in drugi je (2013) testiral učinke več hidrofobnih dodatkov in obdelav, kar je pokazalo, da lahko zadržijo povečanje vlage na 31–34 % (manj kot 41 % povečanje, opaženo na neobdelanih vzorcih). Primerjalna analiza trga in uspešnosti, ki so jo opravili Kymäläinen in drugi (2008) je dokazala potencial materialov iz konopljinih vlaken kot toplotnih izolatorjev zaradi nizke toplotne prevodnosti in za nekatere ekološke vidike, predvsem njihovo biorazgradljivost, ki omogoča boljšo obdelavo ob koncu življenjske dobe. Kljub temu je treba te materiale zaščititi pred vlago, glodavci, insekti in prosto vodo. Vzorce iz konopljinih vlaken (64 % oziroma 48 %) in sekancev (oziroma 16 % oziroma 32 %), ki jih drži skupaj vezivo, so testirali tudi Korjenic in sod. (2011); najnižja vrednost toplotne prevodnosti je bila 0,039 W/m K, izmerjena za material z gostoto 82

kg/m³. Glé et al. so razvili in raziskali inovativen material, ki meša konopljne ostružke, vezivo in vodo. Avtorji so dobili vrednost toplotne prevodnosti okoli 0,060 W/m K in koeficient absorpcije zvoka okoli 0,5 pri 150 Hz za najbolj zmogljivo mešanico. Materiale na osnovi konoplje je mogoče reciklirati, obdelati v energetskih obratih ali odložiti na odlagališča (Glé idr., 2011).

- Vlakna kenafa se pridobivajo iz *Hibiscus cannabinus*, hitro rastoče rastline, ki v dveh letih doseže 3,5 m višine. Vlakna se običajno mešajo s poliestrom in zaviralci gorenja; zaradi odsotnosti beljakovin kenaf ni privlačen za glodavce ali žuželke. Toplotna prevodnost je med 0,034 in 0,043 W/m K, gostota med 30 in 180 kg/m³, specifična toplota pa med 1,6 in 1,7 kJ/kg K. Akustični absorpcijski koeficient nekaterih komercializiranih materialov na osnovi kenafa presega 0,2 za frekvence, višje od 500 Hz, in presega 0,4 za frekvence, višje od 1000 Hz. Poleg tega je dinamična togost lahko le 27,7 MN/m³. Xu et al. so testirali toplotno izolacijo in akustično absorpcijo inovativne plošče iz kenafa, izdelane brez veziva. Toplotna prevodnost teh plošč je odvisna od njihove gostote in znaša od 0,040 W/m K (gostota enaka 100 kg/m³) do 0,060 W/m K (250 kg/m³). Koeficient absorpcije je podoben tistemu, ugotovljenemu za komercialne materiale. Za lažje materiale je značilna boljša akustična absorpcijska učinkovitost (Ardente idr., 2008).
- Lanena vlakna so proizvedena iz *Linum usitatissimum*, rastline, ki so jo Egipčani uporabljali že od leta 5000 pred našim štetjem. Rastlina vsebuje približno 70 % celuloze in njena vlakna imajo močno sposobnost zadrževanja zraka, kar ima za posledico dobre izolacijske lastnosti. Elastičnost vlaken omogoča tudi uporabo kot izolatorji udarnega zvoka. Gostota komercialnih lanenih plošč in zvitkov je med 20 in 100 kg/m³, toplotna prevodnost med 0,038 in 0,075 W/m K in specifična toplotna zmogljivost med 1,4 in 1,6 kJ/kg K. Nekateri proizvajalci prodajajo lanene zvitke za uporabo kot prožni materiali v tleh, ki jih odlikuje dinamična togost 55 MN/m³. Lanena vlakna se običajno mešajo s poliestrom za izboljšanje mehanske odpornosti in z dodatki, kot so borova sol, za izboljšanje odpornosti proti ognju in moljem (Kymäläinen & Sjöberg, 2008). El Hajja idr. (2011) so ovrednotili toplotno in zvočno učinkovitost inovativnega materiala iz nekaterih ostankov proizvodnje lanu, lanenega prediva (kratka vlakna). Testirani material ne vsebuje sintetičnih veziv in ima toplotno prevodnost 0,060 W/m K ter gostoto okoli 170 kg/m³. Lastnosti absorpcije zvoka tega novega materiala so zelo zanimive: koeficient absorpcije zvoka je

višji od 0,4 za frekvenco, višjo od 500 Hz za ploščo debeline 2 mm Lan in konopljo lahko mešamo skupaj, da proizvedemo visoko zmogljive toplotne izolatorje.

- Ovčja volna – material se običajno trži v zvitkih in njegova elastičnost omogoča uporabo kot prožni material v plavajočih podih (dinamična togost okoli 5 MN/m³). Gostota materialov iz ovčje volne je med 10 in 25 kg/m³, toplotna prevodnost med 0,038 in 0,054 W/mK in specifična toplota med 1,3 in 1,7 kJ/kg K; torej, tudi če so materiali iz ovčje volne uporabni za zimsko toplotno izolacijo, so njihove lastnosti za nestabilna stanja v poletnih razmerah precej slabe (Schiavoni idr., 2016).
- Kokosova vlakna so pridobljena iz kokosovih luščin (približno 80 g vlaken za vsak kokosov oreh), obdelanih tako, da odstranijo njihove gnilobne organske sestavine. Ta material je stranski proizvod kokosove industrije in se trenutno uporablja za sežiganje ali gnojenje. Kokos gojijo predvsem v Indiji, Indoneziji in na Šrilanki, zato je prevoz glavni dejavnik, ki vpliva na okoljske vplive teh izdelkov. Kljub temu je treba opozoriti, da se vlakna iz kokosovega vlakna proizvajajo iz stranskih proizvodov z uporabo nizke količine energije in sintetičnih materialov. Vlakna imajo visoko mehansko odpornost, so odporna proti insektom in gnitju ter ne privabljajo glodalcev. Običajno se dodajajo zaviralci ognja. Izvedenih je bilo nekaj študij za oceno toplotnih lastnosti tega materiala (Manohar idr., 2006). Enega prvih poskusov je opravil Manohar (Manohar idr., 2006), ki je ovrednotil toplotno prevodnost pri 15,6 °C in pri 21,8 °C vzorca kokosovih vlaken z variiranjem gostote od 40 do 90 kg/m³; za najučinkovitejši material je bila ocenjena vrednost λ 0,049 W/m K pri 24 °C. Trenutno so na trgu že na voljo plošče in zvitki, izdelani iz kokosovih vlaken za namene toplotne in zvočne izolacije. Toplotna prevodnost komercialnih plošč in zvitkov iz kokosovih vlaken je med 0,040 in 0,050 W/m K, gostota med 50 in 160 kg/m³ in specifična toplotna kapaciteta med 1,3 in 1,7 kJ/kg K (Schiavoni idr., 2016).
- Reciklirana guma se lahko uporablja v zgradbah, zlasti za izolacijo udarnega hrupa. Gostota je običajno med 500 in 930 kg/m³, dinamična togost pa med 15 in 60 MN/m³; višja kot je debelina, manjša je dinamična togost. Obilje izrabljenih pnevmatik je spodbudilo raziskave, katerih namen je bil najti inovativne načine uporabe. Za komercialne materiale, ki uporabljajo reciklirano gumo, je značilna toplotna prevodnost med 0,100 in 0,140 W/mK (Asdrubali idr., 2012).
- Juta – rastlino, iz katere se proizvajajo vlakna jute, večinoma gojijo v Indiji in Bangladešu, zato prevoz močno vpliva na vpliv na okolje, povezan z uporabo tega materiala. Kljub temu

so vlakna zaradi svoje elastičnosti primerna za uporabo kot elastični materiali v plavajočih tleh, kar je njihova najpogostejša komercialna uporaba. Toplotna prevodnost komercialnih materialov na osnovi jute je med 0,038 in 0,055 W/m K, dinamična togost pa je podobna kot pri konopljinih plasteh. Za komercialni izolator iz 85-90 % vlaken jute, polietilenskih vlaken in sode je značilna visoka specifična toplotna vrednost, 2,35 kJ/kg K, vendar tudi nizka gostota, 35–40 kg/m³, ki negativno izravnava pozitivne učinke prvega parametra na dinamično toplotno izolativnost (Korjenic idr., 2011).

V zadnjem času so raziskovalci in proizvajalci razvili več inovativnih materialov in sistemov, da bi dosegli izjemno nizke vrednosti toplotne prevodnosti ob manjši teži in debelini. Primeri teh materialov so vakuumске izolacijske plošče, s plinom polnjene plošče in aerogeli. Stroški teh materialov in nekatera vprašanja, kot so negotova življenjska doba, slaba mehanska trdnost in neprilagodljivost, še vedno omejujejo njihovo široko razširjenost na sedanjem gradbenem trgu (Schiavoni idr., 2016). Napredni izolacijski materiali so:

- Vakuumске izolacijske plošče so sestavljene iz jedrnega materiala, nameščenega z zbiralniki, sušilnimi sredstvi in sredstvi za motnost, in prekrte z večplastno ovojnico. V notranjosti plošče se ustvari vakuum, ki poveča njeno toplotno odpornost. Jedro je izdelano iz poroznega materiala z nizko toplotno prevodnostjo. Za material naj bi bile značilne majhne pore (premer približno 10 nm), odprta celična struktura, ustrezna odpornost na stiskanje in neprepustnost za infrardeče sevanje (Baetens idr., 2010). Običajno je fugirani silicijev dioksid material, ki se najpogosteje uporablja za jedro vakuumске izolacijske plošče, čeprav je mogoče uporabiti nekatere odprtocelične pene (poliuretan in ekspandiran polistiren), prah (aerogeli silicijevega dioksida, ekspandirani perlit in njihove mešanice) in tudi steklena vlakna (primerna za uporabo pri visokih temperaturah (Alam idr., 2011). Zasnova ovoja je eno najpomembnejših vprašanj, saj mora imeti dobro mehansko trdnost, zaščititi vakuum v jedru in omejiti učinke toplotnih mostov. Poleg tega ovoj močno vpliva na življenjsko dobo in splošno izolacijsko učinkovitost vakuumске izolacijske plošče. Običajno se za ovojnico uporabljajo tri vrste materialov: kovinske folije, metalizirane folije in polimerne folije; slednja rešitev se zaradi svoje kratke življenjske dobe redko uporablja... Vakuumsko izolacijska plošča lahko doseže vrednosti toplotne prevodnosti do 0,004 W/m K pri debelini 5 mm in življenjsko dobo med 60 in 160 leti. Kljub temu so potrebne nadaljnje študije in razvoj za optimizacijo učinkovitosti v resničnem življenju: zlasti plošče so zelo občutljive na perforacijo, saj lahko preprost žebelj, zabiti v steno z

vakuumske izolacijske plošče, močno zmanjša njeno toplotno prevodnost in ga ni mogoče rezati na mestu med gradbeništvom. Poleg tega so vakuumske izolacijske plošče skoraj popolnoma neprepustne za vodo, kar lahko povzroči težave s kondenzacijo (Baetens idr., 2010).

- Plinsko polnjene plošče so izdelane iz odbojne strukture (pregrade), ki vsebuje plin in je od zunanjega okolja izolirana s čim manj prepustnim ovojem. Plin je lahko zrak, vendar imajo prednost plini z manjšo toplotno prevodnostjo. Pri izbiri plina za polnjenje je treba upoštevati stroške, vpliv na okolje, strupenost, požarno odpornost in temperaturo točke rosišča. Baetens in drugi so izvedli in preizkusili dva prototipa, ki sta bila napolnjena z zrakom oziroma argonom. Toplotna prevodnost obeh sistemov je bila 0,046 W/m K za ploščo, napolnjeno z zrakom, in 0,040 W/m K za ploščo, napolnjeno z argonom; vendar uporaba žlahtnega plina podvoji stroške. Boljšo toplotno izolativnost so opazili tudi drugi avtorji; Griffith in drugi so na primer izmerili toplotno prevodnost 0,012 W/m K za 44,5 mm ploščo, napolnjeno s kriptonom. Debelina vzorca vpliva na stroške in toplotno prevodnost plošče; debelejša kot je plinsko polnjena plošča, večja je količina plina in stroški, manjša je toplotna prevodnost (Baetens idr., 2010).
- Aerogel je trdna pena, za katero je značilna visoka odprta poroznost s porami v premeru od 2 do 50 nm. Običajno se proizvajajo s sušenjem gela, ki vsebuje silicijev dioksid, pri superkritični temperaturi. Poroznost silicijevega aerogela je med 85 % in 99,8 % (Dorcheh & Abbasi, 2008). Njegova toplotna prevodnost je zelo nizka: Baetens in drugi (2011) poročajo, da se ta parameter giblje od 0,0131 do 0,0136 W/m K za monolitni material. Izjemno visoka poroznost lahko privede do gostote le 3 kg/m³; vendar je gostota aerogelov za gradbeništvom običajno 70–150 kg/m³ (slika 5). Zrnati aerogel kaže višje vrednosti toplotne prevodnosti; kljub temu je nedavna študija Neugebauerja (2014) dokazala, da je mogoče toplotno prevodnost teh materialov zmanjšati s stiskanjem.

3.3.2 Zvočna izolacija pri nizkoenergijski stavbi

Z akustičnega vidika lahko gradbene materiale opredelimo glede na njihovo sposobnost kontrastnega prenosa zvoka in absorpcije udarnih zvočnih valov. V prvem primeru se upoštevajo lastnosti zvočne izolacije, ki se prenašajo po zraku, in strukturne (udarne) zvočne izolacije. Absorpcija zvoka pa opredeljuje del akustične energije, ki se razprši znotraj materiala

zaradi trenja ali toplotnih izgub (porozni materiali) ali resonančnih pojavov (perforirani in membranski absorberji). Medtem ko so porozni absorberji zvoka običajno dobri toplotni izolatorji, pa obratno ne velja vedno: za absorpcijo zvoka je potrebna prisotnost zraka, ki se giblje znotraj materiala, zato je bistvena odprta poroznost; nasprotno pa je zaprta poroznost običajno koristna za toplotne izolatorje zaradi prisotnosti mirujočega zraka. Kar zadeva zvočno izolacijo v zraku, je ta lastnost močno odvisna od mase materialov: lahki materiali so običajno slabi zvočni izolatorji. Zvočna izolacija masivne konstrukcije je odvisna predvsem od zmogljivosti najtežjih sestavnih delov, kot sta zid ali beton. Če gre za dvojno steno, prisotnost zvočno absorpcijskega materiala v vrzeli omogoča omejitev resonanc votline in posledično povečanje zvočne izolativnosti stene. Absorberji zvoka se uporabljajo za zmanjšanje časa odmeva v prostorih, kar ugodno vpliva na akustično udobje in razumevanje govora. Optimalne vrednosti časa odmeva so določene glede na dejavnosti, ki se bodo izvajale v prostoru, in glede na njegovo prostornino (Schiavoni idr., 2016).

3.4 Viri energije pri nizkoenergijski gradnji

Pomemben cilj gradbenega sektorja je izdelava stavb z najmanjšim vplivom na okolje. Poraba energije je osrednje vprašanje, saj je energija na splošno eden najpomembnejših virov, ki se uporabljajo v stavbah v njihovi življenjski dobi. Energijo, potrebno za obratovanje, lahko precej zmanjšamo z izboljšano izolacijo ovojja stavbe, tehničnimi rešitvami itd. (Thormark, 2002).

Primerna zasnova ogrevanja in hlajenja je eden najboljših načinov za zmanjšanje stroškov energije v stavbah. Za projektiranje energijsko učinkovite stavbe je treba optimizirati konstrukcijske spremenljivke in konstrukcijske parametre. Posledično je treba identificirati konstrukcijske spremenljivke, ki so neposredno povezane s procesi prenosa toplote (Pacheco idr., 2012).

Sončna energija je na vrhu seznama obnovljivih virov energije. Solarna toplotna tehnologija je priljubljen pristop in se uporablja tudi kot alternativa električni energiji v številnih domovih in podjetjih. Druga oblika obnovljive energije, ki je lahko v pomoč pri gradbenem procesu, je vključitev geotermalne toplotne črpalke. Ogrevanje prostorov predstavlja 42 % porabe energije v stanovanjskem sektorju, pri čemer je večina gospodinjstev odvisnih od zemeljskega plina. Geotermalna energija je obnovljiv vir ogrevanja. Območje pod zemljo ponuja odličen vir toplote in gospodinjstva ga lahko izkoristijo za spreminjanje temperature v svojih domovih.

Uporaba geotermalnih toplotnih črpalk je priporočljiva za nove stavbe, vendar jih je mogoče tudi dodati obstoječim strukturam, da bi povečali učinkovitost ogrevanja (Ashmawy & Azmy, 2018).

3.5 Mehansko prezračevanje in vračanje toplote

Prezračevanje z mehansko rekuperacijo toplote je sistem, ki odvaja odvečno vlago iz zraka, hkrati pa tudi vrača toploto, kar pomeni, da domu zagotavlja prezračen zrak, vendar ne odvzema potrebne toplote. Sistemi za rekuperacijo toplote običajno vračajo približno 73–95 % toplote v odpadnem zraku in so znatno izboljšali energetske učinkovitost zgradb. Enota mehanskega prezračevanja lahko naredi dom bolj energetsko učinkovit, če je pravilno nameščen, saj odvaja vlago, ki jo povzroča kondenzacija, ki je lahko še posebej razširjena v mokrih prostorih, kot so kopalnice in kuhinje. Prezračevanje z mehansko rekuperacijo toplote je idealna izbira, ko (Ashmawy & Azmy, 2018):

- Se izvaja popolno prenovo ali gradnjo nove hiše, ne pa prenove.
- Je potrebna rešitev za prezračevanje celotne hiše.
- Ko potrošniki želijo narediti svoj dom energetsko učinkovit.

Mehansko prezračevanje poznamo tudi kot udobno prezračevanje in temelji na pozitivnem psihološkem učinku ustreznega pretoka zraka po stavbi. V vročem vlažnem podnebju ta učinek občutno izboljša dobro počutje stanovalcev, tudi če sta temperatura in vlažnost zunanjega zraka enaka tistim v notranjosti. Zato je dnevno prezračevanje potrebno za zmanjšanje psihološkega učinka visoke vlažnosti in izboljšanje konvektivne izgube telesne toplote (Pacheco idr., 2012).

4 VPLIV NIZKOENERGIJSKE GRADNJE NA OKOLJE

Gradbeni sektor je nedvomno ena izmed panog, ki najbolj porabijo vire in najbolj vplivajo na okolje. Stavbe predstavljajo približno 40 % končne porabe energije in emisij ogljika po vsem svetu. Gradnja in vzdrževanje stavb povzročata veliko onesnaženje, kar posledično povzroča težave s kakovostjo zraka v urbanih okoljih in tako prispeva k podnebnim spremembam. Reševanje grožnje podnebnih sprememb in energetske krize je med današnjimi glavnimi svetovnimi prednostnimi nalogami. Zato se vlade in organizacije zavzemajo za reševanje bližajočih se težav. Najpogostejši ukrepi za nadzor emisij ogljika so uporaba čistejših virov energije in povečanje energetske učinkovitosti stavb. Prednosti teh ukrepov bi lahko dosegli z nizkoenergijsko zasnovo stavb in sistematičnim vključevanjem tehnologij obnovljivih virov energije v prihodnjo generacijo stavb (Tokbolat idr., 2016).

Tema nizkoenergijskih stavb je v zadnjih letih zaradi politik varčevanja z energijo v razvitih državah deležna širokega in vse večjega zanimanja. Zasnova nizkoenergijske stavbe je obravnavana z ukrepi za varčevanje z energijo in proizvodnjo energije iz obnovljivih virov, vendar pravilna ocena pojavov, ki se dogajajo v stavbi, običajno zahteva izvedbo dinamičnih simulacij in analizo več scenarijev za doseganje optimalne rešitve (Longo idr., 2019).

4.1 *Obnovljivi viri energije*

Energija je pomemben sestavni del gospodarstva katere koli države in zato vpliva na svetovno gospodarstvo. Varčevanje z energijo, zlasti v stavbah, neposredno vpliva na nacionalno gospodarstvo. Pomanjkanje tradicionalnih virov energije in zgodnje faze uporabe obnovljivih virov energije so spodbudili načrtovanje energetske varčnih stavb. Za doseganje varčevanja z energijo so razvili številni načini načrtovanja. Te obdelave so namenjene izboljšanju toplotne učinkovitosti ovoja stavbe, npr. stene, stropi, tla in odprtine. Številne raziskave so skušale razkriti vpliv komponent ovoja zgradbe in njene usmeritve na učinkovitost rabe energije. Številne pasivne in aktivne strategije za varčevanje z energijo se uporabljajo za izboljšanje učinkovitosti hlajenja, ogrevanja, prezračevanja in razsvetljave (Ashmawy & Azmy, 2018)

Cilj nizkoenergijske zasnove je narediti stavbe čim bolj »pasivne«, kar pomeni, da lahko zadovoljijo večino potreb svojih stanovalcev po ogrevanju, hlajenju in razsvetljavi iz zunanjega okolja – in nato ohranijo udobje stanovalcev kot zunanji cikel iz dneva v noč, poletje v zimo.

4.2 Toplotna izguba

Izguba toplotne energije v stavbah se pojavi na dva načina, in sicer toplotne izgube ovoja stavbe in toplotne izgube prezračevanja. Izguba nastane, ko energija teče skozi ovoj stavbe iz toplejšega zraka v notranjosti v hladnejši zrak zunaj stavbe (Najjar idr., 2019).

Skupaj toplotne izgube in toplotni dobitki predstavljajo energijo, ki je potrebna za ogrevanje stavbe. Toploto zgradbe v večini primerov izgubljajo predvsem s prezračevanjem in s transmisijo. Transmisijske izgube so posledica, ki nastane zaradi prehoda toplote skozi gradbeni element, in so posledica toplotne prehodnosti elementa. Boljša ko je izolacija zgradbe in manj kot je toplotnih mostov, manjše so toplotne izgube. Prezračevalne toplotne izgube pa so izgube, ki nastanejo zaradi izmenjave zraka med notranjostjo in zunanostjo objekta – nastanejo pri namenskem ali nenamenskem prezračevanju (Soršak, 2016)

Pomembno je, da poleg izgub omenimo tudi dobitke toplote iz raznih virov, in sicer solarne ter notranje dobitke, pasivno toploto naprav in svetil ter ogrevanje vode. Sem pa ne štejemo energije, ki jo proizvede ogrevalni sistem kot izgubo pri ogrevanju vode, saj je v stavbo vgrajen z namenom, da nadomesti razliko med toplotnimi izgubami in dobitki (Soršak, 2016).

4.3 Izpust CO_2

Trenutno sta gradnja in delovanje stavb odgovorna za 36 % svetovne končne porabe energije in skoraj 40 % z energijo povezanih emisij ogljikovega dioksida (CO_2). Z vidika trajnostnega razvoja je ključno upoštevati vpliv gradbenega materiala na doseganje koristi življenjskega cikla. Ta poraba energije bo potencialno narasla za več kot 50 % do leta 2050 brez izboljšav energetske učinkovitosti v gradbenem sektorju. Kot odgovor na ta vprašanja so bili po vsem svetu razviti predpisi o energetske učinkovitosti stavb za zmanjšanje porabe energije in ublažitev okoljskih težav. Med številnimi smernicami za načrtovanje stavb je koncept ničelne neto energijske zgradbe oziroma »pasivne hiše«, ki izvira iz Evrope in je pritegnila vse večjo pozornost po vsem svetu (Xue idr., 2022).

Vendar pa obstajata dve obstoječi težavi v zvezi z zasnovo ovoja stavbe. Prvič, v regijah, kjer prevladuje potreba po ogrevanju, energetske učinkoviti ukrepi zmanjšajo povpraševanje po ogrevanju stavb z uporabo debele izolacije in visoke zrakotesnosti, vendar ti ukrepi povečajo število ur neugodja poleti brez hladilnih sistemov. Tako so številne pretekle raziskave poročale o previsokih temperaturah znotraj teh zgradb poleti (Guo idr., 2020). Če bi stavbe uporabljale

hladilne sisteme, bi bil letni strošek energije visok, saj je za hlajenje potrebna električna, ki je trikrat dražja od fosilnih goriv, ki se uporabljajo za ogrevanje. Drugič, začetni stroški teh energetsko učinkovitih ukrepov so tako visoki, da je doba povračila dolga več let. Ta strošek preprečuje množično uporabo pasivnih hiš kljub njihovi energetski učinkovitosti (Xue idr., 2022).

Očitno so energetsko učinkovite metode načrtovanja dodana vrednost, ki na različne načine koristi končnemu uporabniku. Zasnova stavbe, ki temelji na kriterijih varčevanja z energijo, zaradi manjše porabe energije zmanjšuje ekonomske stroške skozi celotno življenjsko dobo stavbe, kar več kot nadomesti večjo začetno investicijo. Ker je v celotnem življenjskem ciklu stavbe tudi manj emisij CO₂ v ozračje, to koristi tudi družbi (Pacheco idr., 2012). Zgradbe je mogoče narediti brezogljivne, tako da zadovoljujejo svoje nizke energetske potrebe, bodisi iz majhnih lokalnih obnovljivih virov bodisi z uporabo električne energije iz omrežja, proizvedene iz obnovljivih virov (Butler, 2008)

5 VPLIV NIZKOENERGIJSKE HIŠE NA OKOLJE V OBČINI LOVRENC NA POHORJU V PRIMERJAVI S KLASIČNO GRADNJO

5.1 Metode raziskovalnega dela

V raziskovalnem delu so predstavljeni izračuni, ki so potrebni za preverjanje zastavljenih hipotez.

5.2 Opis projekta

Projekt obsega nizkoenergijsko hišo v občini Lovrenc na Pohorju. Gre za enostanovanjsko hišo. Ostale podatke navajamo v nadaljevanju.

Lokacija: 2344 Lovrenc na Pohorju

Katastrska občina: LOVRENC NA POHORJU

Parcelna številka: 184/1, 1087/8, 1086/3

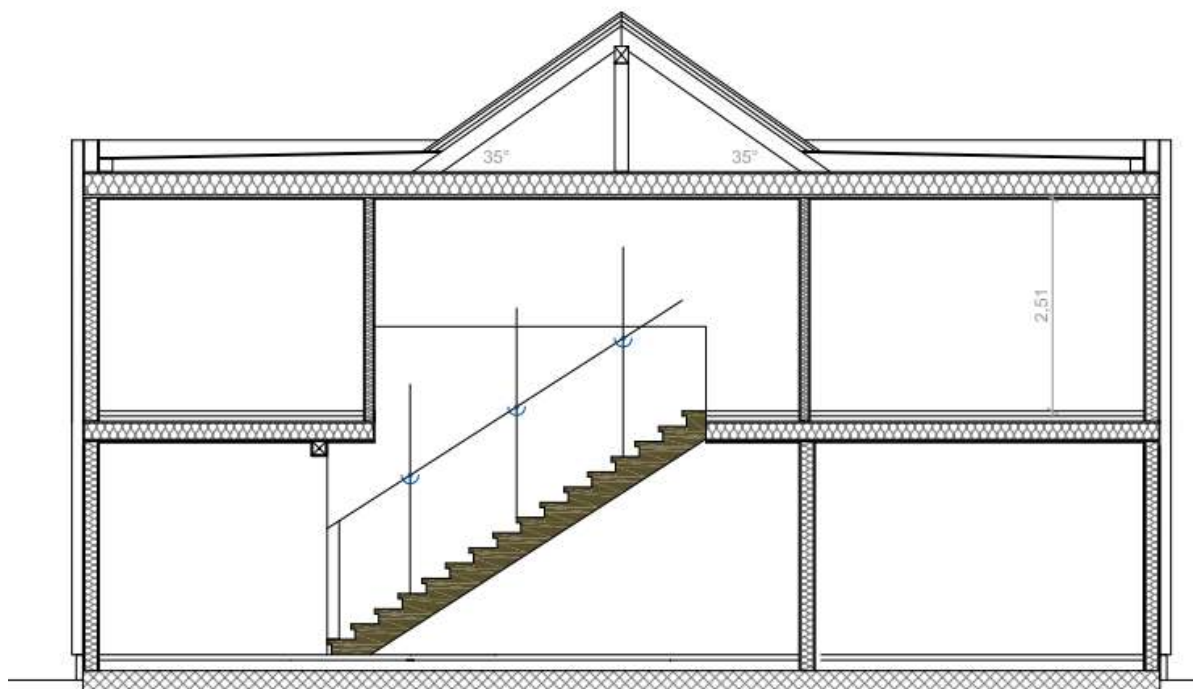
Koordinate lokacije stavbe: X (N) = 101000 Y (E) = 462000

Vrsta stavbe: 11100 Enostanovanjske stavbe

Namembnost stavbe: stanovanjska stavba

Etažnost stavbe: dve etaži

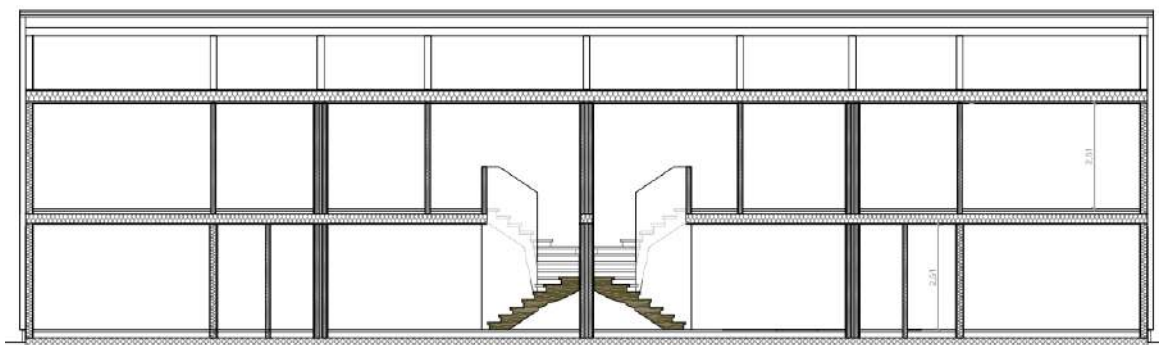
Prečni prerez stavbe je predstavljen v sliki 1.



Slika 1: Prečni prerez stavbe

Vir: PZI dokumentacija

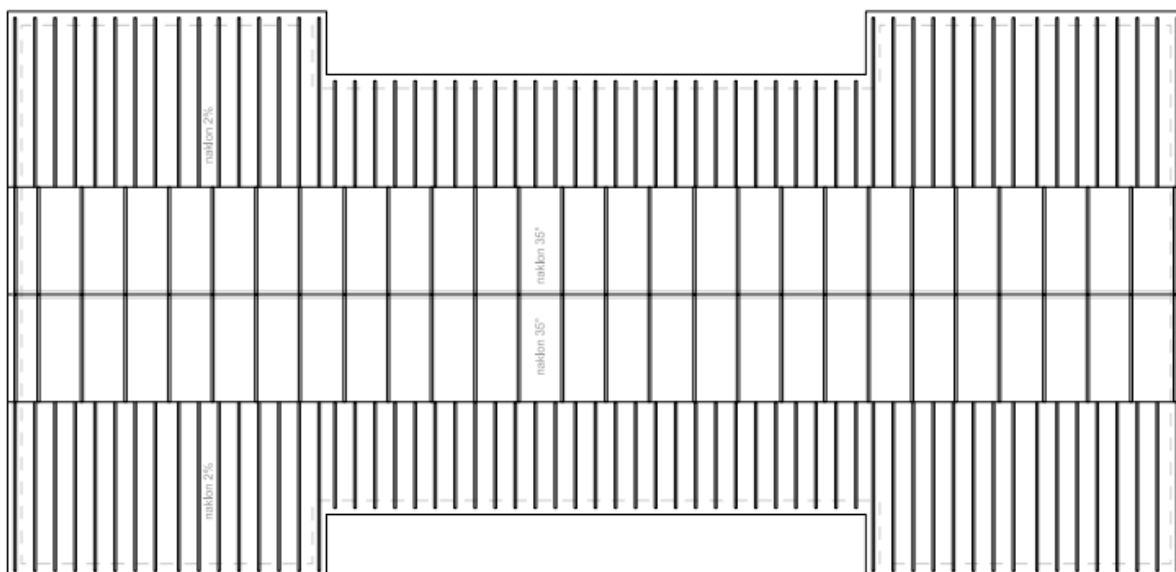
Vzdolžni prerez pa je predstavljen v sliki 2.



Slika 2: Vz dolžni prerez stavbe

Vir: PZI dokumentacija

Slika 3 predstavlja ostrešje.



Slika 3: Ostrešje

Vir: PZI dokumentacija

Ostali podatki so predstavljeni v tabeli 1.

Neto uporabna površina stavbe	$A_u = 152,94 \text{ m}^2$
Kondicionirana prostornina stavbe	$V_e = 578,43 \text{ m}^3$
Površina toplotnega ovoja stavbe	$A = 387,49 \text{ m}^2$
Oblikovni faktor	$f_0 = \frac{A}{V_e} = 0,76 \text{ m}^{-1}$
Temperaturni primanjkljaj (za ogrevanje)	$DD = 3.000,00 \text{ K dni}$
Temperaturni presežek (za hlajenje)	$DH = 0,00 \text{ K ur}$
Povprečna letna temperatura zunanjega zraka	$T_L = 9,9^\circ\text{C}$

Tabela 1: Podatki o izbranem projektu

Vir: PZI dokumentacija

V naslednji tabeli 2 predstavljamo še toplotne prehodnosti neporoznih elementov ovoja stavbe.

Oznaka elementa	Orientacijski naklon	Površina (m^2)	$U = \frac{W}{m^2} K$	$U_{max} = \frac{W}{m^2} K$
Fasada SV	SV, 90	35,94	0,13	0,28
Fasada JV	JV, 90	27,36	0,13	0,28
Vrata SZ	SZ, 90	2,38	1,10	1,60
Fasada SZ	SZ, 90	78,70	0,13	0,28
Vrata JV	JV, 90	2,38	1,10	1,60
Fasada JV	JV, 90	9,96	0,13	0,28
Strop	0,0	95,16	0,13	0,20
Tla mansarde proti zunanosti	0,0	3,26	0,14	0,30
Fasada SV2	SV, 90	3,99	0,22	0,28
Fasada JZ 2	JZ, 90	3,04	0,22	0,28
Fasada SZ2	SZ, 90	8,74	0,22	0,28
Fasada JV2	JV, 90	1,11	0,22	0,28
Tla na terenu		91,90	0,24	0,35

Tabela 2: Toplotne prehodnosti neporoznih elementov ovoja stavbe

Vir: PZI dokumentacija

V tabeli 3 pa predstavljamo še toplotne prehodnosti poroznih elementov ovoja stavbe.

Oznaka elementa	Orientacijski naklon	Površina (m^2)	$U = \frac{W}{m^2} K$	$U_{max} = \frac{W}{m^2} K$	Faktor prehoda celotnega sončnega segrevanja; g
Okna SV1	SV, 90	3,09	0,88	1,30	0,05
Okna SV2	JV, 90	2,09	0,88	1,30	0,05
Okna JZ	SZ, 90	14,68	0,88	1,30	0,05
Okna SZ1	SZ, 90	0,75	0,88	1,30	0,05
Okna SZ2	JV, 90	2,09	0,88	1,30	0,05
Okna SZ3	JV, 90	0,87	0,88	1,30	0,05

Tabela 3: Toplotne prehodnosti poroznih elementov ovoja stavbe

Vir: PZI dokumentacija

V tabeli 4 so predstavljeni klimatski podatki za izbrano lokacijo

Začetek kurilne sezone (dan)	Konec kurilne sezone (dan)	Temperaturni primanjkljaj (K dni)	Proj. Temperatura ($^{\circ}C$)	Obsevanja (kWh/m ²)
270	135	3300	-13	1121

Tabela 4: Klimatski podatki za izbrano lokacijo

Vir: PZI dokumentacija

Povprečna mesečna temperatura zunanje zraka najhladnejšega meseca $T_{z,m,min}$: $-1,0^{\circ}C$.

Povprečna mesečna temperatura zunanje zraka najtoplejšega meseca $T_{z,m,max}$: $20,0^{\circ}C$.

V sliki 4 prikazujemo idejno zasnovo soseske nizkoenergijskih hiš v občini Lovrenc na Pohorju.



Slika 4: Idejna rešitev soseske v občini Lovrenc na Pohorju

Vir: PZI dokumentacija

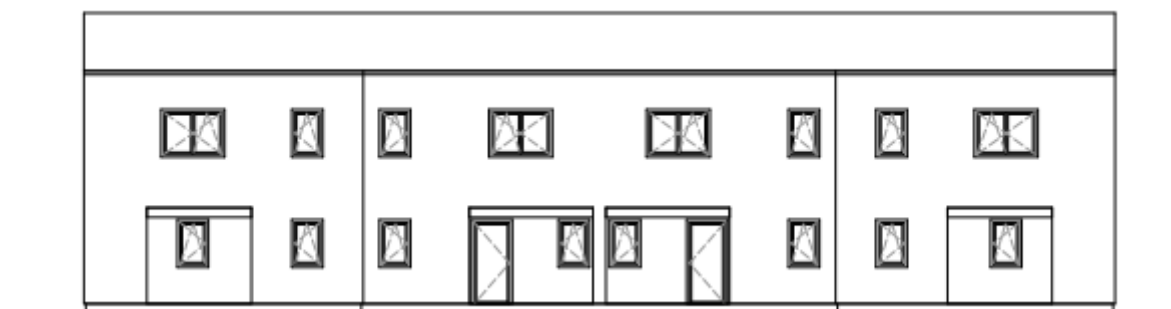
Slika 5 pa predstavlja umestitev projekta v okolje.



Slika 5:Umestitev projekta v okolje

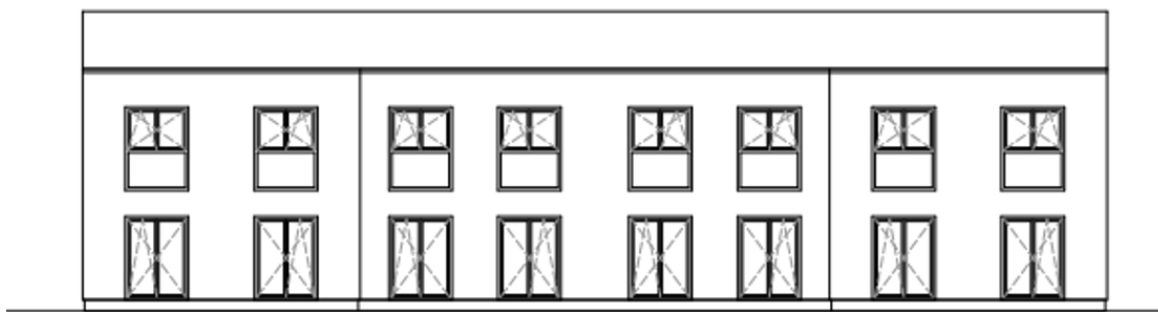
Vir: PZI dokumentacija

V Sliki 6 in 7 sledi še fasada pogled SV in JZ.



Slika 6:Fasada stavbe SV

Vir: PZI dokumentacija



Slika 7: Fasada stavbe JZ

Vir: PZI dokumentacija

V realnosti pa je fasada in izgled stavbe predstavljen v sliki 7, sliki 8 in sliki 9.



Slika 8: Stavba v zaključenem stanju s sprednje strani

Vir: lasten vir



Slika 9: Stavba v zaključenem stanju z zadnje strani JZ

Vir: lasten vir



Slika 10: Stavba v zaključenem stanju s strani

Vir: lasten vir

5.3 Preverjanje zastavljenih hipotez

Način upoštevanja vpliva toplotnih mostov:

- EN ISO 13789, SIST EN ISO 14683
- SIST EN ISO 10211
- s katalogi, računalniškimi simulacijami
- na poenostavljeni način

Prva zastavljena hipoteza se je glasila:

H1: Letna raba primarne energije pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju je nižja od dovoljene.

DOVOLJENA

$$Q_{pmax} = 30.021,720$$

IZRAČUNANA

		C1	C2	C3
		Dovedena energija		
		Električna energija		Skupaj
L1	Dovedena energija	4.428		
L2	Faktor pretvorbe	2,5		
L3	Obtežena vrednost	11.044		11.044
		Oddana energija		
		Električna energija		Toplotna energija
L4	Oddana energija	0		
L5	Faktor pretvorbe	2,5		
L6	Obtežena vrednost	0		0

L7	Iznos			11.044
----	-------	--	--	---------------

Tabela 5: Poraba primarne energije

Vir: PZI dokumentacija

$$Q_p = 11.044$$

H1 potrjujemo saj je letna raba primarne energije pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju je nižja od dovoljene.

Naslednja hipoteza, ki smo si jo zastavili se je glasila:

H2: Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub nizkoenergijske hiše v občini Lovrenc na Pohorju je nižji od dovoljene.

DOVOLJENI

$$HT_{max} = 0,388 \frac{W}{m^2} K$$

IZRAČUNANI

Transmisijske toplotne izgube skozi zunanji ovoj cone

$$L_D = \sum A_i \times U_i + \sum I_k \times \psi_k + \sum \chi_j = 61,53 \frac{W}{K} + 0,00 \frac{W}{K} + 0,00 \frac{W}{K} = 61,53 \frac{W}{K}$$

Toplotne izgube skozi zidove in tla v terenu

Oznaka	Ploščna (m ²)	U_i (W/m ² K)	U_{max} (W/m ² K)	Ustr.
Tla na terenu - TLA	91,9	0,235	0,350	Da

Tabela 6: Toplotne izgube skozi tla v kleti

Vir: PZI dokumentacija

Oznaka	Toplotne izgube W/K
TLA	21,60

Tabela 7: Toplotne izgube skozi tla na terenu

Vir: PZI dokumentacija

$$L_S = 21,60 \frac{W}{K}$$

Toplotne izgube skozi neogrevane prostore

V coni ni toplotnih izgub skozi neogrevane prostore.

Transmisijske izgube

$$H_T = L_D + L_S + H_U = 61,53 \frac{W}{K} + 21,60 \frac{W}{K} + 0,00 \frac{W}{K} = 83,13 \frac{W}{K}$$

Toplotne izgube zaradi prezračevanja

Lokacija	količina (m ³ /h)	ur na dan	dni v letu
Bivalni prostori	191,94	22	356

Tabela 8: Toplotne izgube zaradi prezračevanja

Vir: PZI dokumentacija

Povprečna letna količina vtoka zunanjega zraka znaša 175,95 m³/h.

Toplotne izgube zaradi prezračevanja

$$H_v = 59,82 \frac{W}{K}$$

Koeficient skupnih toplotnih izgub

$$H = H_T + H_v = 83,13 \frac{W}{K} + 59,82 \frac{W}{K} = 142,95 \frac{W}{K}$$

Koeficient transmisijskih toplotnih izgub po enoti površine ovoja

Površna ovoja ogrevanega dela $A = 387,49 \text{ m}^2$

$$H_T = \frac{H_T}{A} = 0,215 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \text{K}$$

H2 potrjujemo saj je koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub nizkoenergijske hiše v občini Lovrenc na Pohorju je nižji od dovoljene.

Tretja hipoteza, ki smo si jo zastavili se je glasila:

H3: Letni izpusti CO_2 pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju je nižji kot je dovoljeno.

		C1	C2	C3
		Dovedena energija		
		Električna energija		Skupaj
L1	Dovedena energija	4.418		
L2	Faktor pretvorbe	0,53		
L3	Emisija CO_2	2.342		2.341
		Oddana energija		
		Električna energija		Toplotna energija
L4	Oddana energija	0		
L5	Faktor pretvorbe	0,53		
L6	Emisija CO_2	0		0
L7	Iznos			2.341

Tabela 9: Letni izpust CO_2 pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju

Vir: PZI dokumentacija

Letna emisija $\text{CO}_2 = 2,341$

H3 potrjujemo, letni izpusti CO_2 pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju je nižji kot je dovoljeno.

Zadnja zastavljena hipoteza se je glasila:

H4: Najmanj 25 % celotne končne energije pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju je zagotovljeno z uporabo obnovljivih virov.

IZRAČUNANA

59 % celotne končne energije je zagotovljeno z uporabo obnovljivih virov.

Hipotezo 4 potrdimo, saj je več kot 25 % celotne končne energije pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju zagotovljeno z uporabo obnovljivih virov.

5.4 Stroškovnik

V tabeli 10, 11, 12 je predstavljen stroškovnik za nizkoenergijsko hišo v občini Lovrenc na Pohorju.

VRSTNE HIŠE LOVRENC vrednost celotnega projekta 3x po 4 enote						
				VREDNOST		
				zneski prirejeni v odvisnosni od dejanskih zneskov		
1	ZEMLIŠČE			10.649,52 €	4,3904	enot
2	PGD in PZI			1.217,09 €	0,5018	enot
3	KOMUNALNI PRISPEVEK			2.839,87 €	1,1708	enot
4	TAKSE, GEODET...			1.217,09 €	0,5018	enot
5	CESTA			3.042,72 €	1,2544	enot
6	INFRASTRUKTURA			2.434,18 €	1,0035	enot
7	PLOŠČA			14.605,05 €	6,0211	enot
8	ENOTA 103 ČETRTO faza			51.361,11 €	21,1744	enot
9	ENOTA 153 ČETRTO faza			65.649,72 €	27,0651	enot
10	ENOTA 103 Delni ključ			18.347,60 €	7,5641	enot
11	ENOTA 153 delni ključ			22.041,46 €	9,0869	enot
12	ENOTA 103 KLJUČ			20.848,72 €	8,5952	enot
13	ENOTA 153 KLUČ			23.921,86 €	9,8621	enot
14	UREDITEV OKOLICE 103			608,54 €	0,2509	enot
15	UREDITEV OKOLICE 115			1.217,09 €	0,5018	enot
16	NEPREDVIDENO			2.434,18 €	1,0035	enot
17	Pregled vode			126,78 €	0,0523	enot
	Cena brez davka			242.562,58 €	100,0000	enot

Tabela 10: Stroškovnik za nizkoenergijsko hišo v občini Lovrenc na Pohorju

Vir: Pergola d.o.o.

Stroški na posamezno enoto glede na gradbeno fazo (manjša enota)							
		EN. 103 ČETRTRA		EN. 103 Delni k		EN. 103 KLJUČ	
0,366	enot	0,305	enot	0,305	enot	0,305	enot
0,042	enot	0,042	enot	0,042	enot	0,042	enot
0,098	enot	0,081	enot	0,081	enot	0,081	enot
0,042	enot	0,042	enot	0,042	enot	0,042	enot
0,105	enot	0,105	enot	0,105	enot	0,105	enot
0,084	enot	0,084	enot	0,084	enot	0,084	enot
0,502	enot	0,418	enot	0,418	enot	0,418	enot
3,529	enot	3,529	enot	3,529	enot	3,529	enot
4,511	enot						
1,261	enot			1,261	enot	1,261	enot
1,514	enot						
1,433	enot					1,433	enot
1,644	enot						
0,042	enot	0,042	enot	0,042	enot	0,042	enot
0,084	enot						
0,084	enot	0,084	enot	0,084	enot	0,084	enot
0,004	enot						
15,342	enot	4,731	enot	5,991	enot	7,424	enot
		5,180	enot	6,560	enot	8,129	enot z DDV

Tabela 11: Stroškovnik za nizkoenergijsko hišo v občini Lovrenc na Pohorju manjša enota

Vir: Pergola d.o.o.

Stroški na posamezno enoto glede na gradbeno fazo (Večja enota)					
EN. 153 ČETRTRA		EN. 153 D. K.		EN. 153 KLJUČ	
0,439	enot	0,439	enot	0,439	enot
0,042	enot	0,042	enot	0,042	enot
0,117	enot	0,117	enot	0,117	enot
0,042	enot	0,042	enot	0,042	enot
0,105	enot	0,105	enot	0,105	enot
0,084	enot	0,084	enot	0,084	enot
0,602	enot	0,602	enot	0,602	enot
4,511	enot	4,511	enot	4,511	enot
		1,514	enot	1,514	enot
				1,644	enot
0,084	enot	0,084	enot	0,084	enot
0,084	enot	0,084	enot	0,084	enot
6,108	enot	7,623	enot	9,266	enot
6,688	enot	8,347	enot	10,147	enot z DDV

Tabela 12: Stroškovnik za nizkoenergijsko hišo v občini Lovrenc na Pohorju večja enota

Vir: Pergola d.o.o.

5.5 Ugotovitve

Gradnja nizkoenergijske hiše v občini Lovrenc na Pohorju je ugodnejša od klasične gradnje naslednjih razlogov:

- Nizka poraba primarne energije.
- Nizek koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub.
- Več kot 25 % celotne končne energije pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju je zagotovljeno z uporabo obnovljivih virov.

Poleg tega pa ima ugoden vpliv na okolje, saj je letni izpusti CO_2 pri nizkoenergijski hiši v občini Lovrenc na Pohorju je nižji kot je dovoljeno. V sliki 10 in sliki 11 prikazujemo nizkoenergijsko hišo v občini Lovrenc na Pohorju v času gradnje.



Slika 11: Stavba v času gradnje

Vir: lasten vir



Slika 12: Celotni projekt v času gradnje

Vir: lasten vir

5.6 Prednosti nizkoenergijske hiše v povezavi z vplivom na okolje

Ena od prvih prednosti energetske učinkovitosti domov je znatno znižanje računov. To je več kot le prihranek nekaj evrov tu in tam. Gre za dosledno nižanje stroškov iz meseca v mesec. Nizkoenergijske hiše porabijo manj energije za delovanje, razsvetljavo, ogrevanje in hlajenje. Energetsko učinkoviti domovi opremljeni z najsodobnejšo tehnologijo in izolacijo, ki za vzdrževanje prijetnega bivalnega ozračja porabijo manj energije. To se sčasoma prevede v znatne prihranke stroškov, zaradi česar je to ekonomsko sprejemljiva odločitev.

Z izboljšanjem energetske učinkovitosti doma se zmanjša odvisnost od tradicionalnih virov energije in se na ta način zmanjšajo emisije ogljika. To zmanjšanje emisij pomaga v boju proti podnebnim spremembam. Vsak energetsko učinkovit dom pomaga planetu nekoliko lažje zadihati. Energetsko učinkovit dom ne le prihrani denar, ampak tudi zmanjša ogljični odtis, kar izboljša naš odnos do okolja.

Izboljšanje energetske učinkovitosti doma spodbuja tudi ohranjanje naravnih virov. Gospodinjstva porabijo manj energije, kar zmanjša povpraševanje po fosilnih gorivih, vodi in drugih virih, ki se uporabljajo v procesih proizvodnje energije.

Z zmanjšanjem vaše porabe energije in emisij toplogrednih plinov imajo energetske učinkoviti domovi vlogo pri ohranjanju biotske raznovrstnosti z blažitvijo vplivov podnebnih sprememb na ekosisteme in habitate prostoživečih živali.

Ce povzamemo prednosti nizkoenergijske gradnje so te sledeče:

- Varčevanje z viri: Zmanjšanje porabe energije v gradbeništvu spodbuja varčevanje z viri in manjše emisije CO₂ v ozračje. Nizkoenergijske stavbe porabijo znatno manj energije za ogrevanje, klimatizacijo in razsvetljava, kar njihovim lastnikom omogoča drastično znižanje računov za komunalne storitve.
- Naložbe v energetske učinkovitost lahko v prihodnosti privedejo do pomembnih gospodarskih koristi in omogočijo, da se projekt povrne v 10–15 letih delovanja z znatnimi prihranki.
- Stalna rast cen energije: zaradi nenehnega dviga cen energije je energetska učinkovitost privlačnejša za potrošnike. Energetske učinkovite hiše imajo višjo tržno vrednost zaradi nizkih obratovalnih stroškov in velike priljubljenosti med kupci.
- Zakonodaja: Številne države izvajajo stroge standarde za energetske učinkovite gradnje, zaradi česar razvijalci morajo upoštevati ta vidik.
- Zdravje in udobje: Energetske učinkovite domovi zagotavljajo boljšo notranjo mikroklimo, kar pozitivno vpliva na zdravje stanovalcev.

6 SKLEP

V svetu, kjer postajajo podnebne spremembe vse bolj pereča skrb, je vsak ukrep, ki ga naredimo za trajnost, pomemben. Eden najučinkovitejših načinov, kako lahko posamezniki prispevajo k blažitvi podnebnih sprememb, je povečanje energetske učinkovitosti svojih domov. V sodobnem svetu, kjer okoljska vprašanja postajajo vse bolj aktualna, postajajo energijsko učinkoviti domovi zasluženno priljubljeni kot pomemben korak k trajnostnemu življenju. Ne samo, da porabijo manj energije, ampak lastnikom stanovanj nudijo tudi številne prednosti, ki se odražajo v računih za komunalne storitve in splošnem stanju okolja.

Energetska učinkovitost doma se nanaša na sposobnost gospodinjstva, da učinkoviteje uporablja energijo, kar ima za posledico manjšo porabo energije in manjše emisije toplogrednih plinov. To je mogoče doseči z različnimi ukrepi, kot so izolacija, energetske učinkovite naprave, sončni kolektorji in tehnologije pametnega doma.

Energetsko učinkoviti domovi so napredovali iz minljivega trenda v pomemben vidik sodobnega življenja. Ne samo, da igrajo ključno vlogo pri zmanjševanju porabe energije, ampak delujejo tudi kot katalizator za zmanjševanje vpliva domače energije na okolje. Gradnja ali prehod na energetsko učinkovit dom je korak k trajnosti, ki zagotavlja ohranjanje našega planeta in boljši način življenja za njegove prebivalce.

Nizkoenergijska gradnja ni le koristna za okolje, ampak tudi za lastnike. Torej lahko z nizkoenergijsko gradnjo lastniki vrednost svojega doma, tako da postane nepremičnina privlačnejša za potencialne kupce, hkrati pa se znižajo dolgoročni obratovalni stroški. Naložbe v nizkoenergijsko gradnjo lahko povečajo splošno vrednost in tržnost nepremičnine, hkrati pa zagotavljajo stalne koristi sedanjim in prihodnjim stanovalcem. Poleg tega se z nizkoenergijsko gradnjo zmanjša emisije toplogrednih plinov, ter posledično ohrani naravne vire in ohrani biotsko raznovrstnost, saj imajo energetske učinkoviti domovi ključno vlogo pri gradnji trajnostne prihodnosti.

V okviru diplomskega dela smo se osredotočili na analizo letne rabe primarne energije in drugih ključnih parametrov nizkoenergijske hiše v občini Lovrenc na Pohorju. Naša prva hipoteza (H1) je predvidevala, da bo letna raba primarne energije v tej hiši nižja od dovoljene vrednosti. Po izvedenih meritvah in izračunih smo to hipotezo potrdili, saj smo ugotovili, da je dejanska letna raba primarne energije skladna z zahtevami za nizkoenergijske objekte, kar pomeni, da hiša izkazuje izjemno energetsko učinkovitost.

Poleg tega smo potrdili tudi drugo hipotezo (H2), ki je trdila, da je koeficient specifičnih transmisijских toplotnih izgub nizkoenergijske hiše v Lovrencu nižji od dovoljene vrednosti. To pomeni, da objekt zaradi svoje dobre izolacije učinkovito preprečuje toplotne izgube in s tem zmanjšuje potrebo po dodatnem ogrevanju. Tretjo hipotezo (H3) smo prav tako potrdili, saj smo izmerili, da so letni izpusti CO₂ pri tej hiši nižji od dovoljenih vrednosti. To nakazuje, da hiša pomembno prispeva k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov in s tem k boju proti podnebnim spremembam.

Na koncu smo potrdili še četrto hipotezo (H4), saj je več kot 25 % celotne končne energije v tej hiši zagotovljeno z uporabo obnovljivih virov, kar pomeni, da objekt izkorišča sončno energijo, geotermalne vire in druge trajnostne vire za svoje energetske potrebe. S temi rezultati smo dokazali, da je nizkoenergijska hiša v Lovrencu na Pohorju izjemen primer trajnostne gradnje, ki prispeva k večji energetske učinkovitosti in zmanjšanju okoljskega odtisa.

Za posameznike, oblikovalce politik in podjetja je nujno, da dajo prednost ukrepom energetske učinkovitosti in sodelujejo pri ustvarjanju bolj odporne in okolju prijazne družbe. Skupaj lahko pozitivno vplivamo na planet in hkrati izboljšamo kakovost življenja za prihodnje generacije.

7 LITERATURA

- Alam, M., Singh, H., & Limbachiya, M. (2011). Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry—A review of the contemporary developments and future directions. *Applied energy*, 88(11), 3592–3602.
- Ardente, F., Beccali, M., Cellura, M., & Mistretta, M. (2008). Building energy performance: A LCA case study of kenaf-fibres insulation board. *Energy and Buildings*, 40(1), 1–10.
- Arvela, H., Holmgren, O., Reisbacka, H., & Vinha, J. (2014). Review of low-energy construction, air tightness, ventilation strategies and indoor radon: Results from Finnish houses and apartments. *Radiation Protection Dosimetry*, 162(3), 351–363. <https://doi.org/10.1093/rpd/nct278>
- Asdrubali, F., Schiavoni, S., & Horoshenkov, K. (2012). A review of sustainable materials for acoustic applications. *Building Acoustics*, 19(4), 283–311.
- Ashmawy, R. E., & Azmy, N. (2018). *Buildings orientation and it's impact on the energy consumption*.
- Baetens, R., Jelle, B. P., & Gustavsen, A. (2011). Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and buildings*, 43(4), 761–769.
- Baetens, R., Jelle, B. P., Thue, J. V., Tenpierik, M. J., Grynning, S., Uvsløkk, S., & Gustavsen, A. (2010). Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond. *Energy and Buildings*, 42(2), 147–172.
- Butler, D. (2008). Architecture: Architects of a low-energy future. *Nature*, 452(7187), 520–523. <https://doi.org/10.1038/452520a>
- Cabeza, L. F., Barreneche, C., Miró, L., Morera, J. M., Bartolí, E., & Inés Fernández, A. (2013). Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 536–542. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.017>

- Chattopadhyay, D., & Webster, D. C. (2009). Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes. *Progress in Polymer Science*, 34(10), 1068–1133.
- Clarke, L., Gleeson, C., & Winch, C. (2017). What kind of expertise is needed for low energy construction? *Construction Management and Economics*, 35(3), 78–89.
<https://doi.org/10.1080/01446193.2016.1248988>
- del Coz Díaz, J. J., Rabanal, F. P. Á., Nieto, P. J. G., Hernández, J. D., Soria, B. R., & Pérez-Bella, J. M. (2013). Hygrothermal properties of lightweight concrete: Experiments and numerical fitting study. *Construction and Building Materials*, 40, 543–555.
- Dorcheh, A. S., & Abbasi, M. (2008). Silica aerogel; synthesis, properties and characterization. *Journal of materials processing technology*, 199(1–3), 10–26.
- El Hajj, N., Mboumba-Mamboundou, B., Dheilily, R.-M., Aboura, Z., Benzeggagh, M., & Queneudec, M. (2011). Development of thermal insulating and sound absorbing agro-sourced materials from auto linked flax-tows. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 921–928.
- Gil, L. (2015). New cork-based materials and applications. *Materials*, 8(2), 625–637.
- Glé, P., Gourdon, E., & Arnaud, L. (2011). Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity. *Applied Acoustics*, 72(5), 249–259.
- Guo, H., Huang, L., Song, W., Wang, X., Wang, H., & Zhao, X. (2020). Evaluation of the summer overheating phenomenon in reinforced concrete and cross laminated timber residential buildings in the cold and severe cold regions of China. *Energies*, 13(23), 6305.
- Jelle, B. P. (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions—Properties, requirements and possibilities. *Energy and buildings*, 43(10), 2549–2563.

- Karamanos, A., Hاديarakou, S., & Papadopoulos, A. (2008). The impact of temperature and moisture on the thermal performance of stone wool. *Energy and Buildings*, 40(8), 1402–1411.
- Korjenic, A., Petránek, V., Zach, J., & Hroudová, J. (2011). Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy and Buildings*, 43(9), 2518–2523.
- Kwon, Y., & Yarbrough, D. (2004). A comparison of Korean cellulose insulation with cellulose insulation manufactured in the United States of America. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 27(3), 185–197.
- Kymäläinen, H.-R., & Sjöberg, A.-M. (2008). Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations. *Building and environment*, 43(7), 1261–1269.
- Lakatos, Á., & Kalmár, F. (2013). Analysis of water sorption and thermal conductivity of expanded polystyrene insulation materials. *Building Services Engineering Research and Technology*, 34(4), 407–416.
- Longo, S., Montana, F., & Riva Sanseverino, E. (2019). A review on optimization and cost-optimal methodologies in low-energy buildings design and environmental considerations. *Sustainable Cities and Society*, 45, 87–104.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.027>
- Maderuelo-Sanz, R., Nadal-Gisbert, A. V., Crespo-Amorós, J. E., Morillas, J. M. B., Parres-García, F., & Sanchis, E. J. (2016). Influence of the microstructure in the acoustical performance of consolidated lightweight granular materials. *Acoustics Australia*, 44, 149–157.
- Manohar, K., Ramlakhan, D., Kochhar, G., & Haldar, S. (2006). Biodegradable fibrous thermal insulation. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 28, 45–47.

- Mitchener, G. (2014). Can polyisocyanurate nanofoam challenge aerogels? *Polimery*, 59(4), 339–342.
- Najjar, M. K., Figueiredo, K., Hammad, A. W. A., Tam, V. W. Y., Evangelista, A. C. J., & Haddad, A. (2019). A framework to estimate heat energy loss in building operation. *Journal of Cleaner Production*, 235, 789–800. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.026>
- Nardi, I., De Rubeis, T., Buzzi, E., Sfarra, S., Ambrosini, D., & Paoletti, D. (2016). Modeling and Optimization of the Thermal Performance of a Wood-Cement Block in a Low-Energy House Construction. *Energies*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/en9090677>
- Neugebauer, A., Chen, K., Tang, A., Allgeier, A., Glicksman, L. R., & Gibson, L. J. (2014). Thermal conductivity and characterization of compacted, granular silica aerogel. *Energy and buildings*, 79, 47–57.
- Pacheco, R., Ordóñez, J., & Martínez, G. (2012). Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3559–3573. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.045>
- Perlova, E., Karpova, S., Rakova, X. M., Bondarenko, E., Platonova, M., & Gorshkov, A. S. (2015). The architectural concept of the building with low energy consumption. *Applied Mechanics and Materials*, 725, 1580–1588.
- Persson, M.-L., Roos, A., & Wall, M. (2006). Influence of window size on the energy balance of low energy houses. *Energy and Buildings*, 38(3), 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.05.006>
- Schiavoni, S., D'Alessandro, F., Bianchi, F., & Asdrubali, F. (2016). Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 988–1011. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.045>

- Shrestha, J. K. (2021). Assessment of energy demand and greenhouse gas emissions in low rise building systems: Case study of five building systems built after the Gorkha Earthquake in Nepal. *Journal of Building Engineering*, 34, 101831. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101831>
- Soršak, M. (2016). Ekonomika tehničnih rešitev energijsko učinkovite gradnje novih objektov [Ph.D., Univerza v Mariboru (Slovenia)]. V *PQDT - Global* (2197490276). ProQuest Dissertations & Theses Global. <http://nukweb.nuk.uni-lj.si/login?url=https://www.proquest.com/dissertations-theses/ekonomika-tehnicnih-resitev-energijsko-ucinkovite/docview/2197490276/se-2?accountid=16468>
- Tatematsu, K., Hirota, T., Suzuki, H., Taniguchi, M., Nunoi, Y., & Uzawa, T. (2014). Influence of temperature and moisture on aging of glass wool. *Journal of Environmental Engineering*, 79, 753–762.
- Thormark, C. (2002). A low energy building in a life cycle—Its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment*, 37(4), 429–435. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00033-6)
- Tokbolat, S., Al-Zubaidy, S., & Badr, A. (2016). Low-energy design for future housing developments in Kazakhstan: A case study. *Energy Efficiency*, 9(1), 211–222. <https://doi.org/10.1007/s12053-015-9358-y>
- Troppová, E., Švehlík, M., Tippner, J., & Wimmer, R. (2015). Influence of temperature and moisture content on the thermal conductivity of wood-based fibreboards. *Materials and Structures*, 48, 4077–4083.
- Vo, C. V., Bunge, F., Duffy, J., & Hood, L. (2011). Advances in thermal insulation of extruded polystyrene foams. *Cellular Polymers*, 30(3), 137–156.
- Xue, Q., Wang, Z., & Chen, Q. (2022). Multi-objective optimization of building design for life cycle cost and CO2 emissions: A case study of a low-energy residential building in a

severe cold climate. *Building Simulation*, 15(1), 83–98. <https://doi.org/10.1007/s12273-021-0796-5>

Zach, J., Hroudová, J., Brožovský, J., Krejza, Z., & Gailius, A. (2013). Development of thermal insulating materials on natural base for thermal insulation systems. *Procedia Engineering*, 57, 1288–1294.