

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



ANJA DOLŠAK

**PRESOJA VIDIKOV ENERGIJSKE PRENOVE V
SMERI ZDRAVE IN OKOLJU PRIJAZNE GRADNJE
NA PRIMERU VEČSTANOVANJSKE STAVBE**

MAGISTRSKO DELO

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM
DRUGE STOPNJE STAVBARSTVO**

Ljubljana, 2020

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Kandidatka:

ANJA DOLŠAK

**PRESOJA VIDIKOV ENERGIJSKE PRENOVE V
SMERI ZDRAVE IN OKOLJU PRIJAZNE GRADNJE
NA PRIMERU VEČSTANOVANJSKE STAVBE**

Magistrsko delo št.:

**ESTIMATION OF ENERGETIC RENOVATION
ASPECTS IN A HEALTHY AND
ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CONSTRUCTION
IN THE EXAMPLE OF AN APARTMENT BUILDING**

Master thesis No.:

Mentor/-ica:

doc. dr. Mateja Dovjak

Somentor/-ica:

izr. prof. dr. Marjana Šijanec Zavrl

Predsednik komisije:

Član komisije:

Ljubljana, 2020

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 624.07(043.2)
Avtor: Anja Dolšak
Mentor: doc. dr. Mateja Dovjak
Somentor: izr. prof. dr. Marjana Šijanec Zavrl
Naslov: Presoja vidikov energijske prenove v smeri zdrave in okolju
prijazne gradnje na primeru večstanovanjske stavbe
Tip dokumenta: magistrsko delo
Obseg in oprema: 125 str., 65 pregl., 30 sl., 32 graf., 8 en.,
Ključne besede: projekt energetske prenove, trajnostna gradnja, večstanovanjska
stavba, PURES-2, scenariji ukrepov, energijska učinkovitost,
Blower Door test, zdravje, bivalno udobje

Izvleček

V okviru magistrskega dela smo predstavili vidike trajnostnega razvoja celovite energijske prenove večstanovanjske stavbe. Zaradi sistematičnosti smo magistrsko delo razdelili na dva dela. Prvi del je namenjen pregledu izzivov sedanjega časa, aktualni zakonodaji na področju energijske učinkovitosti in natančnemu opisu obstoječega stanja večstanovanjske stavbe, zgrajene leta 1964 in locirane na Kumanovski ulici 1 v Poljanskem predmestju Mestne občine Ljubljana (MOL). Za izbrano večstanovanjsko stavbo je bila na Gradbenem inštitutu ZRMK v sodelovanju z zunanjimi strokovnjaki in v sodelovanju z etažnimi lastniki izdelana tehnična dokumentacija z izbiro najbolj sprejemljive variante prenove. Z računalniško programsko opremo KI Energija 2014 smo izvedli analizo obstoječega stanja stavbe in pokazali, da lastnosti energijskih kazalnikov v trenutnem stanju ne dosegajo zahtev veljavnih tehničnih predpisov. Model smo nadgradili z načrtovanimi rešitvami prenove in v sklopu primerjave z obstoječim stanjem prikazali izboljšanje vrednosti potrebne toplote za ogrevanje, letne potrebne primarne energije in dovedene energije za delovanje stavbe. Po posvetu s strokovnjaki GI ZRMK smo razvili idejo, da v sklopu magistrskega dela nadgradimo projekt in dodamo transparentni prikaz analiz 11 izbranih opsijskih scenarijev za izboljšanje energijskih lastnosti. Drugi del je namenjen tematiki trajnostne gradnje, ki ji v zadnjem času posvečamo vedno več pozornosti. Pri vrednotenju scenarijev smo upoštevali različne vidike, od okoljske sprejemljivosti, ekonomske upravičenosti, tehnične izvedljivosti do kulturnovarstvenih pogojev. Skozi analizo energijske učinkovitosti stavbe smo prikazali izpolnitev vseh zahtev po veljavni zakonodaji. Analiza vpliva delovanja celotne stavbe na okolje nam je potrdila, da se z uporabo obnovljivih virov energije zmanjša količina emisij CO₂ oziroma emisij toplogrednih plinov v fazi uporabe obravnavane stavbe. Z analizo stroškovno učinkovite energijske prenove smo preverili, kateremu izmed izbranih scenarijev se bo investicija v življenjski dobi izplačala sama. Na koncu pa smo z izvedbo testa zrakotesnosti oziroma BlowerDoor testom v dveh izbranih stanovanjih stavbe preverili še tehnični vidik trajnostne gradnje. V sklopu dela smo bili stalno v kontaktu s stanovalci in tako smo pridobili neprecenljive informacije, ki jih je bilo treba vključiti v analizo družbenih kazalnikov trajnostne gradnje. Informacije so bile zelo dobra podlaga za nastalo magistrsko delo.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.07(043.2)
Author: Anja Dolšak
Supervisor: Assist. Prof. Mateja Dovjak, Ph.D.
Cosupervisor: Asoc. Prof. Marjana Šijanec Zavrl, Ph.D.
Title: Estimation of energetic renovation aspects in a healthy and environmentally friendly construction in the example of an apartment building
Document type: Master Thesis
Scope and tools: 125 p., 65 tab., 30 fig., 32 graph., 8 eq.,
Keywords: project of energetic renovation, sustainable construction, apartment building, PURES-2, different measures scenarios, energetic efficiency, the BlowerDoor test, health, living commodity

Abstract

The dissertation is aimed to present different aspects of sustainable development of the complete energetic renovation of an apartment building. To attain a systematic order, we divided the dissertation into two parts. The first part focuses on an overview of today's challenges, current legislation in the division of energetic efficiency and precise description of the existing condition of an apartment block, built in 1964 and located on Kumanovska ulica 1 in Poljane district in the municipality of Ljubljana. In collaboration with specialists from different professions and with floor owners, technical documentation with the most suitable option of the renovation for the chosen building was made at the Building and Civil Engineering Institute ZRMK. We carried out an analysis of the existing condition of the building with a computer software named KI Energy 2014 and displayed that characteristics of energy indicators of the existing building don't fulfil the demands of current legislation. We upgraded the model with a planned proposition of the renovation and showed improvement of the valued temperature needed for heating, needed annual primary energy and supplied energy for normal functioned building as a part of the comparison between the existing scenario. After consulting with experts from GI ZRMK, we developed an idea to upgrade the project we set for this dissertation and added a transparent display analysis of eleven chosen optional scenarios for improving energetic characteristics. The second part focuses on the subject of sustainable construction, to which we pay more attention lately. When we evaluated different scenarios, we considered various aspects, including environmental acceptability, economic eligibility, technical practicability and terms of cultural heritage. Through the analysis of the building's energetic efficiency, we presented fulfilment of all terms based on valid legislation. Regarding the functioning of the whole building, the analysis of its effect on the environment confirmed that by using reusable energy resources the emission of carbon dioxide is heavily reduced. By analysing the cost-effective energetic renovation, we checked which of the chosen scenarios of the investment will be paid out in its lifetime. In the end, we analysed the airtightness or performance of the BlowerDoor test in

two selected apartments by which we tested the technical aspect of sustainable construction. During the project, we were in constant touch with residents and gathered a lot of valuable information which are needed to be included in the analysis of sustainable construction's social indicators. This information was a good base for this dissertation.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč, usmeritve, čas in spodbudne besede pri pisanju magistrskega dela se iskreno zahvaljujem mentoricama doc. dr. Mateji Dovjak in izr. prof. dr. Marjani Šijanec Zavrl.

*Hvala Gradbenemu inštitutu ZRMK za priložnost, sproščeno delovno okolje
in večji vpogled v izbrano tematiko magistrskega dela.*

Hvala Nevi Jejčič, univ. dipl. inž. arh. za idejno in strokovno usmerjanje ter nesebično pomoč.

*Posebna zahvala celotni ekipi Centra za bivalno okolje, gradbeno fiziko in energijo
za nova znanja, vzpodbude in čas, ki smo ga preživeli skupaj.*

*Iz srca se zahvaljujem moji družini, ki mi je
ves čas stala ob strani, me podpirala in mi omogočila študij.
Hvala, ker verjamete vame!*

*Hvala tudi sošolcem in prijateljem
za vso pozitivno energijo, podporo in spodbude na študijski poti.*

Hvala vsem!

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	I
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	V
ZAHVALA	VII
KAZALO VSEBINE	IX
KAZALO PREGLEDNIC	XII
KAZALO GRAFIKONOV	XIV
KAZALO SLIK	XV
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XVII
1 UVOD	1
1.1 Namen in cilj raziskovalnega dela	2
1.2 Hipoteze raziskovalnega dela	2
2 PREDPISI IN ZAKONODAJA NA PODROČJU ENERGIJSKE UČINKOVITOSTI	4
2.1 Zakonske podlage za načrtovanje energetske prenove stavbe	4
2.2 Zakonske podlage za energijsko učinkovitost stavb	5
2.2.1 Področje energetske učinkovitosti stavb	5
2.2.1.1 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010, Ur. l. RS, št. 52/2010 in 61/17 – GZ)	5
2.2.1.2 Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije	7
2.2.1.3 Akcijski načrt za skoraj nič-energijske stavbe za obdobje do leta 2020 (AN sNES)	8
2.2.2 Področje varovanja stavbne kulturne dediščine	9
2.2.2.1 Zakon o varstvu kulturne dediščine ZVKD-1 (Uradni list RS, št. 16/2008)	9
2.2.2.2 Smernice za energetsko prenovo stavb kulturne dediščine	10
3 PROGRAMSKA OPREMA	12
3.1 Računalniški program KI Energija 2014, Knauf Insulation	12
4 PREDSTAVITEV PROJEKTA ENERGETSKE PRENOVE VEČSTANOVANJSKE STAVBE – PEP	14
4.1 Opis obstoječega stanja stavbe	15
4.1.1 Splošni podatki in zasnova večstanovanjske stavbe	15
4.1.2 Karakteristike in dispozicija stavbe	16
4.1.3 Sestava obstoječih gradbenih elementov	17
4.1.4 Aktivni tehnični sistemi v stavbi	21
4.2 Predlog celovite energetske prenove stavbe – PEP	21
4.2.1 Prenova ovoja stavbe	23
4.2.1.1 Prenova fasade	23
4.2.1.2 Zamenjava izbranega zunanega stavbnega pohištva	24
4.2.1.3 Toplotna izolacija stropa nad neogrevano kletjo	24
4.2.1.4 Prenova ravne nepohodne in pohodne strehe - terasa	24
4.2.2 Prenova in posodobitev tehničnih sistemov v stavbi	26
4.2.2.1 Ogrevanje	26

4.2.2.2	Hlajenje	26
4.2.2.3	Prezračevanje	27
4.3	Določitev energijskih vidikov	28
5	ANALIZA IZBRANIH OPCIJSKIH SCENARIJEV ZA IZBOLJŠANJE ENERGIJSKIH LASTNOSTI	31
5.1	Ukrep izbire različnih variant toplotno izolacijskega materiala za fasadni ovoj	33
5.1.1	Izbira 'najpogostejše' uporabljenega toplotno izolacijskega materiala	34
5.1.1.1	Predstavitev izbrane kamene volne Knauf Insulation FKD-S Thermal	34
5.1.1.2	Izbira ustrezne debeline kamene volne Knauf Insulation FKD-S Thermal	35
5.1.2	Izbira 'naravnega' toplotno izolacijskega materiala	35
5.1.2.1	Predstavitev izbrane celulozne izolacije Isocell in izvedba fasadnega ovoja	36
5.1.2.2	Izbira ustrezne debeline celulozne izolacije Isocell v kombinaciji z Agepan THD ploščami	38
5.1.3	Izbira 'naprednega' toplotno izolacijskega materiala	39
5.1.3.1	Predstavitev izbrane izolacije Webertherm plus ultra 020	39
5.1.3.2	Izbira ustrezne debeline Webertherm plus ultra 020 izolacije	39
5.1.4	Energijski kazalniki za ukrep izbire različnih variant TI materiala za fasadni ovoj	40
5.2	Ukrep zamenjave zunanjega stavbnega pohištva na celotni stavbi	42
5.2.1	Izbira PVC oken in balkonskih vrat s troslojno zasteklitvijo	43
5.2.2	Energijski kazalniki za ukrep izbire PVC oken in balkonskih vrat s troslojno zasteklitvijo	44
5.3	Ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjskih enotah	46
5.3.1	Izbira lokalnega prezračevalnega sistema z rekuperacijo	47
5.3.2	Energijski kazalniki za ukrep izbire lokalnega prezračevalnega sistema z rekuperacijo	48
5.4	Ukrep vgradnje toplotne črpalke	50
5.4.1	Toplotna črpalka za ogrevanje	52
5.4.2	Toplotna črpalka za toplo sanitarno vodo	52
5.4.3	Toplotna črpalka v kombinaciji za ogrevanje in toplo sanitarno vodo	54
5.4.4	Energijski kazalniki za ukrep vgradnje toplotne črpalke	54
5.5	Kombinacija ukrepov	56
5.5.1	Energijski kazalniki za kombinacijo ukrepov	56
5.6	Ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne na stavbo	57
5.6.1	Izbira sončnih celic	59
5.6.2	Energijski kazalniki pri dodatni fotovoltaični elektrarni na stavbi	60
5.6.2.1	Namestitev fotovoltaične elektrarne na stavbo – na načrtovani PEP-K1	60
5.6.2.2	Namestitev fotovoltaične elektrarne na stavbo - na scenarij kombinacije ukrepov	62
6	TRAJNOSTNA GRADNJA	64
6.1	Analiza dejanskega stanja stavbe – korak 1	66
6.2	Definiranje trajnostnih kazalnikov – korak 2	66
6.3	Definiranje trajnostnih ciljev – korak 3	67
6.4	Analiza in končna ocena – korak 4	67
6.4.1	Okoljski kazalnik	67
6.4.1.1	Analiza energijske učinkovitosti stavbe	67
6.4.1.1.1	Potrebna toplota za ogrevanje stavbe - Q_{NH}	67
6.4.1.1.2	Primarna energija za delovanje stavbe - Q_p	70
6.4.1.1.3	Dovedena energija za delovanje stavbe - Q_f	73
6.4.1.1.4	Obnovljiva energija porabljena na stavbi – OVE	76
6.4.1.2	Analiza vpliva delovanja celotne stavbe na okolje – emisije CO ₂	78
6.4.1.3	Analiza vpliva izbranih gradbenih proizvodov na okolje – emisije CO ₂	80
6.4.2	Ekonomski kazalnik	86
6.4.2.1	Razpisni pogoji Eko Sklad	87

6.4.2.1.1	Javni poziv 67SUB-OBPO19, Nepovratne finančne spodbude za nove skupne naložbe večje energijske učinkovitosti starejših stavb s tremi ali več posameznimi deli stavbe	87
6.4.2.1.2	Javni poziv 48SUB-SKOB17, Nepovratne finančne spodbude občanom za nove naložbe zamenjave starih kurilnih naprav v skupnih kotlovnica večstanovanjskih stavb	88
6.4.2.1.3	Javni poziv 71SUB-SO19, Nepovratne finančne spodbude/pomoči za naprave za samooskrbo z električno energijo	89
6.4.2.2	Stroškovna analiza življenjskega cikla stavbe (LCC)	89
6.4.2.2.1	Investicijski stroški	90
6.4.2.2.2	Vzdrževalni stroški	93
6.4.2.2.3	Obratovalni stroški	95
6.4.2.2.4	Neto sedanja vrednost (NSV) stroškov	97
6.4.3	Tehnični in procesni kazalniki trajnostne gradnje	101
6.4.3.1	Analiza zrakotesnosti	101
6.4.3.2	Predpisi s področja zrakotesnosti	102
6.4.3.3	Analiza zrakotesnosti z BlowerDoor testom	103
6.4.3.3.1	Predstavitev naprave in potek BlowerDoor testa	103
6.4.3.3.2	Računalniška programska oprema	106
6.4.3.3.3	Rezultati BlowerDoor testa	106
6.4.4	Družbeni in funkcionalni kazalniki trajnostne gradnje	109
7	SKLEP	112
8	ZAKLJUČEK	116
9	VIRI	118

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Toplotna prehodnost gradbenih elementov stavb	8
Preglednica 2: Največja dovoljena vrednost primarne energije glede na vrsto stavbe	9
Preglednica 3: Vpliv posameznih ukrepov na varovane elemente	10
Preglednica 4: Sestava gradbenega elementa – tla nad neogrevano kletjo, obstoječe stanje	20
Preglednica 5: Sestava gradbenega elementa – zunanje stene, obstoječe stanje	20
Preglednica 6: Sestava gradbenega elementa – zunanja stena v loži (stranski del), obstoječe stanje	20
Preglednica 7: Sestava gradbenega elementa – ravna pohodna streha – terasa, obstoječe stanje	20
Preglednica 8: Sestava gradbenega elementa – ravna nepohodna streha, obstoječe stanje	20
Preglednica 9: Sestava gradbenega elementa – zunanja stena, novo stanje	23
Preglednica 10: Sestava gradbenega elementa – strop nad neogrevano kletjo, novo stanje	24
Preglednica 11: Sestava gradbenega elementa – ravna nepohodna streha, novo stanje	25
Preglednica 12: Sestava gradbenega elementa – ravna pohodna streha (terasa), novo stanje	25
Preglednica 13: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrepe PEP-K1	28
Preglednica 14: Vrednosti dovedene energije za ukrepe PEP-K1	29
Preglednica 15: Število izmenjav zraka v stanovanjskih prostorih	30
Preglednica 16: Izbrani opcijski scenariji za izboljšanje energijskih lastnosti	32
Preglednica 17: Izbira debeline toplotno izolacijskega materiala – kamena volna FKD-S Thermal	35
Preglednica 18: Izbira debeline toplotno izolacijskega materiala – celuloza Isocell + plošče Agepan THD	38
Preglednica 19: Izbira debeline toplotno izolacijskega materiala – Webertherm plus ultra 020	40
Preglednica 20: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrep izbire različnih variant TI materiala za fasadni ovoj ..	40
Preglednica 21: Višina začetne naložbe v prenovo fasadnega ovoja	41
Preglednica 22: Vrednosti dovedene energije za ukrep izbire različnih variant TI materiala za fasadni ovoj	42
Preglednica 23: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrep zamenjave zunanega stavbnega pohištva na celotni stavbi	45
Preglednica 24: Vrednosti dovedene energije za ukrep zamenjave zunanega stavbnega pohištva na celotni stavbi	45
Preglednica 25: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjskih enotah	48
Preglednica 26: Vrednosti dovedene energije za ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjskih enotah	49
Preglednica 27: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrep vgradnje toplotne črpalke	54
Preglednica 28: Vrednosti dovedene energije za ukrep vgradnje toplotne črpalke	55
Preglednica 29: Vrednosti energijskih kazalnikov za kombinacijo ukrepov	56
Preglednica 30: Vrednosti dovedene energije za kombinacijo ukrepov	57
Preglednica 31: Pridobljena električna energija iz OVE – za primer PEP-K1 + namestitev fotovoltaične elektrarne	60
Preglednica 32: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne – na načrtovani PEP-K1	60
Preglednica 33: Vrednosti dovedene energije za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne – na načrtovani PEP-K1	61
Preglednica 34: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne - na scenarij kombinacije ukrepov	62
Preglednica 35: Vrednosti dovedene energije za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne - na scenarij kombinacije ukrepov	63
Preglednica 36: Definiranje trajnostnih kazalnikov	66
Preglednica 37: Definiranje trajnostnih ciljev	67
Preglednica 38: Vrednosti potrebne toplote za ogrevanje stavbe - Q_{NH}	68
Preglednica 39: Vrednosti primarne energije za delovanje stavbe - Q_p	72
Preglednica 40: Vrednosti dovedene energije za delovanje stavbe - Q_f	74
Preglednica 41: Obnovljiv in neobnovljiv del dovedene energije za delovanje stavbe	76
Preglednica 42: Vrednosti obnovljive energije porabljene na stavbi	77
Preglednica 43: Izkušnje in dvomi glede bivanja v sNES	78
Preglednica 44: Vrednosti emisij CO_2	80
Preglednica 45: Potencial globalnega segrevanja - GWP	84

Preglednica 46: Primerjava med fizikalnimi lastnostmi toplotnoizolacijskih gradbenih materialov, ogljičnim odtisom izbranih toplotnih izolacij za doseganje toplotne prehodnosti $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ na enoto površine ovoja stavbe (m^2) in na površino 1275 m^2 celotnega ovoja obravnavane večstanovanjske stavbe	85
Preglednica 47: Ogljični odtis različnih toplotno izolacijskih materialov - primerjava	86
Preglednica 48: Investicijska vrednost projekta energetske prenove, PEP-K1.....	91
Preglednica 49: Investicijska vrednost posameznih ukrepov prenove	91
Preglednica 50: Debeline uporabljenega toplotno izolacijskega materiala	92
Preglednica 51: Skupna investicijska vrednost prenove večstanovanjske stavbe na Kumanovski ulici 1	92
Preglednica 52: Prikaz stroškov vzdrževalnih del po posameznih elementih prenove oz. sistemih	93
Preglednica 53: Skupna investicijska vrednost prenove z vključeno nepovratno finančno spodbudo po javnem pozivu Eko sklada, 30 - letna življenjska doba stavbe	94
Preglednica 54: Letni diskontirani vzdrževalni stroški v obdobju 2020 – 2049	95
Preglednica 55: Skupni diskontirani vzdrževalni stroški (NSV)	95
Preglednica 56: Letni diskontirani obratovalni stroški v obdobju 2020 – 2049	96
Preglednica 57: Skupni diskontirani obratovalni stroški (NSV).....	96
Preglednica 58: Neto sedanja vrednost stroškov v 30-letni življenjski dobi stavbe	97
Preglednica 59: Struktura in delež posameznih stroškov v 30-letni življenjski dobi stavbe	97
Preglednica 60: Donos (prihranek na leto).....	99
Preglednica 61: Vračilna doba investicije	99
Preglednica 62: Vrednosti Q_p in NSV za PEP-K1 in scenarije prenove	100
Preglednica 63: Podatki gradbene zasnove analiziranega stanovanja	106
Preglednica 64: Izpis poročila izvedenega BlowerDoor testa s strani GI ZRMK, stanovanje 13	107
Preglednica 65: Izpis poročila izvedenega BlowerDoor testa s strani GI ZRMK, stanovanje 14	108

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Energijski kazalniki za ukrepe PEP-K1	28
Grafikon 2: Dovedena energija za ukrepe PEP-K1	29
Grafikon 3: Energijski kazalniki za ukrep izbire različnih variant TI materiala za fasadni ovoj.....	40
Grafikon 4: Dovedena energija za ukrep izbire različnih variant TI materiala za fasadni ovoj	41
Grafikon 5: Energijski kazalniki za ukrep zamenjave zunanjskega stavbnega pohištva na celotni stavbi.....	44
Grafikon 6: Dovedena energija za ukrep zamenjave zunanjskega stavbnega pohištva na celotni stavbi.....	45
Grafikon 7: Energijski kazalniki za ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjskih enotah	48
Grafikon 8: Dovedena energija za ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjskih enotah	49
Grafikon 9: Energijski kazalniki za ukrep vgradnje toplotne črpalke	54
Grafikon 10: Dovedena energija za ukrep vgradnje toplotne črpalke	55
Grafikon 11: Energijski kazalniki za kombinacijo ukrepov	56
Grafikon 12: Dovedena energija za kombinacijo ukrepov	57
Grafikon 13: Energijski kazalniki za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne – na načrtovani PEP-K1.....	60
Grafikon 14: Dovedena energija za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne – na načrtovani PEP-K1.....	61
Grafikon 15: Energijski kazalniki za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne - na scenarij kombinacije ukrepov	62
Grafikon 16: Dovedena energija za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne - na scenarij kombinacije ukrepov	62
Grafikon 17: Potrebna toplota za ogrevanje stavbe - Q_{NH}	68
Grafikon 18: Potrebna toplota za ogrevanje stavbe - Q_{NH} , pogoj po PURES-2	68
Grafikon 19: Primarna energija za delovanje stavbe – Q_p	71
Grafikon 20: Primarna energija za delovanje stavbe – Q_p , pogoj po PURES-2	71
Grafikon 21: Primarna energija za delovanje stavbe – Q_p , pogoj po AN sNES do 2020.....	71
Grafikon 22: Dovedena energija za delovanje stavbe - Q_f	73
Grafikon 23: Dovedena energija za delovanje stavbe - Q_f , delitev na energente.....	74
Grafikon 24: Obnovljiv in neobnovljiv del dovedene energije za delovanje stavbe	75
Grafikon 25: Obnovljiva energija porabljena na stavbi.....	76
Grafikon 26: Letne emisije CO_2	79
Grafikon 27: Ogljični odtis toplotno izolacijskih materialov debeline, ki je potrebna, da je dosežena toplotna prehodnost zunanjskega ovoja $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, prikazan na enoto površine ovoja stavbe (m^2)	85
Grafikon 28: Neto sedanja vrednost stroškov stavbe v 30-letni življenjski dobi stavbe.....	98
Grafikon 29: Vračilna doba investicije	99
Grafikon 30: Stroškovna učinkovitost različnih scenarijev energijske prenove.....	100
Grafikon 31: Rezultati meritev zrakotesnosti s strani GI ZRMK, stanovanje 13	107
Grafikon 32: Rezultati meritev zrakotesnosti s strani GI ZRMK, stanovanje 14	108

KAZALO SLIK

Slika 1: Okno računalniške programske opreme KI Energija 2014, Knauf Insulation	12
Slika 2: Okno računalniške programske opreme KI Energija 2014, Knauf Insulation	13
Slika 3: Potek projekta celovite energetske prenove stavbe (PEP)	14
Slika 4: Lokacija večstanovanjske stavbe, Kumanovska ulica 1 v Ljubljani	15
Slika 5: Register kulturne dediščine, naselbinska dediščina evidenčne številke 328	15
Slika 6: Pogled na večstanovanjsko stavbo iz SZ in SV strani	16
Slika 7: Originalni načrt iz leta 1963 – fasade	17
Slika 8: Originalni načrt iz leta 1963 – klet	18
Slika 9: Originalni načrt iz leta 1963 – pritličje	18
Slika 10: Originalni načrt iz leta 1963 – 1., 2., 3. nadstropje	19
Slika 11: Originalni načrt iz leta 1963 – terasa	19
Slika 12: Načrt projekta energetske prenove – tloris pritličja, novo stanje	22
Slika 13: Načrt projekta energetske prenove – prerez A1 in prerez B1, novo stanje	22
Slika 14: Detajl izvedbe toplotne izolacije na steni v loži (levo), novo stanje	23
Slika 15: Detajl izvedbe ravne pohodne strehe - terasa	26
Slika 16: Detajl izvedbe zunanjih enot klimatskih naprav, novo stanje	27
Slika 17: Detajl izvedbe lokalnega prezračevanja z rekuperacijo, novo stanje	27
Slika 18: Kamena mineralna volna – Knauf Insulation FKD-S Thermal	34
Slika 19: Časopisni papir in celulozni izolacijski material	35
Slika 20: Webertherm plus ultra 020 izolacijske plošče	39
Slika 21: Delovanje toplotne črpalke	50
Slika 22: Uporaba fotovoltaične elektrarne na stavbi	58
Slika 23: Postopek reciklaže fotonapetostnih modulov	59
Slika 24: Analiza življenjskega cikla proizvoda	82
Slika 25: Sistemske meje, vključene v EPD deklaraciji	83
Slika 26: Priprava sistema BlowerDoor za izvajanje meritev s strani GI ZRMK	104
Slika 27: Priprava stanovanja na meritve zrakotesnosti s strani GI ZRMK	105
Slika 28: Izvajanje BlowerDoor testa s strani GI ZRMK	105
Slika 29: Računalniška programska oprema TECTITE Express Airtightness Test s strani GI ZRMK	106
Slika 30: Primerjava osvetljenosti izbranega prostora z uporabo dvoslojne in troslojne zasteklitve okna	111

»Ta stran je namenoma prazna.«

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

PEP	projekt energetske prenove stavbe
PEP-K1	projekt energetske prenove večstanovanjske stavbe na Kumanovski 1 v Ljubljani
PURES-2	Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah
TSG	Tehnična smernica za graditev
AN sNES	Akcijski načrt za skoraj nič-energijske stavbe
ZVKD-1	Zakon o varstvu kulturne dediščine
ZVKDS	Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenija
AB	armirani beton
TI	toplotna izolacija
HI	hidroizolacija
PZ	parna zapora
U	toplotna prehodnost elementa ($W/(m^2K)$)
λ	toplotna prevodnost ($W/(mK)$)
d	debelina (cm)
Q_{NH}	potrebna toplota za ogrevanje stavbe ($kWh/(m^2a)$)
Q_{NC}	potreben hlad za hlajenje stavbe ($kWh/(m^2a)$)
Q_p	potrebna primarna energija za delovanje stavbe ($kWh/(m^2a)$)
Q_f	dovedena energija za delovanje stavbe ($kWh/(m^2a)$)
CO_2	ogljikov dioksid
OVE	obnovljivi viri energije
URE	učinkovita raba energije
H'_T	koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub
U_g	toplotna prehodnost zasteklitve ($W/(m^2K)$)
U_w	toplotna prehodnost celotnega okna ($W/(m^2K)$)
LT	prepustnost svetlobe
LR	odboj vidne svetlobe oz. albedo
g-faktor	faktor prepustnosti sončnega obsevanja
LCA	analiza življenjskega cikla (<i>angl. Life Cycle Assessment</i>)
LCC	stroški življenjskega cikla stavbe (<i>angl. Life Cycling Cost</i>)
EPD	okoljska deklaracija proizvoda (<i>angl. Environmental product declaration</i>)
RER	delež obnovljivih virov glede na skupno dovedeno energijo (<i>angl. Renewable Energy Ratio</i>)
n	volumska izmenjava zraka (h^{-1})
n_{50}	število izmenjav zraka pri tlačni razliki 50 Pa

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Naslov magistrskega dela *Presoja vidikov energijske prenove v smeri zdrave in okolju prijazne gradnje na primeru večstanovanjske stavbe* nazorno nakazuje tematiko obravnavanega dela. Tematika pokriva dva ključna termina, vezana na področje prenove stavb:

1. vidiki, povezani s področjem *trajnostna gradnja*
2. energijska prenova, povezana s *celovito energijsko prenovo stavbe*

Celovita energijska prenova večstanovanjskih stavb zajema izvedbo ukrepov na ovoj stavbe in izboljšave ali menjave tehničnih sistemov, ki pripomorejo k učinkoviti rabi energije in s tem k bistveno boljšim bivalnim pogojem v stavbi po prenovi. Sledimo namreč ciljem zmanjševanja letne rabe energije, v čim večji meri rabi obnovljivih virov za delovanje stavbe in s tem zmanjševanju emisij CO₂ oziroma emisij toplogrednih plinov. Pri tem je pomembno, da so ukrepi med seboj smiselno in celovito povezani do te stopnje, da je končni rezultat oziroma učinek optimalen, ob upoštevanju Pravilnika o učinkoviti rabi energije PURES-2 iz leta 2010 oziroma predpisov Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije. Končnega rezultata namreč ni mogoče definirati zgolj z rezultati analize posameznih ukrepov načrtovane prenove, ampak je treba na celovito energijsko prenovo pogledati skozi celoten koncept izvedenih ukrepov.

Današnji čas nam prinaša veliko izzivov, sprememb, novih znanj in spoznanj, ki omogočajo, da na celovito energijsko prenovo stavb pogledamo še z vidika trajnostne gradnje. Za trajnostno stavbo namreč velja, da je do okolja prijazna, ekonomsko učinkovita in družbeno sprejemljiva. Ob tem je treba upoštevati, da ne gre za najugodnejšo rešitev gledano samo skozi ekonomičnost naložbe, temveč za rešitev, kjer nadzorujemo vseživljenjske stroške stavbe in vzporedno v čim manjši meri obremenjujemo okolje in zdravje ljudi, kar pa je povezano z izbiro materialov / proizvodov / sistemov / tehnologij gradnje oziroma izvedbe ter s samim delovanjem stavbe med uporabo z upoštevanjem vseh vidikov servisiranja, popravil in menjav določenih elementov ali komponent vse do končne razgradnje. Zavedati se moramo, da sodobni človek v stavbah preživi skoraj 90 % celotnega življenja, zato je način gradnje oziroma prenove z upoštevanjem trajnostnih načel eno izmed najpomembnejših in najučinkovitejših načinov za izboljšanje našega življenjskega prostora in s tem tudi zdravja.

V magistrskem delu smo tako opravili analize trajnostnih vidikov gradnje na primeru večstanovanjske stavbe na Kumanovski ulici 1 v Ljubljani. V prvi vrsti smo se osredotočili na PEP večstanovanjske stavbe na Kumanovski 1 v Ljubljani (PEP-K1), izdelan na Gradbenem inštitutu ZRMK. Magistrsko delo je bilo nadgrajeno z 11 različnimi opcijskimi scenariji prenove, kot smiselna nadgradnja izdelanemu PEP-K1. Pri tem ni bil poudarek na izbiri zgolj najugodnejšega scenarija, vendar smo analizo načrtovali in izdelali tako, da skozi dobljene vrednosti izračunov in analiz dobimo večji vpogled na vpliv posameznih komponent znotraj celote. S tem je bila dana tudi možnost reprezentativnih primerjav med smiselnimi, uresničljivimi in izvedljivimi scenariji. Poglavitni cilj magistrskega dela je ovrednotenje metode trajnostne gradnje in dobljenih rezultatov ter analiz na način, da naročniku omogočimo odločitev na podlagi dejanskih oziroma merljivih rezultatov. Pogosto namreč prevladuje

miselnost, da je celovita energijska prenova usmerjena zgolj v ekonomski vidik oziroma v praksi se to rezultira v merilo "najnižje cene" za izbrane rešitve oziroma ukrepe in za izbiro izvajalca. Zavedamo se, da bi s tem marsikomu omogočili drugačen vpogled v tak način načrtovanja prenove in v nadaljevanju uporabe stavbe v njeni življenjski dobi.

1.1 Namen in cilj raziskovalnega dela

Namen magistrskega dela je pregled izdelanega PEP-K1 in analiza 11 opsijskih scenarijev celovite energijske prenove za izboljšanje energijskih lastnosti obravnavane večstanovanjske stavbe, upoštevajoč veljavni zakonodajni okvir ter različne vidike, od družbene in okoljske sprejemljivosti, tehnično-tehnološke izvedljivosti, ekonomske upravičenosti do kulturnovarstvenih pogojev.

V sklopu izbrane tematike smo določili naslednje cilje:

1. opredeliti pojem energijska učinkovitost s pomočjo sistematičnega pregleda zakonske podlage za energijsko učinkovitost stavb (PURES-2 iz leta 2010, Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije)
2. predstaviti obstoječe stanje večstanovanjske stavbe ter načrtovani PEP-K1, izdelan na Gradbenem inštitutu ZRMK
3. načrtovati in analizirati 11 smiselnih opsijskih scenarijev celovite prenove za izboljšanje energijskih lastnosti obravnavane stavbe
4. nadgraditi analize s trajnostnimi kazalniki prenove - energijska učinkovitost stavbe, vpliv delovanja celotne stavbe in izbranih gradbenih proizvodov / sistemov / tehnologij gradnje oziroma izvedbe na okolje, stroškovna učinkovitost prenove ter vračilna doba začetne investicije in analiza zrakotesnosti stavbe
5. transparentno prikazati analize različnih smiselnih in izvedljivih scenarijev prenove in ovrednotiti dobljene rezultate na način zagotavljanja ustreznih podlag in s tem naročniku omogočiti, da mu ni potrebno sprejemati odločitev 'na pamet'

1.2 Hipoteze raziskovalnega dela

Hipoteza 1: Celovita energetska prenova obravnavane večstanovanjske stavbe izboljša energijske lastnosti stavbe, zmanjšuje stroške obratovanja in ostale stroške v celotni življenjski dobi stavbe.

Hipoteza 2: Delež obnovljivih virov energije (OVE), porabljene na večstanovanjski stavbi se povečuje skladno z učinkovitostjo sistemov za ogrevanje, pripravo tople sanitarne vode in generiranje električne energije iz obnovljivih virov; tako pripomore k izpolnjevanju pogoja PURES-2, ki narekuje zagotavljanje najmanj 25 % celotne končne energije za delovanje sistemov v stavbi z uporabo OVE v stavbi ter izpolnjevanju pogoja po AN sNES do 2020, ki narekuje 50 % delež OVE glede na skupno dovedeno energijo.

- Hipoteza 3: S trajnostnim pristopom pri načrtovanju celovite prenove večstanovanjske stavbe in rabe OVE na stavbi se zmanjšujeta količina emisij CO₂ oziroma emisij toplogrednih plinov in s tem negativen vpliv delovanja stavbe na okolje.
- Hipoteza 4: Prenova stavbe z višjo začetno investicijo v času življenjske dobe rezultira v stroškovno učinkovito prenovo, saj se z zmanjšanjem obratovalnih in ostalih stroškov upraviči višja začetna naložba.
- Hipoteza 5: Ustrezna oziroma ciljna zrakotesnost na ovoju stavbe je ena izmed nedestruktivnih (neporušnih) metod, s katero se preveri dejansko urno izmenjavo zraka v stanovanjski enoti. S tem se preveri ciljno oziroma želeno stopnjo zrakotesnosti, zadano v projektnih pogojih. Z zagotavljanjem ciljne zrakotesnosti se zagotavlja večjo energijsko učinkovitost stavb, kar se kaže v zmanjšanju toplotnih izgub, preprečevanju toplotnih in zvočnih mostov in s tem k manjši rabi toplote za ogrevanje, povečanju prihrankov pri ogrevanju in višji ravni bivalnega udobja v prostoru.

2 PREDPISI IN ZAKONODAJA NA PODROČJU ENERGIJSKE UČINKOVITOSTI

2.1 Zakonske podlage za načrtovanje energijske prenove stavbe

Za izdelavo PEP-K1, kjer je bil zadan cilj, da se izvedejo ukrepi za doseganje celovite energijske prenove, je bil v sklopu priprave uporabljen naslednji veljavni zakonodajni okvir:

Splošno:

- Gradbeni zakon (Uradni list RS, št. 61/17 in 72/17 – popr.)
- Zakon o varstvu kulturne dediščine ZVKD-1 (Uradni list RS, št. 16/2008)
- Zakon o varstvu okolja ZVO-1 (Uradni list RS, št. 39/06 – uradno prečiščeno besedilo, 49/06 – ZMetD, 66/06 – odl. US, 33/07 – ZPNačrt, 57/08 – ZFO-1A, 70/08, 108/09, 108/09 – ZPNačrt-A, 48/12, 57/12, 92/13, 56/15, 102/15, 30/16, 61/17 – GZ, 21/18 – ZNorg in 84/18 – ZIURKOE)
- Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES) (Ur.l. RS, št. 52/10 in 61/17-GZ)
- Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah (Uradni list RS, št. 10/12 in 61/17-GZ)
- Pravilnik o zaščiti stavb pred vlago (Uradni list RS, št. 29/04)
- Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih (Ur.l. RS št. 89/99, 39/05, 43/11 – ZVZD-1)
- Pravilnik o podrobnejši vsebini dokumentacije in obrazcih, povezanih z graditvijo – ukrepov (Ur.l. RS št. 36/18 in 51/18 – popr.)
- Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije
- Tehnična smernica TSG-1-005:2012 Zaščita pred hrupom v stavbah
- SIST EN 14351-1:2006+A2:2016 Okna in vrata – Standard za proizvod, zahtevane lastnosti – 1. del: Okna in zunanja vrata

Požarna varnost:

- Pravilnik o požarni varnosti v stavbah (Uradni list RS, št. 31/04, 10/05, 83/05, 14/07, 12/13 in 61/17-GZ)
- Tehnična smernica za graditev TSG-1-001:2019 Požarna varnost v stavbah
- Smernica Požarnovarnostne zahteve za električne in cevne napeljave v stavbah – SZPV 407/12
- Preskusi požarne odpornosti servisnih inštalacij – 3. del: Tesnitve prebojev – SIST EN 1366-3:2009
- Uredba o skladiščenju nevarnih tekočin v nepremičnih skladiščnih posodah (Ur.l. RS, št. 104/09, 29/10, 105/10)

Ogrevanje in hlajenje:

- Smernica za izračun toplotnih obremenitev za hlajenje stavbe – VDI 2078:1996
- Grelni sistemi v stavbah – Metoda izračuna projektne toplotne obremenitve – SIST EN 12831:2004
- Ogrevalni sistemi v stavbah – Projektiranje toplovodnih ogrevalnih sistemov – SIST EN 12828:2013

Prezračevanje in klimatizacija:

- Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb (Ur.l. RS, št. 42/02, 105/02, 110/02 – ZGO-1 in 61/17 – GZ)
- Prezračevanje in klimatizacija – DIN 1946
- Prezračevanje in klimatizacija: Prezračevanje stavb in prostorov za zdravstveno nego – DIN 1946-4

2.2 Zakonske podlage za energijsko učinkovitost stavb

V nadaljevanju se bomo osredotočili na zakonske podlage za energijsko učinkovitost stavb, ki se navezujejo na eksperimentalni del magistrskega dela.

2.2.1 Področje energijske učinkovitosti stavb

2.2.1.1 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010, Ur. I. RS, št. 52/2010 in 61/17 – GZ)

PURES-2 [1] določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ali njihove kombinacije, priprave tople vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije za delovanje sistemov v stavbah ter metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavbe v skladu z Direktivo 31/2010/EU Evropskega parlamenta in sveta z dne 19. maja 2010 o energetski učinkovitosti stavb (UL L št. 153 z dne 18. 6. 2010, str. 13) [1]. Ob tem je treba poudariti, da PURES-2 predpisuje obvezno uporabo Tehnične smernice TSG-1-004 Učinkovita raba energije [2], ki določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za doseganje zahtev iz PURES-2 in določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe.

PURES-2 se uporablja pri gradnji novih stavb in rekonstrukciji stavbe oziroma njenega posameznega dela, kjer se posega v najmanj 25 % površine toplotnega ovoja, če je tehnično izvedljivo [1].

Kadar želimo v stavbi zagotoviti učinkovito rabo energije, moramo tako upoštevati robne pogoje, navedene v 6. členu PURES-2, ki vključujejo: celotno življenjsko dobo stavbe, njeno namembnost, podnebne podatke, material konstrukcije in ovoja, lego in orientiranost, parametre notranjega okolja, vgrajene sisteme in naprave ter uporabo obnovljivih virov energije (OVE) [1].

Energijska učinkovitost je tako dosežena, če so izpolnjeni pogoji 7. člena PURES-2 [1]:

1. koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe, določen z izrazom $H'_T \text{ (W/(m}^2\text{K))} = H_T / A$, ne presega:

$$H'_T \leq 0,28 + T_L / 300 + 0,004 / f_0 + z / 4 \quad (1)$$

kjer je:

H'_T ... količnik transmisijskih toplotnih izgub stavbe

A ... celotna zunanja površina stavbe

z ... brezdimenzijsko razmerje med površino oken in toplotnega ovoja stavbe

f_0 ... faktor oblike (m^{-1}) je razmerje med površino toplotnega ovoja stavbe in neto ogrevano prostornino stavbe

T_L ... povprečna letna temperatura zunanjega zraka

2. dovoljena letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH} stanovanjske stavbe, preračunana na enoto kondicionirane površine A_U , ne presega:

$$Q_{NH} / A_U \leq 45 + 60 f_0 - 4,4 T_L \text{ (kWh/(m}^2\text{a))} \quad (2)$$

3. dovoljen letni potreben hlad za hlajenje Q_{NC} stanovanjske stavbe, preračunan na enoto hlajene površine stavbe A_U , ne presega:

$$Q_{NC} / A_U \leq 50 \text{ kWh/(m}^2\text{a)} \quad (3)$$

4. letna primarna energija za delovanje sistemov v stanovanjski stavbi Q_p , preračunana na enoto ogrevane površine stavbe A_U , ne presega:

$$Q_p / A_U = 200 + 1,1 (60 f_0 - 4,4 T_L) \text{ (kWh/(m}^2\text{a))} \quad (4)$$

5. ne sme biti presežena nobena od mejnih vrednosti toplotne prehodnosti U_{max} za posamezne gradbene elemente na stavbi, določenih v tabeli 1 točke 3.1.1 tehnične smernice [2].

Obravnavani PURES-2 znotraj 16. člena določa tudi obvezno uporabo OVE za delovanje vseh sistemov v stavbi. Energijska učinkovitost stavbe je dosežena, če je poleg zahtev iz 7. člena tega pravilnika najmanj 25 % celotne končne energije za delovanje sistemov v stavbi zagotovljeno z uporabo OVE v stavbi [1].

Energijska učinkovitost stavbe je dosežena tudi, če je delež končne energije za ogrevanje in hlajenje stavbe ter pripravo tople vode pridobljen na enega od naslednjih načinov [1]:

- najmanj 25 % iz sončnega obsevanja,
- najmanj 30 % iz plinske biomase,
- najmanj 50 % iz trdne biomase,
- najmanj 70 % iz geotermalne energije,
- najmanj 50 % iz toplote okolja,
- najmanj 50 % iz naprav SPTE z visokim izkoristkom v skladu s predpisom, ki ureja podpore električni energiji, proizvedeni v soprodukciji toplote in električne energije z visokim izkoristkom,
- je stavba najmanj 50 % oskrbovana iz sistema energijsko učinkovitega daljinskega ogrevanja oziroma hlajenja.

Upošteva se, da je energijska učinkovitost stavbe dosežena, če je dovoljena letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe, preračunana na enoto kondicionirane površine oziroma površina stavbe, za najmanj 30 % nižja od mejne vrednosti iz 7. člena PURES-2 [1].

Pomembno je še poudariti, da je stavbe treba načrtovati in graditi tako, da je vpliv toplotnih mostov na letno potrebo po energiji za ogrevanje in hlajenje čim manjši in da toplotni mostovi ne povzročajo škode stavbi ali njenim uporabnikom. S toplotno zaščito površine toplotnega ovoja stavbe in ločilnih elementov delov stavbe z različnimi režimi notranjega toplotnega ugodja želimo [1]:

- zmanjšati prehod energije skozi površino toplotnega ovoja stavbe,
- zmanjšati podhlajevanje ali pregrevanje stavbe,
- zagotoviti tako sestavo gradbenih konstrukcij, da ne prihaja do poškodb ali drugih - škodljivih vplivov zaradi difuzijskega prehoda vodne pare,
- nadzorovati (uravnavati) zrakotesnost stavbe.

2.2.1.2 Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije

Obravnavano tehnično smernico Učinkovita raba energije [2] je izdal minister za okolje in prostor v soglasju z ministrstvom za gospodarstvo na podlagi prvega odstavka 11. člena Zakona o graditvi objektov. S tem dokumentom se za določeno vrsto objekta uredijo natančnejša opredelitev bistvenih zahtev, pogoji za načrtovanje, izbrane ravni oziroma razrede gradbenih proizvodov oziroma materialov, ki se smejo vgrajevati, ter načini njihove vgradnje in način izvajanja gradnje z namenom, da se zagotovi zanesljivost objekta ves čas njegove življenjske dobe, kadar je to primerno, pa tudi postopki, po katerih je mogoče ugotoviti, ali so takšne zahteve izpolnjene. Za tak objekt morajo biti izpolnjeni pogoji glede mehanske odpornosti in stabilnosti, varnosti pred požarom, higienske in zdravstvene zaščite in zaščite okolice, varnosti pri uporabi, zaščiti pred hrupom, varčevanja z energijo in ohranjanja toplote [2].

Za zagotavljanje učinkovite rabe energije v stavbah obravnavana tehnična smernica na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja, klimatizacije, priprave tople pitne vode in razsvetljave v stavbah določa [2]:

- elemente arhitekturne zasnove, ki vplivajo na učinkovito rabo energije,
- dopustno toplotno prehodnost posameznih gradbenih elementov in sklopov,
- način pasivnega zmanjševanja pregrevanja zaradi sončnega obsevanja,
- sestave takšnih gradbenih konstrukcij, da ne bo prišlo do poškodb ali drugih škodljivih vplivov zaradi difuzijskega prehoda vodne pare,
- ravni in tehnične rešitve primerne zrakotesnosti stavbe,
- energijske lastnosti generatorjev toplote in generatorjev hladu,
- zahteve načrtovanja in izvedbe cevovodnega razvoda ogrevanja, hlajenja, prezračevanja in klimatizacije stavbe,
- projektne temperature ogrevalnega sistema,
- načine uravnoteženja in regulacije sistema ogrevanja,
- energijske lastnosti klimatskih naprav in sistemov,
- načine regulacije sistema klimatizacije,
- ravni potrebnega vračanja toplote ali hladu odtočnega zraka,

- elemente zagotavljanja učinkovite priprave tople pitne vode,
- zahteve načrtovanja in izvedbe hranilnika in cevovodnega razvoda tople pitne vode,
- energijske lastnosti elementov razsvetljave,
- stavbe oziroma njihove dele, v katerih je treba razsvetljavo regulirati v odvisnosti od dnevne svetlobe in prisotnosti uporabnikov.

Vezano na tematiko magistrskega dela smo se osredotočili predvsem na tabelo 1 tretjega poglavja tehnične smernice [2] o toplotni prehodnosti, predstavljeno v preglednici 1. Le-ta namreč določa največjo toplotno prehodnost gradbenih elementov stavb, ki omejujejo ogrevane prostore oziroma se vrednosti smiselno uporabljajo tudi za notranje gradbene konstrukcije, ki mejijo na prostore, v katerih lahko notranja temperatura zraka pri projektni zunanji temperaturi zraka pade pod 12 °C.

Preglednica 1: Toplotna prehodnost gradbenih elementov stavb
(vir: Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije [2])

TOPLOTNA PREHODNOST gradbenih elementov stavb		U _{max} (W/(m ² K))
gradbeni elementi stavb, ki omejujejo ogrevane prostore		
1	zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom	0,28
2	zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom – manjše površine, ki skupaj ne presegajo 10% površine neprozornega dela zunanje stene	0,60
3	stene, ki mejijo na ogrevane sosednje stavbe	0,50
4	stene med stanovanji in stene proti stopniščem, hodnikom in drugim manj ogrevanim prostorom; notranje stene in medetažne konstrukcije med ogrevanimi prostori različnih enot, različnih uporabnikov ali lastnikov v nestanovanjskih stavbah	0,70 0,90
5	zunanje stene ogrevanih prostorov proti terenu	0,35
6	tla na terenu (ne velja za industrijske stavbe)	0,35
7	tla nad neogrevano kletjo, neogrevanim prostorom ali garažo	0,35
8	tla nad zunanjim zrakom	0,30
9	tla na terenu in tla nad neogrevano kletjo, neogrevanim prostorom ali garažo, pri panelnem – talnem ogrevanju (ploskovnem grelju)	0,30
10	strop proti neogrevanemu prostoru, stropi v sestavi ravnih ali poševnih streh (ravne ali poševne strehe)	0,20
11	terase manjše velikosti, ki skupaj ne presegajo 5 % površine strehe	0,60
12	strop proti terenu	0,35
13	vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi z okvirji iz lesa ali umetnih mas; vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi z okvirji iz kovin	1,30 1,60
14	strešna okna, steklene strehe	1,40
15	svetlobniki, svetlobne kupole (do skupno 5 % površine strehe)	2,40
16	vhodna vrata	1,60
17	garažna vrata	2,00

2.2.1.3 Akcijski načrt za skoraj nič-energijske stavbe za obdobje do leta 2020 (AN sNES)

AN sNES [3] je načrt Republike Slovenije na nacionalni ravni s ciljem povečanja števila gradnje, pa tudi prenove skoraj nič-energijskih stavb. Definicija skoraj nič-energijske stavbe, ki jo prinaša 22. aprila 2015 sprejet Akcijski načrt za skoraj nič-energijske stavbe (AN sNES), zajema naslednje [4]:

- opredelitev stavbe z zelo visoko energetske učinkovitostjo,
- oblikovanje mejnih vrednosti za zelo majhno količino dovoljene (primarne) energije za delovanje stavbe,
- najmanjši dovoljeni delež OVE oziroma zagotovilo, da je energija, ki jo stavba potrebuje za svoje delovanje, v veliki meri proizvedena iz OVE na kraju samem ali v bližini.

Strokovne podlage za oblikovanje tehnične definicije skoraj nič-energijske stavbe zajemajo tako novogradnje kot celovito prenovo obstoječih tipskih stavb. Definicija skoraj nič-energijske stavbe obsega določitev minimalnih zahtev glede največjih dovoljenih potreb za ogrevanje stavbe ($Q_{NH} \leq 25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$), energijski razredi A1, A2 in B1 – z upoštevanjem klimatskih značilnosti na lokaciji stavbe in oblikovnega faktorja stavbe), hlajenje oziroma klimatizacijo, pripravo tople vode in razsvetljavo v stavbi v skladu z gradbenotehnično zakonodajo (PURES-2 iz leta 2010), določitev največje dovoljene rabe primarne energije v stavbi in najmanjšega dovoljenega deleža obnovljivih virov energije (50 % pokritost oskrbe) v skupni dovedeni energiji za delovanje stavbe [3].

Preglednica 2: Največja dovoljena vrednost primarne energije glede na vrsto stavbe
(vir: Akcijski načrt za skoraj nič-energijske stavbe za obdobje do leta 2020 (AN sNES) [3])

vrsta stavbe	največja dovoljena vrednost primarne energije na enoto kondicionirane površine na leto ($\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$)		Delež OVE (%)
	novogradnja	večja prenova (rekonstrukcija)	RER
enostanovanjske stavbe	75	95	50
večstanovanjske stavbe	80	90	50
nestanovanjske stavbe	55	65	50

V tabeli so tako prikazane največje dovoljene vrednosti primarne energije (Q_p) glede na vrsto stavbe in minimalni delež OVE. RER (angl. renewable energy ratio) predstavlja delež obnovljivih virov glede na skupno dovedeno energijo in je dobljen glede na celotno rabo primarne energije v stavbi. Ob tem je upoštevano, da odvedena energija nadomesti dovedeno energijo [3].

2.2.2 Področje varovanja stavbne kulturne dediščine

2.2.2.1 Zakon o varstvu kulturne dediščine ZVKD-1 (Uradni list RS, št. 16/2008)

Zakon o varstvu kulturne dediščine ZVKD-1 (Uradni list RS, št. 16/2008) [5] določa načine varstva kulturne dediščine ter pristojnosti pri njenem varstvu z namenom omogočiti celostno ohranjanje dediščine. Tako je na podlagi Sklepa o ustanovitvi Javnega zavoda RS za varstvo kulturne dediščine (Uradni list RS, št. 65/2008) določena javna služba, imenovana Zavod za varovanje kulturne dediščine Slovenija (ZVKDS), ki je ustanovljena z namenom upravljanja z varstvom nepremične in premične kulturne dediščine. To pomeni, da so postopki vezani neposredno na ohranjanje dediščine oziroma preprečevanje škodljivih vplivov na dediščino na eni strani, ter predstavitev in razvijanje zavesti o vrednotah dediščine širši javnosti na drugi strani. Ob tem je potrebno poudariti, da ZVKDS upravlja in varuje zgolj tisto dediščino, ki je vpisana v register dediščin [5].

V primeru prenove stavbe oziroma izvajanja gradbenih ali drugih posegov na stavbi, vpisani v register dediščine, je treba pridobiti kulturnovarstveno soglasje za posege, podrobneje obrazloženo v 28. členu ZVKD-1. Pred samo izdajo kulturovarstvenega soglasja pa je treba pridobiti še kulturnovarstvene pogoje, opredeljene v 29. členu ZVKD-1. V vlogi za pridobitev kulturnovarstvenih pogojev je treba navesti namen posega in priložiti projektno dokumentacijo, ki jo za pridobitev projektnih pogojev predpisujejo predpisi, ki urejajo graditev. Kadar gre za poseg, za katerega ni predpisano gradbeno dovoljenje, je treba vlogi priložiti ustrezno skico in opis posega. ZVKDS s kulturnovarstvenimi pogoji določi zahteve, ki

morajo biti upoštevane v projektu za pridobitev gradbenega dovoljenja ali drugi projektni dokumentaciji za izvedbo posegov na stavbi kulturne dediščine in zahteve glede strokovne usposobljenosti izvajalcev specializiranih del [5].

Konec leta 2016 so bile objavljene Smernice za energetske prenove stavb kulturne dediščine, izdane s strani Ministrstva za infrastrukturo RS in Ministrstva za kulturo RS ter izdelane v sodelovanju z delovno skupino ZVKDS, Urbanističnega inštituta RS in Gradbenega inštituta ZRMK, predstavljeno v nadaljevanju.

2.2.2.2 Smernice za energetske prenove stavb kulturne dediščine

Smernice za energetske prenove stavb kulturne dediščine [6] so bile razvite z namenom zagotoviti tehnično podporo načrtovalcem v procesu celovite prenove stavb s statusom kulturne dediščine (od priprave izhodišč do izvedbe), ki bo v okviru robnih pogojev vključevala tudi energetske vidike ter z namenom zagotoviti, da bodo lastniki stavb kulturne dediščine postavljeni v enakopravnejši položaj pri pridobivanju finančnih virov za prenovo njihovih stavb, na primer sredstev iz evropskih strukturnih in investicijskih skladov. Smernice so namenjene tudi strokovnim službam za pomoč pri svetovanju naročnikom in lastnikom stavb kulturne dediščine, da bodo vnaprej seznanjeni z omejitvami pri izvedbi ukrepov energetske prenove. Smernice za energetske prenove stavb kulturne dediščine ne rešujejo konkretnih primerov, ampak vsebujejo splošen nabor ukrepov za izboljšanje energetske učinkovitosti, in sicer od organizacijskih ukrepov prek ukrepov na ovoju stavb in ukrepov za izboljšanje energetske učinkovitosti sistemov za klimatizacijo, ogrevanje in hlajenje do rabe obnovljivih virov energije.

Velik kulturni pomen stavbe kulturne dediščine in njena ranljivost oziroma občutljivost za spremembe lahko precej zožita nabor možnih ukrepov na zunanjem ovoju, npr. na fasadi s stavbnim pohištvo, strehi z vsemi detajli ter notranjščini (stene, stropi, talna plošča, inštalacije, energetske sistemi ipd.). Načeloma se vedno daje prednost tistim ukrepom, ki pomenijo najmanjši možni poseg v substanco in pojavnost stavbe kulturne dediščine [6], tj. prenova oziroma obnova ima prednost pred zamenjavo.

Ukrepi energetske prenove so znotraj obravnavane smernice označeni z lestvico, ki prikazuje stopnjo vpliva posameznega ukrepa na stavbo kulturne dediščine kot celoto in na določeno varovano prvino, prikazano v preglednici 3. Z izrazom vpliv vrednotimo predvsem spremembe videza, razmerij, gabaritov ter gradiv in ne pomeni opisa učinkov z vidika izboljšanja energijskih kazalnikov stavb.

Preglednica 3: Vpliv posameznih ukrepov na varovane elemente
(povzeto po Smernici za energetske prenove stavb kulturne dediščine [6])

LEGENDA – vpliv posameznih ukrepov na varovane elemente					
sprejemljiv vpliv (manjši poseg v substanco in pojavnost)					
majhen vpliv					
delno sprejemljiv vpliv (delno škodljiv poseg v substanco in pojavnost)					
velik vpliv					
nesprejemljiv vpliv (bistveno škodljiv poseg v substanco in pojavnost)					

Se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 3

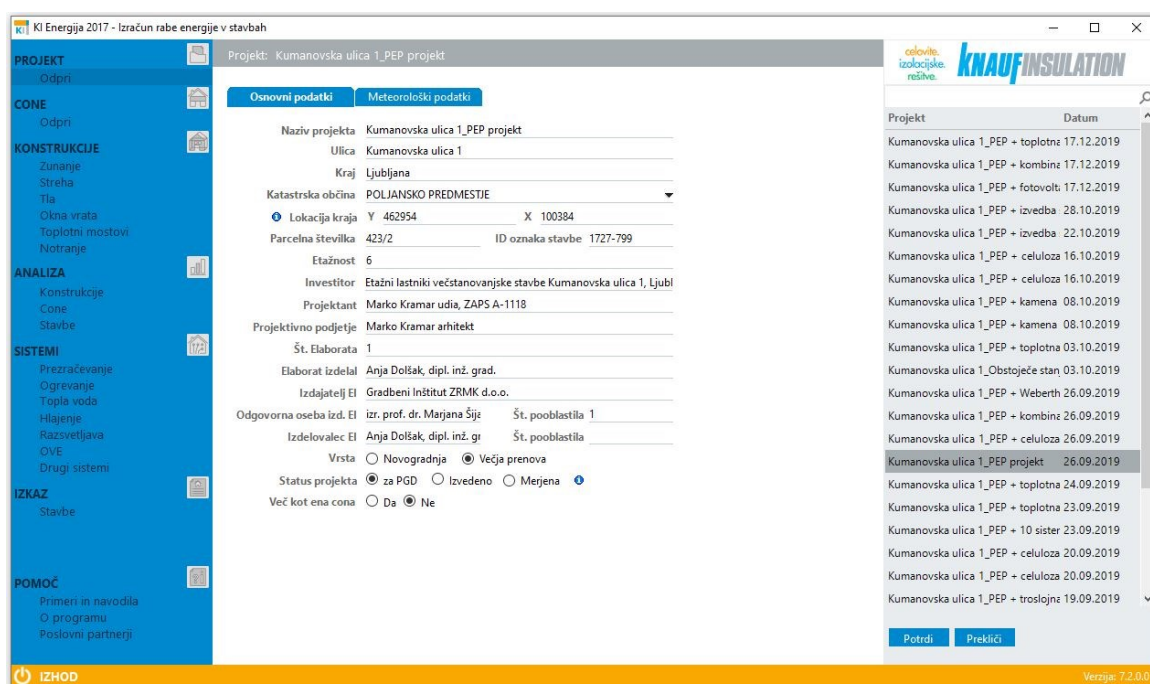
VPLIV POSAMEZNIH UKREPOV na varovane elemente						
A _ ukrepi na stavbnem ovoju						
A1 zunanje stene	Toplotna zaščita zunanjih sten z zunanje strani					
	Toplotna zaščita zunanjih sten z notranje strani					
A2 strop in tla	Toplotna zaščita stropa proti neogrevanemu podstrešju					
	- zaščita na tleh podstrehe					
	- zaščita stropa proti neogrevanemu podstrešju					
	Toplotna zaščita nad neogrevanim prostorom					
	- toplotna izolacija na hladni (spodnji) strani					
	- toplotna izolacija na topli (zgornji) strani					
	Toplotna zaščita tal na terenu					
A3 strehe	Toplotna zaščita strehe					
A4 okna in vrata	Obnova oken ali steklenih sten					
	Nadgradnje ali zamenjava zasteklitve					
	Zamenjava oken					
	Obnova vrat					
	Zamenjava vrat					
A5 zrakotesnost	Tesnjenje ovoja stavbe					
B _ ukrepi za izboljšanje energetske učinkovitosti sistemov za klimatizacijo, gretje in hlajenje						
	Vgradnja ali zamenjava centralnih sistemov ogrevanja					
	Centralna in lokalna regulacija ogrevanja prostorov					
	Hidravlično uravnoteženje sistema ogrevanja					
	Centralni sistem prezračevanja					
	Prezračevanje z lokalnimi napravami					
	Zamenjava starejših kurilnih naprav					
	Temperiranje					
	Sevalni (infrardeči) grelni paneli					
	Priklon na daljinsko ogrevanje					
	Toplotna zaščita razvoda v nekondicioniranih prostorih					
	Centralni nadzorni sistem za upravljanje stavb					
C _ ukrepi za povečanje izrabe obnovljivih virov energije						
	Izkoriščanje toplote iz okolice					
	Ogrevanje na biomaso					
	Vgradnja sprejemnikov sončne energije za pripravo tople vode					
	Vgradnja fotonapetostnih celic					
D _ organizacijski ukrepi						
	Organizacijski ukrepi pri ogrevanju prostorov					
	Organizacijski ukrepi pri pripravi sanitarne tople vode					
	Uravnavanje in redno vzdrževanje razsvetljave					
	Energetsko knjigovodstvo					

Vpliva posameznih ukrepov na varovane elemente se bomo podrobneje dotaknili v nadaljevanju magistrskega dela, kjer bomo v sklopu tematike dela obravnavali večstanovanjsko stavbo na Kumanovski ulici 1 v Ljubljani (PEP-K1), zgrajeno na območju, ki predstavlja naselbinsko dediščino in je definirana kot spomenik lokalnega pomena, registrirana na Zavodu za varstvo kulturne dediščine, Območna enota Ljubljana (ZVKDS, OE Ljubljana).

3 PROGRAMSKA OPREMA

3.1 Računalniški program KI Energija 2014, Knauf Insulation

Računalniška programska oprema KI Energija 2014 [7] koncerna Knauf Insulation se uporablja za izračun energijskih lastnosti stavbe in preverjanje skladnosti le-teh z zahtevami veljavne zakonodaje, tj. PURES-2 in pripadajoče tehnične smernice. Program omogoča celovito obravnavanje stavbe, od arhitekturne zasnove, sestave konstrukcij in vseh možnih sistemov strojnih inštalacij.



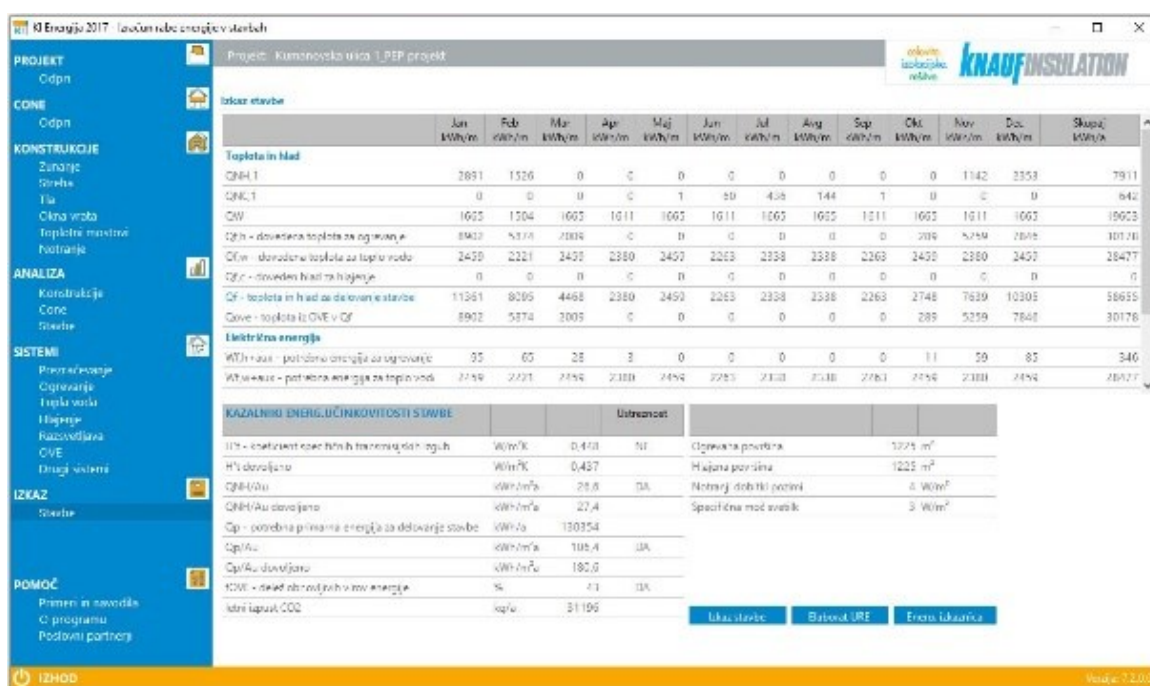
Slika 1: Okno računalniške programske opreme KI Energija 2014, Knauf Insulation (vir: KI Energija 2014 [7])

Prvi del analize je namenjen načrtovanju zasnove stavbe in konstrukcijskih sklopov, pri čemer lahko uporabljamo bazo konkretnih materialov / proizvodov / sistemov različnih ponudnikov na našem trgu. Pri načrtovanju stavbe opredelimo režim uporabe stavbe, toplotne cone in opredelimo lokacijo stavbe s klimatskimi pogoji. Drugi del omogoča načrtovanje sistemov v stavbi za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje in klimatizacijo ter pripravo tople sanitarne vode. Zasnova programske opreme je pregledna in omogoča vnos sistema ogrevanja in sistema priprave tople sanitarne vode s pomočjo čarovnika, kar omogoči hitrejši in natančnejši vnos podatkov. Izračun energijskih lastnosti stavbe poteka po mesečni metodi. Skice pri izborih in analizah rezultatov znotraj čarovnika pa so pri načrtovanju v veliko pomoč. Program KI Energija 2014 je pri dosedanjem testiranju in uporabi na večjih konkretnih primerih preverjeno zagotovil zanesljive rezultate.

Programska oprema KI Energija 2014 deluje v povezavi z veljavno zakonodajo oziroma temelji na PURES-2 in zahteva uporabo Tehnične smernice TSG-01-004:2010 Učinkovita raba energije.

Program informativno izračuna tudi podatke za izdelavo energetske izkaznice stavbe. Sama izdelava in izdaja energetske izkaznice, ki predstavlja javno listino, poteka skladno s Pravilnikom o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb [8] ter Pravilnikom o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb [9].

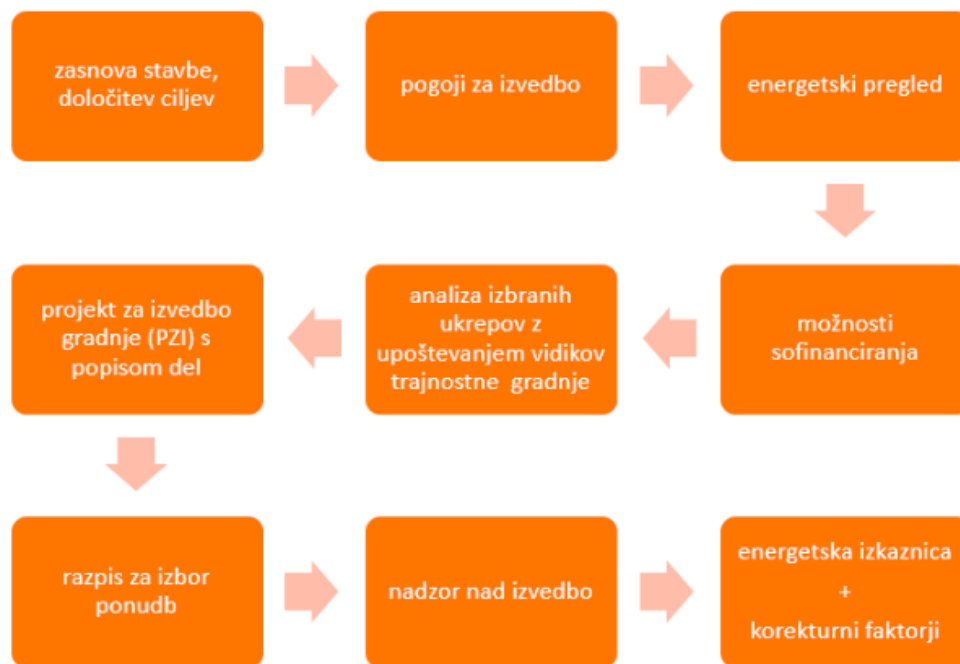
Računalniško programsko opremo KI Energija 2014 smo izbrali z namenom, ker nam omogoča transparentno energijsko analizo celotne stavbe in ker je za uporabnika program enostaven in prijazen za uporabo. Velika prednost programa so tudi končni rezultati, ki so podani v obliki zbranih podatkov za elaborat gradbene fizike za področje učinkovite rabe energije obravnavane stavbe, za celoten izkaz energetskih lastnosti stavbe in za izdelavo energetske izkaznice. Vse skupaj je predstavljeno sistematično in razumljivo.



Slika 2: Okno računalniške programske opreme KI Energija 2014, Knauf Insulation
(vir: KI Energija 2014 [7])

4 PREDSTAVITEV PROJEKTA ENERGETSKE PRENOVE VEČSTANOVANJSKE STAVBE – PEP

Projekt celovite energetske prenove ali s kratico PEP stavbe je nabor svetovalno – projektantskih storitev, namenjen vsem zainteresiranim, ki želijo kakovostno in cenovno optimalno izvesti energetsko prenovo večstanovanjske ali javne stavbe [10]. Razvil ga je Gradbeni inštitut ZRMK kot pomoč oziroma produkt, namenjen vsem vpletenim deležnikom pri prenovi stavb, v okviru projekta LIFE IP CARE4CLIMATE (LIFE17 IPC/SI/000007).



Slika 3: Potek projekta celovite energetske prenove stavbe (PEP)
(vir: GI ZRMK)

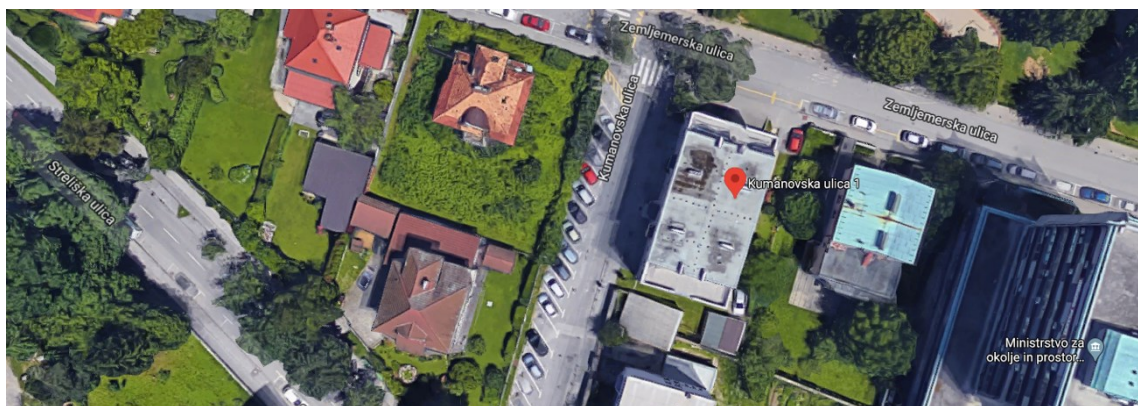
Celovita energetska prenova večstanovanjske stavbe je zahteven projekt tako s tehničnega kot z ekonomskega, okoljskega in družbenega vidika in običajno poteka v več fazah. Za izbrano večstanovanjsko stavbo na Kumanovski ulici 1 v Ljubljani je bil na Gradbenem inštitutu ZRMK v sodelovanju z zunanjimi strokovnjaki izdelan PEP-K1. Predhodno je bil izveden podroben ogled in pregled stavbe, določeni so bili projektni cilji z etažnimi lastniki in njihovim upravnikom, izvedene so bile meritve, različne analize z izračuni in primerjave rešitev z ukrepi ter izdelana je bila projektna dokumentacija za izvedbo gradnje (PZI), ki vsebuje tudi načrt strojnih inštalacij in elaborat gradbene fizike. Pri tem so bili aktivno vključeni etažni lastniki in njihov upravnik, saj je le tako mogoče doseči družbeno sprejemljivost predlagane prenove. Sprotne informacije o napredku na projektu in transparentnost PEP so osnova za izbiro sprejemljivih in izvedljivih rešitev in ukrepov prenove na ovoju stavbe, sistemih strojnih in ostalih inštalacij in tudi zunanji ureditvi. Ustrezno informiran in ozaveščen naročnik lahko sprejema odločitve, ki so na dolgi rok najugodnejše in prinašajo tudi želene učinke in s tem zadovoljstvo uporabnikov oziroma stanovalcev.

V nadaljevanju bo predstavljeno obstoječe stanje stavbe, ki je predmet PEP-K1, in prikazan predlog za izvedbo celovite energetske prenove. V naslednjih poglavjih magistrskega dela bodo nekateri ukrepi in opcijski scenariji podrobneje analizirani z vidika zdrave in okolju prijazne gradnje, kar pa lahko vzamemo za zgled pri načrtovanju podobnih primerov prenov večstanovanjskih stavb v praksi.

4.1 Opis obstoječega stanja stavbe

4.1.1 Splošni podatki in zasnova večstanovanjske stavbe

Za presojo energijskih vidikov prenove smo se osredotočili na stavbo, po namembnosti uvrščeno v 1122100 Tri- in večstanovanjske stavbe. Stavba je bila zgrajena leta 1964 in je locirana na Kumanovski ulici 1 v Poljanskem predmestju Mestne občine Ljubljana (MOL), parcelne številke 423/1 in 423/2. Zgrajena je na območju naselbinske dediščine in je definirana kot spomenik lokalnega pomena, registrirana na Zavodu za varstvo kulturne dediščine, Območne enote Ljubljana (ZVKDS, OE Ljubljana).



Slika 4: Lokacija večstanovanjske stavbe, Kumanovska ulica 1 v Ljubljani
(vir: Google maps [11])



Slika 5: Register kulturne dediščine, naselbinska dediščina evidenčne številke 328
(vir: Urbinfo MOL [12])

Večstanovanjska stavba je locirana z daljšo stranico v smeri SV - JZ, severna gradbena črta objekta se ujema s podaljškom severne gradbene črte zahodno stoječega objekta in vzhodna gradbena črta se ujema s podaljškom vzhodne gradbene črte južno stoječega objekta. Stavba je podolgovate tlorisne zasnove in obsega šest etaž s skupaj štiridesetimi stanovanjci v 20ih stanovanjskih enotah.



Slika 6: Pogled na večstanovanjsko stavbo iz SZ in SV strani
(vir: lastni vir)

4.1.2 Karakteristike in dispozicija stavbe

Stavba je podolgovate tlorisne zasnove velikosti 25,05 x 12,50 m, višina stavbe do kapi znaša 15,30 m. Neto uporabna površina celotne stavbe tako znaša 1485 m² ter v analizo vzetega stanovanjskega dela 1225 m², bruto ogrevana prostornina 4000 m³ in neto ogrevana prostornina 3117 m³. Stavba obsega 6 etaž z izrazito majhnimi skupnimi komunikacijskimi površinami hodnikov in oblikovanim racionalnim tlorisom bivalnih prostorov, kar omogoča optimalen izkoristek celotne stavbe. Klet v skupni površini cca. 260 m² obsega hodnik s stopniščem, hodnike, kolesarnico, dve garaži z dostopom preko rampe v manjšem naklonu, shrambe za stanovalce in skupno shrambo. Pritličje je dvignjeno za 1,20 m nad terenom in vključuje vetrolov z nabiralniki oziroma večji skupni predprostor, hodnik s stopniščem ter štiri stanovanja: dve trosobni stanovanji (68,35 m²), eno dvosobno stanovanje (52,20 m²) in eno enosobno stanovanje (34,60 m²). Prvo, drugo in tretje nadstropje so enakega tlorisa in razporeditve, nadstropje pa ima poleg hodnika s stopniščem še dve dvosobni (53,65 m²) in dve trosobni (69,80 m²) stanovanji. V četrtem nadstropju imamo hodnik s stopniščem, štiri enosobna stanovanja (33,90 m²), zunaj pa odprto teraso na severni in južni strani, vsaka v izmeri po 42,5 m².

Razporeditev bivalnih prostorov za posamezno stanovanjsko enoto obsega:

- enosobno stanovanje: spalnica, kuhinja, kopalnica in hodnik,
- dvosobno stanovanje: spalnica, dnevna soba, kuhinja, kopalnica, hodnik, garderoba in balkon (v 1., 2. in 3. nadstropju),
- trosobno stanovanje: dve spalnici, dnevna soba, kuhinja, kopalnica, hodnik, garderoba, loggia in balkon (v 1., 2. in 3. nadstropju).

Konstruktivsko gledano ima stavba klasično zasnovo načrtovanja in gradnje za obdobje 60-tih let. V tem obdobju so začeli uporabljati različne tipe votlih opek in gradnjo iz betona. Toplotna izolacija se ni uporabljala ali pa je bila minimalna (1 - 2 cm). U-vrednosti zunanjega ovoja so se gibale med 1 in 3 W/(m²K). Značilna okna so bila lesena škatlasta ali lesena z dvoslojno zasteklitvijo z U-vrednostjo 2,2 – 2,8 W/(m²K).

Obravnavana stavba je podkletena. Temelji so pasovni MB 70. Nosilna konstrukcija je sestavljena iz nosilnih betonskih zidov debeline 38 cm v kleti in opečnih zidov debeline 38 cm v nadstropjih, preko le-teh pa je stropna konstrukcija iz Rapid stropnjakov, opeka 18 cm + beton 3 cm, ojačana z AB nosilci. Stopnišni del ima zaradi razpona strop iz super votlakov. Streha je izvedena kot ravna nepohodna, terasa pa kot ravna pohodna streha. Obe strehi sta bili prenovljeni pred približno 10 leti, pri tem pa je bilo vgrajeno minimalno toplotne izolacije v debelini 5 cm. Fasada je ometana s teranovo v svetlo peščenem tonu, podstavek oziroma 'cokel' pa je iz prane kamna.

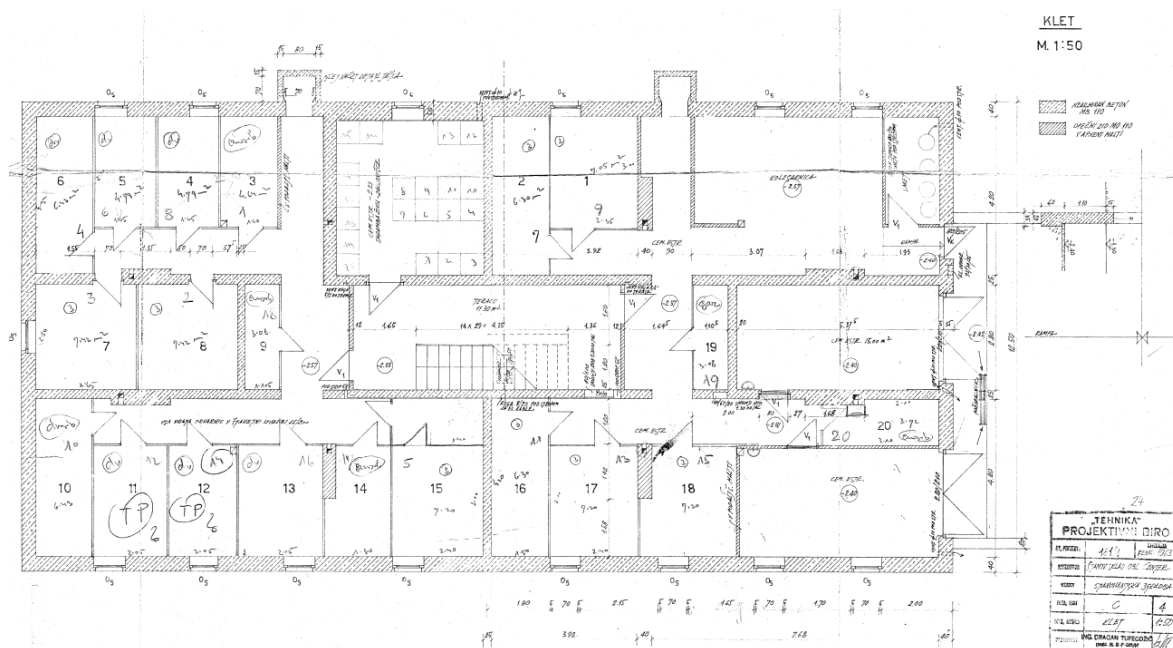
Vhodna vrata so še prvotna v leseni izvedbi iz naravnega bora, s pleskanim okvirjem, cilindrično ključavnico ter fiksno osvetlobo iz žičnega stekla in fiksno nadsvetlobo iz čistega stekla. Okna in balkonska vrata zunanjega ovoja so v večini zamenjana z novejšimi, PVC profili in dvoslojno zasteklitvijo. Senčila so bila prvotno predvidena na notranji strani v omarici oziroma kaseti. Po zamenjavi oken z novejšimi pa so postala predmet izbire posameznih lastnikov stanovanj, zato imamo na stavbi omarice oziroma kasete za senčila s klasičnimi zunanji roletami in notranje žaluzije, oboje v svetlem odtenku.

4.1.3 Sestava obstoječih gradbenih elementov

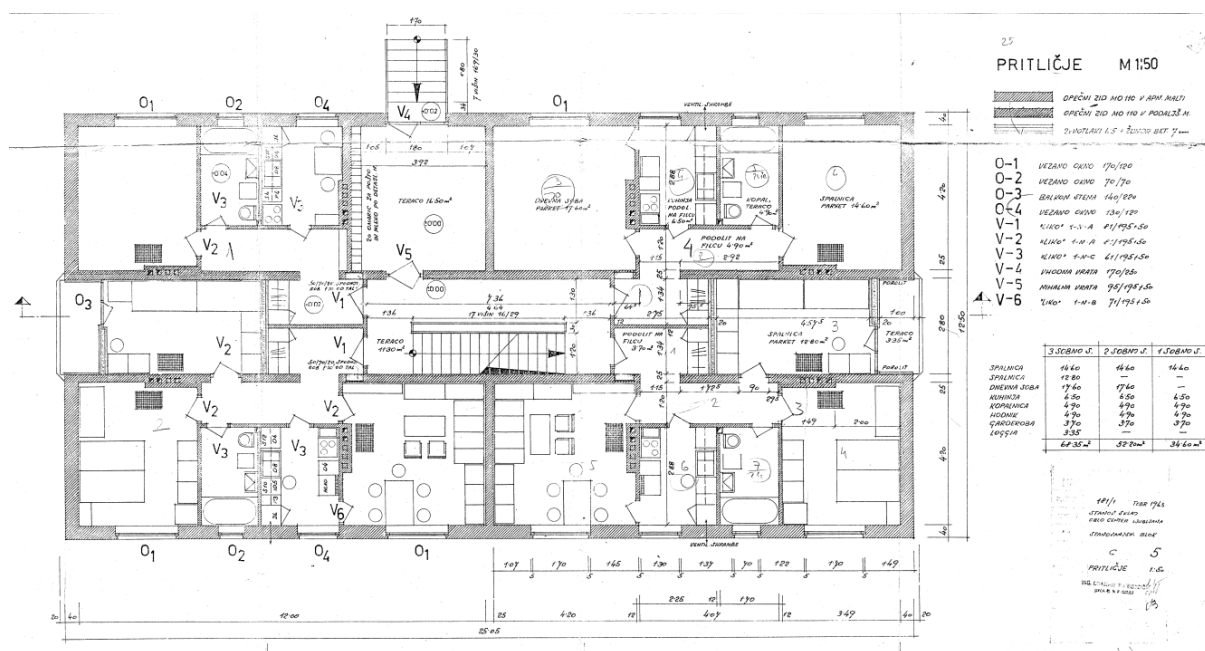
Pri definiranju konstrukcijskih sistemov nam je bila v pomoč originalna in zelo podrobna projektna dokumentacija obravnavane stavbe iz leta 1963. Celotno konstrukcijo in dimenzije smo definirali na podlagi tehničnega poročila, starih načrtov, načrtov detajlov in statičnega izračuna.



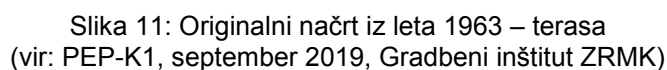
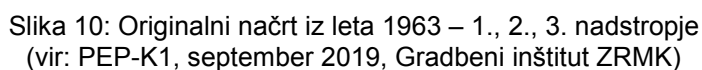
Slika 7: Originalni načrt iz leta 1963 – fasade
(vir: PEP-K1, september 2019, Gradbeni inštitut ZRMK)



Slika 8: Originalni načrt iz leta 1963 – klet
(vir: PEP-K1, september 2019, Gradbeni inštitut ZRMK)



Slika 9: Originalni načrt iz leta 1963 – pritličje
(vir: PEP-K1, september 2019, Gradbeni inštitut ZRMK)



Ker smo obravnavo magistrskega dela usmerili v opredelitev pojma energijska učinkovitost oziroma smo na celoten projekt pogledali iz energijsko - ekonomsko - okoljskega vidika in ima pri določenih delih obravnave velik poudarek tudi delovanje strojnih inštalacij oziroma sistemov, smo se osredotočili le na konstrukcijske sklope, ki sestavljajo toplotni ovoj stavbe: tla nad neogrevano kletjo, zunanje stene, ravna pohodna streha – terasa in ravna nepohodna streha.

Preglednica 4: Sestava gradbenega elementa – tla nad neogrevano kletjo, obstoječe stanje

		TLA NAD NEOGREVANO KLETJO – obstoječe stanje	
		debelina (cm)	toplotna prevodnost λ (W/(mK))
finalni sloj	parket	2,2	0,21
obstoječa izolacija	lesno-cementna plošča	3,0	0,066
obstoječi talni estrih	cementna malta	0,8	1,4
obstoječa nos.konstrukcija	Rapid strop, opeka 18 cm + beton 3 cm	21,0	0,52 (opeka), 0,93 (beton)
obstoječi notranji omet	podaljšana apnena malta	1,0	0,87
		U (W/(m²K))	Umax (W/(m²K))
toplotna prehodnost gradbenega elementa		0,858	0,350

Preglednica 5: Sestava gradbenega elementa – zunanje stene, obstoječe stanje

		ZUNANJE STENE – obstoječe stanje	
		debelina (cm)	toplotna prevodnost λ (W/(mK))
obstoječi omet	fasadni omet teranova	3,0	0,45
obstoječi nosilni zid	opečni zid (modularna opeka + apnena malta)	38,0	0,61 (opeka), 0,81 (apn.malta)
obstoječi notranji omet	podaljšana apnena malta	2,0	0,87
		U (W/(m²K))	Umax (W/(m²K))
toplotna prehodnost gradbenega elementa		1,160	0,280

Preglednica 6: Sestava gradbenega elementa – zunanja stena v loži (stranski del), obstoječe stanje

		ZUNANJA STENA V LOŽI – STRANSKI DEL – obstoječe stanje	
		debelina (cm)	toplotna prevodnost λ (W/(mK))
obstoječi omet	fasadni omet teranova	3,0	0,45
obstoječi nosilni zid	opečni zid (modularna opeka + apnena malta)	23,0	0,61 (opeka), 0,81 (apn.malta)
obstoječi notranji omet	podaljšana apnena malta	2,0	0,87
		U (W/(m²K))	Umax (W/(m²K))
toplotna prehodnost gradbenega elementa		1,612	0,280

Preglednica 7: Sestava gradbenega elementa – ravna pohodna streha – terasa, obstoječe stanje

		RAVNA POHODNA STREHA – TERASA – obstoječe stanje	
		debelina (cm)	toplotna prevodnost λ (W/(mK))
zaščitni sloj	prane betonske plošče 40/40/4 cm	4,0	2,33
obstoječa HI	elastomer-bitumenski varilni trakovi	1,0	0,17
obstoječa TI	XPS Polyofam C-350	5,0	0,034
obstoječ naklon	žlindrin beton, min. 1 % do max. 2 %	2,0 – 8,0	0,76
obstoječ ločilni sloj	strešna lepenka	0,1	0,19
obstoječa TI	izolit	7,0	0,081
obstoječa nos.konstrukcija	Rapid strop, opeka 18 cm + beton 3 cm	21,0	0,52 (opeka), 0,93 (beton)
obstoječ omet	podaljšana apnena malta	2,0	0,87
		U (W/(m²K))	Umax (W/(m²K))
toplotna prehodnost gradbenega elementa		0,331	0,200

Preglednica 8: Sestava gradbenega elementa – ravna nepohodna streha, obstoječe stanje

		RAVNA NEPOHODNA STREHA – obstoječe stanje	
		debelina (cm)	toplotna prevodnost λ (W/(mK))
zaščitni sloj	pran prodec, fi. 8/16 mm	4,0	1,4
obstoječa HI	elastomer-bitumenski varilni trakovi	1,0	0,17
obstoječa TI	EPS stiropor	5,0	0,039
obstoječa PZ	bitumenski trakovi z vložkom alu folije	0,5	0,19
obstoječ naklon	žlindrin beton, min. 1 % do max. 2 %	2,0 – 8,0	0,76
obstoječ ločilni sloj	strešna lepenka	0,1	0,19
obstoječa TI	izolit	7,0	0,081
obstoječa nos.konstrukcija	Rapid strop, opeka 18 cm + beton 3 cm	21,0	0,52 (opeka), 0,93 (beton)
obstoječ omet	podaljšana apnena malta	2,0	0,87
		U (W/(m²K))	Umax (W/(m²K))
toplotna prehodnost gradbenega elementa		0,348	0,200

4.1.4 Aktivni tehnični sistemi v stavbi

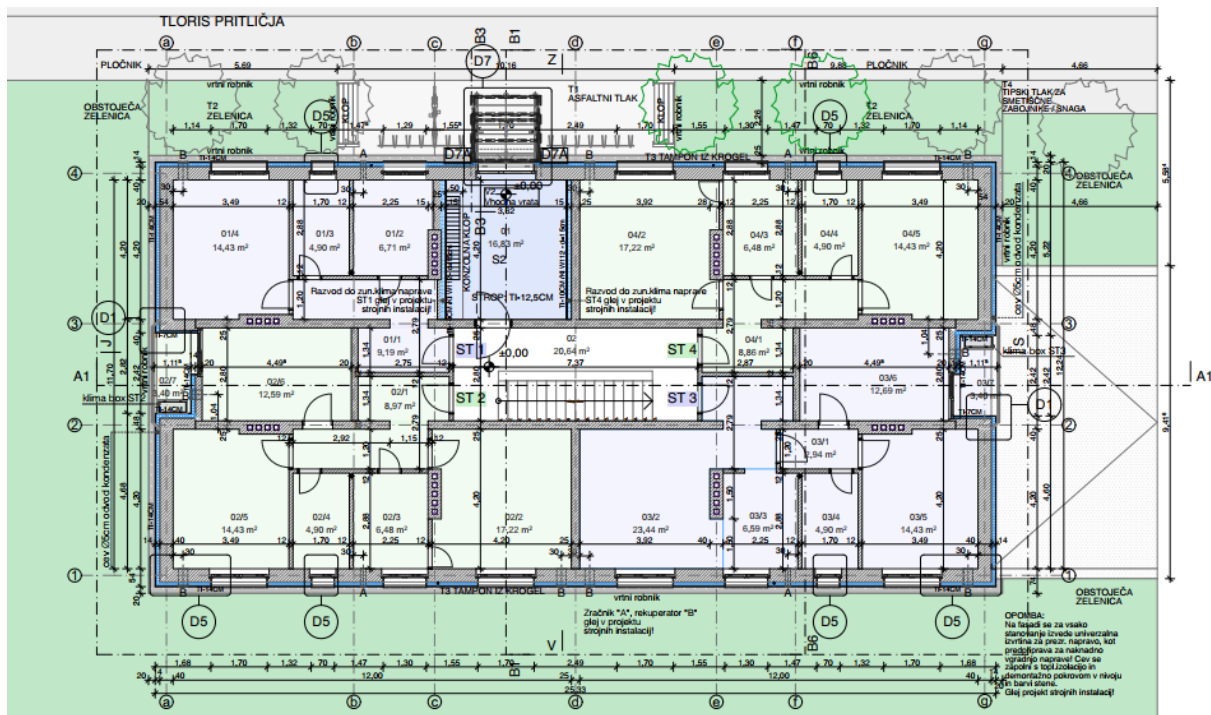
Večstanovanjska stavba na Kumanovski ulici 1 v Ljubljani je ogrevana s pomočjo sistema daljinskega ogrevanja oziroma je priključena na vročevodno omrežje v upravljanju javnega podjetja Energetika Ljubljana in je priključena preko indirektna toplotne postaje. Od toplotne postaje poteka razvod pod stropom kleti in nato vertikalno preko stanovanj do posameznih grelnih teles. Za ogrevanje vseh bivalnih prostorov so v stavbi vgrajeni radiatorji z navadnimi radiatorskimi ventili, le-ti pa ne omogočajo avtomatske regulacije prostorske temperature. Sistem ni hidravlično uravnotežen. Priprava tople sanitarne vode pa je predmet posameznih stanovanjskih enot. V stavbi je priprava tople sanitarne vode vezana na električne grelnike oziroma bojlerje različnih prostornin, glede na potrebe posameznih stanovanj. Iz projekta je razvidno, da je v stavbi prezračevanje zgolj naravno. V kuhinji so za potrebe zračenja shranjevalnih omar bile prvotno izvedene izvrtine na zunanjo steno, ki se jih sedaj uporablja kot odvod kuhinjskih nap. Sistem za hlajenje je izveden s split sistemi, vezano na posamezna izbrana stanovanja glede na interes oziroma potrebe stanovalcev. Za potrebe razsvetljave se uporabljajo sodobna svetila visokega izkoristka.

4.2 Predlog celovite energetske prenove stavbe – PEP

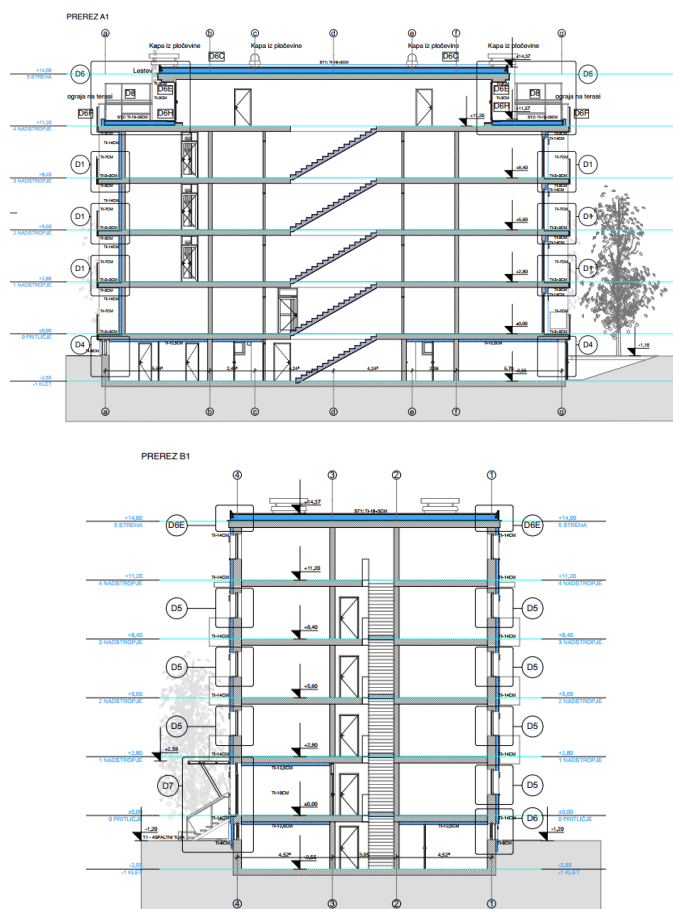
Obstoječa večstanovanjska stavba na Kumanovski ulici 1 v Ljubljani se bo na pobudo lastnikov stanovanj celovito energetske prenove. PEP-K1 je pripravljen skladno z veljavno zakonodajo ter ustreza tudi pogojem Eko sklada za pridobitev nepovratne finančne spodbude za nove skupne naložbe večje energijske učinkovitosti starejših stavb s tremi ali več posameznimi deli stavbe v aktualnem javnem pozivu 67SUB-OBPO19. Vzporedno se je na ZVKDS, OE Ljubljana, zaprosilo za kulturnovarstvene pogoje in na osnovi rešitev, obdelanih v PEP-K1, pridobilo kulturnovarstveno soglasje za načrtovane ukrepe celovite energetske prenove.

PEP-K1 torej zajema toplotno izolacijo ovoja stavbe na vseh fasadah, ravni nepohodni strehi in ravni pohodni strehi – terasa ter na stropu neogrevane kletne etaže proti stanovanjskim prostorom v pritličju in na stropu ter stenah v predprostoru pritličja (vhodni avli) proti neogrevanim prostorom. Izvedena bo tudi menjava zunanjega stavbnega pohištva - sestav balkonskih vrat in fiksne zasteklitve na obeh terasah (skupno) in v stanovanjskih enotah za primere, kjer le-to še ni bilo zamenjano.

V sklopu prenove so načrtovani tudi ukrepi s področja izboljšanja energijske učinkovitosti sistemov: hidravlično uravnoteženje sistema ogrevanja, prezračevanje kleti, predlog lokacij namestitve mehanskega prezračevanja z rekuperacijo ter lokacije namestitev zunanjih in notranjih enot klimatskih naprav z razvodom kondenzata. Vzporedno so načrtovani tudi drugi ukrepi, ki so smiselni ukrepi ob izvedbi celovite energetske prenove (npr. dodatna zunanja senčila (žaluzije) z zunanjimi kasetami oziroma omaricami, okenske police, nov nadstrešek, ograje (balkoni, lože, vhodno stopnišče) z odtokom, zunanja ureditev zaradi enotnega izgleda stavbe...). V kletnih prostorih se bo z zamenjavo vrat, s požarno odpornimi med požarnimi sektorji, bistveno izboljšala tudi požarna varnost celotne stavbe.



Slika 12: Načrt projekta energetske prenove – tloris pritličja, novo stanje
(vir: PEP-K1, september 2019, Gradbeni inštitut ZRMK)



Slika 13: Načrt projekta energetske prenove – prerez A1 in prerez B1, novo stanje
(vir: PEP-K1, september 2019, Gradbeni inštitut ZRMK)

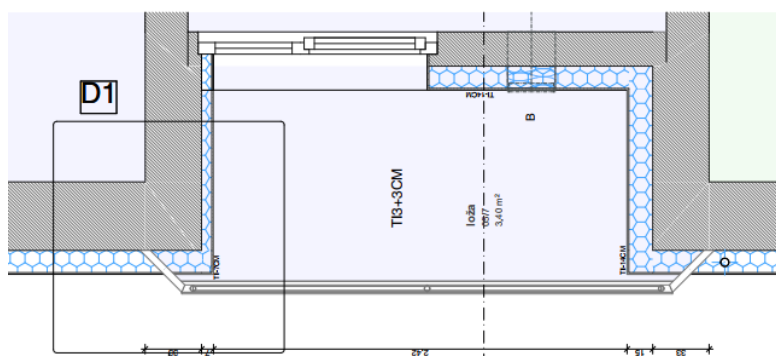
4.2.1 Prenova ovoja stavbe

4.2.1.1 Prenova fasade

Na podlagi podrobnega pregleda stavbe in obstoječe fasade ter analiz in izračuna gradbene fizike je razvidno, da so ukrepi na fasadi nujni zaradi dotrajanosti fasade (teranova), kar je skladno tudi glede na priporočila iz Pravilnika o standardih vzdrževanja stanovanjskih stavb in stanovanj [13]. Glede na veljavno zakonodajo (PURES-2 in pripadajoča tehnična smernica) obstoječi fasadni sistem tudi nima ustreznih toplotnih karakteristik. Zunanje stene bodo po prenovi na zunanji strani obložene s toplotno izolacijo grafitni EPS ($\lambda \leq 0,031 \text{ W/(mK)}$) v debelini 14 cm in z načinom izvedbe glede na izbranega ponudnika. Pasovi nad okenskimi odprtinami se bodo v višino 20 cm obložili s toplotno izolacijo iz mineralne volne ($\lambda \leq 0,039 \text{ W/(mK)}$), požarnega razreda A, v horizontalnih pasovih z namenom preprečitve prenosa požara po fasadi v višja nadstropja, skladno s Tehnično smernico za graditev TSG-1-001:2019 Požarna varnost v stavbah [14]. Finalni sloj bo tankoslojni silikonski omet v belo peščenem barvnem tonu, skladno s kulturno-varstvenim soglasjem (št. 35102-0101/2019-5 z dne 8.7.2019) ZVKDS, OE Ljubljana. Stena v loži (levo) bo dodatno zaščitena s toplotno izolacijo s tanjšim slojem grafitnega EPS, tj. 7 cm, zaradi okenskih okvirjev, ki omejujejo debelino toplotno izolacijskega sloja. Kletni zid oziroma podstavek bo dodatno toplotno izoliran z XPS toplotno izolacijo debeline 8 cm ($\lambda \leq 0,034 \text{ W/(mK)}$), finalni sloj pa bo kulirplast v sivem tonu.

Preglednica 9: Sestava gradbenega elementa – zunanja stena, novo stanje
(vir: PEP-K1, september 2019, Gradbeni inštitut ZRMK)

		ZUNANJA STENA – PEP-K1	
		debelina (cm)	toplotna prevodnost λ (W/(mK))
fasadni omet	tankoslojni omet	1,0	0,45
toplotna izolacija	grafitni EPS, lepljen	14,0	0,031
obstoječi omet	fasadni omet teranova	3,0	0,45
obstoječi nosilni zid	opečni zid (modularna opeka + apnena malta)	38,0	0,61 (opeka), 0,81 (apn. malta)
obstoječi notranji omet	podaljšana apnena malta	2,0	0,87
		U (W/(m²K))	U _{max} (W/(m²K))
toplotna prehodnost gradbenega elementa		0,185	0,280



Slika 14: Detajl izvedbe toplotne izolacije na steni v loži (levo), novo stanje
(vir: PEP-K1, september 2019, Gradbeni inštitut ZRMK)

4.2.1.2 Zamenjava izbranega zunanjega stavbnega pohišva

Zamenjava zunanjega stavbnega pohišva je predvidena na obeh terasah, ostale menjave so predmet odločitve posameznih lastnikov stanovanj, ki še niso menjali starih oken s sodobnimi, energijsko učinkovitimi. Zunanje stavbno pohišvo je bilo individualno že zamenjano v celoti s PVC okni z dvoslojno zasteklitvijo. V sklopu PEP-K1 je torej vključena zamenjava zgolj zunanjih stavbnih elementov (sestav balkonskih vrat in fiksne zasteklitve) v 4. nadstropju, ki na obeh straneh hodnika vodijo na pohodno ravno streho – teraso. Nova dva stavbna elementa sta načrtovana v sestavi leve fiksne in dvižne osvetlobe v desnem polju in vrat s troslojno zasteklitvijo ($U_g \leq 0,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) ter PVC okvirji. Prav tako so predmet zamenjave tudi vhodna vrata v pritličju stavbe. Izdelana bodo iz ALU profilov, z dvoslojnim steklom s »katedral« teksturo ($U_g \leq 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$). Vgradnja zunanjega stavbnega pohišva bo izvedena skladno s sodobnimi načeli vgradnje oziroma bolj poznano kot vgradnja, skladna s smernico RAL. Pri zamenjavi zasteklitve moramo biti pozorni na vidik dnevnega osvetljevanja, pri izbiri okvirjev pa posegamo po netoksičnih materialih (PVC brez ftalatov...).

4.2.1.3 Toplotna izolacija stropa nad neogrevano kletjo

Strop v kleti bo dodatno toplotno izoliran z 12,5 cm debelo negorljivo toplotno izolacijo Heraklit plošč Tektalan a2-E31-035/2 ($\lambda \leq 0,035 \text{ W/(mK)}$) s protipožarno zaščito – negorljivost A2-s1-d0. Ob tem smo veliko pozornost namenili izbiri materiala toplotne izolacije, saj je v kletnih prostorih, garažah, podhodih in drugih skupnih prostorih izjemno pomembno načrtovati tudi ustrezen nivo požarne varnosti. Ob tem je treba upoštevati lastnosti po klasifikaciji gradbenih proizvodov glede odziva na požar po smernicah SZPV 103 (evropska klasifikacija).

Preglednica 10: Sestava gradbenega elementa – strop nad neogrevano kletjo, novo stanje
(vir: PEP-K1, september 2019, Gradbeni inštitut ZRMK)

		STROP NAD NEOGREVANO KLETJO – PEP-K1	
		debelina (cm)	toplotna prevodnost λ (W/(mK))
finalni sloj	parket	2,2	0,21
obstoječa izolacija	lesno-cementna plošča	3,0	0,066
obstoječi talni estrih	cementna malta	0,8	1,4
obstoječa nos.konstrukcija	Rapid strop, opeka 18 cm + beton 3 cm	21,0	0,52 (opeka), 0,93 (beton)
obstoječi notranji omet	podaljšana apnena malta	1,0	0,87
toplotna izolacija	Heraklit plošče Tektalan a2-E31-035/2	12,5	0,035
notranji omet	podaljšana apnena malta	1,0	0,87
		U (W/(m ² K))	U_{max} (W/(m ² K))
toplotna prehodnost gradbenega elementa		0,211	0,350

4.2.1.4 Prenova ravne nepohodne in pohodne strehe - terasa

Prenova ravne nepohodne strehe je bila izvedena že pred okvirno desetimi leti. V PEP-K1 sta obdelani dve rešitvi. Varianta A v sestavi ohranitve obstoječe toplotne izolacije, ločilnega sloja, naklona in dodajanja nove parne zapore (PZ), toplotne izolacije (TI), hidroizolacije (HI), ločilnega sloja ter zaščitnega sloja. Varianta B pa v sestavi ohranitve obstoječe TI, ločilnega sloja, naklona, PZ, HI in dodajanja nove TI, HI, ločilnega sloja ter zaščitnega sloja. Za realizacijo in izvedbo je bila izbrana varianta B pod pogojem, da se pred izvedbo obvezno preveri stanje obstoječih slojev z vsaj štirimi globinskimi sondami. V kolikor se ugotovi, da je

toplotna izolacija namočena, hidroizolacija preveč neravna, če parne zapore sploh ni ali ni ustrežna itd., bo potrebno sloje odstraniti in predvideti drugo sestavo strehe.

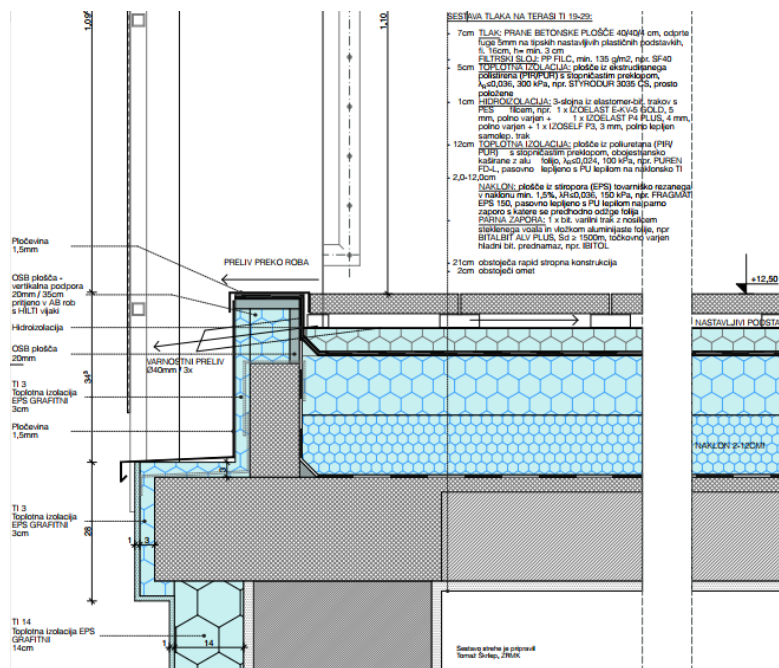
Prenova ravne pohodne strehe – terase je predvidena v celoti, tj. z odstranitvijo vseh obstoječih slojev do stropne konstrukcije Rapid 18 + 3 cm in nadomestitvijo z novimi sloji.

Preglednica 11: Sestava gradbenega elementa – ravna nepohodna streha, novo stanje
(vir: PEP-K1, september 2019, Gradbeni inštitut ZRMK)

		RAVNA NEPOHODNA STREHA – PEP-K1	
		debelina (cm)	toplotna prevodnost λ (W/(mK))
zaščitni sloj	pran prodec, fi. 8/16 mm	4,0	1,4
ločilni sloj	PE folija	0,02	0,19
hidroizolacija	2-slojna iz elastomer - bit. trakov s PES filcem → 1x Izoelast E-KV-5 gold polno varjen + 1x Izoself P3 polno lepljen samolep. trak	0,5 + 0,3	0,17 (Izoelast E-KV-5), 0,17 (Izoself P3)
toplotna izolacija	plošče iz poliuretana (PIR/PUR), obojestransko kaširane z alu folijo → Puren FD-L, pasovno lepljen	18,0	0,024
obstoječa HI	elastomer-bitumenski varilni trakovi	1,0	0,17
obstoječa TI	EPS stiropor	5,0	0,039
obstoječa PZ	bitumenski trakovi z vložkom alu folije	0,5	0,19
obstoječ naklon	žlindrin beton, min. 1 % do max. 2 %	2,0 – 8,0	0,76
obstoječ ločilni sloj	strešna lepenka	0,1	0,19
obstoječa TI	izolit	7,0	0,081
obstoječa nos.konstrukcija	Rapid strop, opeka 18 cm + beton 3 cm	21,0	0,52 (opeka), 0,93 (beton)
obstoječ omet	podaljšana apnena malta	2,0	0,87
		U (W/(m²K))	Umax (W/(m²K))
toplotna prehodnost gradbenega elementa		0,095	0,200

Preglednica 12: Sestava gradbenega elementa – ravna pohodna streha (terasa), novo stanje
(vir: PEP-K1, september 2019, Gradbeni inštitut ZRMK)

		RAVNA POHODNA STREHA (TERASA) – PEP-K1	
		debelina (cm)	toplotna prevodnost λ (W/(mK))
tlak	prane betonske plošče 50/50/4 cm, na tipskih nastavljivih plastičnih podstavkih	4,0 + 3,0	2,33
filtrski sloj	PP filc SF40	0,25	0,1
toplotna izolacija	plošče iz ekstrudiranega polistirena → Styrodur 3035 CS, prosto položene	5,0	0,036
hidroizolacija	3-slojna iz elastomer - bit. trakov s PES filcem → 1x Izoelast E-KV-5 gold polno varjen + → 1x Izoelast P4 plus polno varjen + 1x Izoself P3 polno lepljen samolep. trak	0,5 + 0,4 + 0,3	0,17 (Izoelast E-KV-5), 0,17 (Izoelast P4 plus), 0,17 (Izoself P3)
toplotna izolacija	plošče iz poliuretana (PIR/PUR), obojestransko kaširane z alu folijo → Puren FD-L, pasovno lepljen	12,0	0,024
naklon	plošče iz stiropora (EPS) tovarniško rezanega v naklonu min. 1,5 % → Fragmat EPS 150, pasovno lepljen	2,0 – 12,0	0,036
parna zavora	bit.varilni trak z nosilcem steklenega voala in vložkom aluminijaste folije → Bitalbit Alv plus, točkovno varjen + bit.premaz Ibitol	0,4	0,19
obstoječa nos.konstrukcija	Rapid strop, opeka 18 cm + beton 3 cm	21,0	0,52 (opeka), 0,93 (beton)
obstoječ omet	podaljšana apnena malta	2,0	0,87
		U (W/(m²K))	Umax (W/(m²K))
toplotna prehodnost gradbenega elementa		0,111	0,200



Slika 15: Detajl izvedbe ravne pohodne strehe - terasa
(vir: PEP-K1, september 2019, Gradbeni inštitut ZRMK)

4.2.2 Prenova in posodobitev tehničnih sistemov v stavbi

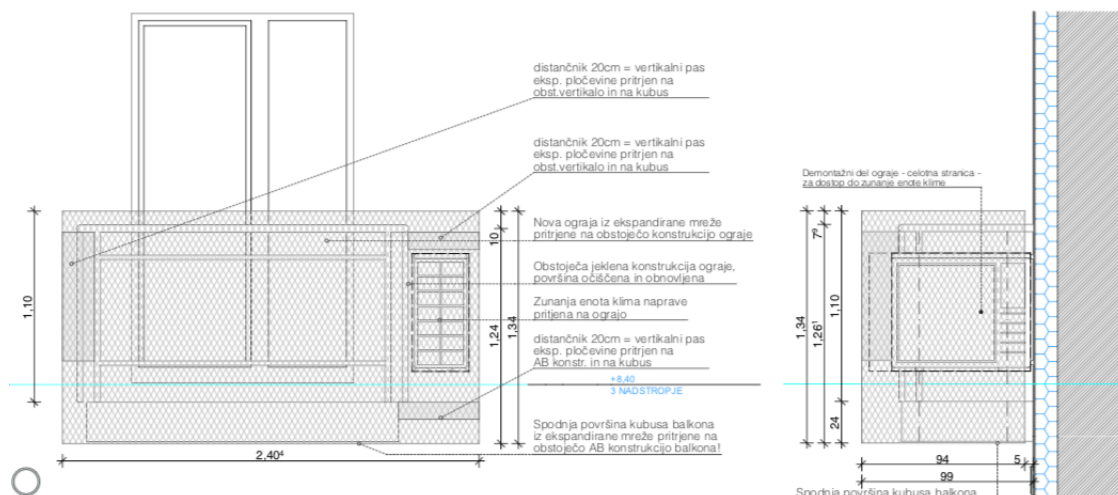
4.2.2.1 Ogrevanje

Obravnavana stavba je priključena na vročevodno omrežje v upravljanju podjetja Energetika Ljubljana, priključeno preko indirektna toplotne postaje. Znotraj stavbe se vsa stanovanja ogrevajo preko radiatorskega sistema, kjer se predvidi zamenjava radiatorskih ventilov s termostatskimi ventili s prednastavitvijo. Za izboljšanje izkoristka ogrevalnega sistema je predmet načrta ogrevanja izvedba hidravličnega uravnoveženja sistema. S tem bo zagotovljen enakomeren tlačni padec in pravilen pretok ogrevane vode po celotnem razvodnem omrežju. Tako v stavbi ne bo več prihajalo do težav, da bodo določeni radiatorji prevroči (velja predvsem za radiatorje, ki so bližje toplotni postaji), določeni pa prehladni (to velja za radiatorje, ki so bolj oddaljeni od toplotne postaje). Izvedena posodobitev ogrevalnega sistema bo pripomogla k doseganju optimalnega delovanja sistema tako iz energetskega, okoljskega in ekonomskega vidika.

4.2.2.2 Hlajenje

Za hlajenje posameznih stanovanj je že izveden ali pa se ob prenovi predvidi sistem hlajenja s split sistemi. Za stanovanja, ki trenutno nimajo izvedenega hlajenja, je načrtovana izvedba predinštalacije razvoda hlajenja posameznega stanovanja od zunanje enote do predvidene lokacije notranje enote. Razvod kondenzata pa je za vsa stanovanja predviden pod toplotno izolacijo oziroma fasado.

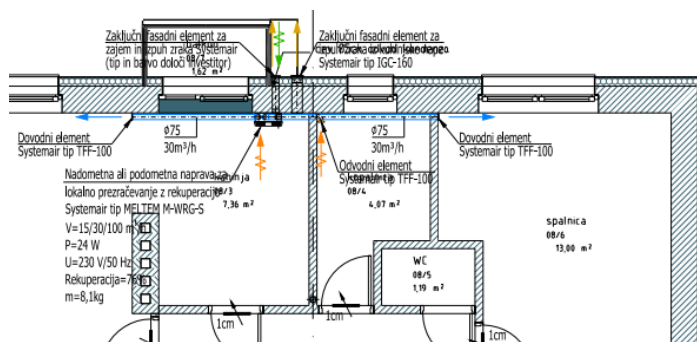
Lokacija zunanjih enot je usklajena z ZVKDS, OE Ljubljana. Za stanovanja z balkoni je predvidena namestitev zunanjih enot klimatskih naprav na zunanji strani balkonov v posebnem boksu oziroma škatli iz pocinkane in neravne jeklene ekspanzirane pločevine. V pritličju sta zunanji enoti locirani v loži in pod vhodnim stopniščem za stanovanji, ki nimata lož. Za stanovanja v 4. nadstropju so predvidene zunanje enote klimatskih naprav na terasi.



Slika 16: Detajl izvedbe zunanjih enot klimatskih naprav, novo stanje
(vir: PEP-K1, september 2019, Gradbeni inštitut ZRMK)

4.2.2.3 Prezračevanje

Predmet načrta prezračevanja je izvedba prezračevanja kleti in izvedba izvrtin na mestih predvidene vgradnje prezračevalnih naprav v posamezni stanovanjski enoti. Kot možnost izvedbe prezračevanja posameznega stanovanja se v vsaki sobi oziroma bivalnem delu stanovanja predvidi izvedba izvrtin, ki omogoča vgradnjo lokalnega mehanskega prezračevanja, v našem primeru 23 sistemov lokalnega prezračevanja z rekuperacijo. Le-to je običajno pri prenovi stavb, saj pri tem ni potrebe po namestitvi dodatnih cevni instalacij, razvodnih in zaključnih elementov po prostorih, s tem pa lahko ohranimo funkcionalnost in estetiko prostora ter hkrati zagotovimo občutno boljše bivalno okolje. Ob tem pa je treba paziti, da se prostorom zagotovi optimalna količina svežega zraka in poskrbi za redno čiščenje ter vzdrževanje sistemov prezračevanja.

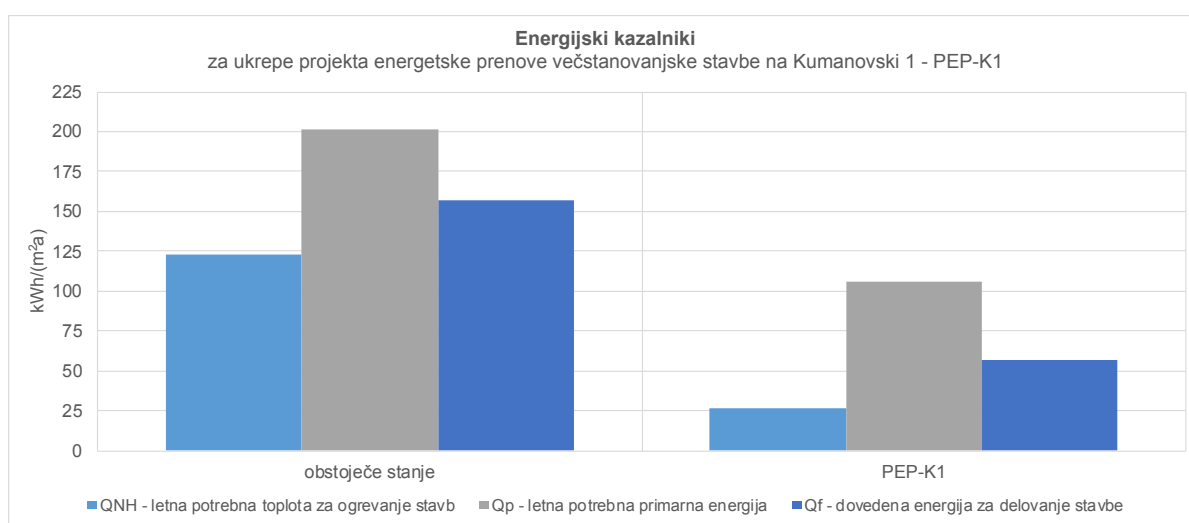


Slika 17: Detajl izvedbe lokalnega prezračevanja z rekuperacijo, novo stanje
(vir: PEP-K1, september 2019, Gradbeni inštitut ZRMK)

4.3 Določitev energijskih vidikov

Na podlagi predstavljenih izhodišč in vhodnih podatkov smo s programsko opremo KI Energija 2014 določili energijske lastnosti za celotno stavbo. Osredotočili smo se na Q_{NH} – letno potrebno toploto za ogrevanje, Q_p – letno potrebno primarno energijo in Q_f – dovedena energija za delovanje stavbe. Program KI Energija 2014 nam po pravilniku PURES-2 in pripadajoči tehnični smernici poda največje dovoljene vrednosti za izbrane parametre in tako lahko na podlagi dobljenega izvedemo analizo stanja.

Rezultati v nadaljevanju so predmet primerjave obstoječega stanja obravnavane večstanovanjske stavbe pred prenovo in stanja po načrtovani celoviti energetski prenovi.



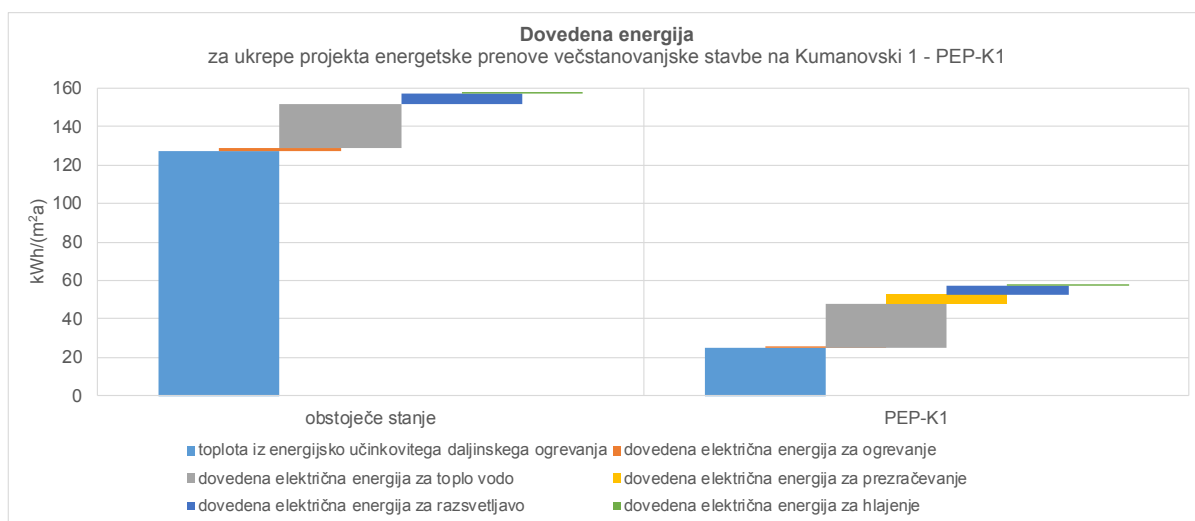
Grafikon 1: Energijski kazalniki za ukrepe PEP-K1

Preglednica 13: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrepe PEP-K1

ENERGIJSKI KAZALNIKI za ukrepe PEP-K1			
		obstoječe stanje	PEP-K1
		kWh/(m²a)	kWh/(m²a)
Q_{NH} - letna potrebna toplota za ogrevanje		123,1	26,6
	izboljšano	/	78,4 %
	pogoj po PURES-2	27,4	27,4
	presežek	349,3 %	
Q_p - letna potrebna primarna energija		201,2	106,4
	izboljšano	/	47,1 %
	pogoj po PURES-2	180,6	180,6
	presežek	11,4 %	
Q_f - dovedena energija za delovanje stavbe		157,0	57,2
	izboljšano	/	63,7 %

Izračun energijskih lastnosti večstanovanjske stavbe na Kumanovski ulici 1 v Ljubljani je bil izveden glede na definirano ogrevanje s prekinitvami z režimom notranje temperature pozimi 20 °C in poleti 26 °C ter pri stopnji izmenjave zraka 0,5 h⁻¹ (*). Za obstoječe stanje znaša letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto uporabne površine 123,1 kWh/(m²a), kar stavbo uvršča v energetski razred E ter za 349 % presega pogoj določen po PURES-2, ki znaša 27,4 kWh/(m²a). Po prenovi se bo vrednost potrebne toplote za ogrevanje znižala za 78,4 % oziroma na vrednost 26,6 kWh/(m²a), kar bo stavbo uvrščalo v energetski razred B2 in zadostilo pogojem PURES-2. Letna potrebna primarna energija za delovanje stavbe Q_p v obstoječem stanju znaša 201,2 kWh/(m²a), kar za 11,4 % presega pogoj po PURES-2, po

prenovi pa se bo vrednost zmanjšala za 47,1 % in bo tako s 106,4 kWh/(m²a) zadostila pogoju 180,6 kWh/(m²a) obravnavanega pravilnika.



Grafikon 2: Dovedena energija za ukrepe PEP-K1

Preglednica 14: Vrednosti dovedene energije za ukrepe PEP-K1

	DOVEDENA ENERGIJA za ukrepe PEP-K1	
	obstoječe stanje	PEP-K1
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
toplota iz energijsko učinkovitega daljinskega ogrevanja	127,5	24,6
dovedena električna energija za ogrevanje	1,2	0,3
dovedena električna energija za toplo vodo	23,2	23,2
dovedena električna energija za prezračevanje	0,0	3,9
dovedena električna energija za razsvetljavo	5,0	5,0
dovedena električna energija za hlajenje	0,04	0,2
Q_e - dovedene energije za delovanje stavbe	157,0	57,2

V tem primeru je treba poudariti, da smo za sistem daljinskega ogrevanja v programski računalniški opremi KI Energija 2014 izbrali definirano možnost 'energetsko učinkovito daljinsko ogrevanje' na podlagi podane definicije iz PURES-2: »energijsko učinkovito daljinsko ogrevanje oziroma hlajenje« je daljinsko ogrevanje oziroma hlajenje, pri katerem je energija proizvedena iz obnovljivih virov ali prihaja iz obratov SPTE (soproizvodnja toplote in električne energije) z visokim izkoristkom v skladu s predpisom, ki ureja podpore električni energiji, proizvedeni v soprodukciji toplote in električne energije z visokim izkoristkom [1]. S to izbiro smo v analizo vključili dejstvo, da Energetika Ljubljana, enota TE-TOL na leto proizvede 16 % vse toplotne in električne energije iz obnovljivega vira energije, tj. lesnih sekancev, preostanek pa je proizveden z uporabo rjavega premoga.

Naj na tem mestu vstavimo še pripis in obrazložitev, da smo stopnjo izmenjave zraka (*) v programski opremi določili skladno s Pravilnikom o prezračevanju in klimatizaciji stavb (Ur.l. RS, št. 42/02, 105/02, 110/02 – ZGO-1 in 61/17 – GZ) [15], tj. (2) v času prisotnosti ljudi v prostorih stavbe, ki so namenjeni za delo in bivanje ljudi, kjer je treba dosežati volumsko izmenjavo zraka (n) vsaj $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ oziroma (4) v stavbah z vgrajenimi mehanskimi sistemi za prezračevanje in v prostorih z višino stropov nad 3,5 m je zahtevana volumska izmenjava zraka lahko manjša, $n < 0,5 \text{ h}^{-1}$, ob doseganju parametrov za notranje okolje v bivalni coni

prostora. Število izmenjav zraka bi lahko natančneje določili po izbrani metodi, ki se uporablja predvsem za stanovanjske stavbe. Število izmenjav zraka n (h^{-1}) (ali stopnja prezračevanja) je namreč določena z razmerjem med volumskim pretokom svežega dovedenega zraka in volumnom zraka v prostoru. Potrebno število izmenjav določa, kolikokrat se v eni uri zrak v prostoru zamenja s svežim zrakom. Število izmenjav zraka je določeno izkustveno in je odvisno od vrste, obremenjenosti in zasedenosti prostorov, kot je prikazano v preglednici 15 [16].

Preglednica 15: Število izmenjav zraka v stanovanjskih prostorih
(vir: Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [15])

	ŠTEVILO IZMENJAV ZRAKA v stanovanjskih prostorih	
	število izmenjav n (h^{-1})	
	zasedeno	nezasedeno
bivalni prostor, spalnica	0,5	0,2
WC, kopalnica	4 do 6	0,2
kuhinja	0,5 do 20	0,2

S številom ljudi v prostoru oziroma z zasedenostjo prostora pa je tesno povezana tudi koncentracija CO_2 . V izdihanem zraku je namreč koncentracija plina CO_2 zelo visoka - pri sedenju človek z dihanjem odda približno 18 litrov CO_2 na uro. Zanimivo je, da ko se koncentracija CO_2 v prostoru ustali, le-ta ni odvisna od velikosti prostora, ampak le od količine izmenjanega zraka. Tako nam lahko koncentracija CO_2 pravzaprav pokaže resnično izmenjavo zraka v prostoru oziroma stopnjo prezračevanja [17], kar pa nenazadnje vpliva na zaznavno kakovost zraka s stališča zagotovitve ugodja bivanja in zdravja.

Pri končni določitvi optimalnega volumna zraka za prezračevanje bi bilo tako potrebno upoštevati število uporabnikov (obremenitev) glede na velikost prostora in izbrati vrednost, ki rezultira v najboljši kakovosti notranjega zraka.

5 ANALIZA IZBRANIH OPCIJSKIH SCENARIJEV ZA IZBOLJŠANJE ENERGIJSKIH LASTNOSTI

Celovita energetska prenova večstanovanjske stavbe je zahteven projekt tako s tehničnega kot z ekonomskega vidika in običajno poteka v več fazah. Pri tem je zelo pomembna izbira ustreznih rešitev. Za izbrano večstanovanjsko stavbo na Kumanovski ulici 1 v Ljubljani je bil na Gradbenem inštitutu ZRMK, v sodelovanju z zunanjimi strokovnjaki in vključitvi etažnih lastnikov, izdelan projekt energetske prenove (PEP) s tehnično dokumentacijo z izbiro najbolj sprejemljive variante prenove.

PEP-K1 torej zajema toplotno izolacijo ovoja stavbe na vseh fasadah, ravni nepohodni strehi in ravni pohodni strehi – terasa ter na stropu neogrevane kletne etaže proti stanovanjskim prostorom v pritličju in na stropu in stenah v predprostoru pritličja (vhodni avli) proti neogrevanim prostorom. Izvedena bo tudi menjava zunanjega stavbnega pohišča na obeh terasah (skupno) in v stanovanjskih enotah za primere, kjer le-to še ni bilo zamenjano. V sklopu prenove so načrtovani tudi ukrepi s področja izboljšanja energijske učinkovitosti sistemov: hidravlično uravnoteženje sistema ogrevanja, prezračevanje kleti, predlog lokacij namestitve mehanskega prezračevanja z rekuperacijo ter lokacije namestitve zunanjih in notranjih enot klimatskih naprav z razvodom kondenzata. Vzporedno so načrtovani tudi drugi ukrepi, ki so smiselni ukrepi ob izvedbi celovite energetske prenove.

Priložnost vključenosti v PEP-K1, prisotnost v izbranih fazah projekta ter izdelan elaborat gradbene fizike za področje učinkovite rabe energije za stavbo, z vključitvijo smiselnih in izvedljivih ukrepov, so mi podali večji vpogled v problematiko obravnavanega primera in v številčne vrednosti energijskih kazalnikov stavbe. Po posvetu s strokovnjaki Gradbenega inštituta ZRMK smo razvili tezo, da v sklopu magistrskega dela skozi raziskovalni del nadgradim izdelan PEP-K1 ter dodam lasten doprinos v sklopu transparentnega prikaza analize različnih smiselnih oziroma izvedljivih scenarijev prenove in ovrednotenja dobljenih rezultatov na način zagotavljanja ustreznih podlag in s tem naročniku omogočim, da se odloči glede na preverljive in primerljive podatke z vseh vidikov in ne le na podlagi najnižje cene, ki običajno ni osnovana na podlagi najoptimalnejših rešitev.

V nadaljevanju smo za sestavljanje različnih scenarijev uporabili metodo izbire ukrepov po principu *'načrtovani PEP-K1 + dodan / spremenjen ukrep'* z namenom izboljšanja energijske učinkovitosti obravnavane stavbe. Rezultati v nadaljevanju izhajajo iz analiz v računalniški programski opremi KI Energija 2014, procentualni deleži pa predstavljajo izboljšavo v primerjavi z obstoječim stanjem. Vzporedno smo pri izbiri ustreznih rešitev, tj. pri izbiri ustreznih materialov, debelin in sistemov, upoštevali minimalne zahteve po PURES-2 in vse pogoje Eko sklada po javnem pozivu 67SUB-OBPO19 za nepovratne finančne spodbude za nove skupne naložbe večje energijske učinkovitosti starejših stavb s tremi ali več posameznimi deli stavbe [18].

V izbrane smiselne oziroma izvedljive scenarije energijske prenove večstanovanjske stavbe smo tako vključili:

- ukrep izbire različnih variant toplotno izolacijskega materiala za fasadni ovoj,
- ukrep zamenjave zunanjega stavbnega pohištva na celotni stavbi,
- ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjih,
- ukrep vgradnje toplotne črpalke,
- kombinacijo ukrepov,
- ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne na stavbo.

Preglednica 16: Izbrani opsijski scenariji za izboljšanje energijskih lastnosti

		obst.	PEP	S1	S2	S3	S4	S5
SISTEMI ↓	GRADBENI UKREPI ↓	OBSTOJEČE STANJE (TI: brez)	PEP-K1 (TI: graf. EPS)	PEP-K1 + 'najpogostejša' izbira TI (TI: kamena volna)	PEP-K1 + 'naravni' TI material (TI: celulozna izolacija)	PEP-K1 + 'napredni' TI material (TI: Webertherm PlusUltra)	PEP-K1 + troslojna zasteklitev (TI: graf. EPS)	PEP-K1 + prezračevanje z rekuperacijo toplote (TI: graf. EPS)
OGREVANJE								
centralno daljinsko ogrevanje priključeno na vročevodno omrežje								
centralno daljinsko ogrevanje + hidravlično uravnoteženje ogrevalnega sistema								
toplotna črpalka za ogrevanje								
PREZRAČEVANJE								
lokalno prezračevanje z rekuperacijo toplote			23	23	23	23	23	10
TOPLA VODA								
električni grelnik (bojler)								
toplotna črpalka za toplo vodo								
ZASTEKLITEV								
dvoslojna zasteklitev								
troslojna zasteklitev								
RAZSVETLJAVA								
razsvetljava								
HLAJENJE								
split sistemi hlajenja		9	9	9	9	9	9	9
FOTOVOLTAIKA								
fotovoltaična elektrarna								

	S6	S7	S8	S9	S10	S11
SISTEMI ↓	GRADBENI UKREPI ↓	PEP-K1 + toplotna črpalka za ogrevanje (TI: graf. EPS)	PEP-K1 + toplotna črpalka za toplo vodo (TI: graf. EPS)	PEP-K1 + toplotna črpalka za ogrevanje in toplo vodo (TI: graf. EPS)	PEP-K1 + kombinacija ukrepov (TI: graf. EPS)	PEP-K1 + kombinacija ukrepov + fotovoltaika (smer Z) (TI: graf. EPS)
OGREVANJE						
centralno daljinsko ogrevanje priključeno na vročevodno omrežje						
centralno daljinsko ogrevanje + hidravlično uravnoteženje ogrevalnega sistema						
toplotna črpalka za ogrevanje						
PREZRAČEVANJE						
lokalno prezračevanje z rekuperacijo toplote	23	23	23	23	23	23
TOPLA VODA						
električni grelnik (bojler)						
toplotna črpalka za toplo vodo						
ZASTEKLITEV						
dvoslojna zasteklitev						
troslojna zasteklitev						
RAZSVETLJAVA						
razsvetljava						
HLAJENJE						
split sistemi hlajenja	9	9	9	9	9	9
FOTOVOLTAIKA						
fotovoltaična elektrarna						

LEGENDA	
23	v večstanovanjski stavbi je vgrajenih 23 sistemov mehanskega prezračevanja z rekuperacijo
10	v večstanovanjski stavbi je vgrajenih 10 sistemov mehanskega prezračevanja z rekuperacijo
9	v večstanovanjski stavbi je vgrajenih 9 split sistemov za hlajenje

Za vsak sklop scenarijev izbranih ukrepov bomo v nadaljevanju sistematično predstavili analize za izboljšanje energijskih lastnosti in razčlenili dobljene vrednosti na izbrane energijske kazalnike: Q_{NH} – letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe, Q_p – letna potrebna primarna energija, Q_f – dovedena energija za delovanje stavbe. V poglavju o trajnostni gradnji v nadaljevanju pa bomo analizo dodatno nadgradili s trajnostnimi vidiki prenove in celovito prikazali končno analizo oziroma oceno, po izbrani metodi ocenjevanja.

5.1 Ukrep izbire različnih variant toplotno izolacijskega materiala za fasadni ovoj

Prvi trije scenariji temeljijo na ukrepu izbire različnih variant toplotno izolacijskega materiala za fasadni ovoj in zajemajo analizo, ki vključuje izveden PEP-K1 z upoštevanjem zamenjave izbranega toplotno izolacijskega materiala grafitni EPS z drugimi možnimi materiali. Tako smo v analizo vključili:

1. PEP-K1 stavbe z izbranim 'najpogostejše' uporabljenim toplotno izolacijskim materialom – kamena volna
2. PEP-K1 stavbe z izbranim 'naravnim' toplotno izolacijskim materialom – celulozna izolacija v kombinaciji z lesno-vlaknenimi ploščami
3. PEP-K1 stavbe z izbranim 'naprednim' toplotno izolacijskim materialom – ultra izolativen fasadni sistem

V nadaljevanju bomo za posamezne toplotno izolacijske materiale povzeli njihove glavne fizikalno-kemične lastnosti in predstavili način izbire debeline materiala, uporabljene v analizi energijskih kazalnikov. Zavedati se moramo, da ima pravilna izbira debeline toplotno izolacijskega materiala veliko vlogo pri zmanjševanju toplotnih izgub, kar je s prenovo fasadnega ovoja naš največji cilj. Vzporedno pa moramo upoštevati tudi zakonodajo s področja požarne varnosti, razpisane pogoje Eko sklada in nenazadnje v našem primeru tudi zakonodajo oziroma pogoje iz področja varstva kulturne dediščine.

Izbira ustrezne debeline toplotno izolacijskega materiala temelji na treh oziroma štirih predpostavkah:

- izpolnjevanju pogoja Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije za določeno vrednost maksimalne toplotne prehodnosti gradbenega elementa stavbe zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom $U_{max} = 0,280 \text{ W/(m}^2\text{K)}$,
- primerjavi debeline s 14 cm grafitnega EPS iz PEP-K1,
- primerjavi toplotne prehodnosti $U = 0,185 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ grafitnega EPS iz PEP-K1,
- izbiri najprimernejše debeline.

Iz nabora dobljenih vrednosti zgoraj postavljenih predpostavk, smo za nadaljnjo analizo izbrali najprimernejšo oziroma najmanjšo še izvedljivo debelino materiala, ki ustreza tako Tehnični smernici TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, kot tudi pogojem Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19.

5.1.1 Izbira 'najpogosteje' uporabljenega toplotno izolacijskega materiala

V praksi sta najpogosteje uporabljeni toplotni izolaciji v fazi prenove fasadnega ovoja: ekspanziran polistiren (EPS) in kamena volna. Ker PEP-K1 za izbrano večstanovanjsko stavbo vključuje uporabo grafitnega EPS, kot materiala z boljšo toplotno prevodnostjo λ za 20 % v primerjavi z navadnim (belim) EPS, smo v sklopu magistrskega dela v analizo vključili drugi najpogosteje uporabljeni material, tj. kameno volno.

Primerno je na tem mestu opozoriti, da je bila odločitev o izbiri grafitnega EPS vezana na poznani koeficient toplotne prevodnosti λ , podan s strani proizvajalca. Le-ta namreč vpliva na vrednost toplotne prehodnosti U gradbenega elementa, ki je vzporedno vezan tudi na določila znotraj Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije. Ob tem bi bilo smiselno oziroma potrebno, za primer razširjene analize, vključiti preučevanje rabe energije na ravni celotne stavbe in na podlagi dobljenih rezultatov izbrati najprimernejši 'najpogosteje' uporabljeni material.

5.1.1.1 Predstavitev izbrane kamene volne Knauf Insulation FKD-S Thermal

Po priporočilu proizvajalca Knauf Insulation se za fasadne sisteme iz kamene volne uporabljajo fasadne lamele ali fasadne plošče. Fasadne lamele se načeloma uporabljajo za novogradnje in jih na nosilne podlage ni potrebno dodatno mehansko pritrdjevati, fasadne plošče pa se uporabljajo pri prenovah stavb in se pritrdijo s fasadnimi pritrdilnimi sidri. Ker je izbira materiala v našem primeru vezana na prenovo obstoječe stavbe, smo za nadaljnjo analizo izbrali fasadne plošče iz kamene volne FKD-S Thermal.

Toplotno izolacijske plošče FKD-S Thermal se uporabljajo za toplotno, zvočno in požarno zaščito in imajo izboljšano toplotno izolativnost v vrednosti $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$. Kamena volna omogoča izvedbo kompaktnih, trajnih in visoko paropropustnih fasadnih sistemov, kar zagotavlja ugodno bivalno klimo ter zmanjšuje količino potrebne energije za ogrevanje in hlajenje stavbe. Zagotavlja tudi visoko požarno varnost objekta z razredom gorljivosti A1. Proizvod iz mineralne kamene volne je naravnega izvora, saj so osnovne surovine za izdelavo magmatske in sedimentne kamenine. Plošče niso dovzetne na navzemanje zračne vlage, preprečujejo razvoj plesni ter so odporne na mikroorganizme in žuželke. Prav tako so okoljsko visoko sprejemljive, saj vsebujejo preko 45 % recikliranih snovi ter ob uporabi privarčujejo neprimerno več energije, kot jo potrebujemo za njihovo izdelavo, zato je material kot tak po navedbi proizvajalca ljudem in okolju prijazen [19].



Slika 18: Kamena mineralna volna – Knauf Insulation FKD-S Thermal
(vir: Knauf Insulation [19])

5.1.1.2 Izbira ustrezne debeline kamene volne Knauf Insulation FKD-S Thermal

Analizo izbire najprimernejše debeline izbranega materiala smo izvedli v programski opremi KI Energija 2014. Sloj mineralne kamene volne Knauf Insulation FKD-S Thermal smo dodali na obstoječo sestavo konstrukcijskega sistema zunanje stene.

Preglednica 17: Izbira debeline toplotno izolacijskega materiala – kamena volna FKD-S Thermal

		kamena volna FKD-S Thermal	
		debelina (cm)	U (W/(m²K))
			λ/d (W/(m²K))
izpolnjevanje pogoja Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije			
Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, U _{max} = 0,280 W/(m²K)		10 cm	U = 0,267 W/(m²K)
Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19, λ/d ≤ 0,23 W/(m²K)			λ/d = 0,35 W/(m²K)
primerjava debeline s 14 cm grafitnega EPS iz PEP-K1			
Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, U _{max} = 0,280 W/(m²K)		14 cm	U = 0,205 W/(m²K)
Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19, λ/d ≤ 0,23 W/(m²K)			λ/d = 0,25 W/(m²K)
primerjava toplotne prehodnosti U = 0,185 W/m²K grafitnega EPS iz PEP-K1			
Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, U _{max} = 0,280 W/(m²K)		16 cm	U = 0,183 W/(m²K)
Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19, λ/d ≤ 0,23 W/(m²K)			λ/d = 0,22 W/(m²K)
izbira najprimernejše debeline			
Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, U _{max} = 0,280 W/(m²K)		15 cm	U = 0,193 W/(m²K)
Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19, λ/d ≤ 0,23 W/(m²K)			λ/d = 0,23 W/(m²K)

Za nadaljnjo analizo smo, razvidno iz tabele, izbrali najmanjšo možno debelino materiala, ki še ustreza tako Tehnični smernici TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije kot tudi pogojem Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19, tj. 15 cm debele plošče kamene volne.

5.1.2 Izbira 'naravnega' toplotno izolacijskega materiala

Za celulozo kot material bi lahko rekli, da je izdelek naravnega izvora, saj predstavlja glavno sestavino lesa. Tako velja, da brez celuloze ni lesa in brez dreves ni papirja. Brez papirja pa ni naravnega toplotno izolacijskega materiala iz celuloznih vlaken, ki je po navedbah proizvajalca prijazen do okolja in do ljudi [20]. Sodobni trendi namreč kažejo, da je poleg želje po zmanjšanju rabe energije v stavbah in posledično manjšega obremenjevanja okolja, pri izbiri toplotno izolacijskega materiala velik poudarek tudi na zavedanju o možnostih vgrajevanja okolju prijaznih materialov.



Slika 19: Časopisni papir in celulozni izolacijski material
(vir: Isocell [20])

Ob tem pa se postavi vprašanje: ali alternativni toplotno izolacijski materiali dosegajo enako visoko stopnjo toplotno izolacijskih lastnosti kot klasični materiali? Odgovor sledi v nadaljevanju.

5.1.2.1 Predstavitev izbrane celulozne izolacije Isocell in izvedba fasadnega ovoja

Za izvedbo scenarija prenove fasadnega ovoja z izbiro 'naravne' toplotne izolacije smo za analizo izbrali celulozno izolacijo Isocell v kombinaciji s fasadnimi lesno-vlaknenimi ploščami Agepan THD. V nadaljevanju sledijo odgovori na vprašanje predhodnega poglavja ter predstavitev izbranih materialov.

Proizvodnja: celulozna vlakna so recikliran izdelek, izdelan iz starega, čistega in nemešanega časopisnega papirja. Le-ta se grobo nacefra in zmeša z mineralnimi borovimi solmi ter zmelje s posebnim mlinom. Isocell celuloza je tako odporna na plesen in je varna pred ognjem [20]. Predhodno omenjena borova sol je naraven element, prisoten v periodnem sistemu. Iz soli naredijo borovo spojino, ki je med strupi na trgu med najmanj škodljivimi. Borova spojina je tudi naravni konzervans, zato je celulozna izolacija odporna na gnitje, plesni, škodljivce in insekte. V stiku z ognjem pa ustvari kristalino, ki preprečuje dotok kisika in tako zavira gorenje [21].

Zaščita okolja: časopis potrebuje za predelavo v izolacijski material veliko manj energije kot ostale surovine. Uporaba primarne energije je znatno nižja, saj znaša zgolj 30 % uporabljene pri stekleni volni in samo 15 % uporabljene pri proizvodnji stiropora. Obravnavani celulozni material hkrati znižuje tudi emisije CO₂ in prihrani stroške pri ogrevanju. Pomembno je poudariti, da pri proizvodnji ne pride do sproščanja strupenih plinov, med vgradnjo materiala ni odpada, po odstranitvi pa je Isocell izolacija ponovno uporabna, saj se lahko predela v rastlinsko gnojilo in tako ne predstavlja dodatnih težav pri odstranjevanju. Le-to pa v kombinaciji z gnojem na koncu prispeva k rasti novega drevesa in cikel je tako zaključen [20].

Vgradnja: izbrana celuloza je vpihana, ne natlačena in ima pri vpihovanju v zaprti prostor gostoto 38 – 65 kg/m³ in v prostem nasutju 28 – 40 kg/m³, toplotna prevodnost za vpihovan material s pomočjo vpihovalnega stroja pa znaša 0,039 W/(mK). Ni vlečenja in odpada, izdelek pa je enak za tla, steno in strop ter za različne debeline izolacije. Celulozna vlakna se v konstrukciji razporedijo v izolacijski sloj in kot material tvorijo obliko plošče, ki zapolni vse praznine, je brez stikov, praznih prostorov in brez posedanja. V celoti to pomeni izolacijo brez toplotnih mostov in vrzeli, kompakten sistem z visoko gostoto v izolaciji pa onemogoča pretok zraka [20].

Požarna varnost: s klasifikacijo EN B-s2-do celulozna izolacija Isocell dosega najboljšo možno oceno za gorljive materiale. V raziskavi ustanove IBS Linz (vir: IBS dokument: 11092607a 2012) je bilo dokazano, da pri debelini sloja celuloze 30 cm ostane element pred vročino zavarovan 90 minut [20]. To pomeni, da ob stiku z ognjem zagori, vendar pride hitro do umika plamena in material sam ugasne. Prav tako se slabo dimi, ob požaru ne kaplja in s tem dosega najboljšo možno oceno za gorljive materiale. Ker pa borova spojina v stiku z

ognjem naredi kristalino, ki zavira gorenje, pa izolacija uspešno upočasni in hkrati preprečuje razvoj požara še na ostale materiale v konstrukciji [21].

Nadzor vlage: celulozna izolacija uravnava vlago, premore visoko paropropustnost in ima zmožnost vsrkati vlago v vlakna, brez da bi pri tem izgubila svoje izolacijske lastnosti. Prenos vlage v gradbenem elementu poteka preko difuzije, s toplega proti mrzlemu. Ko temperatura zraka doseže točko rosišča, pride do kondenza. Celuloza premore kapilarno prevodnost, kar pomeni, da vpija nastalo vlago in tako deluje v smeri proti difuziji. Tako celuloza postane pomemben hranilnik vlage, še posebej takrat, če je sušenje gradbenega elementa omogočeno zgolj iz notranjega prostora – kot npr. pri neprezračenih ravnih strehah, notranji izolaciji ali prenovi. Celulozna izolacija Isocell sama po sebi ne plesni in ščiti tudi mejne komponente [20].

Zaščita pred pregrevanjem: fazni zamik pomeni čas, ki ga temperaturni val potrebuje, da pride z zunanje strani stene na notranjo stran prostora. Višji je fazni zamik, dlje časa se preprečuje segrevanje notranjosti stavbe [20]. Daljši fazni zamik prehoda toplote omogoča boljšo toplotno stabilnost stavbe in posledično manjšo rabo energije za ogrevanje, v poletnem času pa varčujemo z energijo pri uporabi klimatskih naprav [21].

Celulozna izolacija ima vsaj enkrat večjo maso kot toplotne izolacije z nizko λ , zato lahko akumulira več toplote, istočasno je tudi specifična toplota celulozne izolacije (2110 J/(kgK)) večja kot pri umetnih in anorganskih materialih. V številkah to pomeni, da pri celulozni izolaciji potrebujemo 2110 J energije, da material segrejemo za 1 K, pri stekleni volni pa le 840 J [21].

Ob tem lahko povzamemo rezultate študije, izvedene na Univerzi v Coloradu (ZDA), ki podaja ugotovitev, da stavba izolirana s celulozno toplotno izolacijo pri enaki U vrednosti porabi za 26,4 % manj energije za ogrevanje in hlajenje v primerjavi z enakimi stavbami izoliranimi z mineralnimi volnami. Vse izhaja iz dejstva, da se zrak v celulozni izolaciji ves čas giblje zaradi različnih tlakov, ki so posledica različnih temperatur zraka med notranjostjo in zunanostjo stavbe. Vlakna v celulozni izolaciji so zaradi kosmičaste strukture bolj zrakotesna, zato se zrak v izolaciji pri enakih tlačnih razlikah giblje manj kot v vlaknih mineralne volne, ki je vlaknaste strukture in zato bolj prepustna za zrak [21].

Zvočna izolacija: zvok postane hrup, kadar je moteč in v primeru celulozne izolacije se le temu izognemo, saj so vsi votli prostori zapolnjeni brez vrzeli. To pomeni, da pri vmesnih stenah dosežemo do 7 dB in pri vmesnih stropih do 5 dB boljšo izolativnost od običajnih vlaknastih izolacij [20].

Izvedba fasade s celuloznim toplotno izolacijskim materialom se razlikuje od ostalih, saj se v začetni fazi najprej izvede leseno podkonstrukcijo, pritrjeno s kovinskimi kotniki na steno v razdalji približno 60 cm. Omenjen način je primeren za vse vrste gradenj, od zidanih in vse do lesenih in jeklenih, hkrati pa zagotavlja tudi izravnavo, saj masivne stavbe praviloma nimajo v celoti ravnih sten. V podkonstrukcijo se nato vgradijo prepreke v horizontalni smeri, ki onemogočajo posedanje izolacije. Na podkonstrukcijo se privijačijo Agepan THD plošče v skladu z navodili proizvajalca za doseganje najboljših rezultatov. Nato se izvrtajo luknje približno 30 cm pod vrhom s premerom odprtine 12 cm, v predpisanem razmaku. Sledi

vpihovanje celulozne izolacije z vpihovalnimi stroji vse do popolne zapolnitve vseh prostorov. Luknje se ob koncu zapre s posebnimi plutovinastimi zamaški in sistem je tako pripravljen na nanos fasadnega ometa [22].

Agepan THD plošče so tako hkrati toplotna izolacija in fasadna plošča, odlična zvočna in vetrna zaščita. Plošče so izdelane v enem sloju s suhim postopkom iz lesa iglavcev in so popolnoma naraven proizvod, ki ne vsebuje formaldehidov in ostalih dodatkov, razen 3 % delež PUR (poliuretanskih) lepil zaradi boljše vezave vlaken. Ustrezajo vsem zahtevam visokih ekoloških standardov, sama proizvodnja pa je pod konstantnim nadzorom nemških inštitutov (nemški inštitut za gradbeništvo DIBt, HFB Ingeneering GmbH). Poleti Agepan THD plošče služijo kot zaščita pred vdorom vročine in pozimi ohranjajo notranjost stavbe toplo in udobno. Toplotna prevodnost plošč znaša $0,047 \text{ W/(mK)}$ in specifična toplota 2100 J/(kgK) . Gostota plošče je 230 kg/m^3 . Požarna ustreznost po standardu DIN 4102 pa sodi v razred B2 [23].

5.1.2.2 Izbira ustrezne debeline celulozne izolacije Isocell v kombinaciji z Agepan THD ploščami

Za analizo obravnavanega scenarija ukrepa smo v programu KI Energija 2014 na obstoječo sestavo konstrukcijskega sistema zunanje stene dodali sloj celulozne izolacije Isocell v kombinaciji z lesno-vlaknenimi ploščami Agepan THD, v različnih debelinah z namenom iskanja najprimernejše izbire.

Preglednica 18: Izbira debeline toplotno izolacijskega materiala – celuloza Isocell + plošče Agepan THD

	celuloza Isocell + plošče Agepan THD	
	debelina (cm)	U ($\text{W/(m}^2\text{K)}$) $1/(\lambda/d)$ ($\text{W/(m}^2\text{K)}$)
izpolnjevanje pogoja Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije		
Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, $U_{\max} = 0,280 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		
Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19, $1/(\lambda/d) \leq 0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		
	varianta ni izvedljiva	
primerjava debeline s 14 cm grafitnega EPS iz PEP-K1		
Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, $U_{\max} = 0,280 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		
Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19, $1/(\lambda/d) \leq 0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	10 + 4 cm	U = 0,210 $\text{W/(m}^2\text{K)}$ $1/(\lambda/d) = 0,26 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
primerjava toplotne prehodnosti U = 0,185 $\text{W/(m}^2\text{K)}$ grafitnega EPS iz PEP-K1		
Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, $U_{\max} = 0,280 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		
Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19, $1/(\lambda/d) \leq 0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	12 + 4 cm	U = 0,186 $\text{W/(m}^2\text{K)}$ $1/(\lambda/d) = 0,22 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Za nadaljnjo analizo smo, razvidno iz tabele, izbrali najmanjšo možno debelino kombinacije materialov, ki še ustreza tako Tehnični smernici TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije kot tudi pogojem Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19, tj. 12 cm Isocell celulozne izolacije in 4 cm debele lesno-vlaknene plošče Agepan THD.

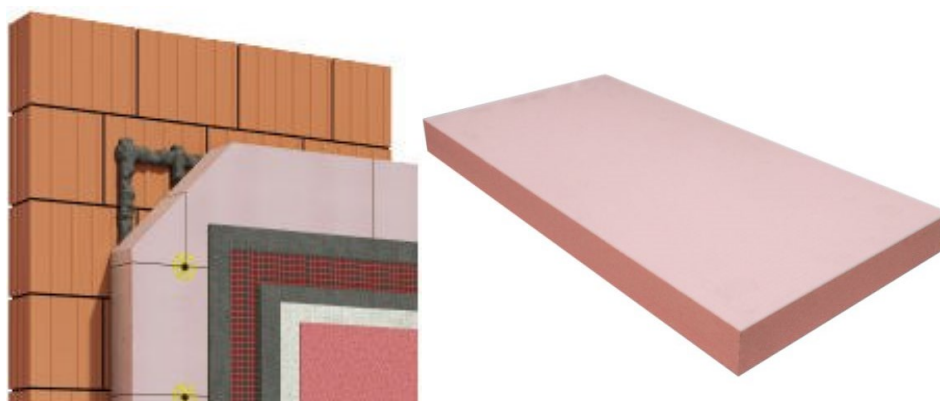
V tem primeru je potrebno poudariti, da izvedba variante izpolnjevanja pogojev Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, $U_{\max} = 0,280 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ni izvedljiva, saj je kombinacija debelin 10 + 4 cm najmanjša še izvedljiva varianta za fasadni ovoj, po priporočilu proizvajalca materialov, za doseg predvidenih obljubljenih lastnosti.

5.1.3 Izbira 'naprednega' toplotno izolacijskega materiala

Ker smo v času inovacij in razvoja naprednih materialov, smo se odločili, da v analizo vzamemo še enega izmed takih materialov – material vrhunskih lastnosti, dostopen za izvedbo in je hkrati odlična rešitev za primer prenove stavb. Ob tem imamo v mislih situacije in detajle, ko ni mogoče vgraditi večjih debelin izolacije, kot npr. preozki okenski okvirji na špaletah, omejitve pri površini balkonov ali kadar želimo oziroma je pogoj maksimalno ohraniti zunanji izgled stavbe.

5.1.3.1 Predstavitev izbrane izolacije Webertherm plus ultra 020

Ultra izolativen fasadni sistem Webertherm plus ultra proizvajalca Saint-Gobain Weber omogoča za 50 % višjo toplotno izolativnost v primerjavi s klasičnim EPS materialom ali mineralno volno za fasadni sistem. Izolativne plošče so sestavljene iz surovine bakelit, ki je snov iz fenolne smole. Le-ta ima izredno nizko toplotno prevodnost v zaprti celični strukturi z ujetim zrakom in tako zagotavlja že 0,020 W/(mK) toplotne prevodnosti pri debelini izolacijske plošče 4 cm. Jedro izolacije sestavlja pena na bakelitni osnovi z lastnostjo neprehodnosti za vročino in mraz. Gostota izbrane izolacije znaša $35 \pm 1,5 \text{ kg/m}^3$ in specifična kapaciteta toplote 1750 J/(kgK). Plošče so negorljive, sodijo v požarni razred gorljivosti C-s1-d0 in se ne deformirajo, tudi če so izpostavljene visoki temperaturi in ognju. Webertherm plus ultra 020 je izolacija prijazna za rokovanje in zdravju neškodljiva, saj ne vsebuje CFC in H-CFC plinov [24], ki povzročajo razgradnjo ozona, posledično povečanje ozonske luknje in s tem večje ultravijolično sevanje, ki vpliva na bivanje in zdravje ljudi.



Slika 20: Webertherm plus ultra 020 izolacijske plošče
(vir: Saint-Gobain Weber [24])

5.1.3.2 Izbira ustrezne debeline Webertherm plus ultra 020 izolacije

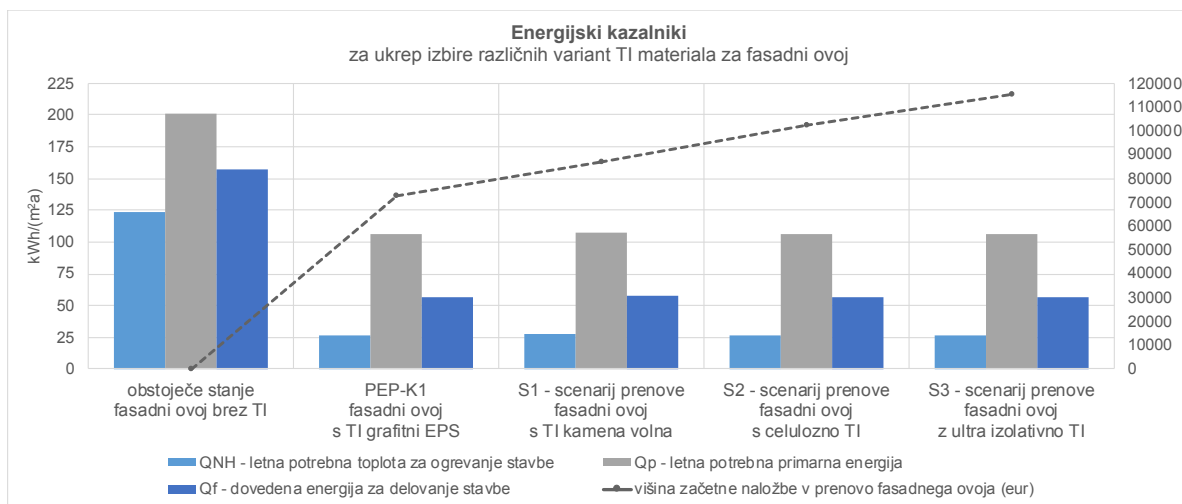
Za analizo obravnavanega scenarija ukrepa smo na obstoječo sestavo konstrukcijskega sistema zunanje stene dodali sloj Webertherm plus ultra 020 toplotno izolacijske plošče, v različnih debelinah z namenom iskanja najprimernejše izbire.

Preglednica 19: Izbira debeline toplotno izolacijskega materiala – Webertherm plus ultra 020

		Webertherm plus ultra 020	
		debelina (cm)	U (W/(m²K))
			λ/d (W/(m²K))
izpolnjevanje pogoja Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije			
Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, U _{max} = 0,280 W/(m²K)		6 cm	U = 0,257 W/(m²K)
Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19, λ/d ≤ 0,23 W/(m²K)			λ/d = 0,33 W/(m²K)
primerjava debeline s 14 cm grafitnega EPS iz PEP-K1			
Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, U _{max} = 0,280 W/(m²K)		primerjava ni smiselna	
Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19, λ/d ≤ 0,23 W/(m²K)			
primerjava toplotne prehodnosti U = 0,185 W/m²K grafitnega EPS iz PEP-K1			
Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, U _{max} = 0,280 W/(m²K)		9 cm	U = 0,189 W/(m²K)
Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19, λ/d ≤ 0,23 W/(m²K)			λ/d = 0,22 W/(m²K)

Za nadaljnjo analizo smo, razvidno iz tabele, izbrali 9 cm debele plošče in s tem zadostili pogojem Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije in pogojem Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19. Z debelino 9 cm smo, gledano skozi parameter toplotne prehodnosti, ustrezno zagotovili tudi izvedbo vseh detajlov (op. zunanji zid ob balkonskih vratih z maksimalno možno izvedbo toplotne izolacije v debelini 7 cm) in tako ohranili funkcionalnost prostora v celoti ter hkrati ohranili zunanji izgled celotne stavbe.

5.1.4 Energijski kazalniki za ukrep izbire različnih variant TI materiala za fasadni ovoj



Grafikon 3: Energijski kazalniki za ukrep izbire različnih variant TI materiala za fasadni ovoj

Preglednica 20: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrep izbire različnih variant TI materiala za fasadni ovoj

ENERGIJSKI KAZALNIKI za ukrep izbire različnih variant TI materiala za fasadni ovoj					
	obstoječe stanje - fasadni ovoj brez TI	PEP-K1 - fasadni ovoj s TI grafitni EPS	S1 scenarij prenove - fasadni ovoj s TI kamena volna	S2 scenarij prenove - fasadni ovoj s celulozno TI	S3 scenarij prenove - fasadni ovoj z ultra izolativno TI
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Q_{NH} - letna potrebna toplota za ogrevanje	123,1	26,6	27,1	26,7	26,5
izboljšanje	/	78,4 %	78,0 %	78,3 %	78,5 %
pogoj po PURES-2	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4

Se nadaljuje...

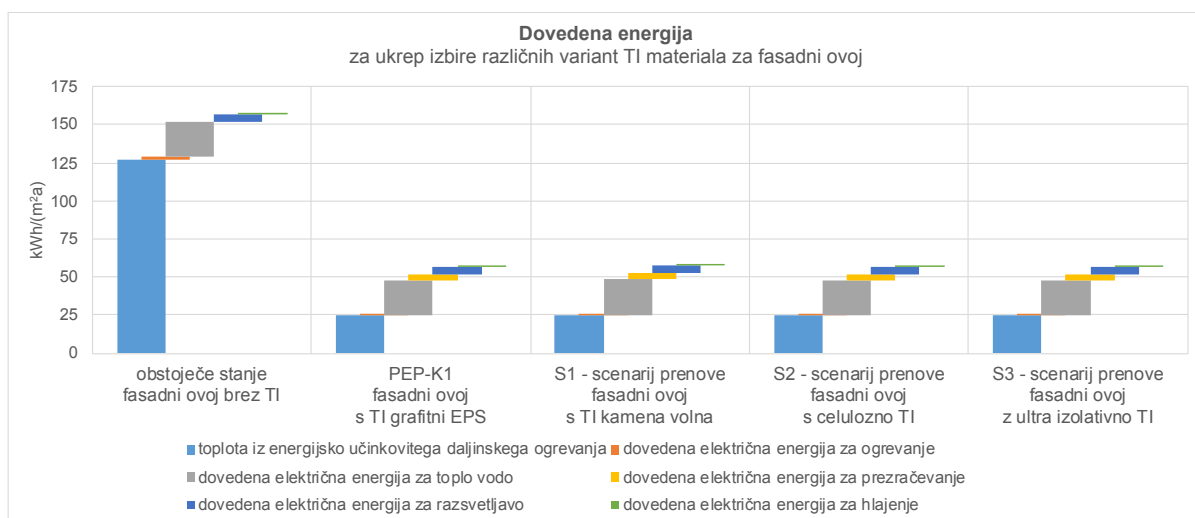
...nadaljevanje preglednice 20

Q_p - letna potrebna primarna energija	201,2	106,4	106,9	106,4	106,3
izboljšanje	/	47,1 %	46,9 %	47,1 %	47,2 %
pogoj po PURES-2	180,6	180,6	180,6	180,6	180,6
Q_t - dovedena energija za delovanje stavbe	157,0	57,0	58,0	57,0	57,0
izboljšanje	/	63,7 %	63,1 %	63,7 %	63,7 %

Dobljene vrednosti analize energijskih kazalnikov nam kažejo, da so odstopanja med scenariji uporabe različnih toplotno izolacijskih materialov za fasadni ovoj minimalna oziroma zanemarljiva. Potrebno je poudariti, da smo izbiro debeline vseh treh možnih toplotno izolacijskih materialov določili po principu primerjave debeline oziroma U-vrednosti (skladno s predpisi oziroma zakonodajo) z načrtovanim uporabljenim 14 cm debelim grafitnim EPS. Tako smo dobili najprimernejše debeline, v vseh treh primerih pa so bile le-te vezane na primerjavo s toplotno prehodnostjo materiala. Zavedati pa se moramo, da ujemajoči se rezultati veljajo zgolj za energijski vidik. Pri ekonomskem in okoljskem vidiku pride do vidnega odstopanja med različnimi toplotno izolacijskimi materiali, kar si bomo ogledali v nadaljevanju magistrskega dela. Za lažjo predstavbo in v potrditev zgoraj zapisani trditvi smo na grafikon 3 energijskih kazalnikov za ukrep izbire različnih variant TI materiala za fasadni ovoj vključili prikaz višine začetne naložbe, vrednosti podane v preglednici 21, za prenovo fasadnega ovoja za različne vrste toplotno izolacijskega materiala (vir: ceniki in ponudbe (pro)izvajalcev).

Preglednica 21: Višina začetne naložbe v prenovo fasadnega ovoja

	Višina začetne naložbe v prenovo fasadnega ovoja				
	obstoječe stanje - fasadni ovoj brez TI	PEP-K1 - fasadni ovoj s TI grafitni EPS	S1	S2	S3
			scenarij prenove - fasadni ovoj s TI kamena volna	scenarij prenove - fasadni ovoj s celulozno TI	scenarij prenove - fasadni ovoj z ultra izolativno TI
			eur	eur	eur
višina začetne naložbe v prenovo fasadnega ovoja	0	73.001	87.132	102.628	115.578



Grafikon 4: Dovedena energija za ukrep izbire različnih variant TI materiala za fasadni ovoj

Preglednica 22: Vrednosti dovedene energije za ukrep izbire različnih variant TI materiala za fasadni ovoj

	DOVEDENA ENERGIJA za ukrep izbire različnih variant TI materiala za fasadni ovoj				
	obstoječe stanje - fasadni ovoj brez TI	PEP-K1 - fasadni ovoj s TI grafitni EPS	S1 scenarij prenove - fasadni ovoj s TI kamena volna	S2 scenarij prenove - fasadni ovoj s celulozno TI	S3 scenarij prenove - fasadni ovoj z ultra izolativno TI
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
toplota iz energijsko učinkovitega daljinskega ogrevanja	127,5	24,6	25,1	24,7	24,6
dovedena električna energija za ogrevanje	1,2	0,3	0,3	0,3	0,3
dovedena električna energija za toplo vodo	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2
dovedena električna energija za prezračevanje	0,0	3,9	3,9	3,9	3,9
dovedena električna energija za razsvetljavo	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
dovedena električna energija za hlajenje	0,04	0,2	0,2	0,2	0,2

Iz grafikona 4, ki je vezan na vrednosti iz preglednice 22 razberemo, da se razlike v dovedeni energiji pojavijo pri toploti iz energijsko učinkovitega daljinskega ogrevanja in dovedeni električni energiji za prezračevanje, v primerjavi z obstoječim stanjem. Ob tem je treba poudariti, da se potreba za ogrevanje zmanjša iz razloga izvedbe toplote izolacije fasadnega ovoja. Pri tem pa različna izbira toplotno izolacijskega materiala nima velikega vpliva, saj je potreba toplote iz energijsko učinkovitega daljinskega ogrevanja v vrednosti 24,6 kWh/(m²a) ter z razliko zgolj nekaj decimalne vrednosti. Na koncu še opomnimo, da je izbira debeline toplotno izolacijskega materiala temeljila na pogoju Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije in javnem pozivu Eko sklada 64SUB-OBPO19 oziroma na izbiri najprimernejše debeline za zagotavljanje obeh pogojev.

5.2 Ukrep zamenjave zunanega stavbnega pohištva na celotni stavbi

Okna so eden izmed bistvenih elementov vsake stavbe, saj omogočajo dnevno osvetlitev prostorov, vidni stik z okolico, zajem sončne energije, naravno prezračevanje prostorov in še mnoge druge funkcije [25]. Zasteklitev predstavlja pomemben del okna, z deležem v večini primerov najmanj 70 % celotne površine. V preteklosti je bila primarna naloga zasteklitve preprečevanje prepaha ter zagotovitev zadostne dnevne osvetljenosti prostorov in tudi zaščita pred zunanjim hrupom. Novo, pomembno vlogo pa je zasteklitev dobila z energetske in okoljsko osveščenim načrtovanjem stavb. Ker je z razvojem sistemov za toplotno zaščito fasade okno postalo šibka točka, se je povečal poudarek na razvoju tehnologije izdelave energetske učinkovite zasteklitve. Sodobno okno tako opravlja več funkcij, ki so med seboj povezane, pokrivajo pa praktično celotno področje gradbene fizike. V zvezi z okni tako lahko govorimo o svetlobnem, toplotnem in zvočnem ugodju v prostoru, o kakovosti zraka v prostoru, o zaščiti pred atmosferskimi vplivi oziroma padavinami in o psihofizičnih učinkih [26].

Nova tehnologija, znanje in materiali namreč vplivajo na izboljšane karakteristike sodobnih oken, kar posledično močno vpliva na samo bivalno ugodje znotraj stavb. Toplotni upor (izolativnost) sodobnih oken, tj. upor toplotnemu toku skozi okno, je večji in le-to predstavlja boljšo toplotno zaščito. Izmenjava zraka skozi pripire, je s sodobnim načinom izdelave in

vgradnje zmanjšana oziroma kontrolirana. Višja površinska temperatura notranjega stekla zmanjšuje sevalne izgube človeškega telesa v njeni neposredni bližini in posledično upočasnjuje gibanje zraka ob njej. Energetsko učinkovita okna močno omejujejo toplotne izgube iz prostora. Toplotno ugodje v prostoru je izboljšano, saj je v toplejšem delu leta sevalna temperatura notranjega stekla nižja, kar posledično prispeva k manjšemu pregrevanju prostora znotraj stavbe, temperaturno polje je tako v prostoru enakomernejše in le-to pozitivno vpliva na samo počutje uporabnika prostora.

Dejstvo je, da pri zasteklitvi srečamo vse tri osnovne oblike prenosa toplotne energije: sevanje, kondukcijo in konvekcijo. Sevalne toplotne izgube predstavljajo približno dve tretjini celotnih toplotnih izgub skozi zasteklitev. Ko kratkovalovno sončno sevanje zadane ob površino prozornega ali prosojnega elementa, na primer okenskega stekla, se delno odbije, delno absorbira, delno pa neposredno preide skozi element. Absorbirani del sevanja segreje element, ki del shranjene energije odda nazaj v zunanost z dolgovalovnim sevanjem oziroma s konvekcijo neposredno ob površini, del pa se s kondukcijo preko elementa prevaja do druge površine, kjer se ponovi oddaja energije s sevanjem in konvekcijo. Za primer dvoslojne zasteklitve to pomeni, da je potek podoben pri obeh steklih, v vmesnem prostoru pa pride do izmenjave toplotne energije delno s sevanjem površin stekel, delno s kondukcijo preko plasti plina, ki se nahaja v medprostoru in delno s konvekcijo, tj. z gibanjem plina. Sončno sevanje, ki preide skozi zastekljen sistem, ter drugi notranji viri toplotne energije segrejejo predmete v prostoru. Ti del sprejete energije z dolgovalovnim sevanjem oddajajo nazaj v prostor proti površinam z nižjo temperaturo [26], kar posledično vpliva na počutje ljudi.

Peti scenarij je nadgradnja PEP-K1 z dodatno menjavo vseh obstoječih oken, s troslojno zasteklitvijo in ohranitvijo PVC materiala okenskih okvirjev. Ob tem se nam velikokrat postavi vprašanje: zakaj je troslojna zasteklitev boljša, kaj z menjavo pridobimo, ali visoka cena upraviči vse lastnosti in nenazadnje, kakšna je sploh razlika med dvo- in troslojno zasteklitvijo? Rezultate smo navedli v nadaljevanju.

5.2.1 Izbira PVC oken in balkonskih vrat s troslojno zasteklitvijo

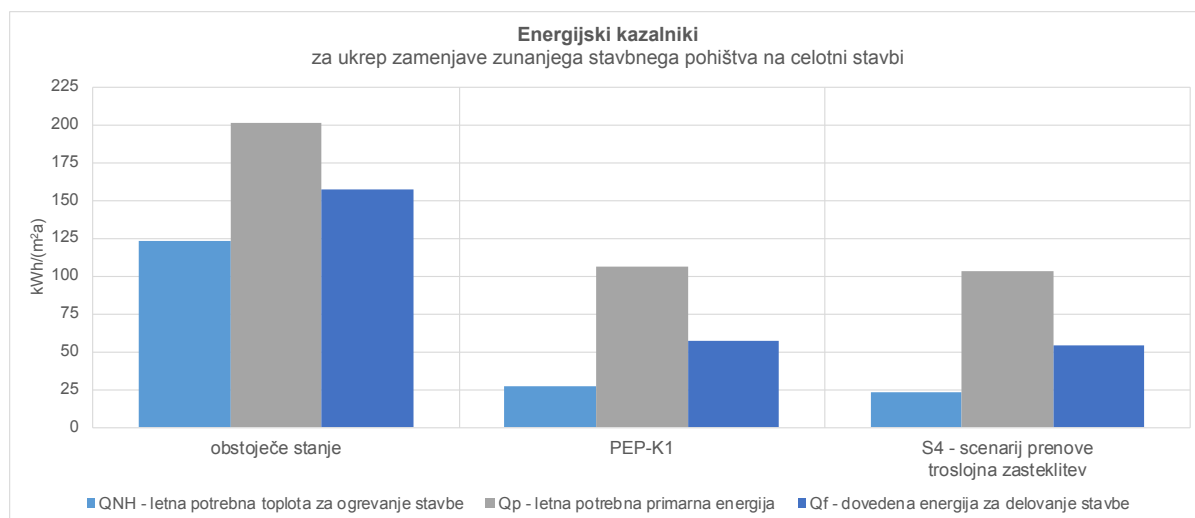
Glede na trende, smernice in zahteve, tako na področju novogradenj kot tudi na področju prenov, je izbira na strani troslojne zasteklitve, saj je razmerje med lastnostmi zasteklitve in ceno najugodnejše. Zasteklitev je namreč tista komponenta okna, ki lahko pri običajnih okenskih dimenzijah in deležu svoje površine glede na celotno površino okna najbolj vpliva na skupno velikost energijskega toka skozi okno. Bistvo uporabe večslojne zasteklitve je namreč v izkoristku plasti plina med posameznimi stekli kot dodatnega toplotnega izolatorja. Srednje steklo razdeli s plinom napolnjeni medprostor na dva dela enake širine kot pri dvoslojni zasteklitvi, s čimer so kondukcijski toplotni tokovi dodatno zmanjšani, konvekcijski toplotni tokovi pa ostanejo na približno enaki stopnji kot pri dvoslojni zasteklitvi [26]. Toplotna prehodnost stekla U_g pri troslojni zasteklitvi je tako najmanj za polovico vrednosti U_g dvoslojne zasteklitve manjša in znaša med 0,4 in 0,7 W/(m²K), z možnostjo odstopanja glede na proizvajalca. Nižja kot je toplotna prehodnost stekla, bolj energetsko varčna je zasteklitev.

Nezanemarljivo, poleg predhodno že opredeljenih koristi izboljšanih sodobnih oken, pa je tudi ugodje bivanja, vezano na občuteno temperaturo, ki jo oseba v bivalnem prostoru zaznava. Le-ta je odvisna tako od temperature zraka in od temperature okoliških površin. Notranje steklo troslojne zasteklitve je bistveno toplejše kot notranje steklo dvoslojne zasteklitve, kar pozitivno prispeva k toplotnemu ugodju. Razlog je uporaba žlahtnega plina med posameznimi sloji stekla, ki z nizko toplotno prevodnostjo onemogoča prehod toplote ven skozi zunanji sloj zasteklitve. Temperatura na notranjem sloju zasteklitve zato ostaja relativno visoka in zaradi majhne razlike med temperaturo notranje površine troslojne zasteklitve in sobno temperaturo ter višjih temperatur okoliških površin, je oddajanje toplote iz človeškega telesa manjše, počutje pa občutno boljše.

Za ukrep zamenjave zunanjega stavbnega pohištva smo tako izbrali PVC okna in balkonska vrata s troslojno zasteklitvijo v standardni sestavi 4/12/4/12/4 mm, skupne debeline 36 mm ter s polnilnim plinom argon. Le-ta prispeva k faktorju toplotne prehodnosti $U_g = 0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Toplotna prehodnost okenskega okvirja U_f za material PVC znaša $1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Prepustnost svetlobe izbrane zasteklitve LT predstavlja 70 % in odboj vidne svetlobe LR 15 %. Prehod sončne svetlobe je izražen s faktorjem g in je vrednosti 49 %. Prepustnost hrupa R_w pa doseže 32 dB [27].

Primerjalna analiza Krainer (Bauphysik, 2008, 30, št. 6) vpliva dvoslojne in troslojne zasteklitve na toplotno in svetlobno bilanco 27 naključno izbranih stavb na osnovi ljubljanskih meteoroloških podatkov je pokazala, da se je povprečna letna poraba energije za ogrevanje pri troslojni zasteklitvi zmanjšala za 15 %. Obenem se je zmanjšala količina dnevne svetlobe pri pravokotnem vpadu sončnega sevanja in čistih steklih za 25 %, po upoštevanju vpadnega kota in umazanosti stekel pa za 38 %. Opisani vidik bo dodatno analiziran v nadaljevanju.

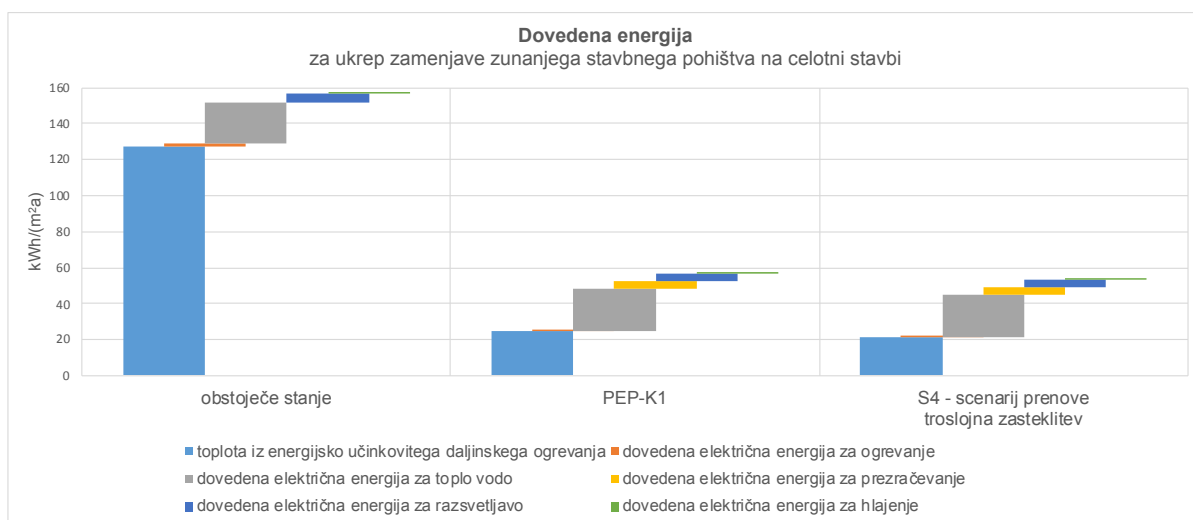
5.2.2 Energijski kazalniki za ukrep izbire PVC oken in balkonskih vrat s troslojno zasteklitvijo



Grafikon 5: Energijski kazalniki za ukrep zamenjave zunanjega stavbnega pohištva na celotni stavbi

Preglednica 23: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrep zamenjave zunanega stavbnega pohištva na celotni stavbi

ENERGIJSKI KAZALNIKI za ukrep zamenjave zunanega stavbnega pohištva na celotni stavbi			
	obstoječe stanje	PEP-K1	S4
			scenarij prenove - troslojna zasteklitev
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Q_{NH} - letna potrebna toplota za ogrevanje	123,1	26,6	23,5
izboljšanje	/	78,4 %	80,9 %
pogoj po PURES-2	27,4	27,4	27,4
Q_p - letna potrebna primarna energija	201,2	106,4	102,9
izboljšanje	/	47,1 %	48,9 %
pogoj po PURES-2	180,6	180,6	180,6
Q_t - dovedena energija za delovanje stavbe	157,0	57,0	54,0
izboljšanje	/	63,7 %	65,6 %
	W/(m ² K)	W/(m ² K)	W/(m ² K)
H't – koeficient specifičnih transmisijskih izgub	1,094	0,448	0,397
izboljšanje	/	59,0 %	63,7 %
pogoj po PURES-2	0,437	0,437	0,437



Grafikon 6: Dovedena energija za ukrep zamenjave zunanega stavbnega pohištva na celotni stavbi

Preglednica 24: Vrednosti dovedene energije za ukrep zamenjave zunanega stavbnega pohištva na celotni stavbi

DOVEDENA ENERGIJA za ukrep zamenjave zunanega stavbnega pohištva na celotni stavbi			
	obstoječe stanje	PEP-K1	S4
			scenarij prenove - troslojna zasteklitev
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
toplota iz energijsko učinkovitega daljinskega ogrevanja	127,5	24,6	21,3
potrebna električna energija za ogrevanje	1,2	0,3	0,3
potrebna električna energija za toplo vodo	23,2	23,2	23,2
potrebna električna energija za prezračevanje	0,0	3,9	3,9
potrebna električna energija za razsvetljavo	5,0	5,0	5,0
potrebna električna energija za hlajenje	0,04	0,2	0,2

Iz preglednice 23 lahko razberemo, da ima pri ukrepu zamenjave zunanega stavbnega pohištva veliko vlogo tudi H't – koeficient specifičnih transmisijskih izgub oziroma izgube zaradi prehoda toplote skozi ovoj stavbe. Z izvedbo toplotno izolacijskega fasadnega ovoja smo dosegli 59 % izboljšanje koeficienta, z vgradnjo oken troslojne zasteklitve pa še dodatnih 4,7 % zmanjšanja. Posledično to nakazuje na zmanjšanje letne potrebne toplote za ogrevanje na enoto uporabne površine, ki bi za scenarij prenove znašala 23,5 kWh/(m²a) in tako zagotovila 80,9 % zmanjšanje v primerjavi z obstoječim stanjem. Vezano na zgornjo ugotovitev je tudi v preglednici 24 vidno zmanjšanje dovedene toplote iz energijsko

učinkovitega daljinskega ogrevanja iz 127,5 kWh/(m²a) za obstoječe stanje na 21,3 kWh/(m²a) za scenarij prenove z dodatno zamenjavo zunanega stavbnega pohištva. Na ostale vrednosti dovedene energije sama zamenjava PVC oken s troslojno zasteklitvijo nima vpliva.

5.3 Ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjskih enotah

Ugodno počutje in sposobnost koncentracije za delo v prostoru sta odvisna od vrste dejavnikov, kot so temperatura, osvetljenost, gibanje zraka, hrup... Med naštetimi pa je najpomembnejši od dejavnikov kakovost notranjega zraka. V zraku mora biti zadosten delež kisika, primerna zračna vlaga, nemoteča količina vonjav in tako majhna količina zdravju škodljivih snovi, da naše zdravje ni ogroženo [28].

Vsem nam je poznano naravno prezračevanje, v starejših stavbah preko raznih odprtih, špranj in rež. Kljub netesnosti ovoja pa vseeno prihaja do slabega zraka v prostorih, saj ni možno zagotoviti kontroliranega prezračevanja, v nekaterih prostorih tudi ni dovolj oken ali pa je v prostoru preveliko število ljudi. Prezračevanje z odpiranjem oken je sicer mogoča izbira, vendar pa ima lahko številne pomanjkljivosti [29]:

- zunanji zrak ima ne le prijetne, ampak tudi ekstremne temperature; takrat je zračenje z odpiranjem oken zelo neudobno, celo nezdravo,
- stalno odpiranje in zapiranje oken, da bi zagotovili ustrezno menjavo zraka, zahteva stalno prisotnost in skrb določene osebe, kar je v praksi težko izvedljivo,
- odpiranje oken je povezano z vprašanjem varnosti, vnosa mrčesa in hrupa, ob slabem vremenu pa vetra in padavin,
- z odpiranjem oken ne moremo zagotoviti smeri zračnega toka, kot velewa osnovno pravilo prezračevanja,
- odprta okna povzročajo veliko neudobje za uporabnike, saj jim jemljejo dragoceni čas za odpiranje in zapiranje, povzročajo skrb in ob neugodnih temperaturah slabo vplivajo na zdravje in bivalno ugodje
- zunanji zrak je slabe kakovosti.

Zavedati se je treba, da ima tudi mehanski sistem pomanjkljivosti. Izrednega pomena je, da je sanitarno – tehnično in higiensko brezhiben, se redno čisti in vzdržuje, trend je v krajših cevni razvodih in lokalni izvedbi. Pomembno je, da za vsak način prezračevanja vedno načrtujemo in zagotovimo optimalne volumne svežega zraka.

Istočasno pa se zavedamo, da živimo v dobi pospešenega razvoja novih materialov in sodobnih tehnologij. Če se osredotočimo na stavbe, se na eni strani izboljšujejo fizikalno-kemične lastnosti toplotno izolacijskih materialov in zunanega stavbnega pohištva, na drugi strani pa se z vgradnjo le-teh poveča tudi zrakotesnost stavbe. Ob tem se pojavi potreba po prisilnem prezračevanju, ki ga lahko, prav tako s sodobno tehnologijo, nadgradimo z vračanjem toplote odpadnega zraka, tj. rekuperator. Dejstvo je, da samo z odpiranjem oken ne dosegamo dovolj učinkovitega usmerjenega zraka iz čistih prostorov proti obremenjenim in s tem ne dosežemo stopnje optimalne prezračevnosti vseh prostorov. Zaradi kakovosti

notranjega zraka, ki ga dosežemo z uporabo mehanskega prezračevanja in tudi zahtev iz predpisov, postaja uporaba le-teh vedno pogostejša. Najsodobnejše prezračevalne naprave z rekuperacijo toplote imajo danes že zelo dober toplotni izkoristek.

V Sloveniji nujnost uporabe mehanskega prezračevanja, katerega zračni tok usmerjajo ventilatorji, narekuje tehnični predpis SIST EN 15251:2007 – v 8. členu je zahteva projektiranja prezračevanja skladno s SIST DIN 1946-6, kar pomeni mehansko prezračevanje stavbe. Prisilno oziroma mehansko prezračevanje delimo na centralni prezračevalni sistem in lokalne prezračevalne naprave. Centralni prezračevalni sistem je v novih stanovanjskih stavbah z upoštevanjem predpisane zrakotesnosti postal že standard, kar pri celovitih energijskih prenovljenih stavbah ni še uveljavljen ukrep, je pa nujen in ga je priporočljivo vključiti v PEP stavb. Lokalne prezračevalne naprave z rekuperacijo toplote pa je smiselno vgraditi v manjša stanovanja oziroma prostore, kjer razvod ni možen ali so stroški previsoki.

Ob tem pa je treba poznati tudi pomanjkljivosti, ki se ustvarijo z uporabo lokalne prezračevalne naprave z rekuperacijo toplote (in nenazadnje tudi vseh možnih ukrepov za odstranjevanje le-teh) [29]:

- ne morejo upoštevati osnovnega pravila prezračevanja, ki pravi: svež zrak naj prihaja v bivalne prostore, sobe, od tam naj kot prehodni zrak potuje po hodnikih in stopniščih do servisnih prostorov (kuhinja, kopalnica, WC, utiliti, shramba...), kjer ves zrak v celoti odvedemo iz stavbe,
- rekuperacije odvodov iz sanitarnih prostorov in kuhinj ne moremo urediti (razen pri eni vrsti naprav),
- v nočnem času je problematična hrupnost naprav,
- toplotni izkoristek celotnega sistema in udobnost sta bistveno slabša v primerjavi s centralnim prezračevanjem,
- lokalnih rekuperatorjev potrebujemo vsaj toliko, kot je prostorov v hiši, kar pomeni toliko prebojev skozi fasado, kar lahko vpliva na videz hiše,
- estetsko pa vpliva tudi na izgled notranjosti prostorov.

Na koncu pa velja še opozorilo, da ima pri uporabi lokalnega prezračevalnega sistema z rekuperacijo pomembno vlogo tudi vzdrževanje. Kot smo predhodno že omenili, je izrednega pomena, da je sanitarno – tehnično in higiensko brezhiben in se redno čisti. Naprava ima vgrajene filtre za čiščenje zraka, vzdrževanje in menjava teh filtrov pa je obvezna vsaj dvakrat na leto, v nasprotnem primeru doseganje ustrezne prezračenosti prostorov ni mogoče doseči, kar vpliva na zdravje uporabnikov in udobje bivanja.

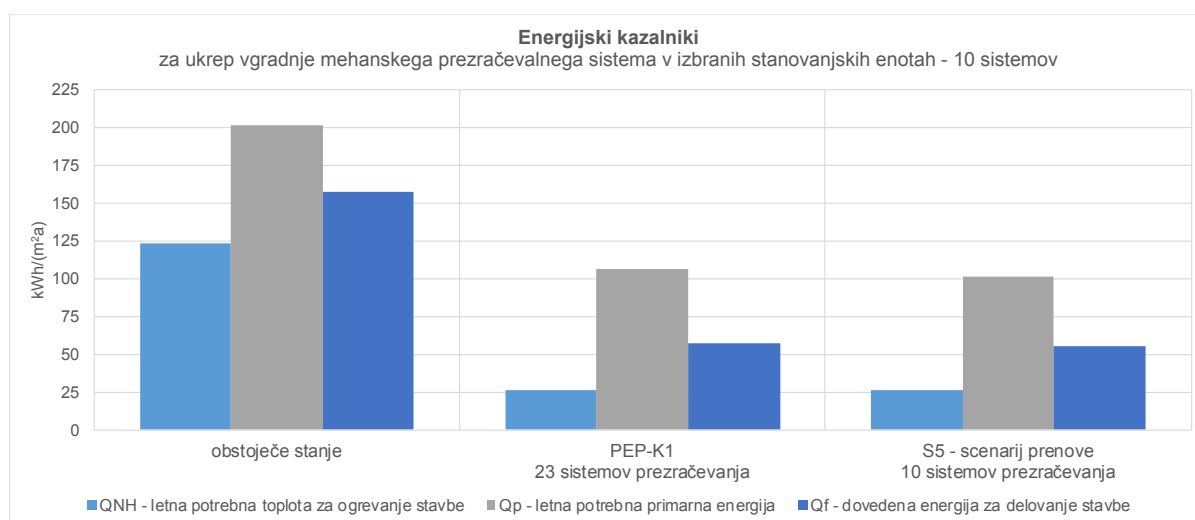
5.3.1 Izbira lokalnega prezračevalnega sistema z rekuperacijo

Na podlagi PEP-K1 bi bilo smiselno izbrati in namestiti centralno prezračevanje, z naprednim načinom upravljanja in uporabo prilagoditev. Vendar pa v našem primeru le-to ni mogoče zaradi prostorske omejenosti znotraj stanovanjskih enot. Rešitev, ki je podana, vključuje vgradnjo lokalnega prezračevalnega sistema z rekuperacijo v vseh dvajset stanovanjskih enot, tj. skupaj 23 sistemov. Ob tem pa smo naleteli na nestrinjanje nekaterih stanovalcev

stavbe. Še vedno namreč obstaja strah pred vplivom sodobne tehnologije na življenje in zdravje ljudi. Mnogi imajo pomisleke zaradi pojava hrupa med samim delovanjem prezračevalnega sistema in s tem strah, da bi le-to vplivalo na bivalno udobje. Zato smo v petem scenariju ukrepa prenove - vgradnja mehanskega prezračevalnega sistema, vključili izvedbo 10 sistemov lokalnega prezračevanja z rekuperacijo v izbranih stanovanjih, kjer so stanovalci prepoznali prednosti lokalnega prezračevanja, ki zajemajo:

- prezračevanje prostorov brez odpiranja oken, prepiha ter nepotrebnih toplotnih izgub,
- zagotovljen svež zrak brez možnosti vstopa žuželk, cvetnega prahu in hrupa iz okolice,
- odvajanje iztrošenega zraka iz prostorov in zmanjševanje nastajanje plesni,
- pospešeno odvajanje zraka v primeru uporabe v kopalnici ali kuhinji,
- na voljo estetsko izoblikovani zunanji in notranji elementi naprave,
- zanemarljivo majhna poraba električne energije in prihranki pri ogrevanju/hlajenju.

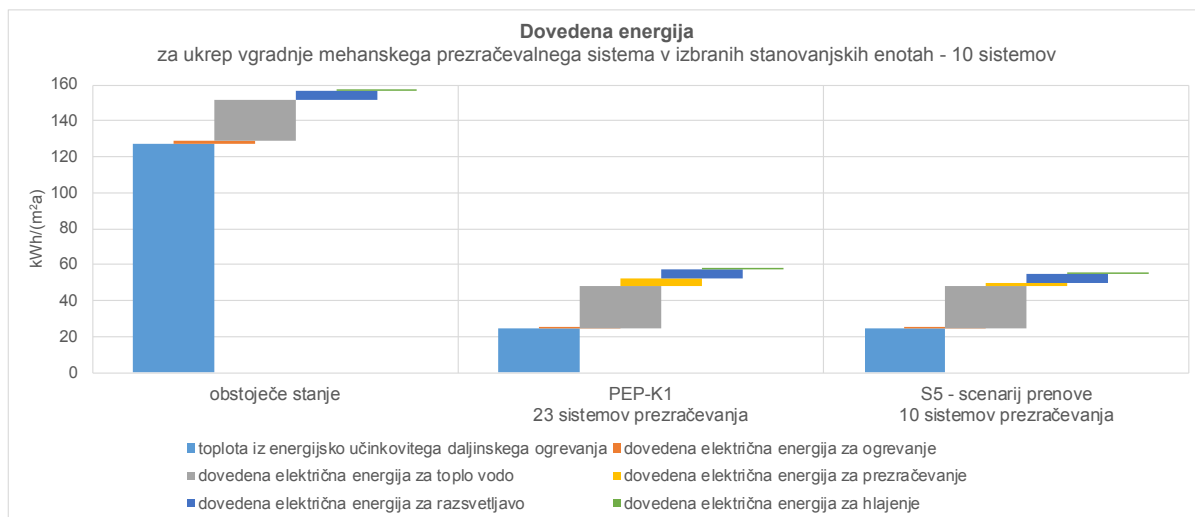
5.3.2 Energijski kazalniki za ukrep izbire lokalnega prezračevalnega sistema z rekuperacijo



Grafikon 7: Energijski kazalniki za ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjskih enotah

Preglednica 25: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjskih enotah

ENERGIJSKI KAZALNIKI za ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjskih enotah - 10 sistemov			
	obstoječe stanje	PEP-K1 - 23 sistemov prezračevanja	S5 scenarij prenove - 10 sistemov prezračevanja
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Q_{NH} - letna potrebna toplota za ogrevanje	123,1	26,6	26,6
izboljšanje	/	78,4 %	78,4 %
pogoj po PURES-2	27,4	27,4	27,4
Q_p - letna potrebna primarna energija	201,2	106,4	100,8
izboljšanje	/	47,1 %	49,9 %
pogoj po PURES-2	180,6	180,6	180,6
Q_f - dovedena energija za delovanje stavbe	157,0	57,0	55,0
izboljšanje	/	63,7 %	65,0 %



Grafikon 8: Dovedena energija za ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjskih enotah

Preglednica 26: Vrednosti dovedene energije za ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjskih enotah

	DOVEDENA ENERGIJA za ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjskih enotah - 10 sistemov		
	obstoječe stanje	PEP-K1 - 23 sistemov prezračevanja	S5 scenarij prenove - 10 sistemov prezračevanja
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)
toplota iz energijsko učinkovitega daljinskega ogrevanja	127,5	24,6	24,6
dovedena električna energija za ogrevanje	1,2	0,3	0,3
dovedena električna energija za toplo vodo	23,2	23,2	23,2
dovedena električna energija za prezračevanje	0,0	3,9	1,7
dovedena električna energija za razsvetljavo	5,0	5,0	5,0
dovedena električna energija za hlajenje	0,04	0,2	0,2

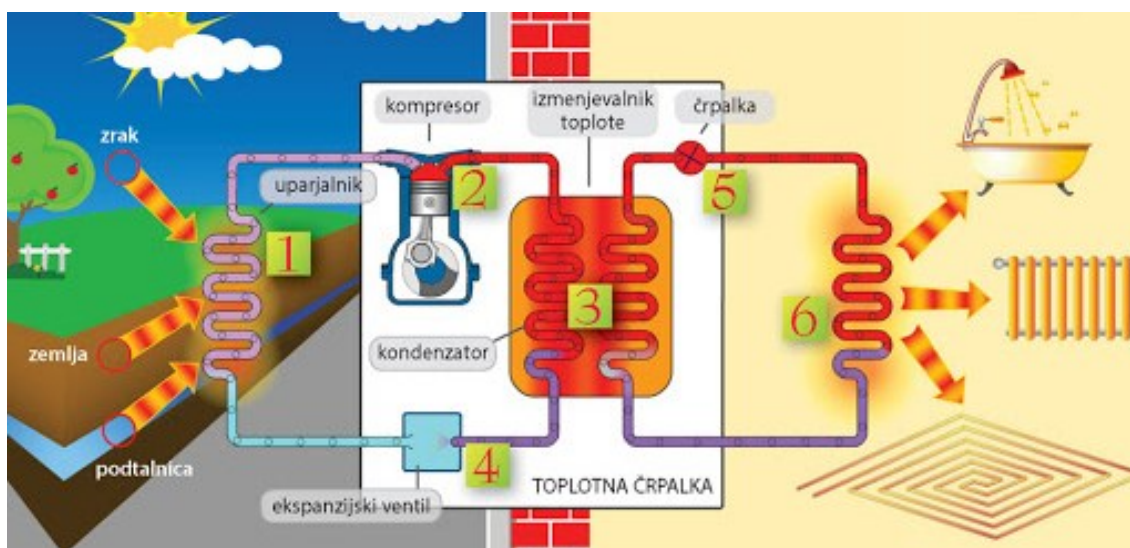
Za delovanje mehanskega prezračevalnega sistema je potrebna električna energija. Za 23 sistemov je potrebno dovesti 3,9 kWh/(m²a) ter za 10 sistemov 1,7 kWh/(m²a) električne energije. Nizka vrednost jasno nakazuje na predhodno trditev, da imajo najsodobnejše prezračevalne naprave zelo dober izkoristek in posledično so razlike v potrebni energiji majhne. Vzporedno se lahko navežemo tudi na znanstveni članek [30] - tabela 5, kjer je bilo skozi raziskavo ugotovljeno, da se rabo energije zmanjša z rekuperatorjem, kljub potrebi po zagotavljanju večje količine svežega zraka. Primerjava z obstoječim stanjem v tem primeru ni izvedljiva, saj imajo stanovanja zgolj naravno prezračevanje. Ob tem pa je treba poudariti, da z odpiranjem oken pri naravnem prezračevanju izgubljamo dragoceno energijo, ki jo moramo nadomestiti z novo dovedeno, kar pa ustvari razliko v obratovalnih stroških, gledano skozi ekonomski vidik.

5.4 Ukrep vgradnje toplotne črpalke

Šesti, sedmi in osmi scenariji so vezani na ukrep vgradnje toplotne črpalke in zajemajo analizo, ki vključuje izdelan PEP-K1 z upoštevanjem zamenjave naslednjih sistemov:

1. zamenjava obstoječega daljinskega ogrevanja s toplotno črpalko za ogrevanje
2. zamenjava obstoječih električnih grelnikov vode (bojler) s toplotno črpalko za toplo sanitarno vodo
3. zamenjava obstoječega daljinskega ogrevanja in električnih grelnikov vode s toplotno črpalko v kombinaciji za ogrevanje in toplo vodo

Toplotne črpalke predstavljajo eno od pomembnejših tehnologij za oskrbo stanovanjskih stavb. Z njihovim delovanjem lahko s souporabo obnovljivih virov energije ali odpadne toplote na energijsko učinkovit in stroškovno atraktiven način pridobivamo koristno toploto za ogrevanje prostorov in pripravo tople sanitarne vode. Tehnologija toplotnih črpalk ni nova, je pa v preteklosti izredno napredovala v učinkovitosti in številu različnih aplikacij za stavbe. S povečanjem energijske učinkovitosti stanovanjskih stavb je postala izredno aktualna tako za novograditelje, kot tudi za lastnike stavb, ki se energijsko celovito prenavljajo [31].



Slika 21: Delovanje toplotne črpalke
(vir: varcno-ogrevanje.si [31])

Toplotne črpalke snovem iz okolice odvezemajo toploto (zunanji zrak, voda, zemlja) na nižjem temperaturnem nivoju ter jo oddajajo v ogrevalni sistem na višjem temperaturnem nivoju. Da je to mogoče, je treba v takšen krožni proces dovesti dodatno pogonsko električno energijo. Toplotna črpalka potrebuje za prenos toplote delovni medij, ki s spremembo svojega agregatnega stanja prenaša toploto iz okolice v poljuben ogrevalni sistem. Kot delovno sredstvo se v toplotnih črpalkah uporabljajo hladiva. Hladiva so snovi, ki se uparijo že pri nižjih temperaturah. Toplotne črpalke, ki so izdelane po letu 1995 uporabljajo kot hladivo R22, R134a in mešanico R404a in R410a, ki pa nimajo škodljivih vplivov na okolje. Omenjena hladiva so namreč zamenjala fluor-klor-ogljikovodik, ki je imel škodljiv vpliv na ozonsko plast in učinek tople grede, zato je od leta 1995 prepovedan za uporabo [31].

Glavna karakteristika toplotne črpalke je grelno število (COP – kratica v angleščini), ki predstavlja razmerje med pridobljeno toploto (za ogrevanje in toplo vodo) in vloženo električno energijo (pogon strojne opreme) [31]. Vrednost grelnega števila je odvisna od vrste toplotne črpalke in od vira okoliške toplote. Sodobne toplotne črpalke dosegajo grelni število med 2,5 in 3,5 kar pomeni, da na en del vložene energije pridobimo 1,5 do 3,0 dele brezplačne toplote [32]. Zaradi majhne porabe električne energije je strošek za proizvedeno toploto izredno nizek in je lahko za polovico nižji od pridobljene toplote iz kurilnih naprav na fosilna goriva.

Glede na vir energije oziroma toplote ločimo tri sisteme toplotnih črpalk: zrak/voda, voda/voda in zemlja/voda. Oznaka zrak/voda pomeni, da toplotna črpalka zajema toploto iz okoliškega zraka in jo prenaša na ogrevani medij, ki je voda. Če imamo sistem toplotne črpalke voda/voda, toplotna črpalka zajema toploto iz podtalnice ali površinske vode in zemlja/voda, kjer toploto zajema iz zemeljskih kolektorjev, geosond.

Ob tem pa je zelo pomembno, da upoštevamo priporočila optimalne lokacije oziroma postavitve zunanje enote toplotne črpalke [33]:

- splošna optimalna lokacija za namestitev toplotne črpalke je tam, kjer ne moti nas ali soseda; potrebno je najti kompromis, da se izognemo nezadovoljstvu in nevšečnostim, predvsem zaradi hrupa,
- delovanje toplotne črpalke povzroča hrup, ki lahko vpliva na bivalno ugodje stanovalcev oziroma sosedov, zato je umestitev predvsem v bližino spalnih prostorov neprimerna,
- najboljša je usmerjenost toplotne črpalke v čimbolj prazen prostor, kjer hrup nima možnosti odboja ali okrepitve,
- lociranje na travnik je še posebej primerna izbira, saj ima trava dober zvočno absorpcijski učinek,
- dovod zraka mora biti prosto dostopen iz vseh smeri,
- odzračevalni prostor ne sme biti usmerjen neposredno na steno, teraso ali območje pešpoti do vhoda, saj je zrak, ki ga toplotna črpalka oddaja hladnejši od temperature okolice; tako se pozimi lahko pojavi tvorba ledu,
- zunanja enota ne sme biti nameščena na lokaciji, kjer bi zaradi vetra ali druge dejavnosti hladen zrak, ki ga toplotna črpalka odvaja med delovanjem izsesavala nazaj; to lahko privede do izgube delovanja ogrevanja,
- lokacija, kjer veter piha iz smeri nasprotne od izpuha, ni primerna.

Nenazadnje, zagotoviti je treba, da je raven hrupa do sosednje stavbe čim manjša. Če je razdalja do soseda zelo majhna, moramo zagotoviti, da hrup zanj ne bo moteč, morebiti s protihrupno ograjo ali zasaditvijo. Optimalno je, da je zunanja enota od soseda oddaljena najmanj 3 m. Kakšna pa je lahko oddaljenost toplotne črpalke od stavbe? Pomembna je razdalja med notranjo in zunanjo enoto sistema toplotne črpalke in okvirno znesi do 10 m, da je delovanje sistema najbolj učinkovito. Idealna možnost pa je vsekakor logična, da imamo notranjo enoto čim bližje lokaciji zunanje enote [33].

5.4.1 Toplotna črpalka za ogrevanje

Toplotna črpalka za ogrevanje nudi najvišjo raven udobja ter zagotavlja prihranek velikega dela stroškov, namenjenih za ogrevanje in je hkrati do okolja prijazna, saj ne uporablja fosilnih goriv in pri proizvodnji toplote proizvede veliko manj emisij toplogrednih plinov od običajnih naprav za ogrevanje. V primeru, ko stavbo ogrevamo s toplotno črpalko opazimo enakomerno in prijetno toploto v prostorih, ne glede na uro in dan, skozi celoten cikel zimskega obdobja oziroma obdobja ogrevanja.

Za ogrevanje stanovanjskih stavb najpogosteje uporabljamo toplotne črpalke, ki izkoriščajo toploto podtalnice in v zemlji akumulirane toplote ali toplotne črpalke, ki izkoriščajo toploto okoliškega zraka. Nazivna toplotna moč toplotnih črpalk za ogrevanje prostorov je odvisna od toplotnih potreb stavbe. Ogrevalni sistemi, v katerih kot vir toplote uporabljamo toplotno črpalko, so nizkotemperaturni sistemi [31]. Večino novejših stavb za distribucijo toplote uporablja talno gretje, kjer je temperatura ogrevalne vode nižja in zato toplotni črpalke ni potrebe po višjih temperaturah od 55 °C. V starejših stavbah, kjer pa še vedno prevladuje radiatorsko ogrevanje, pa so v večini potrebne temperature okoli 60 °C in zato potrebujemo visokotemperaturni model toplotne črpalke. Stavba, ki jo želimo na ta način ogrevati, mora imeti ustrezno toplotno zaščito. Cevovodi in ogrevala pri nizkotemperaturnem ogrevalnem sistemu so večjih dimenzij kot pri klasičnem visokotemperaturnem sistemu, zato pri prenovi starejših stavb prehod iz enega obratovalnega režima v drugega ni vedno mogoč [32].

Obravnavana večstanovanjska stavba je bila načrtovana leta 1963 z lokalnim ogrevanjem na peči, kasneje so izvedli centralni radiatorski sistem z daljinskim ogrevanjem. Po posvetu s strokovnjaki iz slovenskega podjetja, ki razvija in proizvaja najsodobnejše toplotne črpalke Kronoterm, smo izbrali model WPL-90-K1 HTT ogrevalne toplotne črpalke za visokotemperaturno ogrevanje objektov, zalogovnik PSF 1500 v prostornini 1500 L ter vso potrebno dodatno strojno opremo za delovanje sistema (notranja krmilna enota, električno grelo, dodatek za hladivo...). Visokotemperaturna (70 °C), dvokompresorska, reverzibilna (možnost gretja in hlajenja) toplotna črpalka zrak/voda za zunanjo postavitev in izkoriščanjem toplote zraka, s stopenjsko regulacijo moči in vremensko odvisnim prilagajanjem temperature dvižnega voda potrebam stavbe. Izbrano toplotno črpalko odlikuje posebna tehnologija, ki zagotavlja doseganje visokih temperatur dvižnega voda in učinkovito delovanje tudi pri nizkih zunanjih temperaturah. Delovanje toplotne črpalke je monovalentno, kar pomeni, da toplotna črpalka deluje samostojno in pokriva celotne toplotne potrebe stavbe skozi celo ogrevalno sezono. Sodi v energijski razred A++, zagotavlja do 70 % prihranka pri stroških ogrevanja, zmanjšanje emisij CO₂ pa je obljubljeno v vrednosti 60 %. Ogrevala v stanovanjih ostanejo radiatorji, konvektorji 90/70 z elektromotornim pogonom regulatorja, brez ventilatorja in s PI-regulatorjem temperature prostora ter so vgrajeni ob zunanji steni.

5.4.2 Toplotna črpalka za toplo sanitarno vodo

Za pripravo tople sanitarne vode najpogosteje uporabljamo toplotne črpalke zrak/voda, ki izkoriščajo toploto zraka. Take toplotne črpalke so odlična alternativa ogrevanju vode, ki je hkrati ekonomična in do okolja prijazna. Je bistveno ugodnejši in bolj čist način ogrevanja

vode v primerjavi s kurilnim oljem, plinom ali električnim grelnikom, kot v obravnavanem primeru v PEP-K1. Produkt delovanja – topla voda – je v veliki meri brezplačen, saj toplotne črpalke za sanitarno vodo za svoje delovanje potrebujejo manjši delež električne energije le za pogon kompresorja in ventilatorja, večji del pa predstavlja obnovljiva energija iz zraka [34]. Primerna lokacija za postavitev toplotne črpalke je prostor, v katerem je temperatura zraka čim višja. To je lahko klet, shramba, bivalni prostor, lahko pa jo postavimo tudi na prosto. Na ta način lahko ogrevamo sanitarno vodo skozi vse leto, predvsem učinkovita pa je uporaba v poletnih mesecih, ko lahko učinkovito hladimo tudi prostor. Toplota, ki jo pridobivamo s toplotno črpalko, je nizkotemperaturna toplota, ki ustreza zahtevam za pripravo tople sanitarne vode, optimalna temperatura ogrevane vode pa je 45 – 60 °C. Za segrevanje sanitarne vode lahko uporabimo kot vir toplote tudi podtalnico, odpadno toploto, toploto zemlje in akumulirano sončno energijo. Izkoriščanje teh virov pa je največkrat izvedeno za primere v kombinaciji s sistemom za ogrevanje prostorov [32].

Pri toplotni črpalki za pripravo tople sanitarne vode je poleg že prej omenjenih vseh prednosti takih naprav treba nekaj pozornosti nameniti tudi povezavi z uporabnikom tople vode oziroma njegovim zdravjem. V primeru, da je temperatura vode v sistemih med 20 °C in 50 °C, obstaja možnost nastanka aerosola. Posebno nevarni so aerosoli okužene vode, ki nastajajo ob tuširanju oziroma ob uporabi tople sanitarne vode. Govorimo namreč o legioneli, ki se v nenaravnem okolju ob primerni temperaturi in drugih dejavnikih okolja močno namnoži in začne predstavljati nevarnost za zdravje ljudi [35]. Zato je v primeru toplotne črpalke za ogrevanje tople sanitarne vode treba nujno po priporočilih poskrbeti za dezinfekcijo s toploto oziroma za izvedbo toplotnega šoka. Toplotni šok je dezinfekcija s pomočjo toplote v interni vodovodni napeljavi s tako visoko temperaturo vode in toliko časa (kontaktni čas), da legionele ne preživijo, temu sledi spiranje vseh pip z vodo z visoko temperaturo. Temperatura 60 °C je za legionelo baktericidna. Voda s temperaturo 60 °C uniči 90 % legionele v 2 minutah, voda z višjo temperaturo pa še hitreje. Uspešno izveden toplotni šok ima kratkotrajen učinek, zato je poglavitno redno in dosledno izvajanje vseh preventivnih ukrepov [36]. Za primer izbranih Kronoterm toplotnih črpalk lahko na tem mestu dodamo, da imajo že vključen program "pregrevanje - antilegionela", s katerim se voda segreje na 60 °C do 65 °C, da odstrani morebitno bakterijo legionelo. Tovarniško je pregrevanje nastavljeno samodejno na ponavljanje vsakih 14 dni. Za primere, ko toplotna črpalka te možnosti ne vključuje, pa je treba poskrbeti za dodatne grelce, kar pa gledano dolgoročno to pomeni tudi dodaten strošek pri vzdrževanju naprave v času življenjske dobe.

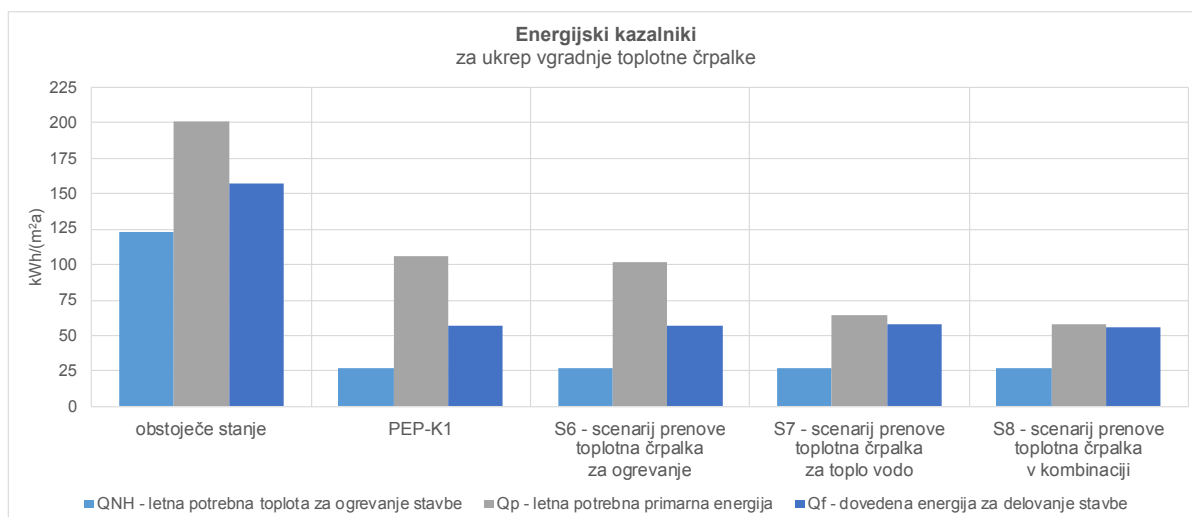
Prav tako smo za primer vgradnje toplotne črpalke za toplo sanitarno vodo za nasvet prosili strokovnjake podjetja Kronoterm. Izbrali smo ADAPT 0724-K3 HT / HK 3F N zunanjo kompaktno enoto zrak/voda monoblok, nazivne grelne moči 15,6 kW ter bojler HRS 900 v prostornini 900 L in vso potrebno dodatno strojno opremo za delovanje sistema (notranja stenska enota, električno grelo...). Pri tem je zelo pomembno poudariti, da ima izbrana toplotna črpalka letno grelno število 5,21 in se s tem uvršča na prvo mesto v Evropi, saj takšne vrednosti ne dosega nobena druga toplotna črpalka zrak/voda. Sodobne toplotne črpalke namreč dosegajo grelno število med 2,5 in 3,5 kar pomeni, da na en del vložene energije pridobimo 1,5 do 3,0 dele brezplačne toplote. To pomeni, da je naša izbira toplotne črpalke z vrednostjo 5,21 izjemno učinkovita, kar pa se bo v nadaljevanju kot zelo pozitivno izkazalo pri vidikih trajnostne gradnje.

5.4.3 Toplotna črpalka v kombinaciji za ogrevanje in toplo sanitarno vodo

Toplotne črpalke zrak/voda v kombinaciji za ogrevanje in pripravo tople sanitarne vode morajo biti usklajene s celotnim ogrevalnim sistemom in virom toplote, da lahko delujejo učinkovito in nam omogočajo velike prihranke in ponujajo energijsko najbolj učinkovit način, ki zagotavlja uporabo obnovljivih virov toplote v naši okolici in ustvarja ugodno bivalno okolje.

Tudi za primer kombinacije toplotne črpalke za ogrevanje in toplo sanitarno vodo smo izbrali Kronotermov model toplotne črpalke zrak/voda WPL-90-K1 HTT, zalogovnik PSF 1500 v prostornini 1500 L, separator nečistoč, boiler HRS 900 z volumnom 900 L ter vso potrebno dodatno strojno opremo za delovanje sistema (notranja krmilna enota, električno grelo, dodatek za hladivo...). Toplotna črpalka sodi v energijski razred A++, zagotavlja do 70 % prihranka pri stroških ogrevanja, zmanjšanje emisij CO₂ pa je navedeno oziroma deklarirano v vrednosti do 60 %.

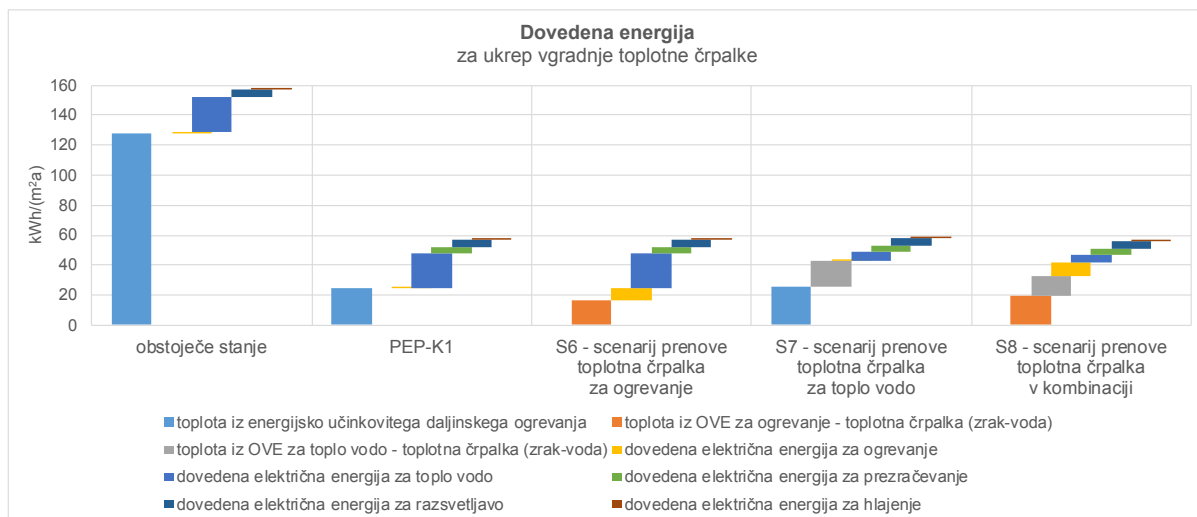
5.4.4 Energijski kazalniki za ukrep vgradnje toplotne črpalke



Grafikon 9: Energijski kazalniki za ukrep vgradnje toplotne črpalke

Preglednica 27: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrep vgradnje toplotne črpalke

	ENERGIJSKI KAZALNIKI za ukrep vgradnje toplotne črpalke				
	obstoječe stanje	PEP-K1	S6	S7	S8
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	scenarij prenove - TČ za ogrevanje kWh/(m²a)	scenarij prenove - TČ za toplo vodo kWh/(m²a)	scenarij prenove - TČ v kombinaciji kWh/(m²a)
Q_{NH} - letna potrebna toplota za ogrevanje	123,1	26,6	26,6	26,6	26,6
izboljšanje	/	78,4 %	78,4 %	78,4 %	78,4 %
pogoj po PURES-2	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4
Q_p - letna potrebna primarna energija	201,2	106,4	101,5	64,1	58,0
izboljšanje	/	47,1 %	49,6 %	68,1 %	71,2 %
pogoj po PURES-2	180,6	180,6	180,6	180,6	180,6
Q_f - dovedena energija za delovanje stavbe	157,0	57,0	57,0	58,0	56,0
izboljšanje	/	63,7 %	63,7 %	63,1 %	64,3 %



Grafikon 10: Dovedena energija za ukrep vgradnje toplotne črpalke

Preglednica 28: Vrednosti dovedene energije za ukrep vgradnje toplotne črpalke

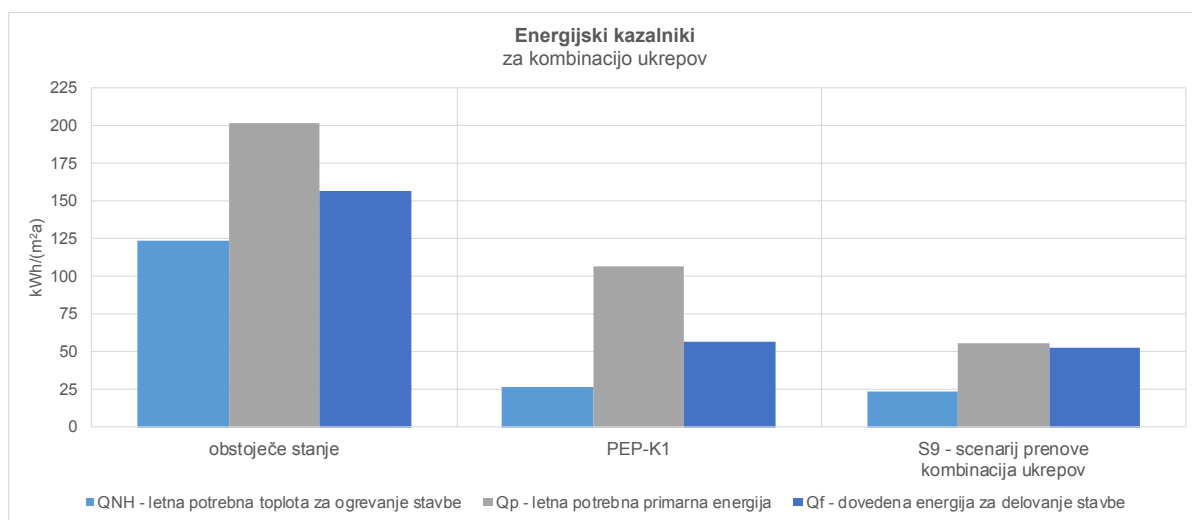
	DOVEDENA ENERGIJA za ukrep vgradnje toplotne črpalke				
	obstoječe stanje	PEP-K1	S6	S7	S8
			scenarij prenove - TČ za ogrevanje	scenarij prenove - TČ za toplo vodo	scenarij prenove - TČ v kombinaciji
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)
toplota iz energijsko učinkovitega daljinskega ogrevanja	127,5	24,6	0,0	25,5	0,0
toplota iz OVE za ogrevanje (toplotna črpalka)	0,0	0,0	16,7	0,0	19,6
toplota iz OVE za toplo vodo (toplotna črpalka)	0,0	0,0	0,0	17,3	13,3
dovedena električna energija za ogrevanje	1,2	0,3	8,2	0,3	9,4
dovedena električna energija za toplo vodo	23,2	23,2	23,2	6,0	4,6
dovedena električna energija za prezračevanje	0,0	3,9	3,9	3,9	3,9
dovedena električna energija za razsvetljavo	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
dovedena električna energija za hlajenje	0,04	0,2	0,2	0,2	0,2

Letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe bi se v primerjavi z obstoječim stanjem zmanjšala za 78,4 % v vseh treh scenarijih vgradnje toplotne črpalke. Le-to pa ni pogojeno z vgradnjo toplotne črpalke, ampak z izvedbo toplotne izolacije ovoja stavbe. Vgradnja toplotne črpalke z uporabo obnovljivih virov energije bi močno vplivala na zmanjšanje letne potrebne primarne energije. Vrednosti dovedene energije smo prikazali v grafikonu 10 oziroma preglednici 28. Vidimo, da energija iz okolja nadomesti velik del dovedene električne energije iz omrežja. Do največjega odstopanja v primerjavi z obstoječim stanjem oziroma PEP-K1 pride za primer vgradnje toplotne črpalke za toplo sanitarno vodo ter toplotne črpalke v kombinaciji, ki nadomesti trenutno vgrajene grelnike vode, ki so veliki porabniki električne energije. Za primer toplotne črpalke za ogrevanje tople sanitarne vode bi to pomenilo zmanjšanje za 74,1 % v primerjavi z uporabo električnih grelnikov vode oziroma bojlerjev.

5.5 Kombinacija ukrepov

Analizirani deveti scenarij je vezan na kombinacijo ukrepov prenove. Izbira ukrepov se navezuje na predhodno opravljene analize oziroma dobljene vrednosti pokazateljev energijske učinkovitosti. Kombinacija ukrepov tako zajema predvidene ukrepe PEP-K1 s toplotno črpalko za ogrevanje in toplo sanitarno vodo, mehansko lokalno prezračevanje z rekuperacijo v vseh dvajsetih stanovanjskih enotah v stavbi ter zamenjavo oken s PVC okni s troslojno zasteklitvijo na celotni stavbi.

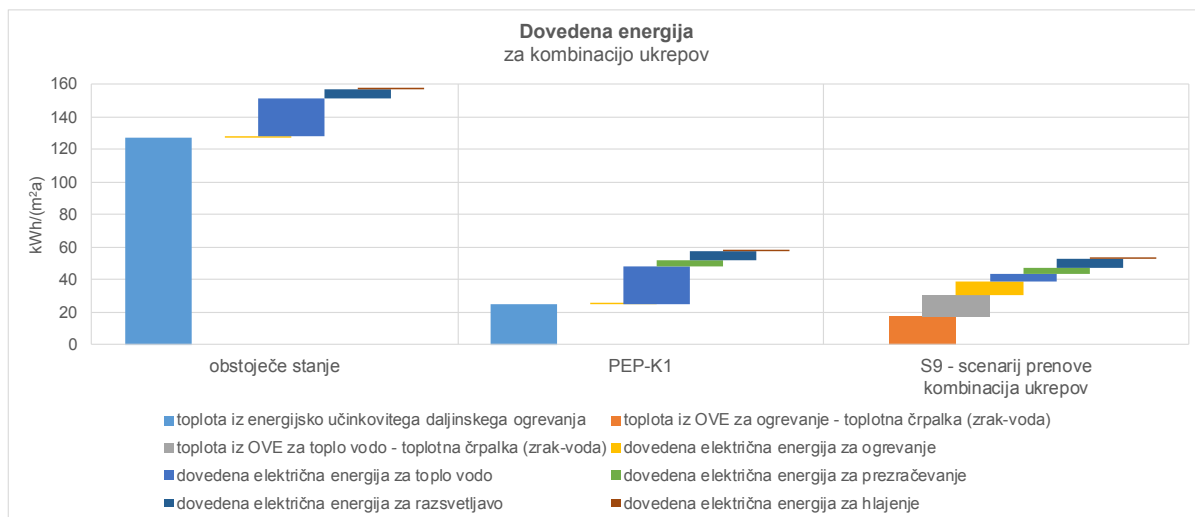
5.5.1 Energijski kazalniki za kombinacijo ukrepov



Grafikon 11: Energijski kazalniki za kombinacijo ukrepov

Preglednica 29: Vrednosti energijskih kazalnikov za kombinacijo ukrepov

ENERGIJSKI KAZALNIKI za kombinacijo ukrepov				
		obstoječe stanje	PEP-K1	S9 scenarij prenove - kombinacija ukrepov
		kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)
Q _{NH} - letna potrebna toplota za ogrevanje		123,1	26,6	23,5
	izboljšanje	/	78,4 %	80,9 %
	pogoj po PURES-2	27,4	27,4	27,4
Q _p - letna potrebna primarna energija		201,2	106,4	55,2
	izboljšanje	/	47,1 %	72,6 %
	pogoj po PURES-2	180,6	180,6	180,6
Q _f - dovedena energija za delovanje stavbe		157,0	57,0	53,0
	izboljšanje	/	63,7 %	66,2 %



Grafikon 12: Dovedena energija za kombinacijo ukrepov

Preglednica 30: Vrednosti dovedene energije za kombinacijo ukrepov

	DOVEDENA ENERGIJA za kombinacijo ukrepov		
	obstoječe stanje	PEP-K1	S9
			scenarij prenove - kombinacija ukrepov
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)
toplota iz energijsko učinkovitega daljinskega ogrevanja	127,5	24,6	0,0
toplota iz OVE za ogrevanje (toplotna črpalka)	0,0	0,0	17,3
toplota iz OVE za toplo vodo (toplotna črpalka)	0,0	0,0	13,3
dovedena električna energija za ogrevanje	1,2	0,3	8,4
dovedena električna energija za toplo vodo	23,2	23,2	4,6
dovedena električna energija za prezračevanje	0,0	3,9	3,9
dovedena električna energija za razsvetljavo	5,0	5,0	5,0
dovedena električna energija za hlajenje	0,04	0,2	0,2

Po celoviti energijski prenovi z upoštevanjem kombinacije izbranih najboljših ukrepov, bi vrednost potrebne toplote za ogrevanje znižali za 80,9 % v primerjavi z obstoječim stanjem oziroma na vrednost 23,5 kWh/(m²a), kar bi stavbo uvrstilo v energetske razred B1. Dosegli bi tudi potrebo 55,2 kWh/(m²a) letne primarne energije za delovanje stavbe, kar pomeni 72,5 % zmanjšanje v primerjavi z obstoječim stanjem. Iz grafikona 12 nam barvna lestvica nazorno prikazuje velik delež dovedene toplote iz OVE za ogrevanje in toplo sanitarno vodo, kar za ekonomski vidik pomeni velike prihranke pri obratovalnih stroških, in za okoljski vidik zmanjšanje emisij CO₂, podrobneje analizirano in predstavljeno v nadaljevanju.

5.6 Ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne na stavbo

Ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne na stavbo je še zadnji izmed analiziranih ukrepov v sklopu scenarijev obravnavanega magistrskega dela. Odločitev za izbiro ukrepa je temeljila na 16. členu PURES-2, kjer je navedeno, da je energijska učinkovitost stavbe dosežena, če je poleg zahtev mejnih vrednosti učinkovite rabe energije, najmanj 25 % celotne končne energije za delovanje sistemov v stavbi zagotovljeno tudi z uporabo obnovljivih virov energije v stavbi [1], v našem primeru sončnega obsevanja.

Vzporedno smo upoštevali tudi Uredbo o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije [37], ki določa ukrep spodbujanja rabe električne energije, pridobljene iz obnovljivih virov energije z napravo za samooskrbo, pogoje za samooskrbo in način obračuna električne energije ter dajatev za odjemalce s samooskrbo.

Zadnja dva scenarija – deseti in enajsti, tako temeljita na dodanem ukrepu namestitve fotovoltaične elektrarne na večstanovanjsko stavbo na predhodno analiziran:

1. izdelani PEP-K1
2. scenarij 9 - kombinacija ukrepov

Fotovoltaika je hitro rastoča tehnologija z zavedanjem, da kot taka lahko veliko pripomore k trajnostni oskrbi z električno energijo in hkrati ne obremenjuje okolja, tj. ne povzroča dodatnih emisij, je tiha in vizualno nemoteča. Fotovoltaika je tehnologija pretvorbe sončne energije neposredno v električno energijo. Proces pretvorbe poteka preko sončnih celic in je čist, zanesljiv in potrebuje le svetlobo kot edini vir energije [38].

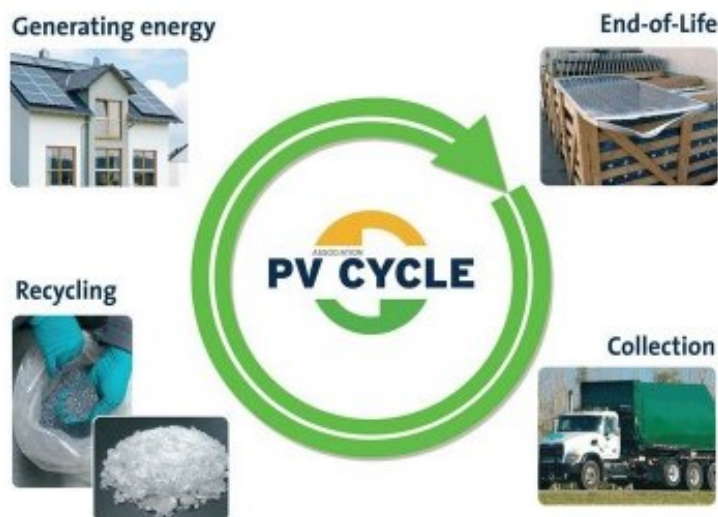
Sončne celice so sestavljene iz polprevodnega materiala, največkrat je to silicij. Kristalni silicij je lahko v dveh različnih oblikah, monokristalni in polikristalni. Najboljše sončne celice iz kristalnega silicija imajo izkoristek okoli 24 %, pri komercialnih pa so izkoristki okoli 15 – 19 % za monokristalni in 14 – 18 % za polikristalni silicij [39]. Za boljše funkcioniranje so celice povezane skupaj v sončne module, moduli pa so skupaj z ostalimi komponentami povezani v sisteme, le-ti so lahko samostojni ali priključeni na električno omrežje [38].



Slika 22: Uporaba fotovoltaične elektrarne na stavbi
(vir: Green Energy Blog [40])

Sončne celice sprejmejo največ sončne energije, če so v splošnem postavljene pod kotom 25° - 45° , saj morajo sončni žarki vpadati pod pravim kotom, da je izkoristek obsevanja najbolj optimalen. Glede na lokacijo Slovenije je najboljša usmerjenost z naklonskim kotom sončnih celic 32° , najugodnejša usmerjenost strehe oziroma sončnih celic pa je proti jugu oziroma jugo-zahodu, saj je pri tej orientaciji izkoristek večji. Orientiranost na vzhod in zahod je okoli 15 % slabša. Vendar pa je treba ob tem opozoriti tudi na vse ovire, npr. visoke stavbe, drevesa, stebre, ki bodo kot senčni elementi zmanjševali proizvodnjo elektrike in učinkovitost samega sistema fotovoltaike.

Pred začetkom predstavitve rezultatov izvedene analize izbranega scenarija se vrnimo nekaj vrstic nazaj. Zapisali smo, da fotovoltaika ne obremenjuje okolja, tj. ne povzroča emisij. Trditev prav gotovo velja za sam čas delovanja fotovoltaike. Glede na kompleksno sestavo fotovoltaičnih sistemov pa se nam postavi vprašanje, kakšen vpliv pa ima sistem na okolje po končani življenjski dobi. Odgovor smo poiskali pri slovenskem podjetju, ki se je pridružilo združenju za reciklažo modulov - PV Cycle. Fotonapetostni moduli vsebujejo materiale, ki jih lahko recikliramo in uporabimo pri proizvodnji novih modulov ali drugih novih izdelkov. Proces reciklaže za monokristalne in polikristalne module je že izpopolnjen do te mere, da je primeren za široko industrijsko rabo. Z recikliranjem pridobimo dragocene materiale kot so steklo, aluminij, kot tudi polprevodniški materiali. Recikliranje poleg zmanjševanja onesnaževanja okolja zaradi zmanjšanja količine odpadnih materialov, prispeva tudi k zmanjšanju porabe električne energije, ki je sicer potrebna pri pridobivanju teh surovin. Z reciklažo odsluženih modulov PV (fotonapetostni oziroma fotovoltaični) industrija zagotavlja trajen razvoj panoge in uporabe fotovoltaike kot vira čiste energije [41].



Slika 23: Postopek reciklaže fotonapetostnih modulov
(vir: Plan-net Solar [41])

5.6.1 Izbira sončnih celic

Za obravnavano večstanovanjsko stavbo smo izbrali fotonapetostni sistem monokristalni silicijev tip celic, ker gre za cenovno dostopno in široko uveljavljeno tehnologijo. Sončne celice smo na ravno nepohodno streho postavili v smeri jug pod kotom 30° iz že podane možnosti izbire v računalniški programski opremi KI Energija 2014. Kmalu smo ugotovili, da bo zaradi vpliva površine osmih dimnikov na strehi in posledično večjega senčenja, razpoložljiva površina za postavitev sončnih celic zelo zmanjšana na okoli 120 m^2 , kar predstavlja oceno površine z rezervo. Zavedati se moramo, da celoten panel ne deluje, če samo na delček pade senca okoliških ovir. Nato smo sončne celice obrnili proti vzhodni strani in s tem povečali razpoložljivo površino na okoli 190 m^2 in pridobili 21.906 kWh/a elektrike iz OVE. V kasnejši primerjavi z orientacijo proti zahodu smo ugotovili, da ima na končni rezultat 21.906 kWh/a velik vpliv sosednja stavba s svojo višino in prav tako

senčenjem. Tako smo na koncu za najboljšo orientacijo izbrali postavitev sončnih celic na streho stavbe v smeri zahod in pridobili 22.897 kWh/a elektrike iz OVE.

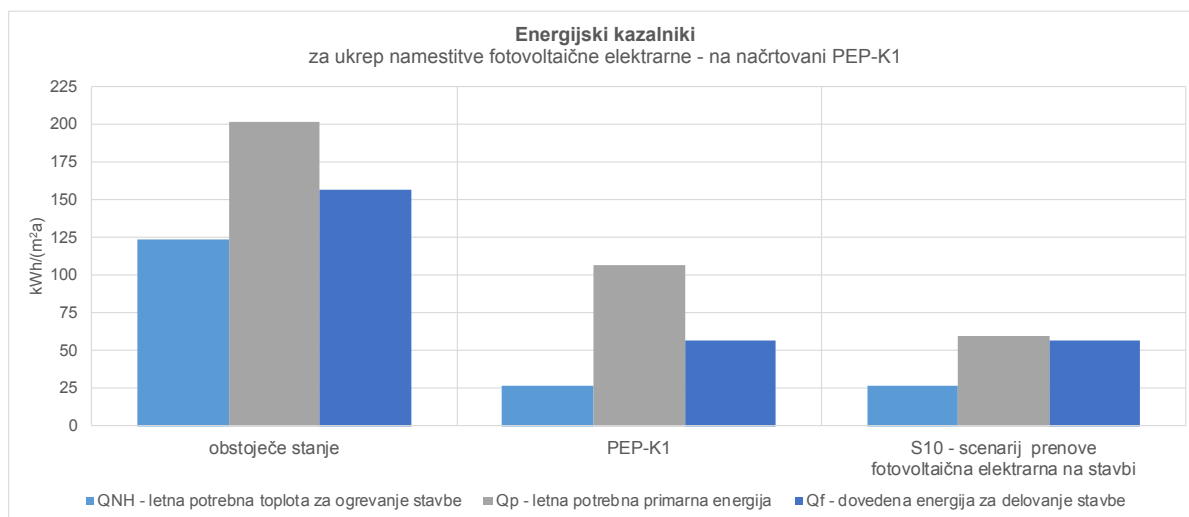
Preglednica 31: Pridobljena elektrika iz OVE – za primer PEP-K1 + namestitev fotovoltaične elektrarne

	PEP-K1 + namestitev fotovoltaične elektrarne		
	smer jug	smer vzhod	smer zahod
	kWh/a	kWh/a	kWh/a
W_{OVE} – elektrika iz OVE v Wf	16.859	21.906	22.897

Na podlagi izbranih 290 W fotonapetostnih modulov izbranega slovenskega proizvajalca bi na površino 190 m² vgradili 117 panelov sončnih celic dimenzij 1649 mm x 991 mm x 35 mm in s tem ustvarili sončno elektrarno na večstanovanjski stavbi s 33,9 kW moči.

5.6.2 Energijski kazalniki pri dodatni fotovoltaični elektrarni na stavbi

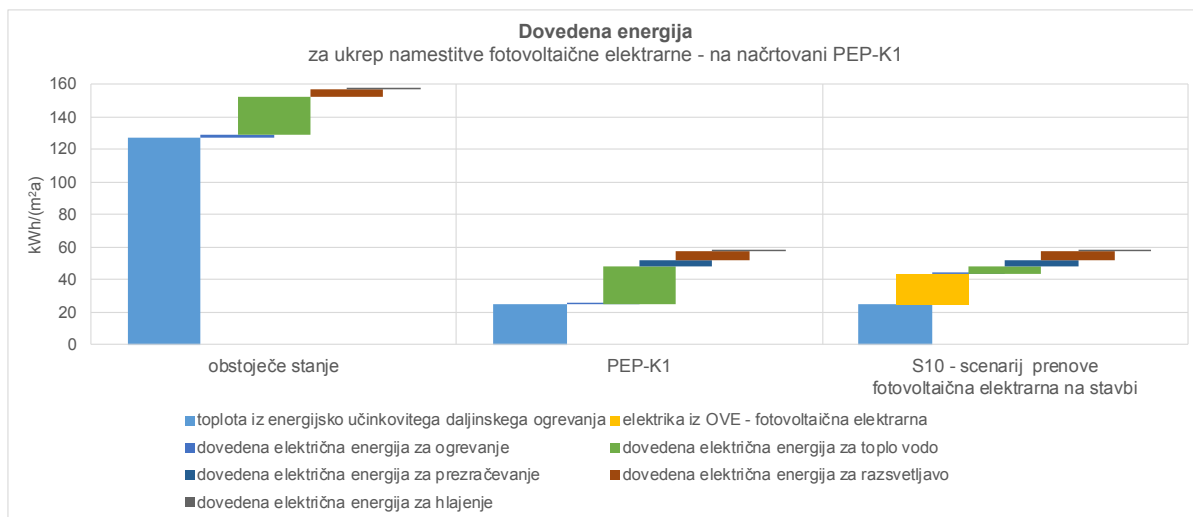
5.6.2.1 Namestitev fotovoltaične elektrarne na stavbo – na načrtovani PEP-K1



Grafikon 13: Energijski kazalniki za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne – na načrtovani PEP-K1

Preglednica 32: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne – na načrtovani PEP-K1

ENERGIJSKI KAZALNIKI za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne - na načrtovani PEP-K1			
	obstoječe stanje	PEP-K1	S10
			scenarij prenove - fotovoltaična elektrarna
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Q_{NH} - letna potrebna toplota za ogrevanje	123,1	26,6	26,6
izboljšanje	/	78,4 %	78,4 %
pogoj po PURES-2	27,4	27,4	27,4
Q_p - letna potrebna primarna energija	201,2	106,4	59,7
izboljšanje	/	47,1 %	70,3 %
pogoj po PURES-2	180,6	180,6	180,6
Q_f - dovedena energija za delovanje stavbe	157,0	57,0	57,0
izboljšanje	/	63,7 %	63,7 %



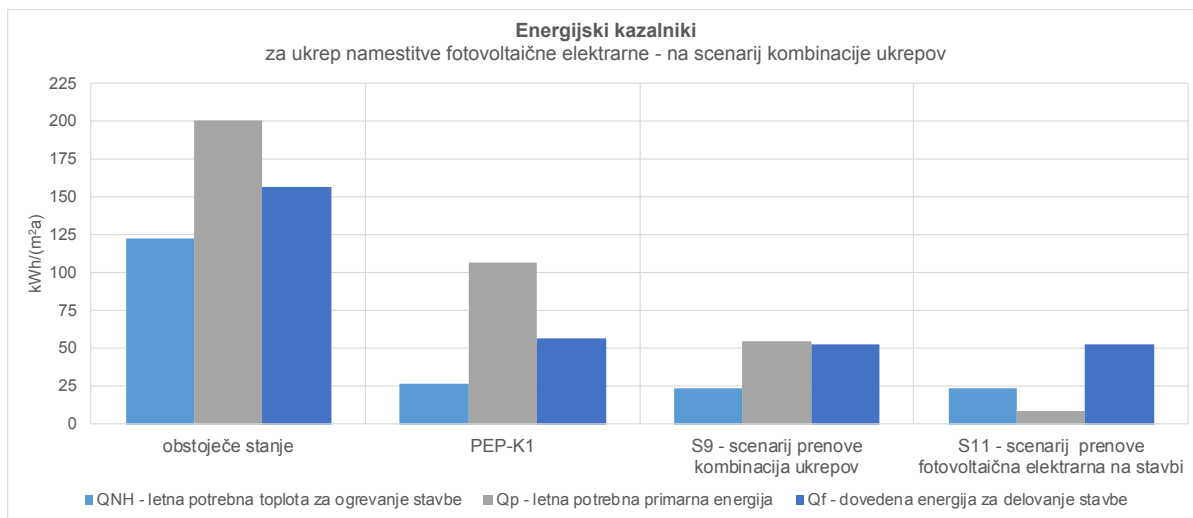
Grafikon 14: Dovedena energija za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne – na načrtovani PEP-K1

Preglednica 33: Vrednosti dovedene energije za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne – na načrtovani PEP-K1

	DOVEDENA ENERGIJA za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne – na načrtovani PEP-K1		
	obstoječe stanje	PEP-K1	S10
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	scenarij prenove - fotovoltaična elektrarna kWh/(m²a)
toplota iz energijsko učinkovitega daljinskega ogrevanja	127,5	24,6	24,6
elektrika iz OVE (fotovoltaična elektrarna)	0,0	0,0	18,7
dovedena električna energija za ogrevanje	1,2	0,3	0,3
dovedena električna energija za toplo vodo	23,2	23,2	4,6
dovedena električna energija za prezračevanje	0,0	3,9	3,9
dovedena električna energija za razsvetljavo	5,0	5,0	5,0
dovedena električna energija za hlajenje	0,04	0,2	0,2

Ko govorimo o zmanjšanju letne potrebne toplote za ogrevanje lahko skladno s predhodnimi ugotovitvami tudi v tem primeru povzamemo, da je zmanjšanje povezano v osnovi s toplotno izolacijo celotnega ovoja stavbe. Z namestitvijo fotovoltaične elektrarne bi pridobili elektriko iz obnovljivega vira sonca, ki bi zadostila zgolj za delno pokritje potrebe za delovanje električnega grelnika za ogrevanje sanitarne vode. Splošno je namreč znano, da so električni grelniki za vodo energijsko zelo potratni. V scenariju S10 se bo tako letna potrebna primarna energija zmanjšala za 43,9 % v primerjavi z načrtovanim PEP-K1 brez uporabe sončnih celic.

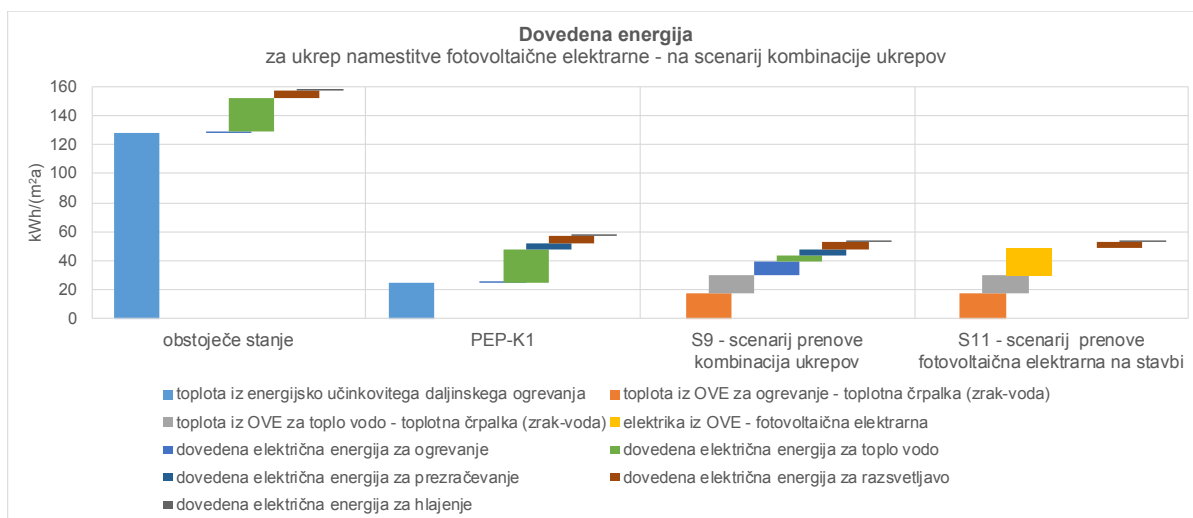
5.6.2.2 Namestitev fotovoltaične elektrarne na stavbo - na scenarij kombinacije ukrepov



Grafikon 15: Energijski kazalniki za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne - na scenarij kombinacije ukrepov

Preglednica 34: Vrednosti energijskih kazalnikov za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne - na scenarij kombinacije ukrepov

ENERGIJSKI KAZALNIKI za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne - na scenarij kombinacije ukrepov					
		obstoječe stanje	PEP-K1	S9 scenarij prenove - kombinacija ukrepov	S11 scenarij prenove - fotovoltaična elektrarna
		kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
Q _{NH} - letna potrebna toplota za ogrevanje		123,1	26,6	23,5	23,5
	izboljšanje	/	78,4 %	80,9 %	80,9 %
	pogoj po PURES-2	27,4	27,4	27,4	27,4
Q _p - letna potrebna primarna energija		201,2	106,4	55,2	8,5
	izboljšanje	/	47,1 %	72,6 %	95,8 %
	pogoj po PURES-2	180,6	180,6	180,6	180,6
Q _f - dovedena energija za delovanje stavbe		157,0	57,0	53,0	53,0
	izboljšanje	/	63,7 %	66,2 %	66,2 %



Grafikon 16: Dovedena energija za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne - na scenarij kombinacije ukrepov

Preglednica 35: Vrednosti dovedene energije za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne - na scenarij kombinacije ukrepov

	DOVEDENA ENERGIJA za ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne - na scenarij kombinacije ukrepov			
	obstoječe stanje	PEP-K1	S9	S11
			scenarij prenove - kombinacija ukrepov	scenarij prenove - fotovoltaična elektrarna
			kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)
toplota iz energijsko učinkovitega daljinskega ogrevanja	127,5	24,6	0,0	0,0
toplota iz OVE za ogrevanje (toplotna črpalka)	0,0	0,0	17,3	17,3
toplota iz OVE za toplo vodo (toplotna črpalka)	0,0	0,0	13,3	13,3
elektrika iz OVE (fotovoltaična elektrarna)	0,0	0,0	0,0	18,7
dovedena električna energija za ogrevanje	1,2	0,3	8,4	0,0
dovedena električna energija za toplo vodo	23,2	23,2	4,6	0,0
dovedena električna energija za prezračevanje	0,0	3,9	3,9	0,0
dovedena električna energija za razsvetljavo	5,0	5,0	5,0	3,2
dovedena električna energija za hlajenje	0,04	0,2	0,2	0,2

Cilj izbranega scenarija je bila izbira take kombinacije ukrepov, ki bodo izboljšali delovanje stavbe do te mere, da bi stavba izpolnjevala zahteve skoraj nič-energijske stavbe. To pomeni visoka energijska učinkovitost, minimalna potrebna količina energije za delovanje ter visok delež obnovljive energije. S primerom vgradnje fotovoltaične elektrarne v primeru kombinacije ukrepov bi tako dosegli 84,6 % zmanjšanje letne potrebne primarne energije v primerjavi z izbranim scenarijem prenove brez sončnih celic. V primerjavi z obstoječim stanjem pa bi to pomenilo kar 96 % zmanjšanje. Tako bi lahko s sončno energijo privarčevali velike količine elektrike iz omrežja, v kombinaciji s toplotno črpalko pa še bistveno več. Le-to bi imelo velik vpliv tako na ekonomični kot tudi okoljski vidik trajnostne gradnje, ki s teoretično podlago in izvedenimi analizami po izbrani metodi sledi v naslednjem poglavju.

Ob zaključku obravnavanega pod-poglavja pa bi se na tem mestu dotaknili še dodatnega scenarija, tj. vgradnje sprejemnikov sončne energije oziroma SSE. Sprejemniki sončne energije, poimenovani tudi sončni kolektorji, so preprost in učinkovit način izrabe obnovljivega vira energije – sonca. S sprejemniki lahko tako v sončnih dneh poskrbimo za zadostitev vseh potreb po topli sanitarni vodi v stavbi oziroma stanovanju. Možnosti v sklopu magistrskega dela nismo preučili, bi pa bilo vsekakor zanimivo v prihodnje izvesti tudi analizo na tem področju in narediti primerjavo ključnih parametrov.

6 TRAJNOSTNA GRADNJA

Ni naključje, da trajnostni gradnji v zadnjem času posvečamo tako veliko pozornosti. S stavbami je povezano 40 % rabe končne energije, najmanj 35 % izpustov CO₂ in znatna količina odpada, ki nastaja med gradnjo in uporabo stavbe [42].

Za trajnostne stavbe velja, da v času načrtovanja, gradnje, obratovanja in odstranitve sledijo načelu skrbnega ravnanja z okoljem in ohranjanja naravnih virov ter da je njihova gradnja in uporaba ekonomična. Trajnostne stavbe morajo biti prijazne do uporabnika in njegovega zdravja, izpolnjevati pričakovanja glede funkcionalnosti in prispevati k ohranjanju družbenih in kulturnih vrednot [43]. Trajnostno gradnjo lahko presojamo le na podlagi celovitih okoljskih, ekonomskih in družbenih meril. Zavedamo se, da bodo stavbe v bližnji prihodnosti skoraj nič-energijske in da bomo njihove energijske potrebe zadovoljevali pretežno z obnovljivimi viri, vendar pa bo v prihodnje velik poudarek tudi na celovitem razumevanju okoljskih vplivov stavbe, na celoviti ekonomičnosti projekta, na funkcionalnosti, zdravstveni neoporečnosti, kakovostnih bivalnih pogojih in na sožitju stavbe z družbenim okoljem ter kulturnimi vrednotami. Vse te lastnosti so značilne za »trajnostne stavbe« in predstavljajo temelj prihodnje »nizkoogljične družbe« in zelenega gospodarstva [42].

Celostna in dolgoročna obravnava stavb ter upoštevanje vplivov na okolje in družbo imajo že sedaj veliko vlogo, v prihodnje pa bo to še bolj poudarjeno oziroma obvezno. Grajeno okolje se s tehničnega vidika ne obravnava samo v času obstoja. Pri obravnavani trajnostni gradnji je zelo pomembno, da vzamemo v obravnavo celoten življenjski cikel, ki obsega pridobivanje surovin za gradnjo, transport, predelavo materialov, sam proces gradnje ter obstoja in nenazadnje delovanje obsega tudi delovanje stavbe do faze, ko je stavbo potrebno odstraniti in če je možno tudi reciklirati ter znova uporabiti izbrane materiale.

Ob tem se moramo zavedati, da ne gre za najugodnejšo rešitev gledano samo skozi ekonomičnost. Gre za rešitev, kjer nadzorujemo vse življenjske stroške stavbe in vzporedno v čim manjši meri obremenjujemo okolje in zdravje, le-to pa je povezano z izbiro materialov in s samim delovanjem stavbe med uporabo. Res je, da sta v današnjem času v ospredju predvsem ekonomski in okoljski vidik, vendar pa je bistvo koncepta trajnostne gradnje uravnoveščenost vseh vidikov – okoljskega, ekonomskega, družbenega in tudi zdravstvenega. Doc. dr. Mitja Košir, profesor na ljubljanski Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo poudarja, da sta v zadnjih desetletjih zaradi naraščajočih cen energentov in zavedanja, da ima raba fosilnih goriv izrazito negativen vpliv na okolje, v ospredju predvsem želja in potreba po zmanjševanju porabe energije za delovanje stavb. V delu Dovjak in Kukec (2019) je izpostavljeno, da pri načrtovanju stavb pogosto ekonomski vidik prevladuje, zanemarjata pa se socialni in predvsem zdravstveni vidik oziroma klonita pod težo ekonomskih interesov. To ima številne negativne posledice na zdravje in storilnost uporabnikov. Udobno in zdravo notranje okolje v stavbah bi moralo biti enako pomembno kot zmanjševanje porabe energije, vendar je velikokrat prav nasprotno, saj kakovost notranjega okolja prevečkrat postane stranska škoda nepremišljenega varčevanja pri porabi energije [44]. Zavedati se je treba, da ljudje v razvitem svetu od 80 do 90 % svojega življenja preživimo v zaprtih prostorih, od tega večino v stavbah, zato je nezdravo bivalno okolje previsoka cena za zmanjševanje porabe energije.

V svetu je trenutno preko 250 različnih metod trajnostnega načrtovanja. V splošnem lahko povzamemo, da trajnostna gradnja zajema sledeče vidike: okoljski, ekonomski ter zdravstveni in socialni vidik, ki se pogosto združita v poimenovanje družbeni vidik. Ob tem je treba dodati, da vidiki na zakonski ravni še vedno niso zakonsko definirani ali terminološko dorečeni, zato so v praksi dopuščene prilagoditve.

V našem primeru se bomo tako osredotočili na pomembnejše kazalnike trajnostne gradnje, povzete po metodi DGNB (nemškega inštituta za trajnostno gradnjo) [42]:

- okoljski kazalniki – predstavljajo indikatorje obremenitev okolja po metodi LCA analize, kot na primer izpusti toplogrednih plinov (CO_2eq), kateri vplivajo na globalno segrevanje ozračja, sproščanje žvepovega dioksida (SO_2) in dušikovih oksidov (NO_x), izčrpavanje naravnih virov (npr. zalog pitne vode, naravnih habitatov), uporaba certificiranega lesa, raba primarne energije iz neobnovljivih virov ter iz obnovljivih virov tako za izdelavo gradbenega proizvoda kot za ogrevanje ali hlajenje, kot tudi indikatorji ravnanja z odpadki;
- ekonomski kazalniki – predstavljajo stroške življenjskega cikla stavbe (LCC) izraženi z neto sedanjo vrednostjo in po potrebi tudi z drugimi ekonomskimi kazalniki, stabilnost vrednosti stavbe;
- družbeni in funkcionalni kazalniki – predstavljajo merila, kot npr. dostopnost do stavbe brez funkcionalnih ovir, raven toplotnega, zvočnega, vidnega ugodja, funkcionalnost stavbe glede na predvideno rabo, prilagodljivost zasnove pri drugačni namembnosti, dostopnost z javnim prometom in/ali kolesom;
- tehnični, procesni in indikatorji lokacije – predstavljajo kazalnike tehnične kakovosti toplotne zaščite, zrakotesnost, raven kakovosti priprave projekta, obseg in podrobnost analiz, opravljene meritve, kakovost procesa graditve, sistematično kontrolo kakovosti stavbe in spremljanje doseženih performanc v fazi uporabe.

Pri oblikovanju kriterijev za trajnostno gradnjo v stavbnem sektorju vplivajo tako težnje po objektivnih, znanstveno utemeljenih, performančnih merilih, kot tudi težnje po praktičnih, transparentnih, enostavnih in razumljivih merilih, ki spodbujajo gospodarstvo k obvladljivemu napredku v praksi. V svetu poznamo preko 250 metod, s katerimi ocenjujemo, kako trajnostna ali le kako »zelena« je stavba. Graditeljstvo pa potrebuje enostavne, uporabniku prijazne metode, sicer jih gradbena praksa ne bo uporabljala. V tem smislu so kvantitativne metode (temeljijo na LCA inventarju materialnih in energijskih tokov in/ali oceni njihovih vplivov na okolje; uporaba teh metod pa zahteva izčrpne nacionalne podatkovne baze o surovinah in energentih...) bolj teoretičnega in znanstvenega pomena, medtem ko imajo kvalitativne metode (primerjajo kazalnike obravnavane stavbe z referenčnimi, točkujejo predvsem okoljske vplive stavbe, novejšje metode pokrivajo tudi ekonomske in družbene vplive in na koncu te vplive uravnotežijo za končno oceno) večjo uporabno vrednost in se uveljavljajo tudi v praksi [43].

Za ocenjevanje trajnostnih kazalnikov izbrane večstanovanjske stavbe smo za usmeritev pri izvedbi uporabili razvito metodo avtorjev doc. dr. Mateje Dovjak in prof. dr. Aleša Krainerja za načrtovanje trajnostnih konceptov stavb. Ocenjevanje trajnostnih kazalnikov po izbrani metodi sledi osnovnim načelom inženirskega načrtovanja in poteka v štirih korakih [45]:

1. analiza dejanskega stanja stavbe
2. definiranje trajnostnih kazalnikov
3. definiranje trajnostnih ciljev
4. analiza in končna ocena

6.1 Analiza dejanskega stanja stavbe – korak 1

V sodelovanju z Gradbenim inštitutom ZRMK in zunanjimi strokovnjaki smo za obravnavano večstanovanjsko stavbo na Kumanovski ulici 1 pridobili vso razpoložljivo dokumentacijo in podatke za analizo. Le-ti so v magistrskem delu predhodno že predstavljeni v sklopu četrtega poglavja in obsegajo lastnosti vseh vgrajenih konstrukcijskih sistemov, podatke o zunanjem stavbnem pohištvi ter vseh vgrajenih in aktivnih sistemih oziroma inštalacijah. Vzporedno je predhodno predstavljen tudi izdelan PEP-K1, ter v sklopu petega poglavja tudi vseh 11 analiziranih opcijskih scenarijev za izboljšanje energijskih lastnosti stavbe, skupaj z dobljenimi energijskimi kazalniki po izvedeni gradbeni fiziki v računalniški programski opremi KI Energija 2014.

6.2 Definiranje trajnostnih kazalnikov – korak 2

Definiranje trajnostnih kazalnikov – določitev kriterijev, izbira parametrov analize, izbira programske opreme za oceno in pregled ustreznih mejnih vrednosti iz standardov, predpisov in priporočil, je ključnega pomena za dobro končno oceno trajnostne gradnje.

Preglednica 36: Definiranje trajnostnih kazalnikov

DEFINIRANJE TRAJNOSTNIH KAZALNIKOV					
kazalnik	analiza	kriterij	izbrani parameter	orodje za oceno	mejne vrednosti
okoljski	analiza energijske učinkovitosti stavbe	energijska učinkovitost stavbe	Q_{NH} – letna potrebna toplota za ogrevanje Q_p – letna potrebna primarna energija Q_t – dovedena energija za delovanje stavb OVE – obnovljiva energija porabljena na stavbi	računalniško programsko orodje KI Energija 2014	PURES-2, TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije
	analiza vpliva delovanja celotne stavbe na okolje	vpliv delovanja celotne stavbe	emisije CO ₂	računalniško programsko orodje KI Energija 2014	PURES-2, TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije
	analiza vpliva izbranih gradbenih proizvodov na okolje	vpliv gradbenih proizvodov	izbrani parameter GWP – potencial globalnega segrevanja za izbrane toplotno izolacijske materiale	LCA analiza	okoljske izjave izdelkov EPD – Standard ISO 14025
ekonomski	analiza stroškovno učinkovite in stroškovno optimalne energijske prenove	energijska učinkovitost stavbe	stroški porabe energije za delovanje aktivnih sistemov z vzporedno povezavo stroškovno učinkovite in stroškovno optimalne energijske prenove	LCC analiza	primerjava, standardi in priporočila
tehnični in procesni	analiza zrakotesnosti	dejansko stanje zrakotesnosti dveh izbranih stanovanj	število izmenjav zraka na uro pri upoštevanju tlačni razliki 50 Pa	Blower Door test	PURES-2, TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije
družbeni in funkcionalni	/	v sklopu obravnavanega magistrskega dela se predlaga izvedba analize vpliva scenarijev na kazalce kakovosti notranjega okolja: toplotno, zvočno, svetlobno okolje, kakovost zraka, ergonomija, univerzalno načrtovanje			

6.3 Definiranje trajnostnih ciljev – korak 3

Definiranje trajnostnih ciljev nam omogoča sistematičen pregled celotnega nabora kazalnikov s poudarkom, da morajo biti cilji merljivi in hkrati zadoščati vsem predpisom, standardom in priporočilom.

Preglednica 37: Definiranje trajnostnih ciljev

DEFINIRANJE TRAJNOSTNIH CILJEV		
kazalnik	analiza	cilji in vir zakonskih zahtev oziroma priporočil
okoljski	analiza energijske učinkovitosti stavbe	- izpolnitev zahtev po Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES-2) - izpolnitev pogojev Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije - izpolnitev pogojev po AN sNES do 2020 za Q_p – letna potrebna primarna energija - $RER > 50\%$... doseg minimalnega deleža OVE po AN sNES (op. RER (angl. Renewable Energy Ratio) ... delež obnovljivih virov glede na skupno dovedeno energijo)
	analiza vpliva delovanja celotne stavbe na okolje	- količina emisij CO_2 v delovanju celotne stavbe
	analiza vpliva izbranih gradbenih proizvodov na okolje	- količina emisij CO_2 v življenjskem ciklu gradbenega proizvoda
ekonomski	analiza stroškovno učinkovite in stroškovno optimalne energijske prenove	- izpolnjevanje zahtev javnega poziva Eko sklada za pridobitev nepovratne finančne spodbude - doseganje stroškovno učinkovitega ukrepa, gledano skozi energijsko – ekonomskega stališča → izvedba ukrepa oziroma množice ukrepov, zaradi katerih bo raba primarne energije manjša; vse navedeno z namenom, da bo delovanje stavbe cenejše v celotni življenjski dobi izvedenih ukrepov - neto sedanja vrednost (NPV) stroškov v življenjski dobi - vračilna doba v letih
tehnični in procesni	analiza zrakotesnosti	- preverjanje pogojev po Tehnični smernici TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije: (1) zrakotesnost stavbe ali njenega dela brez mehanskega prezračevanja, merjena po standardu SIST EN 13829, ne sme presegati treh (3) izmenjav zraka na uro (pri tlačni razliki 50 Pa) (2) v stavbah z vgrajenim sistemom mehanskega prezračevanja z več kot 0,7-kratno izmenjavo zraka, računano z V_e, zrakotesnost ne sme presegati dve (2) izmenjavi zraka na uro (pri tlačni razliki 50 Pa)
družbeni in funkcionalni	/	v sklopu obravnavanega magistrskega dela se predlaga izvedba analize vpliva scenarijev na kazalce kakovosti notranjega okolja: toplotno, zvočno, svetlobno okolje, kakovost zraka, ergonomija, univerzalno načrtovanje

6.4 Analiza in končna ocena – korak 4

6.4.1 Okoljski kazalnik

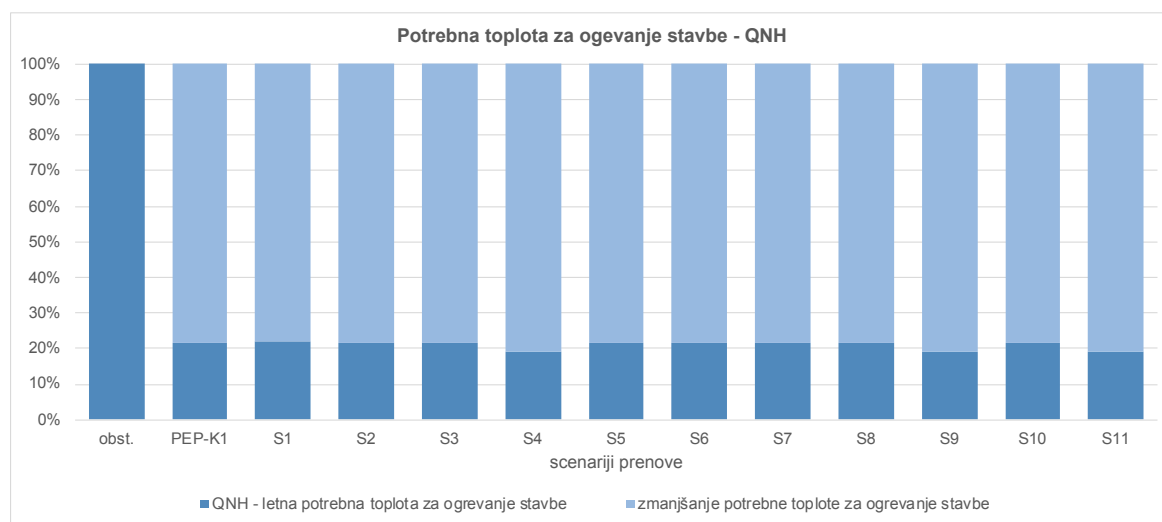
6.4.1.1 Analiza energijske učinkovitosti stavbe

Za vse predhodno predstavljene in skozi gradbeno fiziko analizirane ukrepe oziroma scenarije smo v sklopu grafikonov in preglednic naredili primerjavo z obstoječim stanjem, v teoretično podlago pa smo vključili še dodatne, smiselne primerjave glede na izbran ukrep. Prav tako smo upoštevali vse mejne vrednosti, podane v Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES-2) ter Akcijskem načrtu za skoraj nič-energijske stavbe do 2020 (AN sNES).

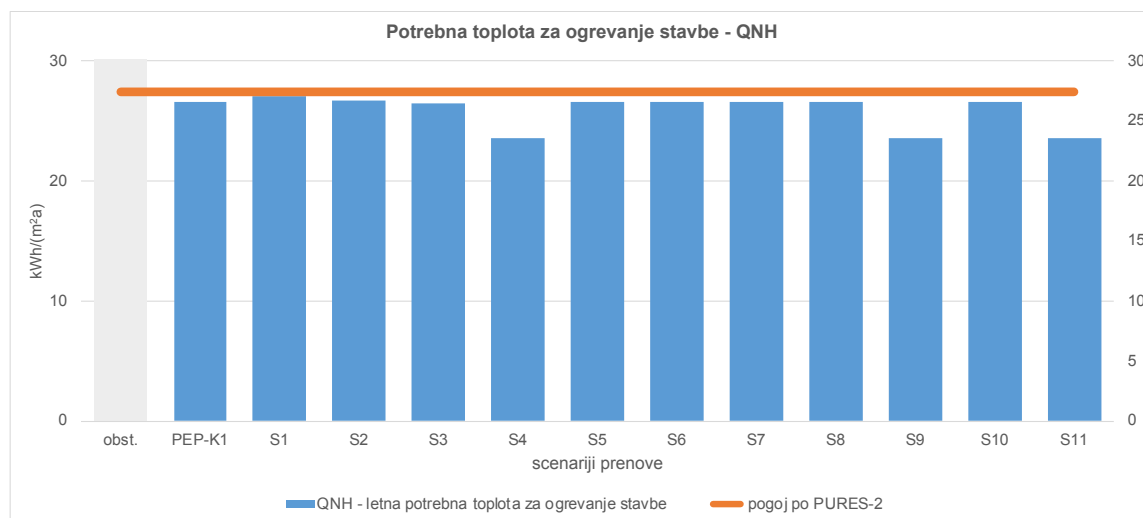
6.4.1.1.1 Potrebna toplota za ogrevanje stavbe - Q_{NH}

»Letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe«, je potreba po toploti, ki jo je treba v enem letu dovesti v stavbo za doseganje projektnih notranjih temperatur v obdobju ogrevanja - določena po standardu SIST EN ISO 13790 (Q_{NH} , (kWh)), podano v PURES-2 [1].

Največja dovoljena letna potrebna toplota za ogrevanje izbrane večstanovanjske stavbe na enoto uporabne površine, izračunana po podani formuli iz PURES-2, znaša 27,4 kWh/(m²a). Iz grafikona 18 je razvidno, da se večina izbranih ukrepov sicer približa mejni vrednosti, vendar je noben izmed njih ne preseže. Največ odstopanja tako pride le pri scenarijih 4, 9 in 11, saj z vgrajenimi okni s troslojno zasteklitvijo dosežemo še dodatno zmanjšanje transmisijskih izgub oziroma izgub zaradi prehoda toplote skozi ovoj stavbe, kar prispeva k manjši potrebi toplote za ogrevanje.



Grafikon 17: Potrebna toplota za ogrevanje stavbe - Q_{NH}



Grafikon 18: Potrebna toplota za ogrevanje stavbe - Q_{NH} , pogoj po PURES-2

Preglednica 38: Vrednosti potrebne toplote za ogrevanje stavbe - Q_{NH}

	POTREBNA TOPLOTA ZA OGREVANJE STAVBE - Q _{NH}												
	obst.	PEP-K1	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
	kWh/(m²a)												
Q _{NH} - letna potrebna toplota za ogrevanje	123,1	26,6	27,1	26,7	26,5	23,5	26,6	26,6	26,6	26,6	23,5	26,6	23,5
razlika v %	0 %	78,4%	78,0%	78,3%	78,4%	80,9%	78,4%	78,4%	78,4%	78,4%	80,9%	78,4%	80,9%
pogoj po PURES-2	27,4 kWh/(m²a)												

Za obstoječe stanje znaša letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto uporabne površine $123,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, kar stavbo uvršča v energetske razred E ter za 349 % presega pogoj določen po PURES-2, ki znaša $27,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Z načrtovano PEP-K1 se bo letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto uporabne površine znižala na $26,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, kar bo stavbo uvrstilo v energetske razred B2 ter v celoti zadostilo pogojem po pravilniku PURES-2.

PEP-K1 + ukrep izbire različnih vrst TI materiala za fasadni ovoj, S1 – S3

Neglede na vrsto izbranega toplotno izolacijskega materiala se nam bi potreba po letni potrebni toploti za ogrevanje stavbe na enoto uporabne površine po prenovi zmanjšala za 78 % v primerjavi z obstoječim stanjem, z odstopanji zgolj v decimalkah. Znašala bi med $26,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ in $27,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, kar bi stavbo uvrščalo v energetske razred B2 in vzporedno zadostilo pogojem PURES-2, tj. $27,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Tako nam dobljene vrednosti kažejo, da izbira različnega toplotno izolacijskega materiala nima bistvenega vpliva na končni rezultat energijskih kazalnikov, trditev pa velja ob predpostavki, da so bile za analizo izbrane najmanjše mogoče uporabljene debeline materiala v kombinaciji upoštevanja zahtev Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije in pogojev Eko sklada po javnem pozivu 64SUB-OBPO19.

PEP-K1 + ukrep zamenjave zunanega stavbnega pohištva na celotni stavbi, S4

Znotraj PEP-K1 smo z ukrepom toplotne izolacije fasadnega ovoja stavbe dosegli 59 % izboljšanje koeficienta specifičnih transmisij iz izgub H_T oziroma izgub zaradi prehoda toplote skozi ovoj stavbe. Z dodatnim ukrepom zamenjave zunanega stavbnega pohištva bi lahko dosegli še dodatno 4,7 % zmanjšanje transmisij iz izgub. To pomeni, da se s troslojno zasteklitvijo zmanjša faktor g oziroma energijska prehodnost stekla, tj. da okna ne prepuščajo enake količine sončnega sevanja kot že obstoječe okno z dvoslojno zasteklitvijo. Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto uporabne površine bi tako znašala $23,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ in bi zagotovila 80,9 % zmanjšanje potrebe toplote za ogrevanje od obstoječega stanja oziroma še dodatno 2,5 % zmanjšanje v primerjavi z načrtovanim oziroma izdelanim PEP-K1. Vzporedno bi ukrep s $23,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ zadostil pogojem PURES-2, ki znaša $27,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Sodeč po rezultatih zamenjava zunanega stavbnega pohištva prispeva k izboljšanju energijskih kazalnikov stanja oziroma k znatno manjši potrebi toplote za ogrevanje.

PEP-K1 + ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjih, S5

Iz navedenih rezultatov je razvidno, da zmanjšanje števila sistemov mehanskega prezračevanja z rekuperacijo ne vpliva na spremembo vrednosti potrebne toplote za ogrevanje stavbe na enoto uporabne površine.

PEP-K1 + ukrep vgradnje toplotne črpalke, S6 – S8

Letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe bi se v primerjavi z obstoječim stanjem zmanjšala za 78,4 %, upoštevajoč vse tri variante. Le-to pa ni pogojeno le z vgradnjo toplotne črpalke, temveč z izvedbo toplotne izolacije celotnega ovoja stavbe po izdelanem PEP-K1.

PEP-K1 + kombinacija ukrepov, S9

Po prenovi s kombinacijo izbranih najboljših ukrepov bi se vrednost potrebne toplote za ogrevanje znižala za 80,9 % v primerjavi z obstoječim stanjem oziroma na vrednost 23,5 kWh/(m²a), kar bi stavbo uvrstilo v energetske razred B1 in vzporedno zadostilo pogojem PURES-2.

PEP-K1 + ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne na stavbo, S10 –S11

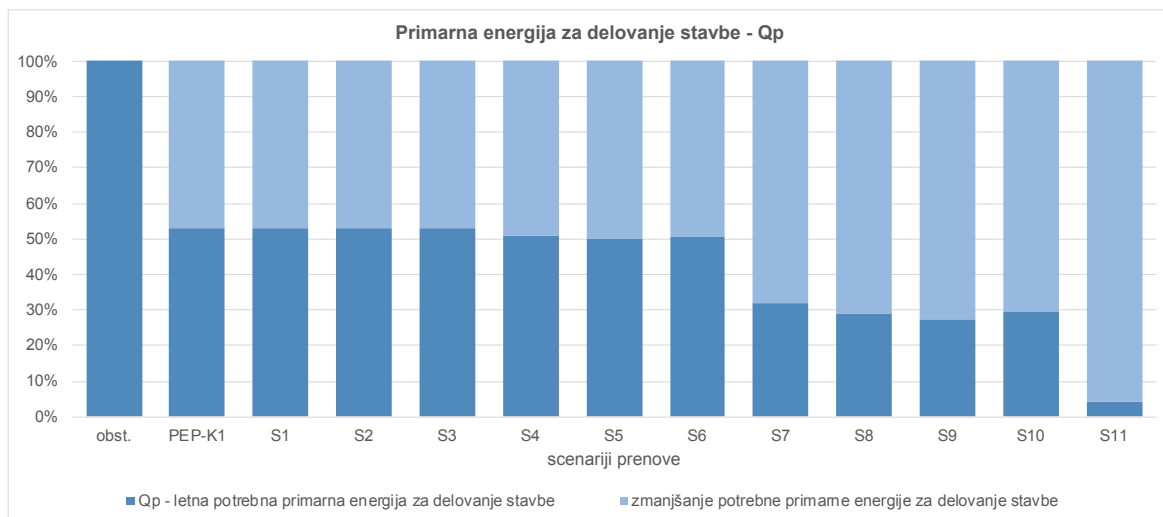
Letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe bi se v primerjavi z obstoječim stanjem zmanjšala za 78,4 % za primer prenove z vgradnjo fotovoltaične elektrarne v primerjavi z načrtovanimi ukrepi v PEP-K1 oziroma za 80,9 % za vgradnjo fotovoltaične elektrarne na scenarij kombinacije ukrepov, vendar je le-to vezano na ukrepe izvedene na celotnem ovoju stavbe (predhodno opisano) in ne na samo namestitev fotovoltaične elektrarne na stavbo, ki pa bo predstavljala vplive na vrednosti parametrov v nadaljevanju.

6.4.1.1.2 Primarna energija za delovanje stavbe - Q_p

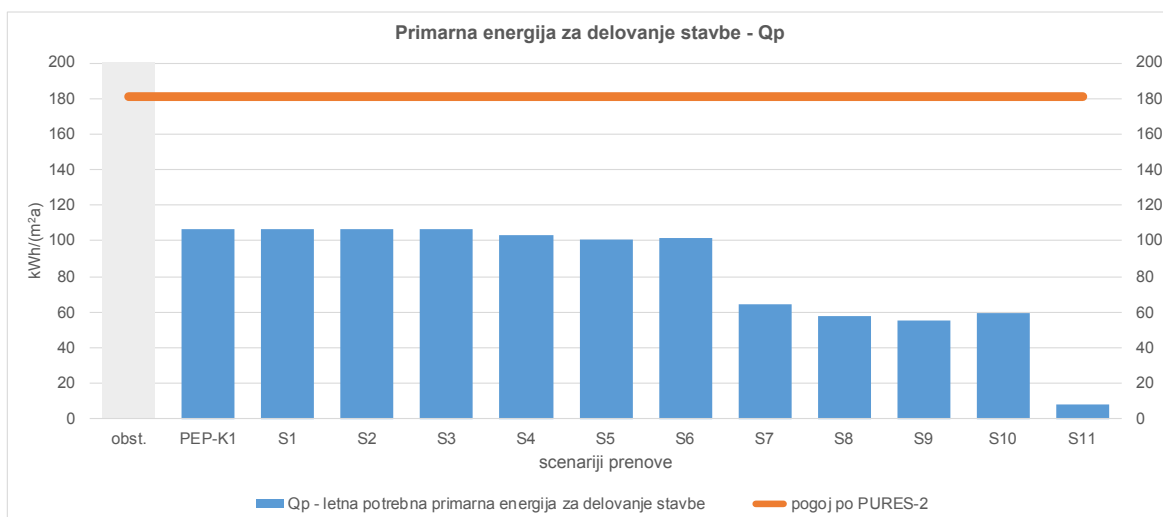
»Primarna energija« je energija primarnih nosilcev energije, pridobljena z izkoriščanjem naravnih energetskih virov, ki niso izpostavljeni še nobeni tehnični pretvorbi (Q_p , (kWh/a)) - povzeto iz pravilnika PURES-2 [1].

Maksimalna dovoljena letna potrebna primarna energija za delovanje izbrane večstanovanjske stavbe na enoto uporabne površine, predpisana po formuli iz PURES-2 znaša 180,6 kWh/(m²a). Iz grafikona 20 je razvidno, da noben scenarij ukrepa prenove ne presega mejne vrednosti. Največ odstopanja, v prid izbranemu scenariju prenove pride le pri scenarijih od S7 do S11, kjer se z uporabo OVE (zrak = S7 - S9 in sonce = S10 - S11) bistveno zmanjša količina potrebne primarne energije oziroma natančneje električne energije za delovanje sistemov.

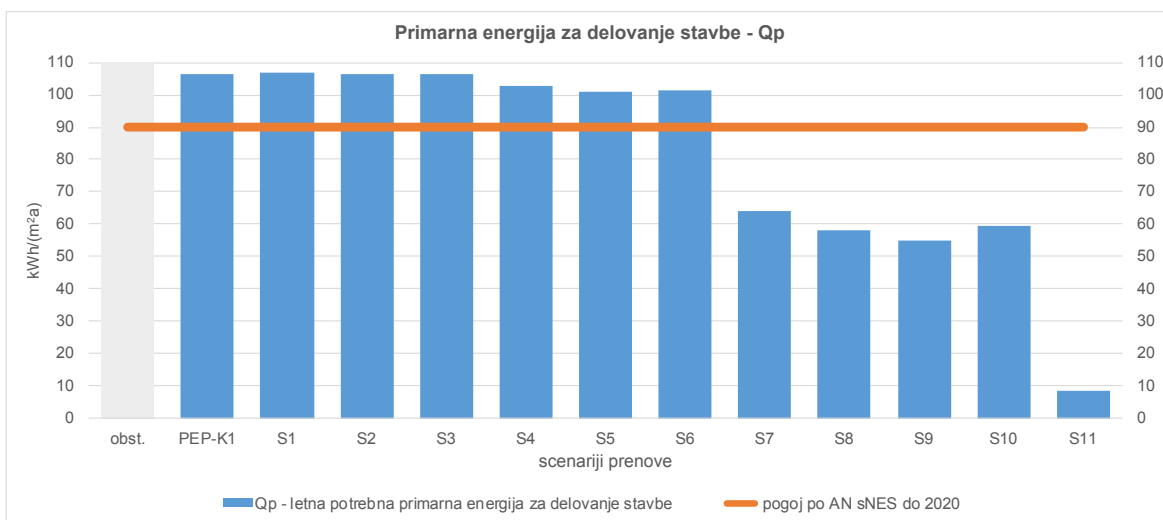
Pogoj po AN sNES do 2020 [3] zajema za delovanje stavbe 90 kWh/(m²a) vrednost letne potrebne primarne energije. Le-to izhaja iz dejstva, da gre pri skoraj nič-energijskih stavbah za zahtevnejše tehnologije, tj. fasadni ovoj, vrste oken, prezračevalni sistem z rekuperacijo..., uporabo obnovljivih virov, proizvodnjo energije iz obnovljivih virov in nenazadnje za dinamično sodelovanje stavbe s pametnimi omrežji ter večji obseg naprav in sistemov. V našem primeru to pomeni, razvidno iz grafikona 21, da so pogoji po AN sNES do 2020 doseženi za scenarije ukrepov z vgradnjo toplotne črpalke oziroma namestitvijo fotovoltaične elektrarne. Trditev pa ne velja za scenarij ukrepa vgradnje toplotne črpalke za ogrevanje, saj je vzporedno uporaba električnega grelnika za toplo sanitarno vodo sorazmerno velik porabnik električne energije, vse skupaj vezano na količino potrebne primarne energije za delovanje stavbe.



Grafikon 19: Primarna energija za delovanje stavbe – Q_p



Grafikon 20: Primarna energija za delovanje stavbe – Q_p , pogoj po PURES-2



Grafikon 21: Primarna energija za delovanje stavbe – Q_p , pogoj po AN sNES do 2020

Preglednica 39: Vrednosti primarne energije za delovanje stavbe - Q_p

	PRIMARNA ENERGIJA za delovanje stavbe – Q _p												
	obst.	PEP-K1	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
	kWh/(m ² a)												
Q _p - letna potrebna primarna energija	201,2	106,4	106,9	106,4	106,3	102,9	100,8	101,5	64,1	58,0	55,2	59,7	8,5
razlika v %	0%	47,1%	46,9%	47,1%	47,1%	48,8%	49,9%	49,5%	68,1%	71,2%	72,5%	70,3%	96,0%
pogoj po PURES-2	180,6 kWh/(m ² a)												
pogoj po AN sNES do 2020	90 kWh/(m ² a)												

Za obstoječe stanje znaša letna potrebna primarna energija na enoto uporabne površine 201,2 kWh/(m²a) ter za 11,4 % presega pogoj določen po PURES-2, ki znaša 180,6 kWh/(m²a). Prav tako ne zadošča pogojem AN sNES do 2020, saj presega predpisano vrednost za 123,6 %.

Z načrtovanimi ukrepi PEP-K1 se bo letna potrebna primarna energija na enoto uporabne površine znižala na 106,4 kWh/(m²a) ter v celoti zadostila pogojem pravilnika PURES-2. Vzporedno pa s prenovo še vedno ne bomo dosegli zahtev AN sNES do 2020, saj bo potreba primarne energije za 18,2 % presegala pogoj AN sNES.

Ukrep prenove fasadnega ovoja, S1 – S3

Neglede na vrsto izbranega toplotno izolacijskega materiala se nam bi potreba po letni potrebni primarni energiji po prenovi zmanjšala v povprečju za 47 % v primerjavi z obstoječim stanjem ter v vseh primerih zadostila pogojem PURES-2. Pogoji AN sNES tudi v tem primeru ne bi bili doseženi.

Ukrep zamenjave zunanega stavbnega pohištva na celotni stavbi, S4

Letna potrebna primarna energija za delovanje stavbe bi se samo z menjavo zasteklitve zunanega stavbnega pohištva zmanjšala za 3,3 %, kar izhaja iz primerjave obravnavanega scenarija z načrtovanimi ukrepi PEP-K1. Sicer pa bi z izbranim ukrepom prenove dosegli 48,8 % zmanjšanje potrebne primarne energije v primerjavi z obstoječim stanjem. Pogoj PURES-2 bi s tem ukrepom dosegli, AN sNES do 2020 pa tudi v tem primeru ne bi bil izpolnjen.

Ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjih, S5

Najsodobnejše prezračevalne naprave imajo zelo dober izkoristek, zato so tudi razlike v potrebni energiji majhne. Iz navedenih rezultatov razberemo, da bi se nam potreba po primarni energiji pri 10-ih sistemih zmanjšala za 5,6 kWh/(m²a) oziroma 5,3 % v primerjavi z uporabo 23-ih sistemov. Zmanjšanje števila uporabljenih sistemov mehanskega prezračevanja pa se odraža v zmanjšani porabi električne energije za prezračevanje oziroma v zmanjšani dovedeni energiji za delovanje stavbe, predstavljeno v nadaljevanju.

Ukrep vgradnje toplotne črpalke, S6 – S8

Vgradnja toplotne črpalke z uporabo OVE močno vpliva na potrebo oziroma zmanjšanje primarne energije. Za primer ogrevanja s toplotno črpalko bi potreba po primarni energiji znašala 101,5 kWh/(m²a), kar pomeni 4,6 % zmanjšanje v primerjavi z načrtovanimi ukrepi PEP-K1 oziroma uporabo daljinskega ogrevanja. V primeru vgradnje toplotne črpalke za ogrevanje tople sanitarne vode bi prišlo do 68,1 % zmanjšanja potrebe v primerjavi z

obstoječim stanjem ter 39,8 % zmanjšanja v primerjavi s PEP-K1, saj bi z menjavo električnih grelnikov oziroma bojlerjev močno zmanjšali porabo električne energije. V primeru kombinacije toplotne črpalke za ogrevanje in toplo sanitarno vodo pa bi z 71,2 % zmanjšanjem, glede na obstoječe stanje stavbe, potrebovali 58,0 kWh/(m²a) primarne energije za delovanje stavbe. Pogoj po PURES-2 je za vse tri variante dosežen. Zaradi zmanjšane potrebe po električni energiji pa bi, z ukrepom vgradnje toplotne črpalke za toplo sanitarno vodo ($Q_p = 64,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{K})$) ter tople črpalke v kombinaciji ($Q_p = 58,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{K})$), dosegli tudi pogoj po AN sNES do 2020, ki znaša 90 kWh/(m²a).

Kombinacija ukrepov, S9

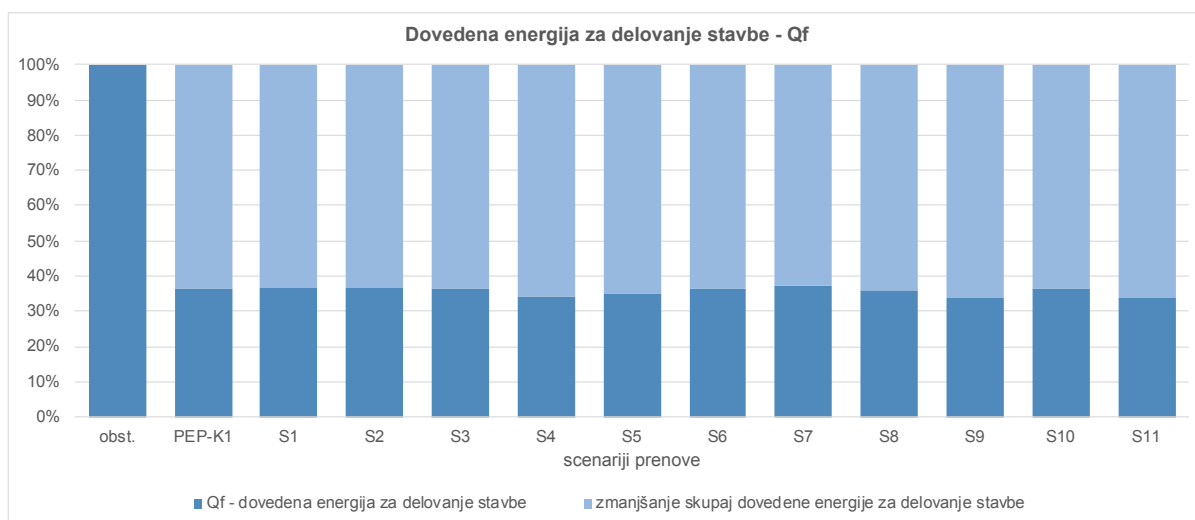
S kombinacijo izbranih ukrepov bi dosegli potrebo 55,2 kWh/(m²a) letne primarne energije za delovanje stavbe, kar pomeni 72,5 % zmanjšanje v primerjavi z obstoječim stanjem. Pogoja po PURES-2 in AN sNES do 2020 bi bila v tem primeru dosežena.

Ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne na stavbo, S10 – S11

Z namestitvijo fotovoltaične elektrarne na stavbo bi dosegli opazno zmanjšanje letne potrebne primarne energije. Za primer vgradnje sončnih celic na PEP-K1 bi to pomenilo 43,9 % zmanjšanje v primerjavi z načrtovanim PEP-K1. Za primer vgradnje na primer kombinacije ukrepov bi dosegli 84,6 % zmanjšanje v primerjavi z izbranim scenarijem prenove brez sončnih celic oziroma 96 % zmanjšanje v primerjavi z obstoječim stanjem stavbe. Pogoja po PURES-2 in AN sNES do 2020 bi bila dosežena.

6.4.1.1.3 Dovedena energija za delovanje stavbe - Q_f

»Letna dovedena energija za delovanje stavbe« pomeni celotno končno energijo, ki jo stavba potrebuje za pokrivanje potreb za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, klimatizacijo in razsvetljavo (Q_f , (kWh/a)) - povzeto iz Pravilnika o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb [8].



Grafikon 22: Dovedena energija za delovanje stavbe - Q_f



Preglednica 40: Vrednosti dovedene energije za delovanje stavbe - Q_f

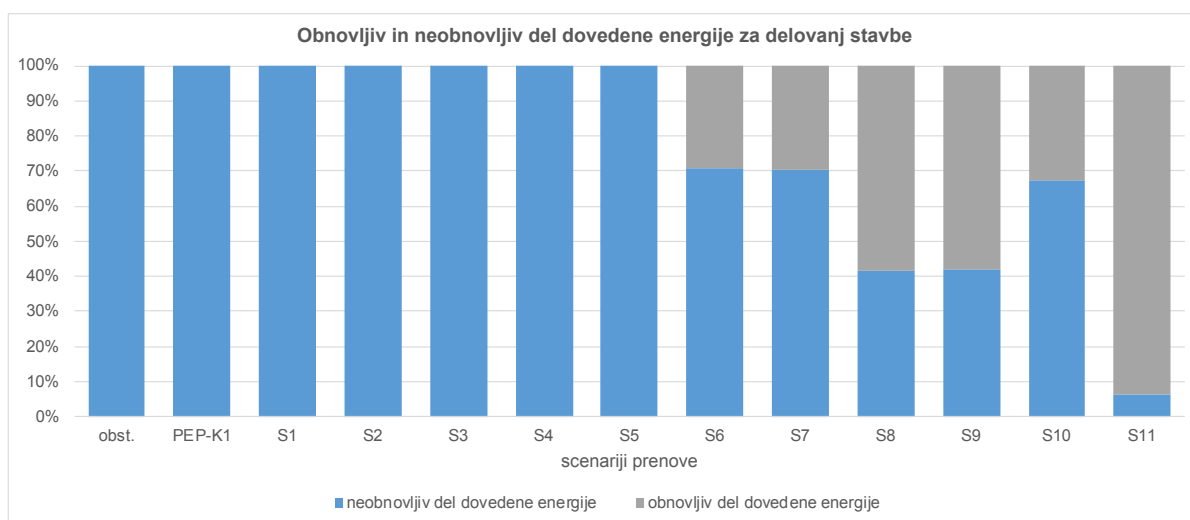
[illegible]

Skupaj dovedena energija za delovanje stavbe v obstoječem stanju znaša $157 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Z načrtovano prenovo stavbe bomo potrebo po energiji zmanjšali na $57 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, kar pomeni zmanjšanje za 63,5 %. Iz preglednice 40 je razvidno, da so vrednosti Q_f - dovedene energije glede na ostale scenarije možnih ukrepov povsem primerljive med seboj. Potrebno pa je poudariti, da pride do velikih odstopanj pri razčlenitvi na izbrane vrste energenta, le-to pa ima velik vpliv tako na okoljske kot tudi na ekonomske kazalnike.

Vezano na sam primer iz analize, to pomeni naslednje:

PEP-K1 + ukrep vgradnje toplotne črpalke, S6 – S8

Izhajajoč iz razdelitve dovedene energije na energente lahko povzamemo, da je energijski učinek toplotne črpalke zelo ugoden, saj zaradi svojega principa delovanja omogoča uporabo energije okolja. Tako toplotna črpalka za ogrevanje porabi $16,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ izkoriščene energije iz zunanjega zraka in $8,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ električne energije, kar pa je za $7,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ večja poraba električne energije za ogrevanje v primerjavi z uporabo daljinskega ogrevanja znotraj PEP-K1. Ob tem se nam postavi vprašanje glede okoljskih kazalnikov, saj ima prav električna energija zelo visoke emisije CO_2 . Vpliv le-tega si bomo pogledali v nadaljevanju magistrskega dela. Do veliko večjega odstopanja, tokrat v prid toplotni črpalci, pride pri uporabi toplotne črpalke za ogrevanje tople sanitarne vode, saj le-ta porabi $17,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ toplote iz OVE oziroma zunanjega zraka in s tem zmanjša potrebo po električni energiji za kar 74,1 % v primerjavi z uporabo električnih bojlerjev, tj. iz $23,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ na $6,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ z upoštevanjem, da je dovedena energija za delovanje stavbe med izbranimi scenariji prenove $57 \pm 1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.



Grafikon 24: Obnovljiv in neobnovljiv del dovedene energije za delovanje stavbe

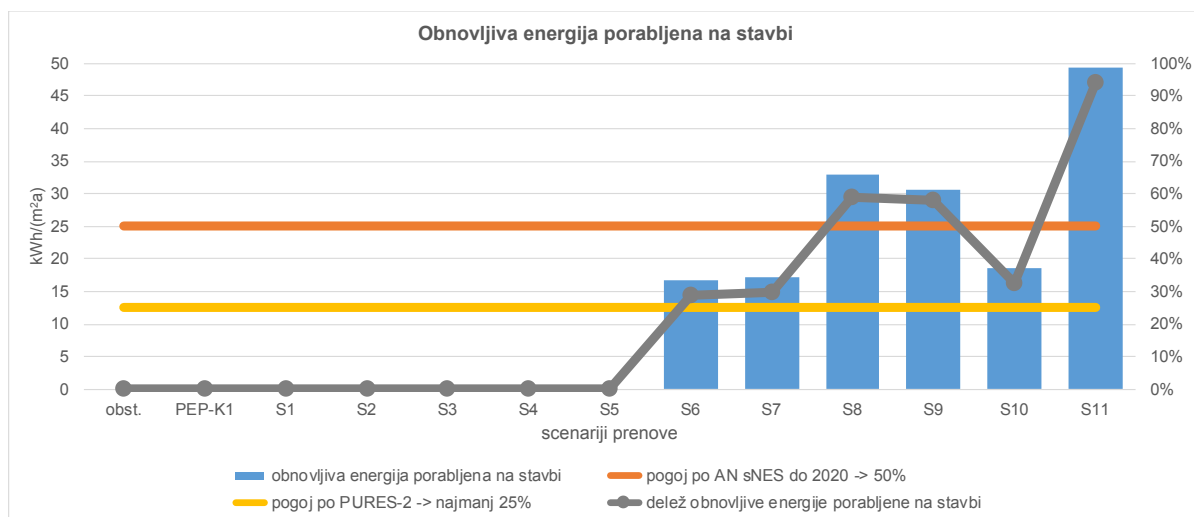
Preglednica 41: Obnovljiv in neobnovljiv del dovedene energije za delovanje stavbe

	OBNOVLJIV IN NEOBNOVLJIV DEL DOVEDENE ENERGIJE za delovanje stavbe												
	obst.	PEP-K1	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
	kWh/(m ² a)												
Q _f - dovedena energija za delovanje stavbe	157,0	57,4	57,8	57,4	57,3	54,0	55,1	57,3	58,2	56,1	52,7	57,4	52,7
obnovljivi del dovedene energije	0	0	0	0	0	0	0	16,7	17,3	32,9	30,6	18,7	49,3
neobnovljivi del dovedene energije	157,0	57,4	57,8	57,4	57,3	54,0	55,1	40,6	40,9	23,2	22,1	38,7	3,4

Kot smo že predhodno omenili, ima pri pregledu vrednosti dovedene energije za delovanje stavbe Q_f razčlenitev na izbrane vrste energenta velik vpliv. Grafikon 24 nam tako poda razčlenitev na obnovljive in neobnovljive vire dovedene energije za delovanje obravnavane stavbe. Ker pa imajo OVE vedno bolj pomembno vlogo pri delovanju stavb, bomo dobljene rezultate podrobneje opisali v naslednjem poglavju.

6.4.1.1.4 Obnovljiva energija porabljena na stavbi – OVE

Obnovljivi viri energije vključujejo vse vire energije, ki jih zajemamo iz stalnih naravnih procesov. To so sončno sevanje, veter, vodni tok, fotosinteza, zemeljski toplotni tokovi in tokovi morja. V naravi jih nikoli ne zmanjka, saj se obnavljajo dokaj hitro ter so dokaj enakomerno porazdeljeni. Obnovljivi viri energije (OVE) lokalno zmanjšujejo odvisnost od uvoženih virov energije in povečujejo energetske varnost. V primerjavi s fosilnimi gorivi pri rabi energije iz OVE nastajajo manjše emisije toplogrednih plinov, kar prinaša pozitivne učinke na kakovost okolja. Razpršenost in dostopnost OVE pa omogoča boljšo uskladitev energije z lokalnimi potrebami [46].



Grafikon 25: Obnovljiva energija porabljena na stavbi

Preglednica 42: Vrednosti obnovljive energije porabljene na stavbi

	OBNOVLJIVA ENERGIJA porabljena na stavbi												
	obst.	PEP-K1	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
	kWh/(m ² a)												
obnovljiva energija porabljena na stavbi	0	0	0	0	0	0	0	16,7	17,3	32,9	30,6	18,7	49,3
delež obnovljive energije porabljene na stavbi	0	0	0	0	0	0	0	29%	30%	59%	58%	33%	94%
pogoj po PURES-2	najmanj 25 % celotne končne energije za delovanje sistemov v stavbi zagotovljeno z uporabo OVE v stavbi												
pogoj po AN sNES do 2020	50 %												

Prisotnost obnovljive energije porabljene na stavbi velja za naslednje analizirane scenarije prenove:

- scenarij S6: uporaba toplote okolja iz zraka za ogrevanje, toplotna črpalka,
- scenarij S7: uporaba toplote okolja iz zraka za toplo sanitarno vodo, toplotna črpalka,
- scenarij S8 – S9: uporaba toplote okolje iz zraka za ogrevanje in toplo sanitarno vodo, toplotna črpalka v kombinaciji,
- scenarij S10: pretvorba sončne energije neposredno v električno energijo, fotovoltaična elektrarna na stavbi,
- scenarij S11: uporaba toplote okolje iz zraka za ogrevanje in toplo sanitarno vodo, toplotna črpalka v kombinaciji + pretvorba sončne energije neposredno v električno energijo, fotovoltaična elektrarna na stavbi.

Delež OVE porabljene na stavbi se povečuje skladno z učinkovitostjo sistemov in številom različnih aplikacij za stavbo. Iz zgoraj predstavljene preglednice lahko podamo ugotovitev, da bi pogojem:

- po PURES-2 zadostili z vsemi scenariji od S6 do S11,
- po AN sNES zadostili s scenariji S8, S9 in S11, tj. s scenariji z vključenim ukrepom vgradnje toplotne črpalke v kombinaciji oziroma namestitve fotovoltaične elektrarne.

Po pregledu analize vseh izbranih opsijskih scenarijev za izboljšanje energijskih lastnosti lahko podamo zaključek, da se s 94 % največ obnovljive energije porabi na stavbi za primer scenarija S11, ki vključuje uporabo toplotne črpalke v kombinaciji za ogrevanje in toplo sanitarno vodo ter uporabo fotovoltaične elektrarne na stavbi. Ob tem lahko podamo zaključek, da je fotovoltaična elektrarna v povezavi s toplotno črpalko izjemno dobra kombinacija iz vidika ekonomičnega obratovanja, kar bomo podrobneje predstavili v nadaljevanju. Le-to namreč izhaja iz dejstva, da toplotna črpalka izvedbe zrak-voda obratuje z uporabo OVE in pri nadgradnji z namestitvijo fotovoltaične elektrarne na stavbi pripomore k še dodatnemu izredno ekonomičnemu delovanju, saj je napajana iz strani elektrike, proizvedene iz brezplačne energije. Tako lahko s sončno energijo privarčujemo velike količine elektrike, v kombinaciji s toplotno črpalko pa še bistveno več, kar vpliva tako na ekonomični kot tudi okoljski kazalnik trajnostne gradnje.

Kljub mnogim prednostim, ki jih prinaša AN sNES do 2020 pa lahko na tem mestu podamo še drugačen pogled na izbrano tematiko. Spodaj predstavljene izkušnje so bile namreč pridobljene z metodo anketiranja, temeljile pa so na izkušnjah in dvomih uporabnikov glede bivanja v sNES. Rezultati omenjene metode, izvedene v sklopu projekta H2020 CoNZEBS [47], so bili predstavljeni v novembru 2019 in sicer v sklopu četrtega Zelenega zajtrka in

delavnice z naslovom Spremenjene zahteve glede energetske učinkovitosti stavb oziroma Kako zagotoviti uspešno implementacijo Direktive EPBD (EU) 2018/844 – o energetske učinkovitosti stavb v prakso (PURES-2) za doseganje skoraj nič energijskih stavb? [48].

Anketiranci so izrazili skrb in dvome končnih-uporabnikov glede bivanja v sNES na naslednjih področjih [47]:

- kakovost notranjega zraka (še posebno suh zrak v povezavi s sistemom mehanskega prezračevanja pozimi),
- dolgoživost (življenjska doba) naprednih gradbenih materialov, proizvodov in storitev v sNES,
- uporabniku prijazni sistemi za nadzor in krmiljenje in IKT naprave,
- stroškovna učinkovitost številnih tehnologij v sNES, dejanska uporabnost.

Preglednica 43: Izkušnje in dvomi glede bivanja v sNES
(povzeto po CoNZEBs D4.1 [48])

IZKUŠNJE (+/-) IN DVOMI GLEDE BIVANJA V sNES		
pozitivne izkušnje glede bivanja v sNES	negativne izkušnje glede bivanja v sNES	dvomi uporabnikov glede bivanja v sNES
potrebna je manjša poraba električne energije zaradi samodejne oskrbe s PV-paneli	vlažnost notranjega zraka v zimskem času prenizka – zelo suh notranji zrak povezan z več okužb dihal	dvomi glede funkcionalnosti prezračevalnega sistema, ko je zunaj temperatura zelo nizka
dobre kakovosti energetske učinkovitih komponent	pogoste napake pri usklajenem delovanju tehnične opreme	možnost ustreznega delovanja (in uporabe) sNES v primeru izpada električne energije ali nezadostne oskrbe z elektriko iz fotovoltaičnega sistema (če je ta sestavni del energetske zasnove sNES)
dobra notranja klima	treba biti pozoren na pogosto menjavo zračnih filtrov pri mehanskem prezračevanju z rekuperacijo	možen občutek utesnenosti
dobra zvočna zaščita		visoki stroški gradnje/najema
zelo dobro toplotno udobje		dilema, da pametni sistemi ne morejo delovati v primeru izpada električne energije
majhna raba energije		strah pred elektromagnetnim sevanjem zaradi številnih pametnih naprav
učinkovit pregled in nadzor nad rabo energije		občutek, da preveč naprav lahko obremenjuje povprečnega uporabnika
večanje ozaveščenosti o energijsko učinkovitem bivanju		

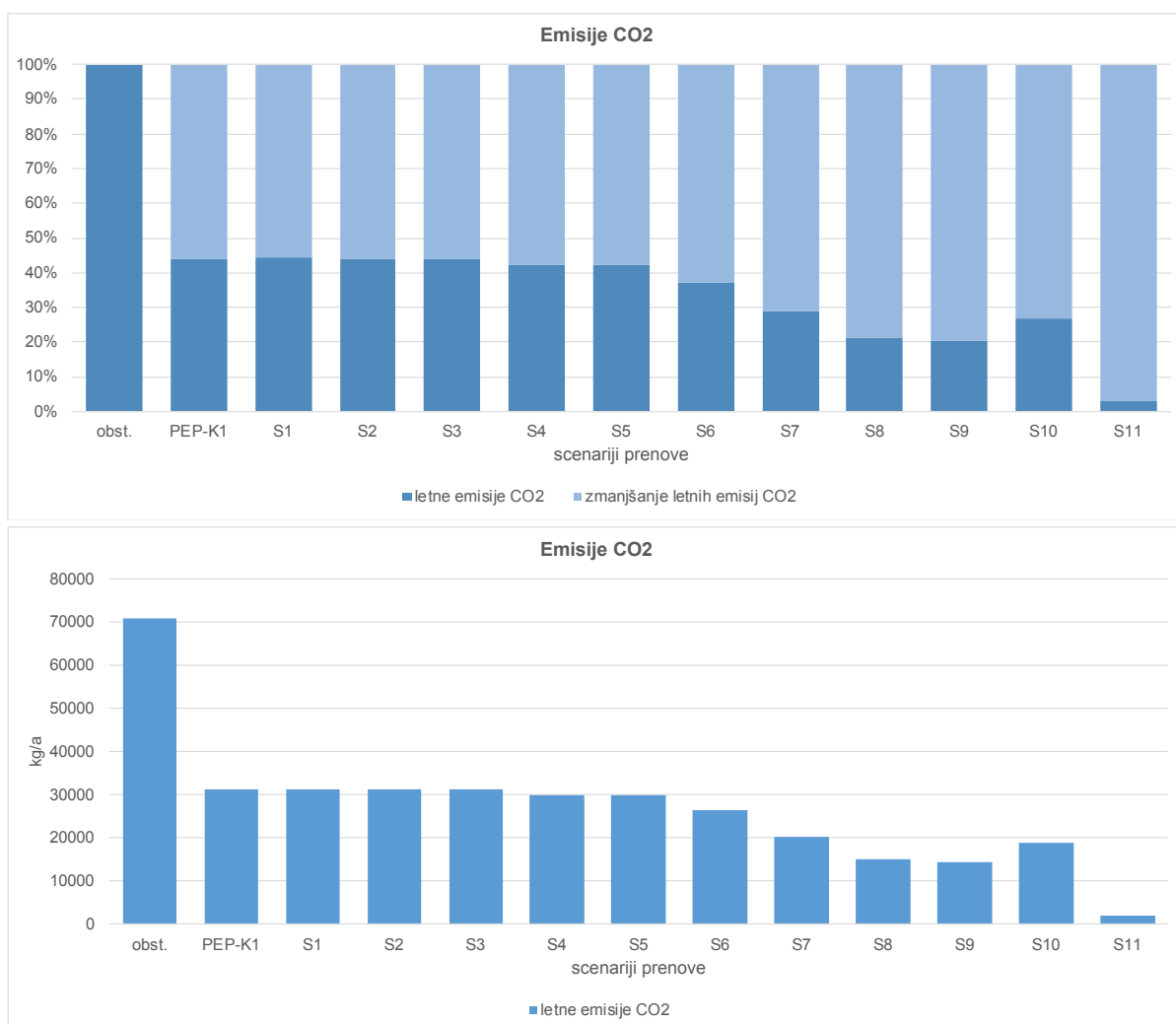
6.4.1.2 Analiza vpliva delovanja celotne stavbe na okolje – emisije CO₂

Ni naključje, da trajnostni gradnji v zadnjem času posvečamo toliko veliko pozornosti. S stavbami je povezano 40 % rabe končne energije, najmanj 35 % izpustov CO₂ in znatna količina odpada, ki nastaja med gradnjo in uporabo stavbe [42]. Tako se v okviru okoljskega vpliva trajnostne gradnje posveča pozornost učinkoviti rabi energije in vodnega vira, zmanjšanju izpustov CO₂ ter samemu recikliranju materialov.

Za najpomembnejše faze življenjskega kroga stavbe zagotovimo podatke o okoljskih vplivih stavbe zaradi uporabljenih gradbenih materialov in energije potrebne za njihovo proizvodnjo ter drugih okoljskih vplivov proizvodnega procesa. Okoljske vplive stavbe, povezane z rabo energije v fazi njene uporabe, analiziramo s pomočjo računalniške programske opreme. Metodologija energetske izkaznice stavbe namreč predvideva določitev potrebne toplote za ogrevanje in hlajenje stavbe in dovedene energije za delovanje stavbe, ki obsega območje ogrevanja in hlajenja stavbe, priprave tople vode, energijo sistema za prezračevanje in razsvetljavo v stavbi, izračun primarne energije za delovanje stavbe in energijsko pogojenih emisij CO₂, določimo pa lahko tudi druge emisije, povezane z uporabljenim virom energije

[43]. Vsem nam je znano, da globalno segrevanje ozračja povzroča številne negativne posledice oziroma višanje povprečne temperature Zemljinega ozračja ter oceanov, le-to pa privede do višanja morske gladine, taljenja ledu ter ledenikov, večje suše na eni strani in večje količine padavin na drugi strani, kar vodi do naravnih katastrof in velikega vpliva na kakovost življenja ljudi. Vendar smo kljub zavedanju še vedno mi – ljudje in naše dejavnosti tisti, ki konstantno povečujemo količino toplogrednih plinov v ozračje. Največji delež toplogrednih plinov tako predstavljajo ogljikov dioksid oziroma emisije CO₂, vodna para, metan, amonijak in ozon.

V nadaljevanju tega pod-poglavja se bomo osredotočili na ogljikov dioksid, v nadaljevanju označen kot 'emisije CO₂', oziroma na analizo vpliva delovanja celotne stavbe na okolje. Koncentracija emisij CO₂ se namreč z leti povečuje kot posledica uporabe fosilnih goriv, katerih predstavniki so premog, nafta in zemeljski plin, ki jih uporabljamo tako za ogrevanje stavb kot tudi za proizvodnjo elektrike. Za stanovanjske stavbe to pomeni, da se največji delež elektrike porabi za ogrevanje ter pripravo tople sanitarne vode, v poslovnih stavbah pa je največji delež elektrike porabljen za razsvetljavo in klimatizacijo prostorov.



Grafikon 26: Letne emisije CO₂

Preglednica 44: Vrednosti emisij CO₂

	letne EMISIJE CO ₂												
	obst.	PEP-K1	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
	kg/(m²a)												
letne emisije CO ₂	57,7	25,5	25,6	25,5	25,4	24,3	24,3	21,5	16,6	12,3	11,7	15,6	1,8
razlika v %	0%	55,9%	55,6%	55,8%	55,9%	57,8%	57,9%	62,7%	71,2%	78,7%	79,7%	73,0%	97,0%

Iz dobljenih rezultatov po izračunu gradbene fizike lahko razberemo, do bodo načrtovani ukrepi v PEP-K1 zaradi rabe energije za delovanje stavbe dosegli skoraj 56 % zmanjšanje emisij CO₂ v primerjavi z obstoječim stanjem. Vzporedno lahko iz dobljenih vrednosti potrdimo predhodno navedeno trditev, da se s trajnostnim načrtovanjem in uporabo obnovljivih virov energije na stavbi zmanjša količina emisij CO₂. Le-to je prikazano skozi odstotke analiziranih scenarijev S6 - S11, ki obravnavajo uporabo toplotne črpalke oziroma fotovoltaičnega sistema znotraj večstanovanjske stavbe. V teh primerih lahko dosežemo zmanjšanje emisij CO₂ vse do 97 % v primerjavi z obstoječim stanjem, vse skupaj v povezavi s preiščanim in trajnostnim načrtovanjem ter uporabo obnovljivih virov energije. Scenariji S1 – S3, z različnimi vrstami toplotno izolacijskega materiala, so primerljivi dobljeni vrednosti v PEP-K1 s skoraj 56 % zmanjšanjem emisij CO₂ v primerjavi z obstoječim stanjem. Ob tem je treba poudariti, da znotraj obravnavane analize niso upoštevane škodljive emisije ustvarjene v samem proizvodnem obratu in vseh preostalih fazah do uporabe izbranega proizvoda. Analizo vpliva izbranih gradbenih proizvodov na okolje bomo obravnavali v poglavju, ki sledi.

6.4.1.3 Analiza vpliva izbranih gradbenih proizvodov na okolje – emisije CO₂

Po besedah izr. prof. dr. Marjane Šijanec Zavrl, vodje Centra za bivalno okolje, gradbeno fiziko in energijo na Gradbenem inštitutu ZRMK, nadaljnji razvoj pri gradnji stanovanj in stavb nasploh poudarja trajnostna načela. To ne pomeni uporabo materialov in izdelkov z manjšim vplivom na okolje, in izdelkov, ki ne oddajajo škodljivih snovi v bivalno okolje. Pred nami je namreč resen zalogaj, saj ta trenutek enačimo do okolja prijazno trajnostno gradnjo večinoma z uporabo lesa in ekoloških materialov. Vendar so ti le ena od možnosti. Pomembno je, da naredimo vidne tudi okoljske lastnosti tradicionalnih gradbenih materialov: z okoljskimi deklaracijami, v katerih so informacije o konkretnem vplivu na okolje (o energiji, vgrajeni v izdelek, deležu vgrajenega obnovljivega in neobnovljivega materiala in o prispevku h globalnemu segrevanju) [49].

Ne moremo mimo dejstva, da gradbeni sektor v svetovnem merilu zaznamuje pravilo 40 %, ki govori [50]:

- svetovna gradbena industrija vsako leto porabi 3 milijarde ton materialov oziroma 40 % celotne svetovne porabe vseh materialov in surovin,
- tekom gradnje in uporabe gradbeni objekti porabijo približno 40 % vse potrebe po energiji in naravnih virih na svetu,
- po sklenjenem proizvodno – potrošniškem ciklusu predstavljajo gradbeni odpadki 40 % vseh povzročenih odpadkov na svetu.

Vidimo, da je gradbeni sektor tako odgovoren za velik delež svetovne porabe materiala in porabe energije. Posledično pa ima tudi velik vpliv na okolje. Ker so stavbe vedno bolj energetske učinkovite in s tem okoljski vpliv, ki je povezan z obratovalno fazo življenjskega cikla stavb, vedno manjši, z okoljskega vidika postajajo pomembne druge faze življenjskega cikla stavb [51]. Vzporedno z razvojem trajnostne gradnje moramo tako vrednotiti okoljsko prijaznost materialov, izdelkov in novih proizvodnih procesov v celotnem življenjskem ciklu stavb (z analizo LCA (Life Cycle Assessment) in LCCA (Life Cycle Cost Assessment)), uporabljati materiale, ki ne škodujejo zdravju ter jih je mogoče reciklirati in za vsak razviti izdelek določiti scenarij trajnostne rabe ob koncu njegovega prvega življenjskega cikla. S pravilno izbiro izolacijskega materiala lahko močno zmanjšamo vplive na okolje, ki jih povzročajo stavbe v času njihovega delovanja [52].

Za nepristransko vrednotenje vplivov gradbenih materialov in stavb na okolje je edino smiselno uporabiti čim bolj objektivna merila okoljskih obremenitev, kot je analiza življenjskega cikla (LCA) oziroma ogljični odtis (ang. Carbon Footprint) [52]. Z ogljičnim odtisom ovrednotimo emisije toplogrednih plinov, povezane z izdelkom po količinsko najbolj pomembnem toplogrednem plinu – CO_2 , ki služi kot osnovna enota. Ogljikov dioksid predstavlja osnovni antropogeni toplogredni plin, ki ruši energetske uravnoteženost Zemlje, predvsem v pogledu radiacijskega ohlajevanja. Ogljični odtis je seštev ekvivalentov izpustov toplogrednih plinov, ki jih neposredno ali posredno povzročijo organizacija, izdelek, storitev ali druga aktivnost, ki povzroča ali prispeva k izpustom toplogrednih plinov v določenem časovnem obdobju. Opredeljen je v enoti ekvivalenta CO_2 ($\text{CO}_2\text{-e}$). V izračun ogljičnega odtisa so poleg CO_2 vključeni tudi drugi toplogredni plini - metan (CH_4), dušikov oksidi (N_2O) in klorofloroogljikovodiki (CFC). Ti so sicer veliko močnejši toplogredni plini kot CO_2 , vendar se jih splošno proizvede količinsko veliko manj, zato so njihove emisije preračunane na ekvivalentno količino CO_2 ($\text{CO}_2\text{-e}$) [52].

Analiza življenjskega cikla (LCA analiza, angl. Life Cycle Assessment) pa je mednarodno uveljavljena metoda za vrednotenje vplivov in obremenitev na okolje, povezanih z določenim proizvodom ali procesom. Njeno uporabo podpira tudi Evropska komisija. Praktična uporabnost metode je v dejstvu, da nam služi kot pomoč pri sprejemanju okoljskih odločitev glede uporabe različnih primerljivih proizvodov ali tehnoloških postopkov. Izsledki LCA analiz so zanimivi tako za industrijo kot za potrošnike, saj sta varovanje okolja in racionalna raba snovnih virov dve od najpomembnejših družbenih prioritet [53]. Pri obremenitvah okolja, ki jih analiziramo pri analizi LCA, se v večini primerov upoštevajo tri področja, med katera uvrščamo zdravje ljudi, naravno okolje in izrabo naravnih virov.

Metodologija analize življenjskega cikla proizvoda vključuje faze prikazane na diagramu, ki obsegajo pridobivanje surovin in predelavo materialov, izdelavo proizvodov, transport in distribucijo, uporabo, vzdrževanje, ponovno uporabo, odstranjevanje na odpad ali recikliranje.



Slika 24: Analiza življenjskega cikla proizvoda
(vir: Saint-Gobain [54])

Indikatorji vplivov na stanje okolja in zdravja ljudi so znotraj LCA analize oziroma v nadaljevanju EPD deklaracij obravnavani za naslednja področja:

- potencial globalnega segrevanja (GWP),
- potencial za razgradnjo ozona (ODP),
- potencial za zakisovanje zemlje in vode (AP),
- potencial za eutrofikacijo (EP),
- potencial za fotokemično nastajanje ozona (POCP),
- vpliv na izrabo abiotskih virov (ADP),
 - o izraba abiotskih (naravnih) virov (surovin),
 - o izraba abiotskih virov (fosilnih goriv).

Okoljska deklaracija proizvoda EPD (angl. Environmental Product Declaration) v skladu z mednarodno ISO 14025 in evropsko EN 15804 standardizacijo namreč podaja opis proizvoda in emisije, povezane s proizvodom v celotnem življenjskem ciklu, ki temelji na rezultatih ocenjevanja življenjskega cikla LCA analize in predstavlja kompleksno, a potrebno in zanesljivo podlago trajnostnemu graditeljstvu. Z EPD deklaracijo proizvoda se po SIST EN ISO 14025 dokazuje trajnostno rabo naravnih virov. EPD za proizvode je prostovoljna okoljska deklaracija, ki predstavlja enotno merljiv vpliv na okolje v življenjskem ciklu proizvoda in kot tak omogoča primerjavo med proizvodi z enako funkcijo [55].

DESCRIPTION OF THE SYSTEM BOUNDARY (X = INCLUDED IN LCA; MND = MODULE NOT DECLARED)																
PRODUCT STAGE			CONSTRUCTION PROCESS STAGE		USE STAGE							END OF LIFE STAGE				BENEFITS AND LOADS BEYOND THE SYSTEM BOUNDARIES
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport from the gate to the site	Assembly	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-Recovery-Recycling-potential
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	MND	MND	MND	MNR	MNR	MNR	MND	MND	MND	X	MND	X	MND

SISTEMSKJE MEJE																
FAZA IZDELAVE			FAZA VGRADNJE		FAZA RABE							FAZA PO IZTEKU ŽIVLJENJSKE DOBE				VPLIV NA OKOLJE PREKO SISTEMSKIH MEJ
Pridobivanje surovin	Transport	Proizvodnja	Transport	Vgradnja	Raba	Vzdrževanje	Popravila	Zamenjava	Obnova	Raba energije med obratovanjem	Raba vode med obratovanjem	Demontaža	Transport	Prestranje odpadkov	Odlaganje odpadkov	Ponovna uporaba, obnova, reciklaža
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Moduli življenjskega cikla proizvoda, ki so vključeni v EPD so označeni z »X«, moduli, ki niso vključeni pa z »NR« = ni relevantno

Slika 25: Sistemske meje, vključene v EPD deklaraciji
(vir: Zavod za gradbeništvo Slovenija [55])

Vrednotenje okoljskega vpliva stavbe v celoti, z razčlenitvijo vseh vgrajenih sestavnih elementov, je kompleksno ter obsežno področje. Odločili smo se, da se v sklopu magistrskega dela usmerimo v obravnavo vpliva GWP – potencial globalnega segrevanja (angl. Global Warming Potential) za različne vrste toplotne izolacije fasadnega ovoja stavbe, saj je odločitev za okoljsko sprejemljivejši toplotno izolacijski material ena od ključnih za trajnostno (energijsko) prenovo stavbe. Pri GWP gre namreč za povečanje vsebnosti toplogrednih plinov, ki korigirajo absorpcijo infrardečega sevanja v atmosferi. Posledice teh se kažejo v podnebnih spremembah, topljenju ledenikov in posledično v dvigu gladine morja. Ker se predhodno omenjeni izraz "ogljikni odtis" neposredno nanaša na izpuste toplogrednega ogljikovega dioksida, ga enačimo z vplivom segrevanja ozračja [53].

K problemu smo pristopili tako, da smo najprej poiskali okoljske deklaracije EPD izbranih toplotno izolacijskih materialov za izolacijo fasadnega ovoja:

- okoljska deklaracija proizvoda EPD-19/0001, za JUBIZOL grafitni EPS F-G0 [56],
- okoljska deklaracija proizvoda EPD-KIN-20150185-CBB3-EN, za kameno volno Knauf Insulation FGD-S Thermal [57],
- okoljska deklaracija proizvoda EPD-ISOCELL-2014-1-GABI, za celulozno izolacijo ISOCELL [58].

Ob tem je treba poudariti, da je bila okoljska deklaracija EPD za izbrani proizvod Webertherm plus ultra v času pisanja magistrskega dela v fazi priprave in potrjeno s strani produktne vodje Weber Saint-Gobain Gradbeni izdelki naj bi bila izdelana v letu 2020.

Pri pregledu vseh treh dostopnih okoljskih deklaracij smo ugotovili, prikazano v preglednici 45, da so podane deklarirane enote med seboj različne. To pomeni, da primerjava izbranih materialov brez dodatnih izračunov in analiz ni mogoča.

Preglednica 45: Potencial globalnega segrevanja - GWP

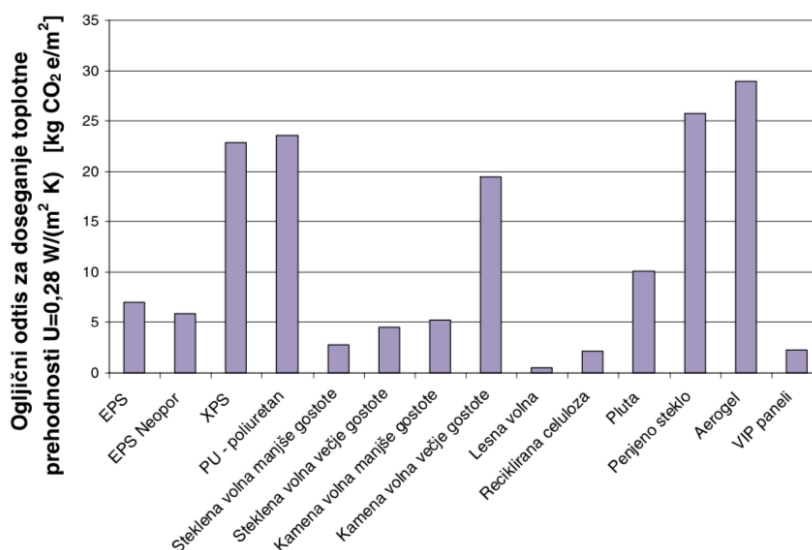
		Potencial globalnega segrevanja – GWP			
		JUBIZOL grafitni EPS F-G0	kamena volna Knauf Insulation FKD-S Thermal	celulozna izolacija ISOCELL	napredni material Webertherm plus ultra 020
		kg CO ₂ eq	kg CO ₂ eq	kg CO ₂ eq	kg CO ₂ eq
		deklarirana enota pri izračunu: 1 m ²	deklarirana enota pri izračunu: 1 m ³	deklarirana enota pri izračunu: 1 m ³	
A1	pridobivanje surovin				okoljska deklaracija EPD je v fazi priprave - potrjeno s strani produktne vodje podjetja Weber Saint- Gobain Gradbeni izdelki LEGENDA: NR ... ni relevantno
A2	transport	26,9	112,0	-35,0	
A3	proizvodnja				
A4	transport	NR	5,29	NR	
A5	vgradnja	NR	NR	NR	
B1	raba	NR	NR	NR	
B2	vzdrževanje	NR	NR	NR	
B3	popravila	NR	NR	NR	
B4	zamenjava	NR	NR	NR	
B5	obnova	NR	NR	NR	
B6	raba energije med obratovanjem	NR	NR	NR	
B7	raba vode med obratovanjem	NR	NR	NR	
C1	demontaža	NR	NR	0,0	
C2	transport	NR	0,36	0,69	
C3	procesiranje odpadkov	NR	NR	0,0	
C4	odlaganje odpadkov	NR	1,41	39,20	
D	ponovna uporaba, obnova, reciklaža	NR	NR	-6,91	

Zato smo se odločili, da se v tem delu sklicujemo na rezultate že izvedene analize, predstavljene v znanstvenem članku z naslovom Ogljični odtis toplotnoizolacijskih materialov v toplotnem ovoju stavbe [52].

V analizi, predstavljeni v članku, so se osredotočili na vrednotenje okoljskih vplivov toplotne izolacije uporabljene v zunanjem ovoju stavbe. Zaradi preglednosti in primerljivosti so upoštevali izključno okoljski vpliv same toplotne izolacije in pri tem zanemarili vpliv na okolje vseh drugih elementov. Primerjave okoljskih vplivov različnih izolacijskih materialov so opravili s programsko opremo Simapro, ki omogoča poenostavljeno natančno sledenje vsem materialnim tokovom skozi življenjski cikel ter dosledno klasifikacijo in kategorizacijo podatkov. Ogljični odtis je bil določen z metodo IPCC 2001 GWP 100a V1.02. Metoda vključuje faktorje glede na časovni okvir 100 let. Faktorje karakterizira (z izjemo CH₄) glede na potencial globalnega segrevanja zaradi izpustov emisij v zrak. V izračunih so se omejili na emisije, ki jih izolacijski materiali povzročijo do vgradnje, brez upoštevanja emisij, ki jih povzroči delovanje stavb. Upoštevali so debelino toplotne izolacije, ki je potrebna za izpolnjevanje pogoja toplotne prehodnosti v skladu z veljavnim predpisom PURES-2, in sicer 0,28 W/(m²K) za zunanje stene. Rezultate izračunov ogljičnih odtisov so nato primerjali na enoto površine ovoja (m²) stavbe [52].

Dejanski vpliv na potencial globalnega segrevanja, izražen v ekvivalentu emisij CO₂ za različne toplotno izolacijske materiale, prikazuje grafikjon 27. Na grafikonu je upoštevana debelina toplotne izolacije, ki je potrebna za izpolnjevanje pogoja toplotne prehodnosti v skladu z veljavnim predpisom PURES-2, ki lahko znaša največ 0,28 W/(m²K). Prikazan je ogljični odtis na enoto površine ovoja (m²). S primerjavo oziroma upoštevanjem debeline toplotne izolacije ugotovimo, da ima reciklat celuloze, najpogostejše časopisni papir, nizek vpliv na okolje. Poleg tega les nastaja z biološkimi procesi, ki iz atmosfere vežejo CO₂ (fotosinteza). Pri časopisnem papirju predstavljajo pretežni delež ogljičnega odtisa dodatki

proti gnitju, trohnenju in gorenju. Mineralni volni, tako steklena kot tudi kamena, imata v primerih nizkih gostot prav tako majhen vpliv na okolje [52].



Grafikon 27: Ogljični odtis toplotno izolacijskih materialov debeline, ki je potrebna, da je dosežena toplotna prehodnost zunanjega ovoja $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, prikazan na enoto površine ovoja stavbe (m^2) (vir: znanstveni članek [52])

Za potrebe magistrskega dela se v grafikonu 27 osredotočamo na izbrane materiale - EPS Neopor, kamena volna manjše gostote in reciklirana celuloza, s podanimi fizikalnimi lastnostmi v preglednici 46.

Preglednica 46: Primerjava med fizikalnimi lastnostmi toplotnoizolacijskih gradbenih materialov, ogljičnim odtisom izbranih toplotnih izolacij za doseganje toplotne prehodnosti $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ na enoto površine ovoja stavbe (m^2) in na površino 1275 m^2 celotnega ovoja obravnavane večstanovanjske stavbe

OGLJIČNI ODTIS različnih toplotno izolacijskih materialov				
	povprečna gostota	toplotna prevodnost	ogljiki odtis toplotne izolacije za $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	ogljiki odtis toplotne izolacije za celotni ovoj stavbe, površine 1275 m^2 , $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
	kg/m^3	mW/(mK)	$\text{kg CO}_2\text{-e/m}^2$	$\text{kg CO}_2\text{-e}$
EPS Neopor	16	31	5,9	7.522,5
kamena volna manjše gostote	40	36	5,3	6.757,5
reciklirana celuloza	45	40	2,2	2.805,0

EPS Neopor ima v primerjavi z reciklirano celulozo, v pogledu splošne okoljske sprejemljivosti, uporabe virov in vpliva na okolje zelo slabo oceno, kar z vrednostmi dokazuje tudi ogljični odtis. Ogljični odtis umetnih materialov znaša nad $3,38 \text{ kg CO}_2\text{-e}$ na kilogram mase materiala, kar je mnogo višje od ogljičnih odtisov naravnih toplotno izolacijskih materialov, ki v povprečju znašajo od $0,061$ do $1,150 \text{ kg CO}_2\text{-e}$ na kilogram mase materiala [52].

Ker pa so lahko dobljene vrednosti marsikomu težko predstavljive, smo naredili še dodatno primerjavo oziroma ekvivalent razdalje prevoza z osebnim avtomobilom srednjega razreda. Za primerjavo z EPS Neopor lahko rečemo, da ustvarimo podoben vpliv na okolje, če prepotujemo z osebnim avtomobilom srednjega razreda razdaljo 22.440 kilometrov.

Preglednica 47: Ogljični odtis različnih toplotno izolacijskih materialov - primerjava

	OGLJIČNI ODTIS različnih toplotno izolacijskih materialov - primerjava	
	ogljiki odtis toplotne izolacije za celotni ovoj stavbe, površine 1275 m ² , U = 0,28 W/(m ² K)	ekvivalent razdalje prevoza z osebnim avtomobilom srednjega razreda
	kg CO ₂ -e	km
EPS Neopor	7.522,5	22.440
kamena volna manjše gostote	6.757,5	20.145
reciklirana celuloza	2.805,0	8.288

Če za obravnavano večstanovanjsko stavbo v primerjavo vzamemo še umetni material - aerogel, ki z 29 kg CO₂-e/m² ogljičnega odtisa toplotne izolacije za U = 0,28 W/(m²K) ustvari 36.975 kg CO₂-e, lahko zaključimo, da imajo naši izbrani toplotno izolacijski materiali relativno nizek ogljični odtis. Vendar pa je potrebno poudariti, da v analizo nismo zajeli izbire naprednega materiala Webertherm plus ultra 020, ki bi mogoče predhodni stavek ovrgel. Vzporedno se iz predhodno opravljenih analiz v sklopu magistrskega dela zavedamo, da izbrani materiali prispevajo veliko k prihrankom energije stavb, saj se z izvedbo toplotne izolacije na fasadni ovoj močno zmanjšajo toplotne izgube (primerjavo bomo predstavili v sklepnem poglavju). Zato v splošnem toplotno izolacijske materiale uvrščamo v sam vrh najučinkovitejših ukrepov in naložb za varčevanje z energijo in seveda posredno v samo zmanjševanje negativnih vplivov na okolje.

6.4.2 Ekonomski kazalnik

Kot smo predhodno že opredelili, za trajnostne stavbe velja, da v času načrtovanja, gradnje, obratovanja in odstranitve sledijo načelu skrbnega ravnanja z okoljem in ohranjanja naravnih virov ter da je njihova gradnja in uporaba ekonomična. Če pa se vzporedno dotaknemo še razmišljanja posameznikov v primeru odločanja o energijski prenovi stavbe, pa lahko opazimo, da je odločitev poleg energijske učinkovitosti in delno okoljske primernosti, v večini primerov z največjim poudarkom usmerjena na ekonomske kazalnike. Stroškovno učinkovit ukrep je namreč tisti, ko s čim nižjimi investicijskimi stroški dosežemo čim večji prihranek stroškov pri porabi energije.

Znotraj izbranega poglavja se nismo osredotočili na izbiro najboljšega stroškovno učinkovitega scenarija prenove, ampak smo dopuščali možnost, da je izmed vseh izbranih in analiziranih scenarijev možnih več stroškovno učinkovitih. Preverili smo, kateremu izmed izbranih scenarijev se bo investicija v življenjski dobi odplačala sama. Tako smo za potrebe analize uporabili metodo LCC (Life Cycling Cost), stroškovno analizo življenjskega cikla stavbe. Cene posameznih komponent oziroma elementov ter sistemov smo pridobili iz aktualno objavljenih cenikov proizvajalcev, preko poslanega povpraševanja in prejetih ponudb ali iz predvidene ocene zneska, navedene znotraj pripravljenega popisa del. Pri analizi smo upoštevali tudi možnost pridobitve nepovratnih finančnih sredstev Eko sklada za vse predvidene scenarije. S tem smo sledili postopku, ki je bil že izveden za PEP-K1 v izvedbi pristojnih na Gradbenem inštitutu ZRMK in bo realiziran na večstanovanjski stavbi Kumanovska 1.

6.4.2.1 Razpisni pogoji Eko Sklad

Eko sklad, Slovenski okoljski javni zavod spodbuja razvoj na področju varstva okolja in vzporedno spodbuja k energetskim naložbam. Doseganje le-tega poteka s podeljevanjem kreditov za okoljske naložbe in tudi z drugimi načini pomoči, med katerimi je dodeljevanje nepovratnih finančnih sredstev. Sklad tako vzpodbuja vse vrste naložb, ki so skladne z nacionalnim programom varstva okolja ter hkrati z okoljsko politiko Evropske unije.

V sklopu izbrane tematike magistrskega dela smo v izračunih znotraj ekonomskih kazalnikov upoštevali naslednje javne pozive Eko sklada:

- Javni poziv 67SUB-OBPO19, Nepovratne finančne spodbude za nove skupne naložbe večje energijske učinkovitosti starejših stavb s tremi ali več posameznimi deli stavbe,
- Javni poziv 48SUB-SKOB17, Nepovratne finančne spodbude občanom za nove naložbe zamenjave starih kurilnih naprav v skupnih kotlovnicaх večstanovanjskih stavb,
- Javni poziv 71SUB-SO19, Nepovratne finančne spodbude/pomoči za naprave za samooskrbo z električno energijo.

6.4.2.1.1 Javni poziv 67SUB-OBPO19, Nepovratne finančne spodbude za nove skupne naložbe večje energijske učinkovitosti starejših stavb s tremi ali več posameznimi deli stavbe

Predmet javnega poziva [59] so nepovratne finančne pomoči/spodbude za nove skupne naložbe v starejših stavbah. Namen javnega poziva je večja energijska učinkovitost starejših stavb. Nova skupna naložba je torej naložba za izvedbo enega ali več v nadaljevanju navedenih ukrepov na skupnih delih stavbe:

- A – toplotna izolacija fasade, zunanega zidu/tal ali zidu proti terenu,
- B – toplotna izolacija ravne strehe, poševne strehe ali stropa proti neogrevanemu prostoru/podstrešju,
- C – toplotna izolacija tal na terenu ali tal nad neogrevanim prostorom/kletjo,
- D – optimizacija sistema ogrevanja,
- E – vgradnja prezračevanja z vračanjem toplote odpadnega zraka.

PEP-K1 v našem primeru zajema celovito prenovo stavbe, zato smo v analizo vključili vse zgoraj navedene ukrepe. V nadaljevanju pa bomo predstavili zgolj razmerja in pogoje ter višino nepovratnih finančnih spodbud, ki se navezujejo na obravnavani primer večstanovanjske stavbe Kumanovska 1.

Pri načrtovanju same debeline toplotne izolacije smo se skladno z veljavno zakonodajo osredotočili na naslednje razmerje med toplotno prevodnostjo (λ) in debelino (d) nove toplotne izolacije, določeno v obravnavanem javnem pozivu [59]:

- A – toplotna izolacija fasade: $\lambda/d \leq 0,230 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
(op. velja za stavbo, kjer še ni vgrajene toplotne izolacije),
- B – toplotna izolacija ravne strehe: $\lambda/d \leq 0,140 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

(op. pri navedenem izračunu razmerij se morebitne obstoječe izolacije ne upoštevajo),

- C – toplotna izolacija tal nad neogrevanim prostorom/kletjo: $\lambda/d \leq 0,280 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

(op. pri navedenem izračunu razmerij se morebitne obstoječe izolacije ne upoštevajo).

Pri D – optimizaciji ogrevanja se pravica do nepovratne finančne spodbude dodeli za optimizacijo sistema ogrevanja, ki zajema nakup in vgradnjo radiatorskih termostatskih ventilov in hidravlično uravnoteženje celotnega sistema ogrevanja. Ukrep E – vgradnje prezračevanja z vračanjem toplote odpadnega zraka pa vključuje stanovanjske prezračevalne naprave za lokalno prezračevanje, ki izmenjujoče dovajajo zrak v prostor in odvajajo zrak iz prostora, morajo biti vgrajene v paru in med seboj sinhronizirane [59].

Višina nepovratne finančne spodbude znaša [59]:

- A – toplotna izolacija fasade:
... do 20 % priznanih stroškov naložbe, vendar ne več kot 16 eur na m² toplotne izolacije fasade,
- B – toplotna izolacija ravne strehe:
... do 20 % priznanih stroškov naložbe, vendar ne več kot 16 eur na m² toplotne izolacije ravne strehe,
- C – toplotna izolacija tal nad neogrevanim prostorom/kletjo:
... do 20 % priznanih stroškov naložbe, vendar ne več kot 12 eur na m² toplotne izolacije tal nad neogrevano kletjo ,
- D – optimizacija sistema ogrevanja:
... do 20 % priznanih stroškov naložbe, vendar ne več kot 40 eur na grelna telo,
- E – vgradnja prezračevanja z vračanjem toplote odpadnega zraka:
... 30 % priznanih stroškov naložbe.

Ker bodo ob realizaciji PEP-K1 izvedeni več kot trije ukrepi, smo znotraj analize višine nepovratne finančne spodbude upoštevali točko c) poglavja 2. Vir in višina sredstev ter višina nepovratne finančne spodbude, ki zajema višino nepovratne finančne spodbude v primeru hkratne izvedbe 3 (treh) ali več ukrepov po tem javnem pozivu. To pomeni v primeru, da upravičena oseba z isto vlogo kandidira za najmanj 3 (tri) ukrepe po tem javnem pozivu, ki bodo izvedeni v isti starejši stavbi, je upravičena do višje nepovratne finančne spodbude. Višja nepovratna finančna spodbuda je vsota zneskov, ki so opredeljeni za posamezen ukrep, povečanih za 50 %, a ne sme znašati več kot 30 % upravičenih stroškov naložbe. Pri izvedbi ukrepa E, pri katerem je že osnovna višina nepovratne finančne spodbude določena v višini 30 % priznanih stroškov naložbe, ni mogoče pridobiti višje nepovratne finančne spodbude od 30 % [59].

6.4.2.1.2 Javni poziv 48SUB-SKOB17, Nepovratne finančne spodbude občanom za nove naložbe zamenjave starih kurilnih naprav v skupnih kotlovnica večstanovanjskih stavb

Predmet javnega poziva [60] so nepovratne finančne spodbude za nove naložbe zamenjave starih kurilnih naprav v skupnih kotlovnica v lasti lastnikov, solastnikov ali etažnih lastnikov večstanovanjskih stavb (tj. stavb s tremi ali več stanovanji) na območju Republike Slovenije. Namen javnega poziva je povečanje rabe obnovljivih virov energije in večja energijska

učinkovitost večstanovanjskih stavb ter zmanjšanje prekomerne onesnaženosti z delci PM₁₀ in s tem izboljšanje kakovosti zunanjega zraka. Nepovratna finančna spodbuda je lahko dodeljena le za zamenjavo stare oziroma starih kurilnih naprav v skupni kotlovnici večstanovanjske stavbe z novo ogrevalno napravo, in sicer [60]:

- s kurilno napravo na lesno biomaso,
- z ogrevalno toplotno črpalko,
- s plinskim kondenzacijskim kotlom,
- s toplotno postajo za priklop na sistem daljinskega ogrevanja.

Pri načrtovanju različnih scenarijev prenove smo v analizo vključili tudi zamenjavo obstoječega daljinskega ogrevanja z ogrevalno toplotno črpalko. Višina nepovratne finančne spodbude v tem primeru znaša do 25 % priznanih stroškov naložbe [60].

6.4.2.1.3 Javni poziv 71SUB-SO19, Nepovratne finančne spodbude/pomoči za naprave za samooskrbo z električno energijo

Predmet javnega poziva [61] so nepovratne finančne spodbude/pomoči za nove naložbe nakupa in vgradnje naprav za individualno in skupnostno samooskrbo gospodinjskih odjemalcev ali malih poslovnih odjemalcev z električno energijo, ki električno energijo proizvajajo z izrabo sončne energije. Nepovratna finančna spodbuda se lahko dodeli le za nove naprave za samooskrbo z električno energijo [61].

Višina nepovratne finančne spodbude znaša 180 EUR za 1 kVA inštalirane nazivne električne moči naprave za samooskrbo z električno energijo, in sicer za največ 80 % vsote priključnih moči odjemnih mest [61], kar bomo uporabili pri analizi scenarijev S10 in S11.

6.4.2.2 Stroškovna analiza življenjskega cikla stavbe (LCC)

Stroškovna analiza življenjskega cikla stavbe oziroma skrajšano LCC analiza je orodje oziroma metoda, ki omogoča presojo upravičenosti celotne naložbe ali pa le posameznega posega v vseh fazah stavbe: od začetka naložbe, gradnje, obratovanja in vzdrževanja, do obnove in končne odstranitve.

Znotraj LCC analize govorimo o denarnem toku, ki vzporedno vključuje inflacijo oziroma rast cen izdelkov in storitev v določenem časovnem obdobju, tj. v našem primeru življenjski dobi. Za potrebe magistrskega dela smo nastale stroške v življenjski dobi diskontirali z diskontno stopnjo 4 %, kot splošno diskontno stopnjo navedeno v Uredbi o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ [62]. Poleg diskontne stopnje smo upoštevali tudi 2 % inflacijo na letni ravni, upoštevajoč podatek za februar 2020 iz aktualnih podatkov Statističnega Urada Republike Slovenije [63]. Vse cene in vrednosti izračunov znotraj obravnavanega poglavja so podane brez davka na dodano vrednost.

Načrtovanje prenove ali novogradenj na podlagi vseživljenjskih stroškov stavb (LCC) je sodoben pristop. Na tržišču je na voljo že kar nekaj orodij, s katerimi je mogoče zagotoviti kar najbolj smotno porabo razpoložljivih sredstev, saj omogočajo analizo več možnih scenarijev

obnove (oz. gradnje) ter izbiro najugodnejšega, tj. tistega, pri katerem se nam bo investicija po našem mnenju najbolj obrestovala, tako s finančnega vidika kot z vidika boljših bivalnih in delovnih pogojev [64].

Pri izračunu stroškov LCC analize stavbe bomo vključili investicijske, vzdrževalne in obratovalne stroške ter na koncu vse skupaj povzeli in prikazali njihovo neto sedanjo vrednost (NSV) za časovno obdobje tridesetih let življenjske dobe skupaj z vračilno dobo investicije.

6.4.2.2.1 Investicijski stroški

Pri izračunu investicijskih stroškov smo cene pridobili iz aktualno objavljenih oziroma pridobljenih cenikov proizvajalcev ter izvajalcev, preko poslanega povpraševanja in prejetih ponudb ali iz predvidene ocene vrednosti, navedene znotraj pripravljenega popisa del v projektni dokumentaciji za izvedbo gradnje (PZI) (2019).

V nadaljevanju bomo v začetnem delu predstavili investicijske stroške za ukrepe prenove znotraj PEP-K1, ki je hkrati tudi osnova za vse izbrane in analizirane scenarije prenove. Temu bo sledil izračun vseh investicijskih stroškov posameznih dodanih oziroma spremenjenih ukrepov na načrtovan PEP-K1, ki so izbrani z namenom izboljšanja energijske učinkovitosti večstanovanjske stavbe.

Investicijska vrednost posameznega dela prenove vključuje naslednje postavke:

- izvedba fasade (PEP-K1 in S1 - S3): TI material fasadnega ovoja ter podzidka oziroma „cokla“ (ekstrudiran polistiren Ursa XPS Plus) + ves potreben material za izvedbo fasadnega sistema, vgradnjo sistema, postavitve gradbenega odra, izvedbo drugih del (montaža, demontaža, odstranitev, izravnavanje...) ter ostale stroške, ki so smiselno povezani z izvedbo fasadnega ovoja,
- izvedba TI stropa nad neogrevano kletjo (PEP-K1): TI material + ves potreben material za izvedbo, vgradnjo TI materiala, slikanje z disperzijsko barvo ter ostale stroške, ki so smiselno povezani z izvedbo TI stropa nad neogrevano kletjo,
- prenova ravne strehe, pohodna in nepohodna (PEP-K1): pregled stanja obstoječih slojev s štirimi globinskimi sondami, material in vgradnjo vseh potrebnih zaščitnih, izolacijskih in finalnih plasti, izvedbo drugih del (montaža, demontaža, odstranitev...) ter ostale stroške, ki so smiselno povezani s prenovo ravne strehe,
- zamenjava stavbnega pohištva (PEP-K1 in S4): PVC vrata na teraso ter ALU vhodna vrata za PEP-K1 oziroma eno- in dvokrilna PVC okna oziroma dvokrilna balkonska PVC vrata s troslojno zasteklitvijo za S4, vgradnjo skladno s smernico RAL ter ostale stroške, ki so smiselno povezani z vgradnjo zunanjega stavbnega pohištva,
- hidravlično uravnoteženje sistema ogrevanja (PEP-K1): ves potreben material za izvedbo (različne vrste ventilov in termostatov, navojne cevi, elastomerna fleksibilna izolacija cevovodov...), izvedbo drugih del (predelava, montaža, demontaža, odstranitev, praznjenje in polnjenje sekundarnega sistema ogrevanja...) ter ostale stroške, ki so smiselno povezani s hidravličnim uravnoteženjem sistema ogrevanja,
- vgradnja mehanskega prezračevalnega sistema (PEP-K1 in S5): lokalne prezračevalne sisteme z rekuperacijo (23 oziroma 10 sistemov), izvedbo izvrtin v

steno in montažo sistemov ter ostale stroške, ki so smiselno povezani z vgradnjo sistemov,

- vgradnja toplotne črpalke (S6 – S9): toplotno črpalko s pripadajočo notranjo krmilno enoto, črpalko, zalogovnikom, bojlerjem ter izolacijo, izvedbo instalacij v kotlovnici ter ostale stroške, ki so smiselno povezani z vgradnjo toplotne črpalke,
- namestitev fotovoltaične elektrarne na stavbo (S10 – S11): naprave za samooskrbo z električno energijo, montažo naprave za samooskrbo z električno energijo ter zagona sistema, pripadajočo električno inštalacijo in opremo ter ostale stroške, ki so smiselno povezani z namestitvijo fotovoltaične elektrarne na stavbo,
- ostali stroški, ki so smiselno povezani s prenovo (PEP-K1 in vsi obravnavani scenariji): odstranitev obrob in pločevine, demontažo obstoječih starih in montažo novih klima naprav z vsemi pripadajočimi instalacijami ter zaščitnimi klima box-i, odstranitev obstoječega in montaža novega nadstreška nad vhodom, odstranitev in montaža nove kovinske konzole za zastavo, izvedbo spremembe tlaka balkonov in lož, obdelavo na fasadi izvedenih izvrtin, odstranitev in montažo okenskih polic in kaset za zunanje žaluzije, vgradnjo cevi za odvod kondenza, prenovo ograje lož / balkonov / terase, montažo mreže na oknih, novo tipsko aluminijasto lestev za dostop na streho, demontažo in ponovno montažo poštnega nabiralnika, vgradnjo požarnih vrat v kleti...

Preglednica 48: Investicijska vrednost projekta energetske prenove, PEP-K1

INVESTICIJSKA VREDNOST projekta energetske prenove, PEP-K1		
	investicijska vrednost posameznega ukrepa	investicijska vrednost posameznega ukrepa z vključeno nepovratno finančno spodbudo v primeru hkratne izvedbe treh ali več ukrepov - javni poziv 67SUB-OBPO19
	eur	eur
izvedba TI fasadnega ovoja	73.001	51.100
izvedba TI stropa nad neogrevano kletjo	15.993	11.195
prenova ravne pohodne strehe - terasa	12.496	10.463
prenova ravne nepohodne strehe	21.042	15.287
zamenjava izbranega zunanjega stavbnega pohištva	5.300	5.300
hidravlično uravnoteženje sistema ogrevanja	12.000	8.400
vgradnja lokalnega mehanskega prezračevanja	21.076	14.753
ocena ostalih stroškov, ki so smiselno povezani s prenovo	61.500	61.500
SKUPAJ investicijska vrednost prenove PEP-K1	222.408 eur	177.998 eur

Preglednica 49: Investicijska vrednost posameznih ukrepov prenove

INVESTICIJSKA VREDNOST posameznih ukrepov prenove		
	investicijska vrednost posameznega ukrepa	investicijska vrednost posameznega ukrepa z vključeno nepovratno finančno spodbudo po javnem pozivu Eko sklada
	eur	eur
S1 – S3 ... ukrep izbire različnih variant toplotno izolacijskega materiala za fasadni ovoj		
S1 ... kamena volna	87.132	60.992
S2 ... celulozna izolacija + lesno-vlaknene plošče	102.628	71.839
S3 ... Webertherm plus ultra 020	115.578	80.904
S4 ... ukrep zamenjave zunanjega stavbnega pohištva	47.312	velja samo za zamenjavo lesenih oken
S5 ... ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema	9.163	6.414

Se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 49

S6 – S8 ... ukrep vgradnje toplotne črpalke		
S6 ... toplotna črpalka za ogrevanje	41.842	31.381
S7 ... toplotna črpalka za toplo sanitarno vodo	21.587	16.190
S8 ... toplotna črpalka v kombinaciji	50.878	38.159
S10 – S11 ... ukrep namestitve fotovoltaične elektrarne		
S10 ... fotovoltaična elektrarna – na načrtovani PEP-K1	28.416	22.308
S11 ... fotovoltaična elektrarna – na scenarij kombinacije ukrepov	28.416	22.308

Ob tem je potrebno omeniti, da je bila znotraj scenarijev S1 – S3 izbira debeline toplotne izolacije fasadnega ovoja vezana na tri različne sklope gradbenih elementov večstanovanjske stavbe, prikazano v preglednici v nadaljevanju. Debeline toplotno izolacijskega materiala smo izbrali na podlagi razpoložljivosti debelin posameznega materiala iz strani proizvajalcev.

Preglednica 50: Debeline uporabljenega toplotno izolacijskega materiala

	Debeline uporabljenega toplotno izolacijskega materiala		
	S1	S2	S3
	scenarij prenove - fasadni ovoj s TI kamena volna	scenarij prenove - fasadni ovoj s celulozno TI	scenarij prenove - fasadni ovoj z ultra izolativno TI
	cm	cm	cm
debelina TI materiala za fasadni ovoj v površini 1089 m ²	kamena volna d = 15 cm	celuloza izolacija + lesno-vlakenne plošče d = 12 + 4 cm	Webertherm plus ultra 020 d = 9 cm
debelina TI materiala za del okenskih špalet, obloge stropov lož/balkonov in parapet terase na not. strani v površini 165 m ²	kamena volna d = 5 cm	grafitni EPS d = 3 cm	Webertherm plus ultra 020 d = 4 cm
debeline TI materiala za stranski del lože v površini 21 m ²	kamena volna d = 6 cm	grafitni EPS d = 7 cm	Webertherm plus ultra 020 d = 7 cm

V naslednjih korakih LCC analize nas je poleg obratovalne vrednosti in vzdrževanja, zanimala tudi skupna investicijska vrednost, ki zajema seštevek vseh investicij načrtovanih ukrepov prenove na večstanovanjski stavbi. V LCC analizo smo vključili vrednosti z vključeno nepovratno finančno spodbudo po javnem pozivu Eko sklada.

Preglednica 51: Skupna investicijska vrednost prenove večstanovanjske stavbe na Kumanovski ulici 1

	skupna INVESTICIJSKA VREDNOST PRENOVE	
	investicijska vrednost prenove	investicijska vrednost prenove z vključeno nepovratno finančno spodbudo po javnem pozivu Eko sklada
	eur	eur
projekt energetske prenove PEP-K1	222.408 eur	177.998 eur
scenarij 1 PEP-K1 + 'najpogostejša' izbira TI	236.539 eur	187.890 eur
scenarij 2 PEP-K1 + 'naravni' TI material	252.035 eur	198.737 eur
scenarij 3 PEP-K1 + 'napredni' TI material	264.985 eur	207.802 eur
scenarij 4 PEP-K1 + troslojna zasteklitev	269.720 eur	225.310 eur
scenarij 5 PEP-K1 + prezračevanje z rekuperacijo toplote	210.495 eur	169.659 eur
scenarij 6 PEP-K1 + toplotna črpalka za ogrevanje	252.250 eur	200.979 eur
scenarij 7 PEP-K1 + toplotna črpalka za toplo vodo	243.995 eur	194.188 eur
scenarij 8 PEP-K1 + toplotna črpalka za ogrevanje in toplo vodo	261.286 eur	207.757 eur
scenarij 9 PEP-K1 + kombinacija ukrepov	308.598 eur	255.069 eur

Se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 51

scenarij 10 PEP-K1 + fotovoltaika	250.824 eur	200.306 eur
scenarij 11 PEP-K1 + kombinacija ukrepov + fotovoltaika	337.014 eur	277.377 eur

6.4.2.2.2 Vzdrževalni stroški

Pri definiranju vzdrževalnih stroškov izbranih elementov smo se osredotočili na Pravilnik o standardih vzdrževanja stanovanjskih stavb in stanovanj (Uradni list RS, št. 20/04 in 18/11), priloga 1 [65]. Iz priloge 1 smo pridobili dva podatka, in sicer normalno dobo trajanja elementa v letih n ter faktor malih popravil od nove vrednosti f v %, kar zajema vzdrževalne stroške elementa. Za sisteme znotraj večstanovanjske stavbe pa smo stopili v kontakt z izbranimi proizvajalci oziroma izvajalcem vzdrževalnih del.

Preglednica 52: Prikaz stroškov vzdrževalnih del po posameznih elementih prenove oz. sistemih

	Prikaz stroškov vzdrževalnih del po posameznih elementih prenove oz. sistemih	
	normalna doba trajanja elementa v letih n	faktor malih popravil od nove vrednosti f v %
podstavki (cokli), fugirani (redno čiščenje in vzdrževanje, nadomeščanje odpadlega ometa, napolnitev razpok, preprečitev zamakanja)	30	20
kontaktne toplotnoizolacijske fasade (stiropor ali mineralna volna ipd. lepljena, nato ometana s plemenitim ometom)	30	30
PVC okna s troslojno zasteklitvijo in tipsko PVC zunanjo in notranjo okensko polico	30	10
lokalno mehansko prezračevanje z rekuperacijo	20	10 eur, 2x na leto
toplotna črpalka	15	60 eur na leto
fotovoltaika	30	vzdrževalna dela niso predvidena

Iz podane tabele lahko povzamemo, da je ocenjena življenjska doba za kontaktno toplotnoizolacijsko fasado 30 let, vzdrževalni stroški pa predstavljajo 30 % delež od nove vrednosti. Za elemente stavbnega pohištva oziroma PVC okna je znotraj pravilnika definirana delitev na manjše elemente, kar oteži obravnavanje vseh stroškov vzdrževanja. Na podlagi tega smo elemente združili v eno skupino, kar smo povzeli po metodi iz diplomske naloge M. Mirtiča [66], tj. PVC okna s troslojno zasteklitvijo in tipsko PVC zunanjo in notranjo okensko polico. Življenjska doba je prav tako ocenjena na 30 let, vzdrževalni stroški pa so v obsegu 10 % deleža od nove vrednosti. Za vse sisteme, ki so predvideni za vgradnjo v večstanovanjsko stavbo, smo za pomoč zaprosili proizvajalce oziroma izvajalca vzdrževalnih del. Prišli smo do podatkov, da ima lokalno mehansko prezračevanje z rekuperacijo 20 letno življenjsko dobo z vzdrževalnimi stroški dvakrat letno po okoli 10 eur za menjavo filtra. Toplotne črpalke imajo življenjsko dobo med 15 in 20 let in vzdrževalne stroške 60 eur letno za redni servis naprave, s poudarkom, da je prvih 5 let le-ta obvezen zaradi navezave na garancijo, za preostala leta pa je servis priporočilo. Na koncu imamo še fotovoltaične celice, ki imajo življenjsko dobo 30 let in so brez predvidenih vzdrževalnih del v tem obdobju.

Iz zgornjega prikaza normalne dobe trajanja elementov v letih n lahko vzporedno tudi predpostavimo, da bo življenjska doba prenove za obravnavano stavbo veljala za 30 let. Ob tem pa je potrebno poudariti, da bo v tem časovnem obdobju potrebno zamenjati mehansko prezračevanje z rekuperacijo toplote z dvajsetletno ter toplotno črpalko s petnajstletno

življenjsko dobo. S tem ukrepom se skupna investicijska vrednost prenove poveča, kar smo prikazali v preglednici 53 in uporabili v nadaljnjih izračunih analize.

Preglednica 53: Skupna investicijska vrednost prenove z vključeno nepovratno finančno spodbudo po javnem pozivu Eko sklada, 30 - letna življenjska doba stavbe

SKUPNA INVESTICIJSKA VREDNOST PRENOVE z vključeno nepovratno finančno spodbudo po javnem pozivu Eko sklada						
	PEP-K1	S1	S2	S3	S4	S5
	eur					
SKUPAJ za 30 let	192.751	202.643	213.490	222.555	240.063	176.073
	S6	S7	S8	S9	S10	S11
	eur					
SKUPAJ za 30 let	247.113	225.131	260.669	307.980	215.059	330.288

Za lažje razumevanje preglednice v nadaljevanju oziroma izračuna vzdrževalnih stroškov, bomo za scenarij 9 (S9 – kombinacija ukrepov) postopek izračuna prikazali v nadaljevanju.

Diskontirani vzdrževalni strošek v letu 2030 za scenarij S9 – kombinacija ukrepov zajemajo: toplotno izolacijo fasadnega ovoja, zamenjavo zunanega stavbnega pohišstva na celotni stavbi, vgradnjo lokalnega mehanskega prezračevalnega sistema ter vgradnjo toplotne črpalke v kombinaciji za ogrevanje in toplo sanitarno vodo.

- diskontni faktor v letu 2030 znaša: $(1 + 0,04)^{(2030 - 2020)} = 1,4802$
- inflacijski faktor v letu 2030 znaša: $(1 + 0,02)^{(2030 - 2020)} = 1,2190$

$$\begin{aligned}
 \text{diskontirani vzdrževalni stroški} = & \left(\frac{\text{faktor malih popravil fasadnega sistema (\%)} \times \text{investicija (eur)}}{\text{normalna doba trajanja elementa (leta)}} \right) \\
 & + (\text{število naprav prezračevalnega sistema} \times \text{strošek vzdrževanja sistema na leto (eur)}) \\
 & + \left(\frac{\text{faktor malih popravil zunanega stavbnega pohišstva (\%)} \times \text{investicija (eur)}}{\text{normalna doba trajanja elementa (leta)}} \right) \\
 & + (\text{strošek vzdrževanja toplotne črpalke na leto (eur)}) \times \frac{\text{inflacijski faktor}}{\text{diskontni faktor}} \quad (5)
 \end{aligned}$$

- vzdrževalni stroški fasadnega sistema:
 $(0,3 \times 51100 \text{ eur}) / 30 \text{ let} = 511 \text{ eur/leto}$
- vzdrževalni stroški prezračevalnega sistema:
 $23 \text{ sistemov} \times 20 \text{ eur/sistem na leto} = 460 \text{ eur/leto}$
- vzdrževalni stroški zunanega stavbnega pohišstva:
 $(0,1 \times 47312 \text{ eur}) / 30 \text{ let} = 157,71 \text{ eur/leto}$
- vzdrževalni stroški toplotne črpalke:
 60 eur/leto

vzdrževalni stroški za scenarij S9 v letu 2030

$$= \left(511 \frac{\text{eur}}{\text{leto}} + 460 \frac{\text{eur}}{\text{leto}} + 157,71 \frac{\text{eur}}{\text{leto}} + 60 \frac{\text{eur}}{\text{leto}} \right) \times \frac{1,2190}{1,4802} = 978,9 \frac{\text{eur}}{\text{leto}}$$

Preglednica 54: Letni diskontirani vzdrževalni stroški v obdobju 2020 – 2049

	LETNI DISKONTIRANI VZDRŽEVALNI STROŠKI v obdobju 2020 - 2049											
leto	PEP-K1	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
	eur											
2020	za leto vgradnje (2020) vzdrževalni stroški še niso predvideni											
2021	952,33	1.049,34	1.155,73	1.244,64	1.107,00	697,33	1.011,17	1.011,17	1.011,17	1.165,85	952,33	1.165,85
2022	934,01	1.029,16	1.133,50	1.220,70	1.085,72	683,92	991,73	991,73	991,73	1.143,43	934,01	1.143,43
2023	916,05	1.009,37	1.111,70	1.197,23	1.064,84	670,76	972,66	972,66	972,66	1.121,44	916,05	1.121,44
2024	898,43	989,96	1.090,33	1.174,20	1.044,36	657,87	953,95	953,95	953,95	1.099,87	898,43	1.099,87
2025	881,16	970,92	1.069,36	1.151,62	1.024,27	645,21	935,61	935,61	935,61	1.078,72	881,16	1.078,72
2026	864,21	952,25	1.048,79	1.129,47	1.004,58	632,81	917,61	917,61	917,61	1.057,98	864,21	1.057,98
2027	847,59	933,94	1.028,62	1.107,75	985,26	620,64	899,97	899,97	899,97	1.037,63	847,59	1.037,63
2028	831,29	915,98	1.008,84	1.086,45	966,31	608,70	882,66	882,66	882,66	1.017,68	831,29	1.017,68
2029	815,31	898,36	989,44	1.065,56	947,73	597,00	865,69	865,69	865,69	998,11	815,31	998,11
2030	799,63	881,09	970,41	1.045,07	929,50	585,51	849,04	849,04	849,04	978,91	799,63	978,91
2031	784,25	864,14	951,75	1.024,97	911,63	574,25	832,71	832,71	832,71	960,09	784,25	960,09
2032	769,17	847,53	933,45	1.005,26	894,10	563,21	816,70	816,70	816,71	941,62	769,17	941,62
2033	754,38	831,23	915,50	985,93	876,90	552,38	800,99	800,99	800,99	923,52	754,38	923,52
2034	739,87	815,24	897,89	966,97	860,04	541,76	785,59	785,59	785,59	905,76	739,87	905,76
2035	725,64	799,57	880,63	948,37	843,50	531,34	770,48	770,48	770,48	888,34	725,64	888,34
2036	711,69	784,19	863,69	930,13	827,28	521,12	755,66	755,66	755,66	871,25	711,69	871,25
2037	698,00	769,11	847,08	912,24	811,37	511,10	741,13	741,13	741,13	854,50	698,00	854,50
2038	684,58	754,32	830,79	894,70	795,77	501,27	726,88	726,88	726,88	838,07	684,58	838,07
2039	671,41	739,81	814,81	877,50	780,46	491,63	712,90	712,90	712,90	821,95	671,41	821,95
2040	658,50	725,58	799,15	860,62	765,45	482,18	699,19	699,19	699,19	806,14	658,50	806,14
2041	645,84	711,63	783,78	844,07	750,73	472,90	685,74	685,74	685,74	790,64	645,84	790,64
2042	633,42	697,95	768,70	827,84	736,30	463,81	672,56	672,56	672,56	775,44	633,42	775,44
2043	621,24	684,52	753,92	811,92	722,14	454,89	659,62	659,62	659,62	760,52	621,24	760,52
2044	609,29	671,36	739,42	796,30	708,25	446,14	646,94	646,94	646,94	745,90	609,29	745,90
2045	597,57	658,45	725,20	780,99	694,63	437,56	634,50	634,50	634,50	731,55	597,57	731,55
2046	586,08	645,79	711,26	765,97	681,27	429,15	622,29	622,29	622,29	717,49	586,08	717,49
2047	574,81	633,37	697,58	751,24	668,17	420,90	610,33	610,33	610,33	703,69	574,81	703,69
2048	563,76	621,19	684,16	736,79	655,32	412,80	598,59	598,59	598,59	690,16	563,76	690,16
2049	552,91	609,24	671,01	722,63	642,72	404,86	587,08	587,08	587,08	676,88	552,91	676,88

Preglednica 55: Skupni diskontirani vzdrževalni stroški (NSV)

	SKUPNI DISKONTIRANI VZDRŽEVALNI STROŠKI (NSV)					
	PEP-K1	S1	S2	S3	S4	S5
	eur					
SKUPAJ za 30 let	21.322,40	23.494,61	25.876,52	27.867,13	24.785,59	15.613,00
	S6	S7	S8	S9	S10	S11
	eur					
SKUPAJ za 30 let	22.639,95	22.639,95	22.639,95	26.103,14	21.322,40	26.103,14

Na podlagi vrednosti v preglednici 55 lahko ugotovimo, da so vzdrževalni stroški sorazmerni z investicijskimi, tj. višja kot je začetna investicijska vrednost, večji vzdrževalni stroški bodo sledili skozi predpostavljeno življenjsko dobo. Ugotovimo lahko, da so diskontirani skupni stroški vzdrževanja najnižji pri scenariju S5.

6.4.2.2.3 Obratovalni stroški

Obratovalni stroški so povezani z uporabo večstanovanjske stavbe. Za obravnavano večstanovanjsko stavbo smo v obratovalne stroške vključili stroške ogrevanja, priprave tople sanitarne vode, prezračevanja in razsvetljave. Le-ti so namreč najbolj smiselno povezani z ukrepi prenove stavbe in nam tako podajo primeren reprezentativen rezultat.

Predmetna stavba je za ogrevanje priključena na vročevodno omrežje v upravljanju podjetja Energetika Ljubljana, ki je priključeno preko indirektna toplotne postaje. Na podlagi dobljenih cen večletnega intervala smo predpostavili, da je dvig cen za področje daljinskega ogrevanja 6 % z vključeno inflacijsko vrednostjo. Cene skupaj z vsemi prispevki za dobavo električne

energije gospodinjiskim odjemalcem smo pridobili pri dobavitelju Elektro Energija, podjetja za prodajo elektrike in drugih energentov, svetovanje in storitve.

Obratovalne stroške smo, na podlagi preračunanih oziroma predvidenih cen energentov skupaj z vključenimi prispevki, določili z uporabo naslednje formule:

- diskontni faktor v letu 2030 znaša: $(1 + 0,04)^{(2030 - 2020)} = 1,4802$
- inflacijski faktor v letu 2030 znaša: $(1 + 0,02)^{(2030 - 2020)} = 1,2190$

$$\text{obratovadni stroški} = \frac{\text{letna poraba ogrevanja (kWh)} \times \text{cena energenta za ogrevanje} \left(\frac{\text{eur}}{\text{kWh}}\right) + \text{letna poraba električne energije (kWh)} \times \text{cena električne energije} \left(\frac{\text{eur}}{\text{kWh}}\right)}{\text{pripadajoči diskontni faktor}} \quad (6)$$

Preglednica 56: Letni diskontirani obratovalni stroški v obdobju 2020 – 2049

	LETNI DISKONTIRANI OBRATOVALNI STROŠKI v obdobju 2020 - 2049											
leto	PEP-K1	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
	eur											
2020	5.593,26	5.621,44	5.596,15	5.589,05	5.405,77	5.301,00	5.227,88	3.396,80	2.963,92	2.825,60	3.192,05	412,98
2021	5.509,23	5.537,35	5.512,11	5.505,03	5.322,15	5.222,59	5.127,34	3.355,81	2.906,92	2.771,26	3.154,20	405,04
2022	5.426,93	5.454,99	5.429,81	5.422,74	5.240,24	5.145,81	5.028,74	3.315,72	2.851,02	2.717,97	3.117,19	397,25
2023	5.346,33	5.374,33	5.349,19	5.342,14	5.160,01	5.070,60	4.932,03	3.276,52	2.796,19	2.665,70	3.081,00	389,61
2024	5.267,37	5.295,32	5.270,23	5.263,19	5.081,40	4.996,95	4.837,18	3.238,18	2.742,42	2.614,43	3.045,61	382,12
2025	5.190,03	5.217,93	5.192,89	5.185,85	5.004,38	4.924,81	4.744,16	3.200,67	2.689,68	2.564,16	3.010,99	374,77
2026	5.114,26	5.142,12	5.117,12	5.110,10	4.928,93	4.854,15	4.652,93	3.163,98	2.637,96	2.514,85	2.977,13	367,56
2027	5.040,04	5.067,85	5.042,89	5.035,88	4.855,00	4.784,93	4.563,45	3.128,09	2.587,23	2.466,48	2.944,01	360,49
2028	4.967,33	4.995,10	4.970,17	4.963,17	4.782,56	4.717,12	4.475,69	3.092,96	2.537,47	2.419,05	2.911,61	353,56
2029	4.896,09	4.923,82	4.898,93	4.891,94	4.711,58	4.650,69	4.389,62	3.058,59	2.488,68	2.372,53	2.879,90	346,76
2030	4.826,29	4.853,98	4.829,13	4.822,15	4.642,03	4.585,61	4.305,20	3.024,96	2.440,82	2.326,91	2.848,87	340,09
2031	4.757,90	4.785,56	4.760,74	4.753,77	4.573,87	4.521,85	4.222,41	2.992,04	2.393,88	2.282,16	2.818,51	333,55
2032	4.690,89	4.718,52	4.693,72	4.686,76	4.507,08	4.459,38	4.141,21	2.959,82	2.347,84	2.238,27	2.788,80	327,14
2033	4.625,23	4.652,83	4.628,06	4.621,11	4.441,63	4.398,17	4.061,57	2.928,29	2.302,69	2.195,23	2.759,72	320,85
2034	4.560,89	4.588,46	4.563,72	4.556,77	4.377,48	4.338,20	3.983,47	2.897,42	2.258,41	2.153,01	2.731,25	314,68
2035	4.497,84	4.525,38	4.500,66	4.493,72	4.314,62	4.279,43	3.906,86	2.867,19	2.214,98	2.111,61	2.703,39	308,62
2036	4.436,06	4.463,57	4.438,87	4.431,94	4.253,00	4.221,85	3.831,73	2.837,61	2.172,38	2.071,00	2.676,11	302,69
2037	4.375,51	4.402,99	4.378,32	4.371,39	4.192,61	4.165,42	3.758,04	2.808,64	2.130,60	2.031,17	2.649,41	296,87
2038	4.316,16	4.343,63	4.318,98	4.312,06	4.133,43	4.110,11	3.685,77	2.780,27	2.089,63	1.992,11	2.623,26	291,16
2039	4.258,01	4.285,45	4.260,82	4.253,90	4.075,41	4.055,92	3.614,89	2.752,49	2.049,45	1.953,80	2.597,66	285,56
2040	4.201,01	4.228,43	4.203,82	4.196,90	4.018,55	4.002,81	3.545,37	2.725,29	2.010,03	1.916,23	2.572,59	280,07
2041	4.145,14	4.172,54	4.147,95	4.141,04	3.962,82	3.950,75	3.477,19	2.698,65	1.971,39	1.879,38	2.548,04	274,68
2042	4.090,39	4.117,77	4.093,19	4.086,29	3.908,18	3.899,73	3.410,32	2.672,56	1.933,47	1.843,24	2.524,00	269,40
2043	4.036,72	4.064,08	4.039,52	4.032,62	3.854,63	3.849,73	3.344,74	2.647,00	1.896,29	1.807,79	2.500,45	264,22
2044	3.984,11	4.011,46	3.986,91	3.980,02	3.802,13	3.800,72	3.280,42	2.621,97	1.859,82	1.773,02	2.477,39	259,14
2045	3.932,55	3.959,88	3.935,35	3.928,46	3.750,67	3.752,69	3.217,33	2.597,46	1.824,05	1.738,93	2.454,80	254,15
2046	3.882,00	3.909,33	3.884,80	3.877,92	3.700,22	3.705,60	3.155,46	2.573,44	1.788,98	1.705,49	2.432,67	249,27
2047	3.832,46	3.859,77	3.835,26	3.828,38	3.650,77	3.659,45	3.094,78	2.549,91	1.754,57	1.672,69	2.411,00	244,47
2048	3.783,89	3.811,19	3.786,69	3.779,81	3.602,29	3.614,21	3.035,27	2.526,86	1.720,83	1.640,52	2.389,77	239,77
2049	3.736,28	3.763,56	3.739,08	3.732,20	3.554,76	3.569,86	2.976,89	2.504,28	1.687,74	1.608,97	2.368,97	235,16

Preglednica 57: Skupni diskontirani obratovalni stroški (NSV)

	SKUPNI DISKONTIRANI OBRATOVALNI STROŠKI (NSV)					
	obstoječe stanje					
SKUPAJ za 30 let	eur					
	297.862,58					
	PEP-K1	S1	S2	S3	S4	S5
	eur					
SKUPAJ za 30 let	137.320,22	138.148,64	137.405,08	137.196,29	131.808,22	130.610,15
	S6	S7	S8	S9	S10	S11
	eur					
SKUPAJ za 30 let	120.027,96	87.193,50	68.049,33	64.873,53	82.190,35	9.481,65

Vrednosti v preglednici 57 nam podajo pričakovano ugotovitev, da se skupni obratovalni stroški ob izvedbi dobrega toplotno izolacijskega fasadnega sistema zmanjšajo že za skoraj polovično vrednost v primerjavi z obstoječim stanjem fasade brez toplotne izolacije. Z izboljšanjem oziroma vgradnjo aktivnih sistemov v stavbo, tj. vgradnjo toplotne črpalke, fotovoltaične elektrarne ali izbiro kombinacije obojega, pa se obratovalni stroški še dodatno znižajo. Z večjim izkoriščanjem OVE, v našem primeru zraka in sonca, se nam tako znatno zmanjšuje strošek za obratovanje ter nenazadnje tudi negativen vpliv na okolje.

6.4.2.2.4 Neto sedanja vrednost (NSV) stroškov

V nadaljevanju sledi kumulativni prikaz NSV stroškov (diskontirano na leto prenove, 2020) za vse izbrane in analizirane scenarije prenove, tj. prikaz vseh stroškov, ki so prisotni v 30-letni življenjski dobi stavbe - investicijskih, vzdrževalnih in obratovalnih.

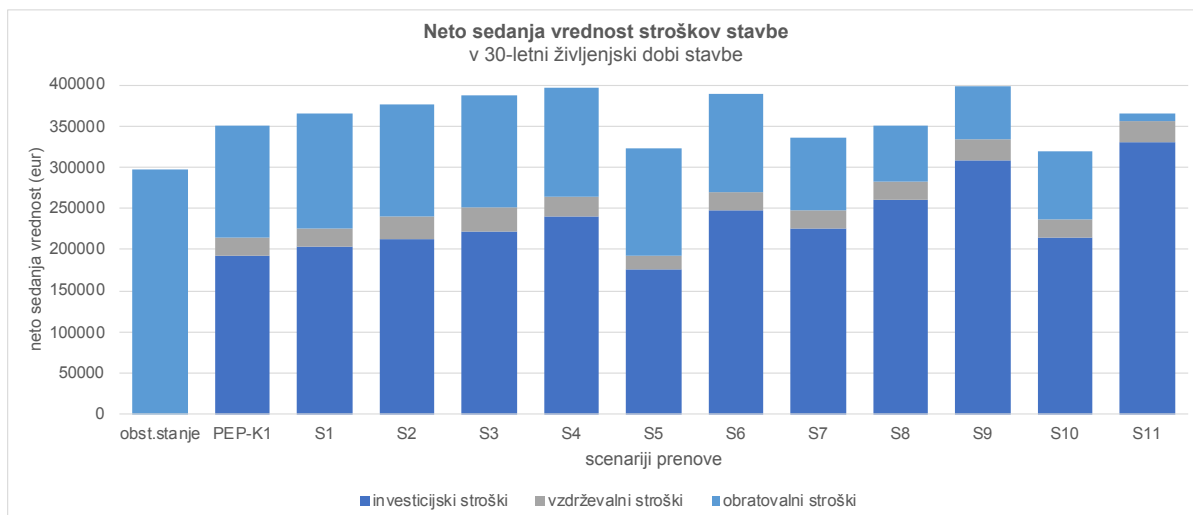
Preglednica 58: Neto sedanja vrednost stroškov v 30-letni življenjski dobi stavbe

NETO SEDANJA VREDNOST STROŠKOV v 30-letni življenjski dobi stavbe						
	PEP-K1	S1	S2	S3	S4	S5
eur						
SKUPAJ za 30 let	351.393,62	364.286,24	376.771,60	387.618,42	396.656,81	322.296,15
	S6	S7	S8	S9	S10	S11
eur						
SKUPAJ za 30 let	389.780,92	334.964,45	351.358,28	398.956,67	318.571,75	365.872,79

Preglednica 59: Struktura in delež posameznih stroškov v 30-letni življenjski dobi stavbe

STRUKTURA IN DELEŽ POSAMEZNIH STROŠKOV v 30-letni življenjski dobi stavbe			
	investicijski stroški	vzdrževalni stroški	obratovalni stroški
eur			
PEP-K1	192.751 eur	21.322,40 eur	137.320,22 eur
skupni stroški: 351393,62 eur	55 %	6 %	39 %
scenarij 1	202.643 eur	23.494,61 eur	138.148,64 eur
skupni stroški: 364286,24 eur	56 %	6 %	38 %
scenarij 2	213.490 eur	25.876,52 eur	137.405,08 eur
skupni stroški: 376771,60 eur	57 %	7 %	36 %
scenarij 3	222.555 eur	27.867,13 eur	137.196,29 eur
skupni stroški: 387618,42 eur	58 %	7 %	35 %
scenarij 4	240.063 eur	24.785,59 eur	131.808,22 eur
skupni stroški: 396656,81 eur	61 %	6 %	33 %
scenarij 5	176.073 eur	15.613,00 eur	130.610,15 eur
skupni stroški: 322296,15 eur	55 %	5 %	40 %
scenarij 6	247.113 eur	22.639,95 eur	120.027,96 eur
skupni stroški: 389780,92 eur	63 %	6 %	31 %
scenarij 7	225.131 eur	22.639,95 eur	87.193,50 eur
skupni stroški: 334964,45 eur	67 %	7 %	26 %
scenarij 8	260.669 eur	22.639,95 eur	68.049,33 eur
skupni stroški: 351358,28 eur	74 %	7 %	19 %
scenarij 9	307.980 eur	26.103,14 eur	64.873,53 eur
skupni stroški: 398956,67 eur	77 %	7 %	16 %
scenarij 10	215.059 eur	21.322,40 eur	82.190,35 eur
skupni stroški: 318571,75 eur	67 %	7 %	26 %
scenarij 11	330.288 eur	26.103,14 eur	9.481,65 eur
skupni stroški: 365872,79 eur	90 %	7 %	3 %

Na tem mestu lahko povzamemo celotno analizo LCC, prikazano v grafikonu 28. Presoja različnih scenarijev prenove stavbe na podlagi LCC analize nam poda vpogled v oceno stroškov za časovni interval tridesetih let ter vzporedno prikaže, katere scenarije lahko uvrstimo med stroškovno učinkovite in katere med stroškovno neučinkovite.



Grafikon 28: Neto sedanja vrednost stroškov stavbe v 30-letni življenjski dobi stavbe

Kot stroškovno učinkovit ukrep energijske prenove stavbe načelno opredelimo takšen ukrep, pri katerem je vračilna doba ukrepa krajša od njegove življenjske dobe. Ker energijsko prenovo stavbe navadno sestavlja skupina ukrepov, ekonomsko upravičenost energijske zasnove prenove stavbe vrednotimo primerjalno, glede na izhodiščno energijsko zasnovo pri obstoječi stavbi, na podlagi globalnih stroškov v življenjski dobi stavbe (LCC v obdobju npr. 30 let faze uporabe stavbe). Vsak scenarij prenove, ki na podlagi analize (energijskih lastnosti stavbe ter diskontiranih skupnih stroškov naložbe vzdrževanja, zamenjav ter obratovanja v življenjski dobi stavb) izkaže nižje skupne stroške ter nižjo rabo energije od izhodiščnega referenčnega stanja, je stroškovno učinkovit, vendar pa je optimalen tisti z najmanjšimi skupnimi stroški v smislu neto sedanje vrednosti [67].

V nadaljevanju smo se tako dotaknili še izračuna, ki predstavlja vračilno dobo in opredeljuje smiselnost investicije prenove. Želimo si, da se bo investicija v življenjski dobi odplačala sama. V izračunu metoda upošteva zgolj investicijo v prenovo ter donos oziroma letni nominalni prihranek pri porabljeni energiji za delovanje stavbe (velja za razmerje porabljene energije pred in po izvedeni prenovi), vsi ostali vplivi (vzdrževanje, letna rast cene energentov...) skozi celotno trideset letno življenjsko dobo oziroma med samo vračilno dobo pa v metodi niso upoštevani.

$$\text{donos (prihranek na leto)} = \text{letni nominalni strošek za energijo v obstoječem stanju} \left(\frac{\text{eur}}{\text{leto}} \right) - \text{letni nominalni strošek za energijo po prenovi} \left(\frac{\text{eur}}{\text{leto}} \right) \quad (7)$$

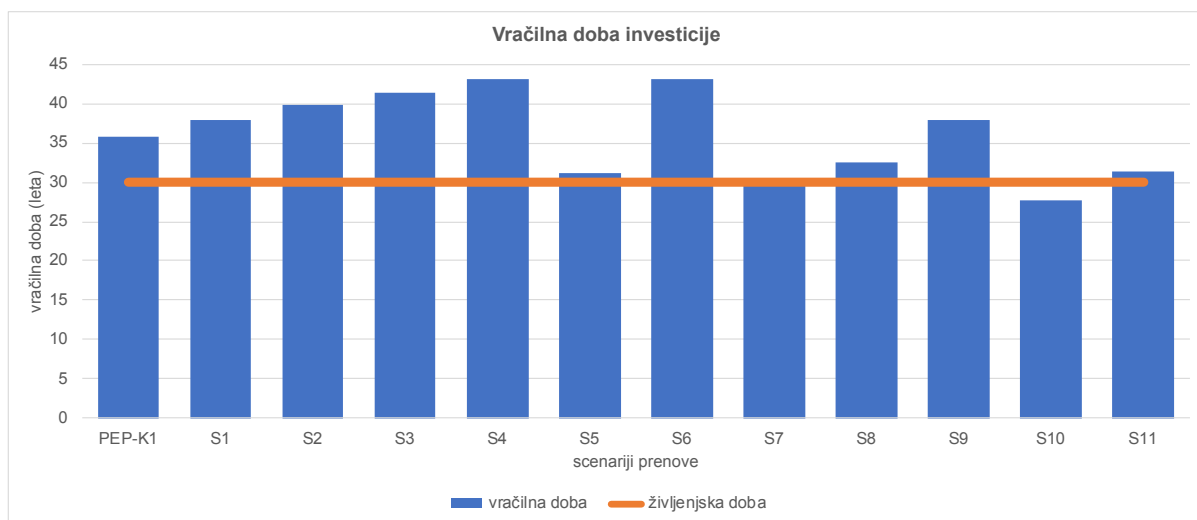
Preglednica 60: Donos (prihranek na leto)

		DONOS (prihranek na leto)	
		letni nominalni strošek za energijo v obstoječem stanju	
		eur/leto	
obstoječe stanje		10.965,99	
		letni nominalni strošek za energijo po prenovi	donos (prihranek na leto)
		eur/leto	eur/leto
	PEP-K1	5.593,26	5.372,73
scenarij 1	PEP-K1 + 'najpogostejša' izbira TI	5.621,44	5.344,55
scenarij 2	PEP-K1 + 'naravni' TI material	5.596,15	5.369,84
scenarij 3	PEP-K1 + 'napredni' TI material	5.589,05	5.376,94
scenarij 4	PEP-K1 + troslojna zasteklitev	5.405,77	5.560,22
scenarij 5	PEP-K1 + prezračevanje z rekuperacijo toplote	5.301,00	5.664,99
scenarij 6	PEP-K1 + toplotna črpalka za ogrevanje	5.227,88	5.738,11
scenarij 7	PEP-K1 + toplotna črpalka za toplo vodo	3.396,80	7.569,19
scenarij 8	PEP-K1 + toplotna črpalka v kombinaciji	2.963,92	8.002,07
scenarij 9	PEP-K1 + kombinacija ukrepov	2.825,60	8.140,39
scenarij 10	PEP-K1 + fotovoltaika	3.192,05	7.773,94
scenarij 11	PEP-K1 + kombinacija ukrepov + fotovoltaika	412,98	10.553,01

$$\text{vračilna doba} = \frac{\text{vložena sredstva (investicija v prenavo)}(\text{eur})}{\text{letni donos (prihranek na leto)} \left(\frac{\text{eur}}{\text{leto}}\right)} \quad (8)$$

Preglednica 61: Vračilna doba investicije

		VRAČILNA DOBA investicije		
		investicijski stroški	donos (prihranek na leto)	vračilna doba
		eur	eur/leto	število let
	PEP-K1	192.751	5.372,73	35,9
scenarij 1	PEP-K1 + 'najpogostejša' izbira TI	202.643	5.344,55	37,9
scenarij 2	PEP-K1 + 'naravni' TI material	213.490	5.369,84	39,8
scenarij 3	PEP-K1 + 'napredni' TI material	222.555	5.376,94	41,4
scenarij 4	PEP-K1 + troslojna zasteklitev	240.063	5.560,22	43,2
scenarij 5	PEP-K1 + prezračevanje z rekuperacijo toplote	176.073	5.664,99	31,1
scenarij 6	PEP-K1 + toplotna črpalka za ogrevanje	247.113	5.738,11	43,1
scenarij 7	PEP-K1 + toplotna črpalka za toplo vodo	225.131	7.569,19	29,7
scenarij 8	PEP-K1 + toplotna črpalka v kombinaciji	260.669	8.002,07	32,6
scenarij 9	PEP-K1 + kombinacija ukrepov	307.980	8.140,39	37,8
scenarij 10	PEP-K1 + fotovoltaika	215.059	7.773,94	27,7
scenarij 11	PEP-K1 + kombinacija ukrepov + fotovoltaika	330.288	10.553,01	31,1



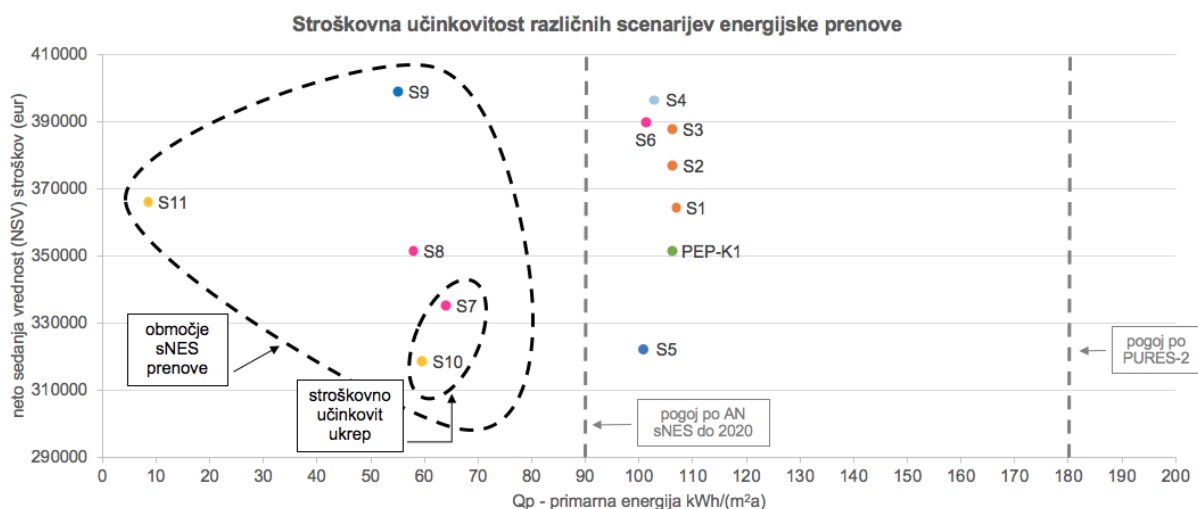
Grafikon 29: Vračilna doba investicije

Iz grafikona je jasno razvidno, da je v PEP-K1 in vseh analiziranih scenarijih prenove vračilna doba investicije večja od 30-letne življenjske dobe prenove. Z majhno izjemo dveh scenarijev, tj. scenarij S7 z vgradnjo toplotne črpalke za toplo sanitarno vodo in scenarij S10 z vgradnjo fotovoltaične elektrarne na stavbo pri PEP-K1, kjer bi se znatno zmanjša poraba električne energije in posledično dvignil letni donos. Iz tega torej izhajamo, da sta scenarija S7 in S10 stroškovno učinkovita. Ekonomska upravičenost celotne naložbe vseh scenarijev je torej nizka. Na tem mestu pa je potrebno še poudariti, da vračilna doba ne more in ne sme biti edino merilo za odločitev pri izvedbi prenove, saj le-ta ob pravilni izbiri in izvedbi vzporedno vpliva tudi na zmanjšanje količine škodljivih snovi in negativnih vplivov na okolje na eni strani in povečanje kakovosti notranjega okolja in bivanja znotraj stavb na drugi strani. Ne smemo pa pozabiti na nižanje obratovalnih stroškov in nenazadnje prehod na OVE, kar je bil eden izmed glavnih ciljev pri oblikovanju scenarijev prenove in izbiri ukrepov.

Kot povzetek ob koncu pod-poglavja smo na grafikonu 30 prikazali obravnavane scenarije energijske prenove stavbe z neto sedanjo vrednostjo (NSV) vseživljenjskih stroškov stavbe v 30-letni življenjski dobi v odvisnosti od pripadajoče rabe primarne energije Q_p . Izmed vseh analiziranih scenarijev bi bil scenarij S10 stroškovno optimalna varianta.

Preglednica 62: Vrednosti Q_p in NSV za PEP-K1 in scenarije prenove

		vrednosti Q_p in NSV za PEP in scenarije prenove	
		x - os Q_p – primarna energija kWh/(m ² a)	y - os neto sedanja vrednost (NSV) stroškov eur
	PEP-K1	106,4	351.393,62
scenarij 1 – S1	PEP-K1 + 'najpogostejša' izbira TI	106,9	364.286,24
scenarij 2 – S1	PEP-K1 + 'naravni' TI material	106,4	376.771,60
scenarij 3 – S3	PEP-K1 + 'napredni' TI material	106,3	387.618,42
scenarij 4 – S4	PEP-K1 + troslojna zasteklitev	102,9	396.656,81
scenarij 5 – S5	PEP-K1 + prezračevanje z rekuperacijo toplote	100,8	322.296,15
scenarij 6 – S6	PEP-K1 + toplotna črpalka za ogrevanje	101,5	389.780,92
scenarij 7 – S7	PEP-K1 + toplotna črpalka za toplo vodo	64,1	334.964,45
scenarij 8 – S8	PEP-K1 + toplotna črpalka v kombinaciji	58,0	351.358,28
scenarij 9 – S9	PEP-K1 + kombinacija ukrepov	55,2	398.956,67
scenarij 10 – S10	PEP-K1 + fotovoltaika	59,7	318.571,75
scenarij 11 – S11	PEP-K1 + kombinacija ukrepov + fotovoltaika	8,5	365.872,79



Grafikon 30: Stroškovna učinkovitost različnih scenarijev energijske prenove

6.4.3 Tehnični in procesni kazalniki trajnostne gradnje

6.4.3.1 Analiza zrakotesnosti

Glede na geografsko lego Slovenije velja, da je stavba v večini leta toplejša kot okolica. Zraku se ob spremembi temperature spreminja tudi tlak, zrak začne iskati netesne dele stavbe in uhaja na prosto. Ob prehodu preko konstrukcijskega sklopa stavbe se zrak ohlaja in na določeni točki v prehodu kondenzira, kar na dolgi rok lahko privede do konstrukcijskih problemov stavbe. Problem zrakotesnosti se jasno pokaže, ko se v obstoječi stavbi, ki ni grajena zrakotesno, zamenja zgolj zunanje stavbno pohišstvo ali toplotno izolira fasadni ovoj in se s tem posegom bistveno zmanjša uhajanje zraka, ki je bilo prej v veliki meri omogočeno preko netesnih oken in vrat oziroma fasadnega ovoja. Zaradi toplotnih mostov pri špaletah oken, na notranji strani balkonov itd. se v večini primerov pojavi plesen, ki je posledica kondenzacije vlage, ki jo zid absorbira. Vse to povzroča na dolgi rok konstrukcijske probleme in niža kvaliteto bivanja v takem prostoru [68].

Možne posledice slabe zrakotesnosti [69]:

- večje toplotne izgube in s tem višja raba energije za ogrevanje stavbe,
- večja toplotna obremenitev v poletnem času in večje potrebe po hlajenju,
- znižanje površinskih temperatur na mestu konvekcijskega preboja, nevarnost površinske kondenzacije vodne pare in razvoja plesni,
- nevarnost kondenzacije vodne pare znotraj konstrukcije in s tem možnost gradbeno fizikalnih in mehanskih poškodb materialov in proizvodov,
- povečano gibanje zraka v prostoru, intenzivnejše odlaganje prahu, občutek prepiha,
- zmanjšanje učinkovitosti sistema mehanskega prezračevanja,
- nižja raven bivalnega ugodja v prostoru.

Nižja raven bivalnega ugodja v prostoru je velikokrat povezana prav z razvojem plesni, ki je vedno večji problem in vpliva na zdravje ljudi v bivalnem in delovnem okolju. Številne študije namreč dokazujejo, da imajo glive oziroma plesni v bivalnem in delovnem okolju lahko negativen vpliv na zdravje. Poznamo tri glavne mehanizme obolenj: okužbe, alergije in zastrupitve. V vseh treh primerih je razvoj bolezni odvisen od vrste gliv. Glive rodu *Aspergillus* prištevamo med najbolj agresivne plesni. Povzročajo aspergilozo dihal, ki jo prištevamo med bolezni, povezani s stavbo (ang. building related illness, BRI). Okužbe, ki jih povzročajo omenjene glive, se pojavijo tudi pri zdravih ljudeh, bolj občutljivi pa so ljudje z oslabljenim imunskim sistemom in kroničnim obolenjem dihal. Okužbe namreč najpogosteje zajamejo kožo in pljuča, redkeje pa tudi centralni živčni sistem, kosti, sklepe in bezgavke [70].

Največkrat se kot škodljivi učinek plesni pri človeku pojavijo alergije, ki so pravzaprav reakcija na nekaj organizmu nevarnega in se kažejo v obliki srbenja oči, kihanja, kašljanja in zamašenega nosu oziroma v bolj agresivni obliki, tj. težko dihanje, pomanjkanje sape in tiščanje v pljučih. Posebna vrsta alergij pa se pojavlja pri astmatičnih bolnikih, kar zahteva posebno pozornost [71].

Ker plesni sproščajo toksine, lahko pride tudi do zastrupitve organizma, kar se kaže z glavoboli, kašljem, vnetjem grla, težavami s sinusi, vročino, vrtoglavico ter slabostjo. Ta zastrupitev je lahko, če je ne odkrijemo in začnemo pravilno zdraviti, tudi smrtno nevarna. V najhujših primerih lahko plesen poškoduje notranje organe in povzroči celo njihovo odpoved. Do tega pride, če spore plesni prodrejo v človeško telo in začnejo naseljevati določene organe. Med tem sproščajo mikotoksin, ki je nevaren za vse notranje organe, vključno s srcem, pljuči in reproduktivnimi organi [71].

Zavedati se moramo, da plesen v stanovanju ni le neestetska in neprijetna, kot jo večina ljudi opredeljuje, vendar je tudi izjemno nevarna, zdravju škodljiva in hkrati vpliva na vsakodnevno počutje in produktivnost ljudi znotraj stavbe.

6.4.3.2 Predpisi s področja zrakotesnosti

Iz PURES-2 oziroma iz Tehnične smernice za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije lahko povzamemo, da zrakotesnost stavbe ali njenega dela brez mehanskega prezračevanje ne sme presegati treh (3) izmenjav zraka na uro pri upoštevanju tlačni razliki 50 Pa in v stavbah z vgrajenim sistemom mehanskega prezračevanje z več kot 0,7-kratno izmenjavo zraka, računano z V_e zrakotesnost ne sme presegati dve (2) izmenjavi zraka na uro pri upoštevanju tlačni razliki 50 Pa [2]. Vse vrednosti se nanašajo na izvedene meritve po standardu SIST EN ISO 9972:2015, Toplotne značilnosti stavb – Ugotavljanje prepustnosti za zrak obodnih konstrukcij – Metoda tlačne razlike z uporabo ventilatorja.

Zaradi zaostrovanja slovenske zakonodaje na področju učinkovite rabe energije v stavbah in z uvajanjem skoraj nič-energijskih stavb bo preverjanje zrakotesnosti postalo nujnost, čeprav sam preizkus zrakotesnosti tj. BlowerDoor test v zakonodaji ni naveden kot obvezen postopek. Ob tem pa je potrebno poudariti, da je znotraj Tehnične smernice za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije navedeno, da je potrebno nadzorovati (uravnavati) zrakotesnost stavbe.

Tako je dobra zrakotesnost sestavni del energijske učinkovitosti stavb. To pomeni, da je nenadzorovano uhajanje toplote skozi konvekcijske toplotne mostove kot so različne rege in špranje kar najbolj zmanjšano. Postopke in materiale zrakotesnosti je treba načrtovati in ne prepustiti odločitvam na licu mesta med gradnjo. Konvekcija vodne pare je za nekaj velikostnih redov intenzivnejši proces od difuzije vodne pare. Že majhna špranja v notranjem ovoju je lahko vir nekaj deset m^3 vodne pare, ki vstopa v konstrukcijo, kondenzira in povzroča nepopravljive poškodbe [69].

Ukrepi za ustrezno zrakotesnost [69]:

- strokovno pravilna vgradnja stavbnega pohištva s tesnjenjem po celotnem obodu,
- zmanjšanje števila prebojev stavbnega ovoja (zračniki, električne inštalacije...),
- strokovno in pravilno tesnjenje nujnih prebojev,
- trajna zatesnitev vseh preklonov vetrne ovire oz. parne ovire / zapore ter njenih priključkov na sosednje konstrukcije (zlasti pri strešnih konstrukcijah in lahki gradnji),
- izbira izdelkov (zračniki, dimniki...) s proti-povratnimi loputami za preprečevanje vdora hladnega zraka v stavbo.

Ob tem je potrebno poudariti, da dobra zrakotesnost ne pomeni ustvarjanja slabe mikroklima, tj. da bo notranji zrak nečist in prevlažen. Še manj je res, da taka stavba "ne diha". Pomembno se je zavedati, da ustrezno kakovost zraka v prostorih zagotavljamo s pravilnim in rednim prezračevanjem, bodisi naravnim ali mehanskim, ne pa z netesnim ovojem stavbe [69].

Če se vzporedno dotaknemo še dejstva, da se cene energije ves čas dvigajo, je zelo pomembno nameniti pozornost tudi zmanjšanju toplotnih izgub. Če uspemo ustvariti zrakotesen ovoj stavbe, lahko dosežemo tudi zmanjšanje toplotnih izgub. Pri tem si pomagamo s testom zrakotesnosti - BlowerDoor test, podrobneje predstavljenim v nadaljevanju.

6.4.3.3 Analiza zrakotesnosti z BlowerDoor testom

BlowerDoor test ali test zrakotesnosti nam omogoča meritev zrakotesnosti stavbe oziroma nepropustnosti ovoja stavbe in prikaže težave s puščanjem zraka, poda oceno naravne stopnje infiltracije, oceno izgub učinkovitosti stavbe zaradi uhajanja zraka v stavbi in potrjuje celovitost gradnje. Meritve se izvajajo v skladu s slovenskim standardom SIST EN ISO 9972:2015 in z upoštevanjem določil po TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije.

BlowerDoor test je diagnostično orodje za merjenje zrakotesnosti stavb in posameznih prostorov in omogoča lociranje mest uhajanja zraka skozi njen ovoj v zunanost ali druge predele stavbe (npr. garažo, podstrežje...). Meritve zrakotesnosti stavb se uporabljajo za različne namene, vključno z:

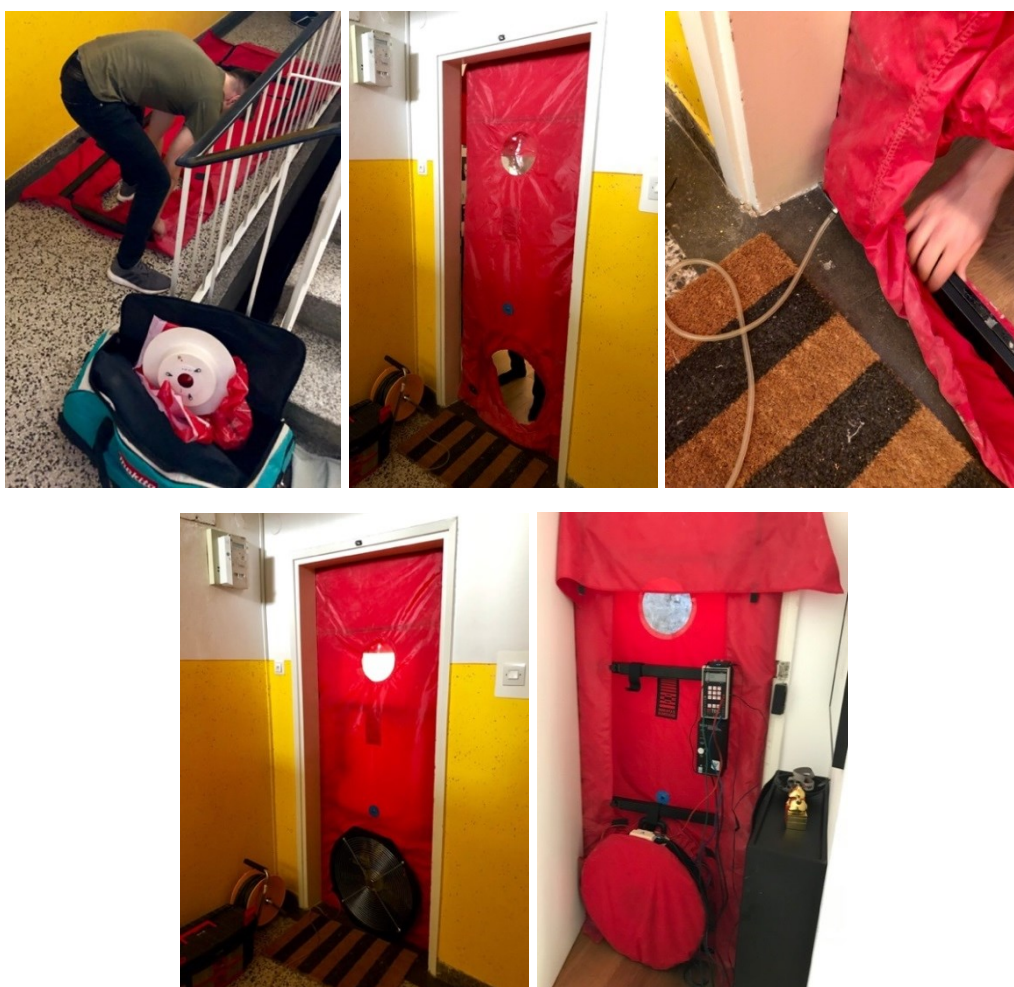
- dokumentiranjem zrakotesnosti stavbnega ovoja,
- ocenjevanjem stopnje naravne infiltracije v hišah,
- merjenjem in dokumentiranjem učinkovitosti izvedenega tesnjenja stavbe ali posameznega prostora,
- merjenjem pretoka zraka skozi prezračevalne sisteme.

V nadaljevanju se bomo pri predstavitvi naprave in opisu postopka osredotočili na izveden BlowerDoor test v dveh izbranih stanovanjih večstanovanjske stavbe na Kumanovski ulici 1. Test smo v sodelovanju s strokovnjaki izbranega področja na Gradbenem inštitutu ZRMK izvedli v septembru 2019. Rezultati pa so vezani na izvajanje meritev z namenom dokumentiranja zrakotesnosti stavbnega ovoja.

6.4.3.3.1 Predstavitev naprave in potek BlowerDoor testa

BlowerDoor test smo izvajali s sistemom Minneapolis BlowerDoor Standard [72], ki je v sestavi kalibriranega ventilatorja, merilcev tlaka, ponjave z nastavljivim ogradjem in nenazadnje tudi programske računalniške opreme. Sistem BlowerDoor smo nadzorovali znotraj stavbe oziroma v našem primeru znotraj dveh izbranih stanovanj. V prvi vrsti je bilo zelo pomembno, da smo za pripravo stanovanja zaprli vsa zunanja vrata in okna ter odprli vsa notranja vrata z namenom doseganja enakega zračnega tlaka v celotnem stanovanju. Iz notranje strani smo na vhodna vrata namesti montažni okvir skupaj s pritirjeno ponjavo tako, da se je popolnoma in v celoti prilegala dimenzijam okvirja vrat. Temu je sledila namestitvev

prozorne cevi na ustrezno mesto na zunanji strani rdeče ponjave. Le-ta je v dolžini 10 m pripomogla k merjenju zunanjega tlaka in je bila po priporočilu nameščena približno 10 m stran od stanovanja. Sledila je namestitev ventilatorja, pretočnih obročev in regulatorja hitrosti. Za preizkus negativnega tlaka smo ventilator namestili v elastični obroč nameščen v ponjavi, ki se je moral tesno prilegati ventilatorju. Nato smo na ventilator namestili najlonski pokrov z namenom, da smo med poskusom zrakotesnosti lahko izmerili osnovni tlak v stanovanju. Krmilnik BlowerDoor naprave oziroma regulator hitrosti ventilatorja smo namestili na notranjo stran, na za to predviden prostor in ga povezali z ventilatorjem ter cevka, ki sta merili spremembo tlaka oziroma pretok zraka iz ventilatorja. Kot merilnik tlaka in pretoka zraka smo uporabili napravo DG-700, ki je posebno zasnovana za preizkušanje zrakotesnosti s specializiranimi merilnimi funkcijami in je povezana z računalniško programsko opremo.



Slika 26: Priprava sistema BlowerDoor za izvajanje meritev s strani GI ZRMK
(vir: lastni vir)

Prav tako smo se na meritve pripravili tudi v notranjosti stanovanja. BlowerDoor test namreč zahteva veliko priprave, saj so od tega odvisni dobljeni končni rezultati. Kot je bilo že zapisano, smo zaprli vsa zunanja okna in vrata. S folijo smo zatesnili vse odprtine, ki bi lahko vplivale na rezultate meritev in so povezane z zunanostjo stavbe. Prav tako smo v kuhinji zatesnili kuhinjsko napo in tako preprečili možnost vdora zunanjega zraka v notranjost in vpliva na končne rezultate. V kuhinji in kopalnici smo umivalnike in tuš zatesnili s

standardnimi zatiči za sifon, nalili vodo in s tem tudi v tem primeru preprečili vdor zraka skozi cevi. Če to ni bilo mogoče, smo luknje prelepili s folijo. Ker se na terenu lahko srečujemo z različnimi situacijami, je za uspešno opravljen test pri pripravi zelo pomembno upoštevati vsa navodila in priporočila, navedena iz strani proizvajalca.



Slika 27: Priprava stanovanja na meritve zrakotesnosti s strani GI ZRMK
(vir: lastni vir)

Po pripravi je sledilo izvajanje BlowerDoor testa. Skozi ventilator smo iz merjene enote oziroma stanovanja izsesali toliko zraka, da se je v stanovanju neopazno ustvaril podtlak 50 Pa (n_{50} predstavlja urno izmenjavo zraka pri tlačni razliki 50 Pa med notranjim in zunanjim pritiskom). Za stanovalce je to pomenilo, da so med testom lahko ostali v stanovanju, saj izvajanje meritev in ustvarjanje podtlaka ni povzročalo motečih in neprijetnih občutkov, hkrati pa je celo priporočljivo, da se meritve zrakotesnosti izvajajo, ko je stavba ali stanovanje v uporabi. V primeru, da so obstajali netesni stiki v stavbnem ovoju, se je zunanji zrak infiltriral v stavbo skozi njih in tako je bilo potrebno konstantno izsesavati zrak za doseganje 50 Pa v tlaku, kar so nam na koncu pokazali tudi rezultati.

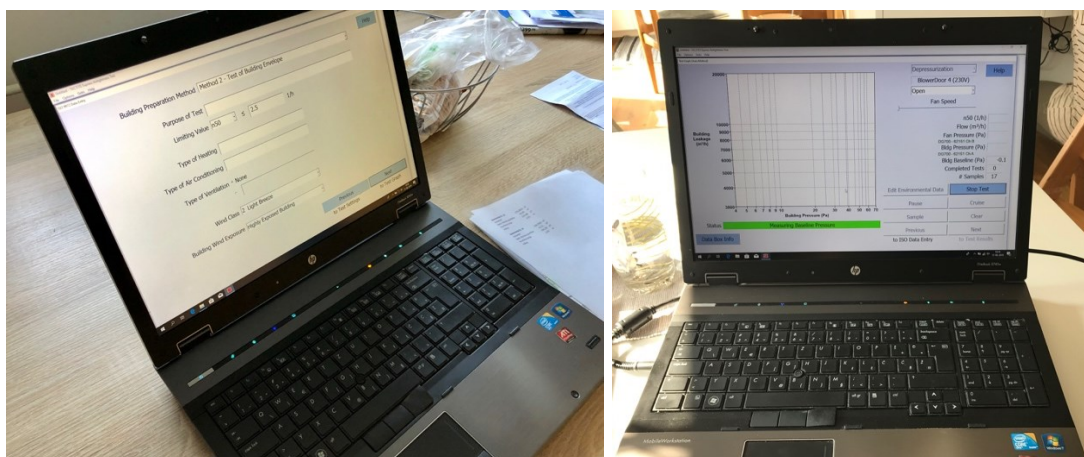


Slika 28: Izvajanje BlowerDoor testa s strani GI ZRMK
(vir: lastni vir)

Za natančno določitev netesnih mest si lahko pomagamo z ročnim anemometrom oziroma merilnikom hitrosti zračnih tokov, z IR termografsko kamero, lahko pa izvedemo tudi poskus s sledilnim plinom (ti. Tracer gas metoda) [69], česar pa za potrebe PEP-K1 in magistrskega dela nismo opravili.

6.4.3.3.2 Računalniška programska oprema

BlowerDoor sistem smo povezali z računalniško programsko opremo TECTITE Express Airtightness Test. Program deluje v skladu z evropskimi merilnimi standardi EN ISO 9972 ali EN 13829. V začetku je bilo potrebno navesti osnovne informacije, ki zajemajo datum, podatke naročnika, naslov stavbe in podatke gradbene zasnove izbranega stanovanja (volumen, neto tlorisna površina, površina ovoja in višina). Sledil je vnos podatkov, ki so vezani na merilni standard EN ISO 9972 in predpisane vrednosti. Tako smo pripravili programsko okno, ki je avtomatsko vezano na sistem in pripravljeno na test izvajanja meritev in izrisovanja krivulje uhajanja zraka. Zelena vrstica v spodnjem delu programskega okna nam je bila potrditev, da je celoten sistem med seboj uspešno povezan in smo lahko začeli z meritvami, na pojavnem oknu pa se nam je izrisal graf rezultatov. Pridobili smo tudi rezultate s pred-nastavljeno referenco tlaka 50 Pa in izris grafa, ki se ga lahko uporabi za vizualno oceno razmerja med uhajanjem zraka in zračnim tlakom.



Slika 29: Računalniška programska oprema TECTITE Express Airtightness Test s strani GI ZRMK (vir: lastni vir)

Preglednica 63: Podatki gradbene zasnove analiziranega stanovanja

	PODATKI GRADBENE ZASNOVE analiziranega stanovanja	
	stanovanje št. 13	stanovanje št. 14
volumen stanovanja	172,38 m ³	138,36 m ³
neto tlorisna površina	65,05 m ²	52,21 m ²
površina ovoja	225,86 m ²	200,18 m ²
višina etaže	2,65 m ²	2,65 m ²

6.4.3.3.3 Rezultati BlowerDoor testa

BlowerDoor test smo izvajali v dveh izbranih stanovanjih večstanovanjske stavbe. Pomembno je poudariti, da imata obe stanovanji že zamenjano zunanje stavbno pohištvo s PVC okni dvoslojne zasteklitve. Hkrati pa velja tudi omeniti, da se obe stanovanji nahajata v

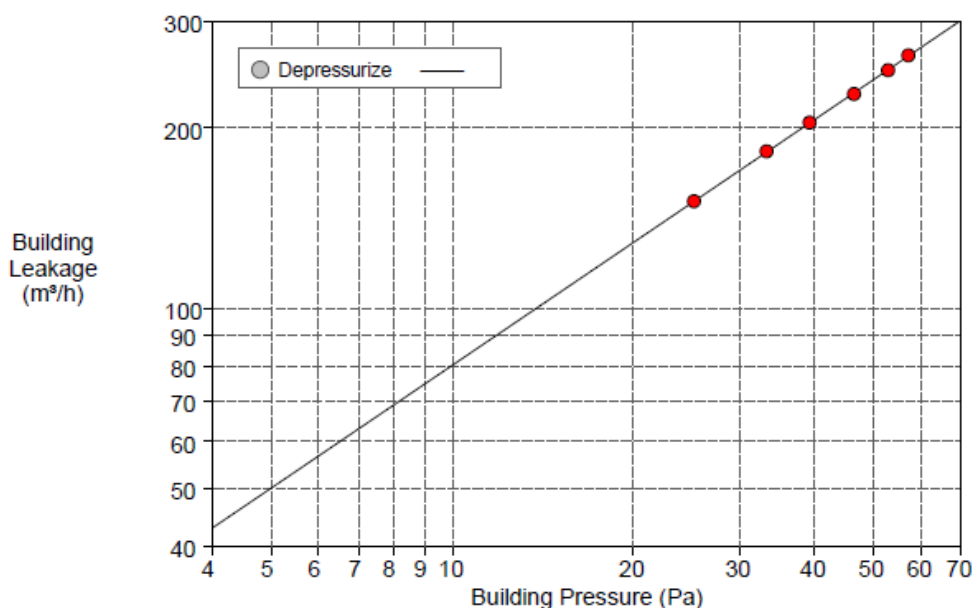
tretjem nadstropju in delno navzgor mejita na pohodno ravno streho - teraso, ki je potrebna temeljite prenove in je predmet PEP-K1.

Rezultate izvedenega testa smo prikazali v nadaljevanju, v grafični in podatkovni obliki. Pri tlačni razliki 50 Pa smo dosegli urno izmenjavo zraka:

- za stanovanje št. 13: $n_{50} = 1,40 \text{ h}^{-1}$
- za stanovanje št. 14: $n_{50} = 1,18 \text{ h}^{-1}$

Preglednica 64: Izpis poročila izvedenega BlowerDoor testa s strani GI ZRMK, stanovanje 13
(vir: izpis iz računalniške programske opreme TECTITE Express Airtightness Test)

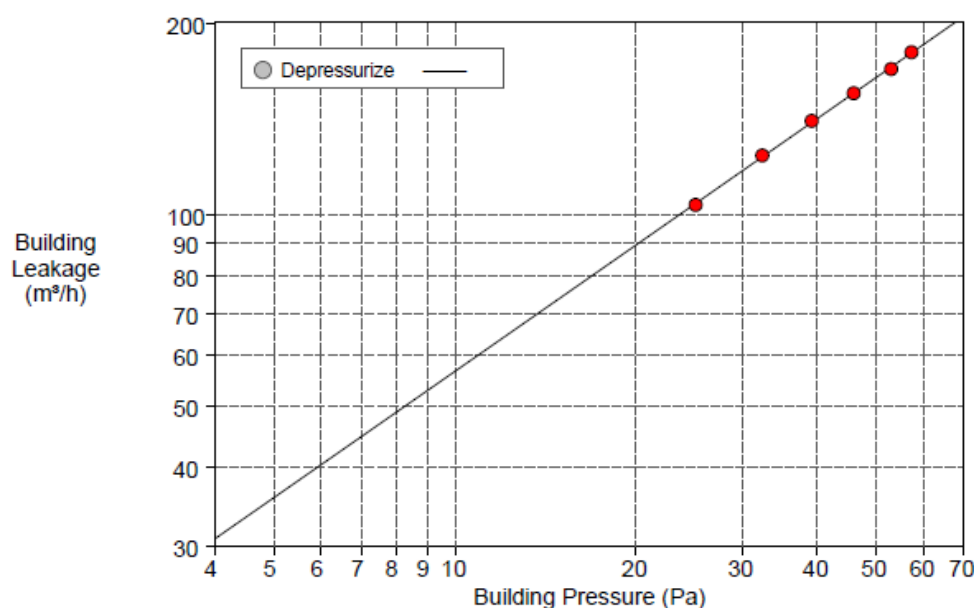
Test Results at 50 Pascals:	
q ₅₀ : m ³ /h (Airflow)	241 (+/- 0.4 %)
n ₅₀ : 1/h (Air Change Rate)	1.40
q _{F50} : m ³ /(h·m ² Floor Area)	3.70
q _{E50} : m ³ /(h·m ² Envelope Area)	1.07
Leakage Areas:	
ELA ₅₀ : m ²	0.0073 (+/- 0.4 %)
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0001129
ELA _{E50} : m ² /m ²	0.0000326
Building Leakage Curve:	
Air Flow Coefficient (C _{env}) = 17.0 m ³ /(h·Pa ⁿ) (+/- 4.6 %)	
Air Leakage Coefficient (C _L) = 16.8 m ³ /(h·Pa ⁿ) (+/- 4.6 %)	
Exponent (n) = 0.681 (+/- 0.012)	
Coefficient of Determination (r ²) = 0.99983	
Test Standard:	ISO 9972
Test Mode:	Depressurization
Type of Test Method:	Method 2 - Test of Building Envelope
Purpose of Test:	n ₅₀ ≤ 2.5 1/h



Grafikon 31: Rezultati meritev zrakotesnosti s strani GI ZRMK, stanovanje 13
(vir: izpis iz računalniške programske opreme TECTITE Express Airtightness Test)

Preglednica 65: Izpis poročila izvedenega BlowerDoor testa s strani GI ZRMK, stanovanje 14
(vir: izpis iz računalniške programske opreme TECTITE Express Airtightness Test)

Test Results at 50 Pascals:	
q ₅₀ : m ³ /h (Airflow)	164 (+/- 0.8 %)
n ₅₀ : 1/h (Air Change Rate)	1.18
q _{F50} : m ³ /(h·m ² Floor Area)	3.14
q _{E50} : m ³ /(h·m ² Envelope Area)	0.82
Leakage Areas:	
ELA ₅₀ : m ²	0.0050 (+/- 0.8 %)
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0000957
ELA _{E50} : m ² /m ²	0.0000250
Building Leakage Curve:	
Air Flow Coefficient (C _{env}) = 12.6 m ³ /(h·Pa ⁿ) (+/- 8.3 %)	
Air Leakage Coefficient (C _L) = 12.4 m ³ /(h·Pa ⁿ) (+/- 8.3 %)	
Exponent (n) = 0.660 (+/- 0.022)	
Coefficient of Determination (r ²) = 0.99940	
Test Standard:	ISO 9972
Test Mode:	Depressurization
Type of Test Method:	Method 2 - Test of Building Envelope
Purpose of Test:	n ₅₀ ≤ 2.5 1/h



Grafikon 32: Rezultati meritev zrakotesnosti s strani GI ZRMK, stanovanje 14
(vir: izpis iz računalniške programske opreme TECTITE Express Airtightness Test)

Dobljeni rezultati BlowerDoor testa nam tako podajo ugotovitev, da je urna izmenjava zraka v obeh stanovanjih solidna, glede na staro gradnjo iz leta 1964, in se nahaja znotraj mejnih vrednosti določenih v Tehnični smernici za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije. To pomeni, da je stavbno pohišstvo v stanovanjih dobro vgrajeno s tesnjenjem po celem obodu v pogledu preprečevanja konvekcijskega prehoda toplote. Ker je bil test izveden v času pred prenovo se zavedamo, da pri dobljenem rezultatu igra veliko vlogo tudi fasadni ovoj stavbe, ki je brez toplotne izolacije in tako omogoča večjo izmenjavo zraka skozi stene. Hkrati pa lahko opazimo, da je pri tlačni razliki 50 Pa dosežena urna izmenjava zraka različnih vrednosti v analiziranih stanovanjih. To lahko utemeljimo s tem, da ima stanovanje

št. 13 večjo neto tlorisno površino oziroma večji volumen stanovanja. Istočasno ugotovimo, da ima omenjeno stanovanje tudi dostop do zunanje lože, to pomeni dodatno okno ter balkonska vrata v primerjavi s stanovanjem št. 14, kar lahko vpliva na končni rezultat oziroma zrakotesnost. Ob tem je pomembno spomniti, da so menjave zunanjega stavbnega pohištva predmet lastnikov posameznih stanovanj, tako da je vzporedno odprta tudi možnost različne kakovosti oken in same vgradnje. Hkrati pa se zavedamo, da obstaja v stanovanju št. 13 tudi možnost odprtine oziroma zračnika v kuhinjskem delu stanovanja, do katerega nismo imeli dostopa zaradi kuhinjskih elementov in ga tako nismo uspeli ustrezno zaščititi. Le-ta pa ima lahko vpliv na končni dobljen rezultat.

Za zaključek in po pogovoru s stanovalci izbranih stanovanj lahko povzamemo, da bi na podlagi izmerjenih rezultatov BlowerDoor testa sklepali, da sta stanovanji dobro zrakotesni, primerno pa je podati opozorilo, da bo za vzpostavitev ugodnega bivalnega okolja v stanovanjih, tudi po realizirani PEP-K1 prenovi, nujno potrebno redno in pravilno prezračevanje oziroma priporočena vgradnja lokalnega mehanskega prezračevanja, s katerim bi se preprečilo pojavljanje previsoke zračne vlažnosti in posledično pojavljanje kondenzata in plesni na stavbnem pohištvi in stenah stanovanja.

6.4.4 Družbeni in funkcionalni kazalniki trajnostne gradnje

Idejo z metodo anketiranja, vezano na družbeni in funkcionalni kazalnik trajnostne gradnje, smo dobili med pogovorom s stanovalci v času izvajanja BlowerDoor testa, kjer smo na kratko govorili tudi o izzivih in izkušnjah bivanja v večstanovanjski stavbi, zgrajeni leta 1964.

Družbeni in funkcionalni kazalniki trajnostne gradnje namreč temeljijo na subjektivnih ocenah stanovalcev in zajemajo naslednja merila:

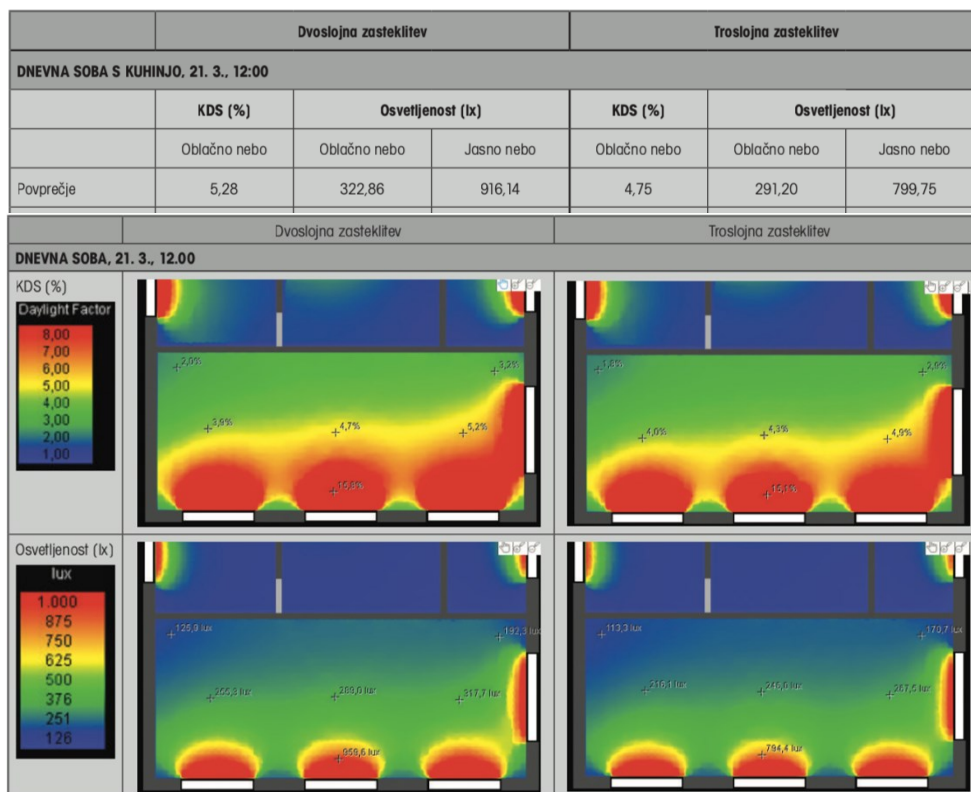
- maksimalno zadovoljstvo z bivanjem v stavbi,
- raven toplotnega, zvočnega in vidnega ugodja,
- motnje drugih uporabnikov,
- dostopnost do stavbe brez funkcionalnih ovir po načelu univerzalnega načrtovanja,
- varnost objekta in varnost pri uporabi,
- funkcionalnost stavbe glede na predvideno rabo,
- prilagodljivost zasnove pri drugačni namembnosti,
- dostopnost z javnim prometom in/ali kolesom,
- vključenost v skupnost,
- ...

Na koncu se metode anketiranja nismo lotili, saj bi le-ta zahtevala veliko usklajevanja z vsemi stanovalci, ogromno časa, postopek obdelave in analize pa bi presegel obseg magistrskega dela. Se pa zavedamo, da ima obravnava izbranega kazalnika veliko vrednost in moč pri iskanju rešitev za izboljšave, zato je v praksi vredno nameniti čas tudi temu izbranemu kazalniku.

Smo pa v nadaljevanju nekaj pozornost namenili teoretični podlagi družbenih in funkcionalnih kazalnikov trajnostne gradnje in ugotovili, da se družbeni kazalnik po mnenju določenih strokovnjakov deli na zdravstveni in socialni kazalnik. Mnenja pri tem so deljena, saj sta zdravstvo in sociala dve različni področji. Pa vendar smo ostali pri tej delitvi in poiskali možnosti oziroma področja, ki bi jih lahko vključili v izbran zdravstveni kazalnik trajnostne gradnje za primer obravnavane večstanovanjske stavbe.

Za vpogled in lažjo predstavbo v izvedbo ene izmed analiz znotraj družbenih in funkcionalnih kazalnikov trajnostne gradnje smo izbrali merilo, ki obsega raven toplotnega, zvočnega in vidnega ugodja oziroma bolj natančno - merilo za zadostno in kvalitetno dnevno svetlobo. Odločili smo se, da ga povežemo s scenarijem prenove S4, kjer bi na PEP-K1 dodali ukrep zamenjave zunanjega stavbnega pohištva na celotni stavbi, tj. vgradnja PVC oken in balkonskih vrat s troslojno zasteklitvijo. Vrednosti energijskih kazalnikov smo že analizirali v sklopu magistrskega dela in bi lahko izvedli primerjavo med PEP-K1 in scenarijem S4. Analizo vpliva na zdravje in bivalno ugodje stanovalcev pa bi lahko izvedli po postopku, ki sledi v nadaljevanju. Okna so namreč eden izmed bistvenih elementov vsake zgradbe, saj omogočajo dnevno osvetlitev prostorov, vidni stik z okolico, zajem sončne energije in prezračevanje prostorov [26]. Zasteklitev pa je tista komponenta okna, ki zaradi svojega deleža površine glede na celotno površino okna najbolj vpliva na toplotno prehodnost okna. Pri načrtovanju energijsko učinkovitih objektov je potrebno posebno pozornost nameniti tudi naravni osvetlitvi prostora, saj le-ta pozitivno vpliva na bivalne in delovne pogoje. Pri tem je potrebno upoštevati, da se z večanjem števila stekel in nizkoemisijскими nanosi zmanjšuje prepustnost stekla za energijo sončnega sevanja (faktor g) in posledično za svetlobo (LT) [73].

Povzeto pa znanstvenem članku z naslovom Celovito ocenjevanje trajnostnih vidikov gradnje na primeru enodružinske hiše [45] bomo predstavili način pristopa k analizi osvetljenosti za izbrani prostor. Z izbrano računalniško programsko opremo (primer Velux Daylight Visualizer) se opravi analizo osvetljenosti prostora. Osvetljenost prostora se preveri z izračunom količnika dnevne svetlobe (KDS - splošno merilo osvetljenosti z naravno dnevno svetlobo). Izvedba izračunov v času spomladanskega enakonočja (21. marec) zadostuje za osnovno analizo osvetljenosti z dnevno svetlobo, saj rezultati prikazujejo neke vrste celoletno povprečje. Vzporedno se v programski opremi definira tudi jasnost / oblačnost neba, lokacijo in usmerjenost izbranega prostora, vse ostale parametre pa se lahko določi skladno s priporočenimi vrednostmi po standardu. V članku so analizo zaradi večne dileme med uporabo dvoslojne ali troslojne zasteklitve opravili za oba primera. Rezultati analize kažejo, da na osvetljenost prostorov vpliva izbor zasteklitve. V primeru troslojne zasteklitve je namreč osvetljenost prostora manjša kot v primeru dvoslojne zasteklitve, ki v prostor prepušča več svetlobe. Zato je iz tega vidika boljša dvoslojna zasteklitev okna. Če pa se odločamo o bolj enakomerni osvetlitvi prostora, pa je boljša izbira oken s troslojno zasteklitvijo. Razlika osvetljenosti pri različnih zasteklitvah sicer ni zelo velika, saj obstaja več drugih bolj pomembnih dejavnikov, ki preprečujejo dnevni svetlobi, da bi prodrla v notranjost prostora (npr. velikost okenske površine in količina, orientacija, razporeditev okenskih odprtín, okenski okvir, zunanje ovire, faktor umazanosti stekel, vpadni kot sončne svetlobe...). Na koncu je najpomembnejše, da je v prostoru veliko dnevne svetlobe, saj le-ta zelo dobro vpliva na uporabnika stavbe tako z zdravstvenega kot s socialnega vidika [45].



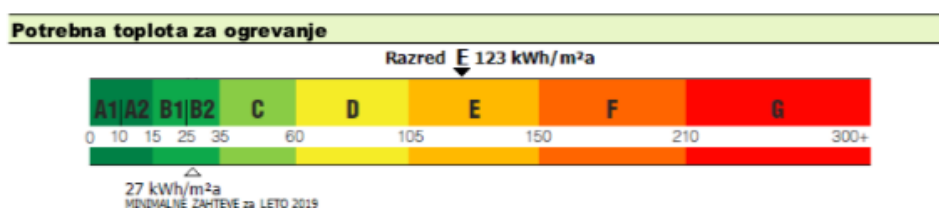
Slika 30: Primerjava osvetljenosti izbranega prostora z uporabo dvoslojne in troslojne zasteklitve okna (vir: znanstveni članek [45])

Za zaključek je pomembno poudariti, da bi bili rezultati analiz (poleg analize osvetljenosti izbranih prostorov bi lahko analizirali tudi izbrane gradbene proizvode z možnimi negativnim vplivom na zdravje), testov in meritev zelo dobro reprezentativni, če bi jih lahko opravili pred in po prenovi. S tem bi pridobili večji vpogled v celoto, nova znanja in ugotovitve za izboljšave v izbranem ter vseh ostalih novih projektih. Vendar pa to v vseh pogledih presega obseg in časovno omejitev magistrskega dela, za projekte v praksi pa imajo take analize velik vpliv na končno uspešnost projekta.

7 SKLEP

Skozi celotno magistrsko delo smo dobljene rezultate izvedenih analiz podrobno in v sistematičnem vrstem redu teoretično in številsko ovrednotili na način zagotavljanja ustreznih podlag. S tem smo naročniku omogočili, da mu v primeru sprejemanja odločitev le-teh ne bi bilo potrebno sprejemati 'na pamet'. Ker pa smo v analizo vzeli več različnih smiselni in izvedljivih scenarijev prenove, bomo v nadaljevanju prikazali skupek vseh ključnih vrednosti različnih kazalnikov trajnostne gradnje oziroma trajnostnih ciljev na enem mestu.

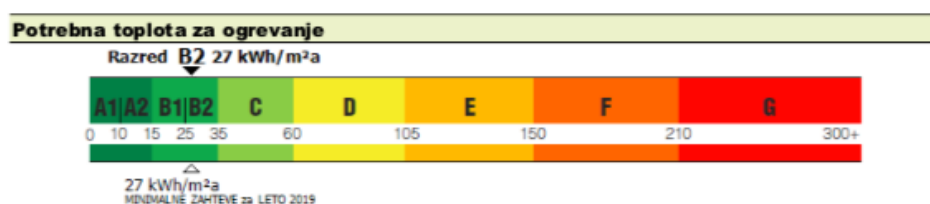
Večstanovanjska stavba na Kumanovski ulici 1 v Ljubljani v obstoječem stanju (pred prenovo) ne izpolnjuje pogojev zakonske podlage za energijsko učinkovitost stavb; tako potrebna toplota za ogrevanje na enoto uporabne površine znaša 123,1 kWh/m²a, kar stavbo uvršča v energetske razred E.



Skladno s projektom energetske prenove (PEP-K1) bo izvedena prenova stavbe z naslednjimi načrtovanimi ukrepi:

PEP-K1	toplotna izolacija fasadnega ovoja, ravne pohodne in nepohodne strehe ter stropa neogrevane kletne etaže proti stanovanjskim prostorom v pritličju + menjava zunanega stavbnega pohištva za primere, kjer le-to še ni bilo zamenjano + hidravlično uravnoteženje sistema ogrevanja + predlog namestitve 23 sistemov lokalnega mehanskega prezračevanja z rekuperacijo + smotni sočasni ukrepi ob izvedbi celotne energetske prenove
--------	---

Potrebna toplota za ogrevanje na enoto površine se bo zmanjšala na 27 kWh/m²a, kar bo stavbo uvrstilo v energetske razred B2.



Projekt smo v nadaljevanju razširili s predlogom enajstih različnih smiselni scenarijev prenove, po principu 'načrtovani PEP-K1 + dodan / spremenjen ukrep' z namenom izboljšanja energijske učinkovitosti obravnavane stavbe:

scenarij 1	S1	PEP-K1 + (spremenjen) ukrep izbire 'najpogostejše' uporabljenega toplotno izolacijskega materiala za fasadni ovoj - kamena volna Knauf Insulation FKD-S Thermal
scenarij 2	S2	PEP-K1 + (spremenjen) ukrep izbire 'naravnega' toplotno izolacijskega materiala za fasadni ovoj - celulozna izolacija ISOCELL v kombinaciji z Agepan THD lesno-vlaknenimi ploščami
scenarij 3	S3	PEP-K1 + (spremenjen) ukrep izbire 'naprednega' toplotno izolacijskega materiala za fasadni ovoj - Webertherm plus ultra 020
scenarij 4	S4	PEP-K1 + (dodan) ukrep zamenjave zunanega stavbnega pohištva na celotni stavbi - izbira PVC oken in balkonskih vrat s troslojno zasteklitvijo
scenarij 5	S5	PEP-K1 + (spremenjen) ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema v izbranih stanovanjskih enotah - izbira 10 sistemov lokalnega prezračevanja z rekuperacijo

Se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice

scenarij 6	S6	PEP-K1 + (spremenjen) ukrep vgradnje toplotne črpalke za ogrevanje
scenarij 7	S7	PEP-K1 + (spremenjen) ukrep vgradnje toplotne črpalke za toplo sanitarno vodo
scenarij 8	S8	PEP-K1 + (spremenjen) ukrep vgradnje toplotne črpalke v kombinaciji, za ogrevanje in toplo vodo
scenarij 9	S9	PEP-K1 + (spremenjena in dodana) kombinacija ukrepov - ukrep zamenjave zunanega stavbnega pohištva na celotni stavbi - izbira PVC oken in balkonskih vrat s troslojno zasteklitvijo, ukrep vgradnje toplotne črpalke v kombinaciji, ukrep vgradnje mehanskega prezračevalnega sistema - izbira 23 sistemov
scenarij 10	S10	PEP-K1 + namestitev fotovoltaične elektrarne na stavbo
scenarij 11	S11	PEP-K1 + kombinacija ukrepov + namestitev fotovoltaične elektrarne na stavbo

Potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH} na enoto površine bi se s prenovo zmanjšala na...

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
27	27	27	24	27	27	27	27	24	27	24
kWh/m ²										

...kar bi stavbo uvrstilo v energetske razred:

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
B2	B2	B2	B1	B2	B2	B2	B2	B1	B2	B1

Letna potrebna primarna energija Q_p za delovanje stavbe bo po prenovi tako znaša 106,4 kWh/(m²a), kar pomeni 47,1 % zmanjšanje v primerjavi z obstoječim stanjem s $Q_p = 201,2$ kWh/(m²a).

Po prenovi z opcijskimi scenariji bi se Q_p - letna potrebna primarna energija znižala na vrednost v kWh/(m²a) oziroma bi se zmanjšala za % v primerjavi z obstoječim stanjem:

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
106,9	106,4	106,3	102,9	100,8	101,5	64,1	58,0	55,2	59,7	8,5
kWh/(m ² a)										
46,9 %	47,1 %	47,1 %	48,8 %	49,9 %	49,5 %	68,1 %	71,2 %	72,5 %	70,3 %	96,0 %

Delež obnovljive energije v dovedeni energiji se bi povečeval skladno z učinkovitostjo aktivnih sistemov oziroma številom aplikacij v stavbi in bi znašal:

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
0	0	0	0	0	16,7	17,3	32,9	30,6	18,7	49,3
kWh/(m ² a)										
0	0	0	0	0	29 %	30 %	59 %	58 %	33 %	94 %

Z uporabo obnovljivih virov energije na stavbi in s trajnostnim načrtovanjem se zmanjša tudi količina emisij CO₂. Pri PEP-K1 se bodo letne emisije CO₂ zmanjšale za 55,9 % od obstoječega stanja. Za primer scenarijev prenove pa bi deleži zmanjšanja znašali:

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
55,6 %	55,8 %	55,9 %	57,8 %	57,9 %	62,7 %	71,2 %	78,7 %	79,7 %	73,0 %	97,0 %

Dodatno smo analizirali še ogljični odtis izbranih različnih toplotno izolacijskih materialov z namenom, da v sklepnem dejanju prikažemo primer povezovanja energijskega, ekonomskega in okoljskega vidika. Na tem mestu se lahko dotaknemo problematike sodobnega časa, ki izhaja iz naslednjega dejstva: veliko je takšnih investitorjev, ki jim ni mar do okolja, ampak samo do dobička oz. čim nižjih investicijskih stroškov prenove...

	Q_{NH} potrebna toplota za ogrevanje	investicijski stroški prenove z vključeno nepovratno finančno spodbudo Eko sklada	ogljčni odtis toplotne izolacije za celotni ovoj stavbe
	kWh/m ²	€	kg CO ₂ -e
EPS Neopan	27,0	51.100	7.522,5
kamena volna	27,0	60.992	6.757,5
reciklirana celuloza	27,0	71.839	2.805,0

Skupna investicija v prenavo stavbe pri PEP-K1 bo znašala 222.408 € oz. 177.998 € z vključeno nepovratno finančno spodbudo v primeru hkratne izvedbe treh ali več ukrepov po javnem pozivu Eko sklada 67SUB-OBPO19.

Skupna investicijska vrednost prenove večstanovanjske stavbe za preostale scenarije prenove in z vključeno nepovratno finančno spodbudo po javnem pozivu Eko sklada pa bi znašala:

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
187.890	198.737	207.802	225.310	169.659	200.979	194.188	207.757	255.069	200.306	277.377
€										

Neto sedanja vrednost (NSV) stroškov (diskontirana za leto prenove, 2020) v 30-letni življenjski dobi stavbe za PEP-K1 znaša 351.394 €, za ostale scenarije prenove pa bi znašala:

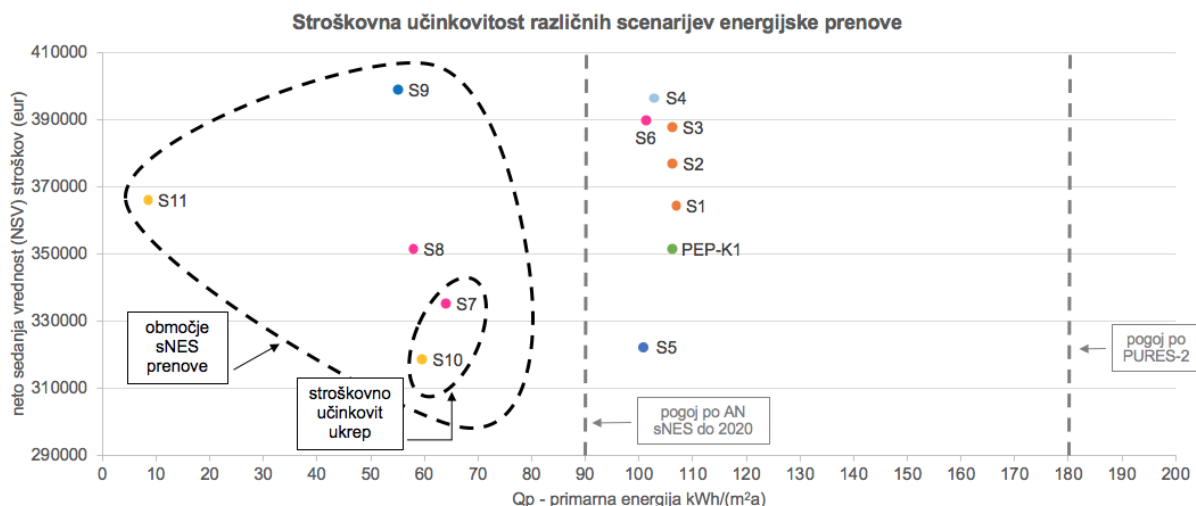
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
364.286	376.772	387.618	396.657	322.296	389.781	334.964	351.358	398.957	318.572	365.873
€										

Kot stroškovno učinkovit ukrep energijske prenove stavbe načelno opredelimo takšen ukrep, pri katerem je vračilna doba ukrepa krajša od njegove življenjske dobe.

Vračilna doba investicije v prenavo PEP-K1 znaša 35,9 let, za vse ostale scenarije:

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
37,9 let	39,8 let	41,4 let	43,2 let	31,1 let	43,1 let	29,7 let	32,6 let	37,8 let	27,7 let	31,1

Stroškovna učinkovitost ukrepa energijske prenove stavbe v razmerju z letno potrebno primarno energijo Q_p vseh analiziranih scenarijev pa je prikazana na spodnje grafu:



Z izvebo BlowerDoor testa na lokaciji stavbe, v dveh izbranih stanovanjih, smo pokrili področje tehničnih in procesnih kazalnikov. Pri tlačni razliki 50 Pa smo dosegli urno izmenjavo zraka:

stanovanje št. 13	stanovanje št. 14
$n_{50} = 1,40 \text{ h}^{-1}$	$n_{50} = 1,18 \text{ h}^{-1}$
pogoj 1: zrakotesnost stavbe ali njenega dela brez mehanskega prezračevanja ne sme presežati $n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$ -> doseženo v obeh stanovanjih • pogoj 2: za stavbe z mehanskim prezračevanjem z več kot 0,7-ratno izmenjavo zraka je zrakotesnost po pravilih stroke omejena na $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ -> cilj po prenovi PEP-K1	

Družbeni (zdravstveni in socialni) in funkcionalni kazalniki v magistrskem delu služijo kot vodilo za odločanje in so bili teoretično predstavljeni z vključenim primerom izvedbe analize - analiza osvetljenosti izbranega notranjega prostora. Predlaga se izvedba analize vpliva scenarijev na kazalce kakovosti notranjega okolja: toplotno, zvočno in svetlobno okolje, kakovost zraka, ergonomija ter univerzalno načrtovanje. Celotna analiza možnih meril pa presega obseg in časovni okvir magistrskega dela.

Za konec pa se dotaknimo še izvedbe analiziranih scenarijev prenove v praksi za večstanovanjsko stavbo na Kumanovski ulici 1 v Ljubljani. Potrebno je poudariti, da smo scenarije načrtovali na podlagi priporočil za energijsko učinkovito celovito prenovo stavb. Vzporedno smo z iskanjem potrebnih informacij oziroma s pridobivanjem novih znanj nadgrajevali obstoječe ukrepe z novimi v smiselno celoto. Pri tem smo ves čas upoštevali dejstvo, da je predmet obravnave večstanovanjska stavba. Nismo pa naredili koraka naprej v zajem specifičnih lastnosti in omejitev naše izbrane stavbe. Cilj magistrskega dela je namreč 'splošna' predstavitev presoje vidikov energijske prenove v smeri zdrave in okolju prijazne gradnje na primeru večstanovanjske stavbe v želji, da se magistrsko delo uporabi kot zgled tudi za ostale tematsko primerljive projekte v praksi.

PRENOVA VEČSTANOVANJSKE STAVBE v praksi			
		izvedljivost	omejitve
projekt energetske prenove	PEP-K1	DA	
PEP-K1 + 'najpogostejša' izbira TI	S1	DA	
PEP-K1 + 'naravni' TI material	S2	DA	
PEP-K1 + 'napredni' TI material	S3	DA	
PEP-K1 + troslojna zasteklitev	S4	DA	
PEP-K1 + prezračevanje z rekuperacijo toplote	S5	DA	
PEP-K1 + toplotna črpalka za ogrevanje	S6	DELNO	- za odklop s skupnega sistema daljinskega ogrevanja je potrebno 100 % soglasje etažnih lastnikov - prostorska omejitev za postavitve zunanje in notranje enote toplotne črpalke - visoka začetna investicija
PEP-K1 + toplotna črpalka za toplo vodo	S7	DELNO	- potrebno soglasje vseh etažnih lastnikov - prostorska omejitev za namestitve cevne razvoda po celotni stavbi za ogrevanje tople sanitarne vode - prostorska omejitev za postavitve zunanje in notranje enote toplotne črpalke - visoka začetna investicija
PEP-K1 + toplotna črpalka v kombinaciji	S8	DELNO	kombinacija omejitev S6 in S7.
PEP-K1 + kombinacija ukrepov	S9	DELNO	kombinacija omejitev S6 in S7.
PEP-K1 + fotovoltaika	S10		
PEP-K1 + kombinacija ukrepov + fotovoltaika	S11	NE	Namestitve fotovoltaične elektrarne na večstanovanjski stavbi na Kumanovski ulici ni izvedljiva, saj je stavba spomenik lokalnega pomena, registrirana na ZVKDS; Smernica za energetsko prenovo stavb kulturne dediščine namreč vgradnjo fotonapetostnih celic definira kot nesprejemljiv vpliv (bistveno škodljiv poseg v substanco in pojavnost).

8 ZAKLJUČEK

Današnji čas nam prinaša veliko izzivov, sprememb, novih znanj in spoznanj. Prav tako področje gradbeništva in stavb pri tem ni izjema. Želja po zmanjšani rabi energije, nižjih stroških, večji kakovosti bivanja, bolj zdravih bivalnih prostorih, manjšem onesnaževanju, večji uporabi obnovljivih virov energije... zahteva premišljen pristop k spreminjanju obstoječega. Kajti vse zgoraj naštetu ni mogoče doseči zgolj s prenovo fasadnega ovoja. Celovita energijska prenova stavbe za doseganje kar največje učinkovitosti je kompleksen proces, ki vključuje dober, vnaprej načrtovan projekt.

V okviru magistrskega dela smo obravnavali večstanovanjsko stavbo, zgrajeno leta 1964 in locirano na Kumanovski ulici 1 v Poljanskem predmestju Mestne občine Ljubljana. Za izbrano stavbo smo s strokovnjaki na Gradbenem inštitutu ZRMK in analizo v računalniški programski opremi KI Energija 2014 dokazali, da je stavba energijsko neučinkovita. V sodelovanju z zunanjimi strokovnjaki in v sodelovanju z etažnimi lastniki smo združili želje, zahteve in možnosti ter izdelali tehnično dokumentacijo z izbiro najbolj sprejemljive variante prenove, izbrane po principu celovite energetske prenove. To pomeni, da bo prenova zajemala vse gradbene elemente, ki vplivajo na rabo energije in vse sisteme, ki vplivajo na delovanje stavbe. S premišljenim načrtovanjem PEP-K1 bomo tako po prenovi dosegli uvrstitev stavbe v energetske razred učinkovitosti B2, glede na letno potrebno toploto za ogrevanje stavbe na enoto uporabne površine stavbe.

Številčnih vrednosti se v zaključku ne bomo dotaknili, saj smo jih v sistematičnem zaporedju in pregledno povzeli v predhodnem sklepnem sedmem poglavju magistrskega dela.

Ker pa ima vsaka stavba svoje karakteristike in le-te naredijo vsako stavbo edinstveno, smo si v enem izmed zadanih ciljev določili naslednje:

- 3. načrtovati in analizirati 11 smiselnih opcijskih scenarijev celovite prenove za izboljšanje energijskih lastnosti obravnavane stavbe.*

V sklopu podanih hipotez pa smo vzporedno podali še trditev:

Hipoteza 1: Celovita energetska prenova obravnavane stavbe izboljša energijske lastnosti stavbe, zmanjšuje stroške obratovanja in ostale stroške v celotni življenjski dobi stavbe.

S tem smo idejo tematike magistrskega dela nadgradili v tematiko trajnostne gradnje z zajemom različnih kazalnikov. Zavedamo se, da 'ocena iz glave', kateri ukrep nam bo izboljšal energijske lastnosti stavbe oziroma prinesel večje prihranke (žal v praksi ekonomski kazalnik pri odločitvi prevečkrat prevladuje nad preostalimi kazalniki) ni zanesljiva oziroma smo bližje, če rečemo, da je misija nemogoče. Tako smo skozi analizo energijske učinkovitosti stavbe pokazali izpolnitev vseh pogojev po veljavni zakonodaji, ki zajemajo: $Q_{NH} = 27,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ po PURES-2 • $Q_p = 180,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ po PURES-2 in $Q_p = 90 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ po AN sNES do 2020 • OVE = najmanj 25 % celotne končne energije za delovanje stavb po PURES-2 in 50 % po AN sNES do 2020. Analiza vpliva delovanja celotne stavbe na okolje nam je potrdila, da se z uporabo OVE (zrak - za primer vgradnje toplotne črpalke in sonce - za primer namestitve fotovoltaične elektrarne na stavbo) močno zmanjša količina emisij CO_2

v delovanju celotne stavbe. Primerjava toplotno izolacijskih materialov za fasadni ovoj v analizi vpliva gradbenih proizvodov na okolje nam je podala vpogled na povezovanje energijsko - ekonomsko - okoljskih kazalnikov. Povezali smo z zgolj eno izmed mnogih trditev iz prakse, npr. 'dražji material ima boljše fizikalne lastnosti, zato so energijske lastnosti stavbe boljše' in ugotovili, da se v praksi še vedno preveč usmerjamo na 'ocene iz glave' in preveč zanemarjamo okoljski vpliv, saj z dobljenimi rezultati trditve nismo potrdili. Z analizo stroškovno učinkovite energijske prenove smo preverili, kateremu izmed izbranih scenarijev se bo investicija v življenjski dobi izplačala sama. Na tem mestu nismo potrdili podane začetne hipoteze 4: *Prenova stavbe z višjo investicijo v času življenjske dobe rezultira v stroškovno učinkovito prenovo, saj se z zmanjšanjem obratovalnih stroškov upraviči visoka začetna naložba*; v devetih od enajstih scenarijev se namreč investicija ne bi izplačala sama v življenjski dobi stavbe. Z analizo zrakotesnosti oziroma izvedbo BlowerDoor testa smo v dveh izbranih stanovanjih stavbe preverili še tehnični kazalnik trajnostne gradnje in prišli do zaključka, da je urna izmenjava zraka v obeh stanovanjih solidna, z upoštevanjem dejstva, da so zunanja okna in vrata že zamenjana in vgrajena po sistemu RAL. Analizo družbenih kazalnikov trajnostne gradnje bi lahko zelo uspešno razvili na podlagi izkušenj, informacij in predlogov, ki smo jih prejeli iz strani stanovalcev, vendar smo ta del predstavili samo teoretično, saj presega obseg magistrskega dela.

S tematiko magistrskega dela in naslovom *Presoja vidikov energijske prenove v smeri zdrave in okolju prijazne gradnje na primeru večstanovanjske stavbe* smo pokrili osnovna načela trajnostne gradnje. Zavedamo se, da je odprtih še veliko vprašanj in področij, ki jih v sklopu magistrskega dela nismo obdelali. Vendar pa smo skozi raziskovalni del nadgradili že pripravljen projekt energetske prenove. Prikazali smo analize različnih smiselnih oziroma izvedljivih nadgradenj PEP-K1 oziroma scenarijev prenove, jih ovrednotili na način zagotavljanja ustreznih podlag, da naročniku omogočimo odločitev na podlagi dejanskih oziroma merljivih rezultatov in nenazadnje – magistrsko delo smo sestavili z mislijo, da lahko v praksi služi kot zgled sledenju modela analize trajnostne gradnje za ostale tematsko primerljive projekte načrtovanja prenove večstanovanjskih stavb.

9 VIRI

- [1] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES 2010. Ur. l. RS, št. 52/2010.
- [2] Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije.
- [3] Akcijski načrt za skoraj nič-energijske stavbe za obdobje do leta 2020 (AN sNES). 2015. Ministrstvo za infrastrukturo.
- [4] Šijanec Zavrl, M., Stegnar, G. 2015. Akcijski načrt za skoraj nič-energijske stavbe in celovita prenova stavb. EGES Energetika, gospodarstvo in ekologija skupaj, letn. 2015, št. 2, str. 76-79.
- [5] Zakon o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1). Ur. l. RS, št. 16/2008.
- [6] Smernice za energetske prenove stavb kulturne dediščine. 2016. Ministrstvo za infrastrukturo RS, Ministrstvo za kulturo RS, Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Urbanistični inštitut RS in Gradbeni inštitut ZRMK.
- [7] Programsko orodje KI Energija 2014, Knauf Insulation.
<https://www.knaufinsulation.si/program-ki-energija-2017>
(Pridobljeno septembra 2019.)
- [8] Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb. Ur. l. RS, št. 92/14 in 47/19.
- [9] Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb. Ur. l. RS, št. 93/12.
- [10] Projekt energetske prenove za večstanovanjske in individualne stavbe, Gradbeni inštitut ZRMK.
http://www.gi-zrmk.si/projekti/slovenski_projekti/projekt_celovite_energetske_prenove_stavbe/
(Pridobljeno aprila 2020.)
- [11] Kumanovska ulica 1, Google Maps.
<https://www.google.com/maps/place/Kumanovska+ulica+1,+1000+Ljubljana/@46.0465898,14.5143809,573m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x47652d793949cf01:0xe7c5eddb4a84552f!8m2!3d46.0465898!4d14.5165749> (Pridobljeno septembra 2019.)
- [12] Kumanovska ulica 1, Javni informacijski sistem prostorskih podatkov MO Ljubljana.
<https://urbinfo.ljubljana.si/web/profile.aspx?id=Urbinfo@Ljubljana>
(Pridobljeno septembra 2019.)

- [13] Pravilnik o standardih vzdrževanja stanovanjskih stavb in stanovanj, Ur. l. RS, št. 20/04 in 18/11.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV5263>
(Pridobljeno februarja 2020.)
- [14] Tehnična smernica za graditev TSG-1-001:2019 Požarna varnost v stavbah.
- [15] Pravilnikom o prezračevanju in klimatizaciji stavb (Ur. l. RS, št. 42/02, 105/02, 110/02 – ZGO-1 in 61/17 – GZ).
- [16] Prek, M. 2013. Kakovost zraka. Laboratorij za ogrevalno, sanitarno in solarno tehniko ter klimatizacijo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.
<http://lab.fs.uni-lj.si/los1/images/vaje/kakovost%20zraka.pdf> (Pridobljeno aprila 2020.)
- [17] Merjenje onesnaženosti zraka oz. meritve koncentracije plina CO₂, Pasivna hiša.
<http://www.ugodnagrada.com/index.php/prezracevanje/zanimivo/merjenje-onesnazenosti-zraka-co2/> (Pridobljeno aprila 2020.)
- [18] Javni poziv 67SUB-OBPO19 Nepovratne finančne spodbude za nove skupne naložbe večje energijske učinkovitosti starejših stavb s tremi ali več posameznimi deli stavbe, Eko sklad.
<https://ekosklad.si/gospodarstvo/pridobite-spodbudo/objava/javni-poziv-67sub-obpo19-nepovratne-finanne-spodbude-za-nove-skupne-nalobe-veje-energijske-uinkovitosti-starejih-stavb-s-tremi-ali-ve-posameznimi-deli-stavbe>
(Pridobljeno septembra 2019.)
- [19] Kamena mineralna volna – FKD-S Thermal, Knauf Insulation.
<https://www.knaufinsulation.si/proizvodi/fkd-s-thermal> (Pridobljeno septembra 2019.)
- [20] Celulozna izolacija, Isocell.
<https://www.isocell.com/sl/celulozna-izolacija/> (Pridobljeno septembra 2019.)
- [21] Celulozna toplotna izolacija, Natura Produkt d.o.o.
http://www.naturaprodukt.si/eko-toplotna_izolacija-trendisol_celulozna_izolacija-osnovn.html (Pridobljeno septembra 2019.)
- [22] Izvedba fasade v slikah, Natura Produkti d.o.o.
<http://www.naturaprodukt.si/trendisol-agepan-fasada-v-slikah.html>
(Pridobljeno septembra 2019.)
- [23] Agepan THD Trocken Holzfaser Dammplatte, Natura Produkti d.o.o.
http://www.naturaprodukt.si/eko-sekundarna_kritina-agepan-thd.html
(Pridobljeno septembra 2019.)

- [24] Webertherm plus ultra 020, Saint-Gobain Weber.
<https://www.si.weber/fasade-fasadni-sistemi/weber-fasade-fasadni-sistemi-za-energijsko-ucinkovitost-objekta/webertherm-plus-ultra-020#>
(Pridobljeno septembra 2019.)
- [25] Energijsko učinkovita okna in zasteklitve, Agencija za učinkovito rabo energije.
https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv_aure/il_2-10.pdf
(Pridobljeno septembra 2019.)
- [26] Šijanec Zavrl, M., Tomšič, M. 1999. Energetsko učinkovita zasteklitev in okna. Gradbeni inštitut ZRMK, Razvojna skupina za bivalno okolje in gradbeno fiziko.
- [27] Izbira zasteklitve in dodatkov za steklo, PVC Nagode.
<https://www.pvcnagode.si/dodatki-pvc-okna/steklo-za-okna/>
(Pridobljeno septembra 2019.)
- [28] Pravilno zračenje in prezračevanje, Agencija za učinkovito rabo energije.
https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv_aure/il_1-11.pdf (Pridobljeno septembra 2019.)
- [29] Jerman, B. 2019. Vse o prezračevanju v stanovanjskih stavbah. E-Netsi d.o.o.
https://prezracevanje.si/wp-content/uploads/2019/01/VSE_O_PREZRACEVANJU_A5_final.pdf
(Pridobljeno aprila 2020.)
- [30] Dovjak, M., Slobodnik, J., Krainer, A. 2018. Deteriorated Indoor Environmental Quality as a Collateral Damage of Present Day Extensive Renovations. University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, Slovenia. Institute of Public and Environmental Health, Slovenia.
<https://doi.org/10.5545/sv-jme.2018.5384>
- [31] Toplotne črpalke v stavbah, Gradbeni inštitut ZRMK.
<http://energetskaizkaznica.si/nasveti/toplotne-crpalke-v-stavbah/>
(Pridobljeno oktobra 2019.)
- [32] Toplotne črpalke, Agencija za učinkovito rabo energije.
https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv_aure/il_1-12.pdf (Pridobljeno oktobra 2019.)
- [33] Kam postaviti zunanjo enoto toplotne črpalke & kakšna je lahko oddaljenost toplotne črpalke od hiše?, Svet klime.
<https://svet-klime.si/kam-postaviti-zunanjo-enoto-toplotne-crpalke-kaksna-je-lahko-oddaljenost-toplotne-crpalke-od-hise/> (Pridobljeno aprila 2020.)
- [34] Ogrevane toplotne črpalke Kronoterm.
<https://kronoterm.com/> (Pridobljeno oktobra 2019.)

- [35] Legioneloza, Nacionalni inštitut za javno zdravje NIJZ.
<https://www.nijz.si/sl/legioneloza-0> (Pridobljeno aprila 2020.)
- [36] Priporočila za izvedbo toplotnega šoka (dezinfekcija s toploto) pri obvladovanju razmnoževanja legionel v interni vodovodni napeljavi, Nacionalni inštitut za javno zdravje NIJZ.
http://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/toplotni_sok_koncna_060417.pdf
(Pridobljeno aprila 2020.)
- [37] Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije. Ur. l. RS, št. 17/2019.
- [38] Sonce, Agencija za učinkovito rabo energije.
https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv_aure/il_5-02.pdf (Pridobljeno februarja 2020.)
- [39] PV portal, Slovenski portal za fotovoltaike.
<http://pv.fe.uni-lj.si/Uvod.aspx> (Pridobljeno februarja 2020.)
- [40] How can I Use Solar Power in my Home?, Green Energy Blog.
<https://cleangreenenergyzone.com/how-can-i-use-solar-power-in-my-home/>
(Pridobljeno februarja 2020.)
- [41] PV Cycle: reciklaža modulov, Plan-net Solar.
<http://www.plan-net-solar.si/o-podjetju/pv-cycle-reciklaza-modulov/>
(Pridobljeno aprila 2020.)
- [42] Šijanec Zavrl, M. 2013. Trajnostna gradnja. Revija Gradbenik, letn. 2013.
<http://www.sgg.si/wp-content/uploads/2015/12/OPEN-HOUSE-clanek-Gradbenik-priloga-PH1.pdf> (Pridobljeno januarja 2020.)
- [43] Kriteriji za trajnostno gradnjo in zeleno javno naročanje, Gradbeni inštitut ZRMK.
http://www.gi-zrmk.si/media/uploads/public/document/70-kriteriji_za_trajnostno_gradnjo_in_zeleno_javno_narocanje_gi_zrmk_sl.PDF
(Pridobljeno januarja 2020.)
- [44] Dovjak, M., Kuček, A. 2019. Creating Healthy and Sustainable Buildings, An Assessment of Health Risk Factor. Springer International Publishing, Cham.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-19412-3>
- [45] Török, T., Košir, M., Dovjak, M. 2016. Celovito ocenjevanje trajnostnih vidikov gradnje na primeru enodružinske hiše. Gradbeni vestnik, letn. 65, november 2016, str. 234-252.
<http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/msg/Gradbeni-vestnik-november-2016.pdf>
(Pridobljeno januarja 2020.)

- [46] Obnovljivi viri energije, Republika Slovenija GOV.SI.
<https://www.gov.si teme/obnovljivi-viri-energije/> (Pridobljeno januarja 2020.)
- [47] Šijanec Zavrl, M., Jačimović, M., Jejčič, N. (GI ZRMK), Varšek, D., Štritof Brus, M. (SSRS), etc. 2018. H2020 CoNZEBS D4.1: Common report on interviews with end-users in NZEBs – CoNZEBS.
https://www.conzebs.eu/images/D4.1_Common%20report%20on%20interviews%20with%20end-users%20in%20NZEB_final2.pdf (Pridobljeno aprila 2020.)
- [48] Šijanec Zavrl, M. 2019. Spremenjene zahteve glede energetske učinkovitosti stavb. Kako zagotoviti uspešno implementacijo Direktive EPBD (EU) 2018/844 – o energetske učinkovitosti stavb v prakso (PURES) za doseganje skoraj nič energijskih in zdravih stavb?. Green Tech Innovation Zajtrk, str. 6-7.
- [49] Hiše prihodnosti: prihodnost je že tukaj, Delo in dom.
<https://deloindom.delo.si/energija-in-okolje/energijska-ucinkovitost/hise-prihodnosti-prihodnost-je-ze-tukaj> (Pridobljeno decembra 2019.)
- [50] Pomembnost toplotnih izolacij v primerih novogradenj in obnov, KSKE Katedra za stavbe in Konstrukcijske Elemente.
<http://kske.fgg.uni-lj.si/pomembnost-toplotnih-izolacij-v-primerih-novogradenj-in-obnov/> (Pridobljeno decembra 2019.)
- [51] Dovjak, M., Košir, M., Pajek, L., Iglič, N., Božiček, D., Kunič, R. 2017. Environmental impact of thermal insulations: How do natural insulation products differ from synthetic ones?. Chair of Buildings and Constructional Complex, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, University of Ljubljana.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/92/1/012009>
- [52] Kunič, R., Tavzes, Č., Kutnar, A. 2012. Oglični odtis toplotnoizolacijskih materialov v toplotnem ovoju stavb. Gradbeni vestnik, letn. 61, št. 61, str. 206-214.
<http://www.zveza-dgits.si/ogljicni-odtis-toplotnoizolacijskih-materialov-v-toplotnem-ovoju-stavb> (Pridobljeno aprila 2020.)
- [53] Turk, J., Mauko, A., Mladenovič, A., Šrinzer, M. 2014. Priročnik o vrednotenju okoljskih vplivov pri recikliranju sedimentov iz vodnih teles v gradbeništvu na podlagi LCA analize.
<https://www.zag.si/ajax/DownloadHandler.php?file=1112> (Pridobljeno aprila 2020.)
- [54] An Eco-innovation approach based on Life Cycle Analysis (LCA), Saint-Gobain.
<https://www.saint-gobain.com/en/finance/socially-responsible-investment-sri/combating-climate-change/preserving-natural-resources>
(Pridobljeno januarja 2020.)

- [55] Okoljska deklaracija proizvoda, ZAG Zavod za gradbeništvo Slovenije.
<https://www.zag.si/si/certifikati-soglasja/sluzba-za-tehnicne-ocene-in-soglasja/okoljska-dekleracija-proizvoda> (Pridobljeno januarja 2020.)
- [56] Okoljska deklaracija za JUBIZOL grafitni EPS F-G0.
<http://www.zag.si/si/epd/ed3eea25273bf7bbc32782ba2e6f4088>
(Pridobljeno novembra 2019.)
- [57] Okoljska deklaracija za kameno volno Knauf Insulation FKD-S Thermal.
<https://www.knaufinsulation.com/downloads/environmental-product-declarations-epd>
(Pridobljeno novembra 2019.)
- [58] Okoljska deklaracija za celulozno izolacijo ISOCELL.
http://www.bau-epd.at/wp-content/uploads/2014/11/EPD-_ISOCELL_GaBi_20140825-English.pdf (Pridobljeno novembra 2019.)
- [59] Javni poziv 67SUB-OBPO19 Nepovratne finančne spodbude za nove skupne naložbe večje energijske učinkovitosti starejših stavb s tremi ali več posameznimi deli stavbe, Eko sklad.
<https://ekosklad.si/gospodarstvo/pridobite-spodbudo/objava/javni-poziv-67sub-obpo19-nepovratne-finanne-spodbude-za-nove-skupne-nalobe-veje-energijske-uinkovitosti-starejih-stavb-s-tremi-ali-ve-posameznimi-deli-stavbe>
(Pridobljeno septembra 2019.)
- [60] Javni poziv 48SUB-SKOB17, Nepovratne finančne spodbude občanom za nove naložbe zamenjave starih kurilnih naprav v skupnih kotlovnica večstanovanjskih stavb, Eko sklad.
<https://ekosklad.si/prebivalstvo/pridobite-spodbudo/seznam-spodbud/toplotne-crpalke/toplotne-crpalke-sbvencija-34> (Pridobljeno novembra 2019.)
- [61] Javni poziv 71SUB-SO19, Nepovratne finančne spodbude/pomoči za naprave za samooskrbo z električno energijo, Eko sklad.
<https://ekosklad.si/prebivalstvo/pridobite-spodbudo/objava/nepovratna-sredstva-71sub-so19> (Pridobljeno novembra 2019.)
- [62] Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ. Ur. l. RS, št. 60/06, 54/10 in 27/16.
- [63] Stopnja inflacije. Statistični Urad Republike Slovenije.
<https://www.stat.si/StatWeb/Field/Index/2> (Pridobljeno februarja 2020.)
- [64] Šijanec Zavrl, M., Kolšek, J. 2009. LCC kot osnova za trajnostno načrtovanje stavb in gospodarjenje z njimi. Ljubljana, GI ZRMK.

- [65] Pravilnik o standardih vzdrževanja stanovanjskih stavb in stanovanj, Ur. l. RS, št. 20/04 in 18/11. Priloga 1.
<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV5263>
(Pridobljeno februarja 2020.)
- [66] Mirtič, M. 2009. Prenova večstanovanjske stavbe z vidika stroškovne analize življenjskega cikla objekta (LCC). Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- [67] Šijanec Zavrl, M., Stegnar, G. 2016. Prenova stavb, tudi po skoraj nič-energijskih merilih. Revija Gradbenik, letn. 2016.
<http://www.republiczeb.org/filelibrary/Papers%20&%20Presentations/8---GRADBENIK--marec-2016--RePublic.PDF> (Pridobljeno januarja 2020.)
- [68] Zrakotesnost. Energetska bilanca, energetski izračuni in simulacije za izvedbo energetske učinkovitih objektov.
<http://www.energetskabilanca.com/zrakotesnost/> (Pridobljeno oktobra 2019.)
- [69] Zagotavljanje zrakotesnosti stavbnega ovoja. Eko sklad in En svet.
<https://ekosklad.si/prebivalstvo/informacije/strokovni-prispevek/zrakotestnosti-stavbnega-ovoja> (Pridobljeno oktobra 2019.)
- [70] Pajek, L., Dovjak, M., Kristl, Ž. 2013. Vpliv gliv v grajenem okolju na zdravje ljudi. Gradbeni vestnik, letn. 62, št. 8, str. 176-187.
<https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-H7JBGP04> (Pridobljeno oktobra 2019.)
- [71] Plesen v stanovanju: Bolj zdravstvena kot estetska težava.
<https://www.zdravje.si/plesen-v-stanovanju-zdravje> (Pridobljeno oktobra 2019.)
- [72] BlowerDoor Standard. Minneapolis BlowerDoor, Modell 4.1 with DG-1000 Tectite Express version 5.1.
https://www.blowerdoor.com/fileadmin/BlowerDoorEN/_Dokumente/Handbuecher/Reference_guide_BlowerDoor_Standard_DG-1000_2017-10.pdf
(Pridobljeno oktobra 2019.)
- [73] Vrabl, M. 2013. Primerjava dvoslojne in troslojne zasteklitve oken. Diplomski izpit univerzitetnega študijskega programa 1. Stopnje. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo.

Ostali ustni in pisni viri, ki so bili v pomoč pri pisanju magistrskega dela:

- [74] Strokovna pomoč zaposlenih na Gradbenem inštitutu ZRMK.
- [75] Zunanji sodelavci Gradbenega inštituta ZRMK.

- [76] Eko sklad, Slovenski okoljski javni sklad.
<https://www.ekosklad.si/>

- [77] Knauf Insulation Slovenija, d.o.o.
<https://www.knaufinsulation.si/>

- [78] Natura produkt d.o.o.
<http://naturaprodukt.si/domov.html>

- [79] Proizvodnja varčnih toplotnih črpalk, Kronoterm d.o.o.
<https://kronoterm.com/>

- [80] Energetsko učinkovite rešitve, Šilc d.o.o.
<http://www.silc.si/>

- [81] GEN-I, trgovanje in prodaja električne energije, d.o.o.
<https://gen-i.si/?cr=1>

- [82] Elektro Ljubljana d.d.
<https://www.elektro-ljubljana.si/>

- [83] Energetika Ljubljana, d.o.o.
<https://www.energetika-lj.si/>

- [84] Agencija za energijo.
<https://www.agen-rs.si/domov>