

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Mihelj, A., 2015. Analiza energetske prenove Osnovne šole Prade. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Kristl, Ž.): 90 str.

Datum arhiviranja: 13-03-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Mihelj, A., 2015. Analiza energetske prenove Osnovne šole Prade. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Kristl, Ž.): 90 pp.

Archiving Date: 13-03-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

ANDREJ MIHELJ

**ANALIZA ENERGETSKE PRENOVE OSNOVNE ŠOLE
PRADE**

Diplomska naloga št.: 3425/KS

**ENERGY RENOVATION ANALYSIS OF ELEMENTARY
SCHOOL PRADE**

Graduation thesis No.: 3425/KS

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentorica:

dr. Živa Kristl

Ljubljana, 05. 03. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Andrej Mihelj izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Analiza energetske prenove Osnovne šole Prade«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 3. 2. 2015.

Andrej Mihelj

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	373:727:699.8(497.4)(043.2)
Avtor:	Andrej Mihelj
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentor:	doc. dr. Živa Kristl
Naslov:	Analiza energetske prenove Osnovne šole Prade
Tip dokumenta:	Dipl. nal. – UNI
Obseg in oprema:	90 str., 86 pregl., 40 graf., 14 sl.
Ključne besede:	energetska prenova, energetska učinkovitost, skoraj nič energijska stavba

Izvleček

V diplomski nalogi je predstavljena analiza energetske prenove Osnovne šole Prade. V okviru energetske prenove so bili obravnavani ukrepi za izboljšanje energetske učinkovitosti šole ter kombinacije teh ukrepov. Namen naloge je bil upravičiti smotrnost prenove z gledišča energetske učinkovitosti. S kombinacijami ukrepov energetske učinkovite prenove je bila preverjena tudi možnost spoštovanja določil glede gradnje skoraj nič energijske javne stavbe. Rezultati so pokazali, da ima šola velik potencial za realizacijo prihrankov toplote za ogrevanje in prihrankov hladu za hlajenje, kar pomeni da je izvedba energetske sanacije upravičena. Določila glede gradnje skoraj nič energijske javne stavbe pa so se izkazala kot zelo zahtevna in težko dosegljiva za primer Osnovne šole Prade. Pojavila se je tudi potreba po spremembi načina določanja največje dovoljene toplote za ogrevanje po trenutno veljavni zakonodaji.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDK: 373:727:699.8(497.4)(043.2)
Author: Andrej Mihelj
Supervisor: Assist. Prof. Mitja Košir, Ph.D.
Co-supervisor: Assist. Prof. Živa Kristl, Ph.D.
Title: Energy renovation analysis of Elementary school Prade
Document type: Graduation Thesis – University Studies
Scope and tools: 90 p., 86 tab., 40 ch., 14 fig.
Keywords: energy renovation, energy efficiency, near zero energy building

Abstract:

This thesis presents an energy renovation analysis of Elementary School Prade. In the context of energy renovations were discussed measures to improve the energy efficiency of schools, and combinations of these measures. The aim of the thesis was to justify the appropriateness of the renovation from the perspective of energy efficiency. With a combination of measures for energy efficient renovation was verified the possibility of observing the provisions regarding the construction of nearly zero energy public buildings. The results showed that the school have a great potential for the realization of savings in heating and cooling energy, which means that the execution of the energy efficiency renovation is justified. The provisions regarding the construction of nearly zero energy public buildings have proved to be very challenging and difficult to obtain for an example of Elementary School Prade. There was also a need to change the method of determining the maximum allowable heat heating in the current laws.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
KAZALO VSEBINE	V
1 UVOD	1
1.1 Namen diplomske naloge	2
1.2 Potek dela	2
2 DOSEDANJE IZKUŠNJE IN VZORČNI PRIMERI	3
2.1 VZORČNI PRIMERI	3
2.1.1 Energetska prenova poslovnega objekta v Ankari - Turčija [13]	3
2.1.2 Energetske prenove urbanih stanovanjskih objektov v severni Grčiji [14]	4
2.1.3 Energetsko učinkovita prenova več stanovanjskih stavb v Sloveniji [15]	4
3 ZAKONODAJA	6
3.1 Prenovljena direktiva o energetske učinkovitosti stavb (2010/31/EU) – EPBD-r [5]	6
3.2 Slovenska zakonodaja	7
3.2.1 Zakon o graditvi objektov (ZGO-1) [17]	7
3.2.2 Energetski zakon (EZ-1)[18]	9
3.2.3 Zakon o varstvu okolja (ZVO-1) [19]	9
4 UPORABLJENI RAČUNALNIŠKI PROGRAMI	10
4.1 Računalniški program TOST [11]	10
4.2 Računalniški program TEDI [10]	10
4.3 Računalniški program SHADING II [24]	10
5 PREDSTAVITEV OBJEKTA	12
5.1 Splošno o Osnovni šoli Prade	12
5.2 Zasnova izhodiščne situacije	13
5.3 Vhodni podatki izhodiščne situacije	15
5.3.1 Vhodni podatki skupni vsem trem conam	15
5.3.2 1. Ogrevana cona - Predmetna stopnja	19
5.3.3 2. Ogrevana cona - Razredna stopnja:	21
5.3.4 3. Ogrevana cona – Telovadnica	22
5.3.5 Rezultati izračuna energetske bilance izhodiščne situacije	24
5.3.6 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance izhodiščne situacije	25
6 NABOR UKREPOV ENERGETSKE SANACIJE	27
6.1 1. UKREP: Povečana debelina toplotne izolacije fasade (skupno 15 cm polistirena)	27
6.1.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 1. UKREP	28
6.1.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 1. UKREP	28
6.2 2. UKREP: Dodatno povečana toplotna izolacija fasade (skupno 30 cm polistirena)	29
6.2.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 2. UKREP	30
6.2.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 2. UKREP	31
6.3 3. UKREP: Povečana debelina toplotna izolacija strehe (skupno 20 cm kamene volne)	31
6.3.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 3. UKREP	33
6.3.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 3. UKREP	33
6.4 4. UKREP: Dodatno povečana debelina toplotne izolacija strehe (skupno 40 cm kamene volne)	34
6.4.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 4. UKREP	35

6.4.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 4. UKREP.....	36
6.5	5. UKREP: Namestitev novih dvoslojnih oken ($U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,58$)	37
6.5.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 5. UKREP	37
6.5.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 5. UKREP.....	38
6.6	6. UKREP: Namestitev troslojnih oken ($U_w = 0,7\text{W/m}^2\text{K}$, $g = 0,50$).....	39
6.6.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 6. UKREP	39
6.6.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 6. UKREP.....	40
6.7	7. UKREP: Optimizacija režima prezračevanja (»naravno prezračevanje«).....	41
6.7.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 7. UKREP	42
6.7.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 7. UKREP.....	42
6.8	8. UKREP: Montaža hibridnih zračnikov na okna ($U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,58$)	44
6.8.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 8. UKREP	45
6.8.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 8. UKREP.....	46
6.9	9. UKREP: Montaža hibridnih zračnikov na okna ($U_w = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,50$)	47
6.9.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 9. UKREP	48
6.9.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 9. UKREP.....	48
6.10	10. UKREP: Mehansko prezračevanje z rekuperacijo odpadne toplote in novimi okni ($U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,58$).....	50
6.10.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 10. UKREP	51
6.10.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 10. UKREP.....	51
6.11	11. UKREP: Mehansko prezračevanje z rekuperacijo odpadne toplote in novimi okni ($U_w = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,50$).....	53
6.11.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 11. UKREP	53
6.11.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 11. UKREP.....	53
6.12	12. UKREP: Optimizacija ogrevanja v podobdobjih neuporabe.....	55
6.12.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 12. UKREP	55
6.12.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 12. UKREP.....	56
6.13	13. UKREP: Optimizacija ogrevanja v podobdobjih neuporabe in uporabe	58
6.13.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 13. UKREP	58
6.13.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 13. UKREP.....	59
6.14	14. UKREP: Toplotno izolacija tal.....	60
6.14.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 14. UKREP	60
6.14.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 14. UKREP.....	61
6.15	15. UKREP: Zaprtje vseh okenskih odprtih na severni strani telovadnice.....	61
6.15.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 15. UKREP	61
6.15.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 15. UKREP.....	62
6.16	16. UKREP: Neupoštevanje senčenja okolice šole	62
6.16.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 16. UKREP	63
6.16.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 16. UKREP.....	63
6.17	17. UKREP: Uporaba zunanjih senčil (april-september)	64
6.17.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 17. UKREP	65
6.17.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 17. UKREP.....	65
6.18	18. UKREP: Namestitev fotonapetostnih modulov.....	67
6.18.1	Komentar rezultatov za 18. UKREP.....	67
6.19	PREGLED UČINKOV PREDLAGANIH UKREPOV.....	68
6.20	KOMENTAR UČINKOV UKREPOV	73
7	KOMBINACIJE UKREPOV	75
7.1	1A. KOMBINACIJA UKREPOV	75

7.1.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 1A. KOMBINACIJO UKREPOV	75
7.1.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 1A. KOMBINACIJO UKREPOV 76	
7.2	1B. KOMBINACIJA UKREPOV (izvedba z rekuperacijo odpadne toplote iz prezračevanja) 77	
7.2.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 1B. KOMBINACIJO UKREPOV	77
7.2.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 1B. KOMBINACIJO UKREPOV 78	
7.3	2. KOMBINACIJA UKREPOV	79
7.3.1	Rezultati izračuna energetske bilance za 2. KOMBINACIJO UKREPOV	79
7.3.2	Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 2. KOMBINACIJO UKREPOV	80
7.4	PREGLED UČINKOV KOMBINACIJ UKREPOV	81
7.5	KOMENTAR UČINKOV KOMBINACIJ UKREPOV	83
8	ZAKLJUČEK	85
VIRI	VIRI	87

KAZALO PREGLEDNIC:

Preglednica 1: <i>Največje dovoljene toplotne prehodnosti sklopov po TSG4.</i>	8
Preglednica 2: <i>Geodetske koordinate.</i>	15
Preglednica 3: <i>Projektne temperature.</i>	15
Preglednica 4: <i>Notranji dobitki.</i>	16
Preglednica 5: <i>Urne izmenjave zraka.</i>	16
Preglednica 6: <i>Geometrijske karakteristike celotne šole.</i>	17
Preglednica 7: <i>Dejanska osenčenost celotne šole z okolico in senčenjem objektov med seboj izražena v %.</i>	18
Preglednica 8: <i>Neovirana osenčenosti celotne šole izraženo v %.</i>	18
Preglednica 9: <i>Faktorji osenčenosti $F_{sh,ob}$.</i>	19
Preglednica 10: <i>Geometrijske karakteristike predmetne stopnje.</i>	19
Preglednica 11: <i>Sestava konstrukcijskega sklopa zunanje stene predmetne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).</i>	20
Preglednica 12: <i>Sestava konstrukcijskega sklopa strehe predmetne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).</i>	20
Preglednica 13: <i>Sestava konstrukcijskega sklopa tal na terenu predmetne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).</i>	20
Preglednica 14: <i>Geometrijske karakteristike razredne stopnje.</i>	21
Preglednica 15: <i>Sestava konstrukcijskega sklopa zunanje stene razredne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).</i>	21
Preglednica 16: <i>Sestava konstrukcijskega sklopa strehe razredne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).</i>	22
Preglednica 17: <i>Sestava konstrukcijskega sklopa tal na terenu razredne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).</i>	22
Preglednica 18: <i>Geometrijske karakteristike telovadnice.</i>	23
Preglednica 19: <i>Sestava konstrukcijskega sklopa zunanje stene telovadnice (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).</i>	23
Preglednica 20: <i>Sestava konstrukcijskega sklopa strehe telovadnice (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).</i>	23
Preglednica 21: <i>Sestava konstrukcijskega sklopa tal na terenu telovadnice (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).</i>	23
Preglednica 22: <i>Energetska bilanca izhodiščne situacije.</i>	24
Preglednica 23: <i>Izgube in dobitki izhodiščne situacije za sezono ogrevanja.</i>	25
Preglednica 24: <i>Izgube in dobitki izhodiščne situacije za sezono hlajenja.</i>	25
Preglednica 25: <i>Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa zunanje stene predmetne stopnje in telovadnice.</i>	27
Preglednica 26: <i>Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa zunanje stene razredne stopnje.</i>	27

Preglednica 27: <i>Energetska bilanca za 1. UKREP</i>	28
Preglednica 28: <i>Izgube in dobitki za 1. UKREP med sezono ogrevanja</i>	28
Preglednica 29: <i>Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa zunanje stene predmetne stopnje in telovadnice</i>	30
Preglednica 30: <i>Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa zunanje stene razredne stopnje</i>	30
Preglednica 31: <i>Energetska bilanca za 2. UKREP</i>	30
Preglednica 32: <i>Izgube in dobitki za 2. UKREP med sezono ogrevanja</i>	31
Preglednica 33: <i>Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa strehe predmetne stopnje</i>	32
Preglednica 34: <i>Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa strehe razredne stopnje</i>	32
Preglednica 35: <i>Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa strehe telovadnice</i>	32
Preglednica 36: <i>Energetska bilanca za 3. UKREP</i>	33
Preglednica 37: <i>Izgube in dobitki za 3. UKREP med sezono ogrevanja</i>	33
Preglednica 38: <i>Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa strehe predmetne stopnje</i>	34
Preglednica 39: <i>Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa strehe razredne stopnje</i>	35
Preglednica 40: <i>Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa strehe telovadnice</i>	35
Preglednica 41: <i>Energetska bilanca za 4. UKREP</i>	35
Preglednica 42: <i>Izgube in dobitki za 4. UKREP med sezono ogrevanja</i>	36
Preglednica 43: <i>Energetska bilanca za 5. UKREP</i>	37
Preglednica 44: <i>Izgube in dobitki za 5. UKREP med sezono ogrevanja</i>	38
Preglednica 45: <i>Energetska bilanca za 6. UKREP</i>	39
Preglednica 46: <i>Izgube in dobitki za 6. UKREP med sezono ogrevanja</i>	40
Preglednica 47: <i>Energetska bilanca za 7. UKREP</i>	42
Preglednica 48: <i>Izgube in dobitki za 7. UKREP med sezono ogrevanja</i>	42
Preglednica 49: <i>Energetska bilanca za 8. UKREP</i>	45
Preglednica 50: <i>Izgube in dobitki za 8. UKREP med sezono ogrevanja</i>	45
Preglednica 51: <i>Energetska bilanca za 9. UKREP</i>	48
Preglednica 52: <i>Izgube in dobitki za 9. UKREP med sezono ogrevanja</i>	48
Preglednica 53: <i>Energetska bilanca za 10. UKREP</i>	51
Preglednica 54: <i>Izgube in dobitki za 10. UKREP med sezono ogrevanja</i>	51
Preglednica 55: <i>Energetska bilanca za 11. UKREP</i>	53
Preglednica 56: <i>Izgube in dobitki za 11. UKREP med sezono ogrevanja</i>	53
Preglednica 57: <i>Energetska bilanca za 12. UKREP</i>	55
Preglednica 58: <i>Izgube in dobitki za 12. UKREP med sezono ogrevanja</i>	56
Preglednica 59: <i>Energetska bilanca za 13. UKREP</i>	58
Preglednica 60: <i>Izgube in dobitki za 13. UKREP med sezono ogrevanja</i>	58
Preglednica 61: <i>Sestava konstrukcijskega sklopa tal na terenu</i>	60

Preglednica 62: <i>Energetska bilanca za 14. UKREP.</i>	60
Preglednica 63: <i>Izgube in dobitki za 14. UKREP med sezono ogrevanja.</i>	61
Preglednica 64: <i>Energetska bilanca za 15. UKREP.</i>	61
Preglednica 65: <i>Izgube in dobitki za 15. UKREP med sezono ogrevanja.</i>	62
Preglednica 66: <i>Faktorji osenčenosti F_s, brez upoštevanja senčenja okolice.</i>	62
Preglednica 67: <i>Energetska bilanca za 16. UKREP.</i>	63
Preglednica 68: <i>Izgube in dobitki za 16. UKREP med sezono ogrevanja.</i>	63
Preglednica 69: <i>Energetska bilanca za 17. UKREP.</i>	65
Preglednica 70: <i>Izgube in dobitki za 17. UKREP med sezono hlajenja.</i>	65
Preglednica 71: <i>Proizvedena energija sončne elektrarne.</i>	67
Preglednica 72: <i>Pregled učinkov posameznih ukrepov na potrebno toploto in hlad, glede na izhodiščno situacijo.</i>	69
Preglednica 73: <i>Pregled učinkov posameznih ukrepov na izgube in dobitke, glede na izhodiščno situacijo za sezono ogrevanja (* hlajenja).</i>	70
Preglednica 74: <i>Energetska bilanca za 1A. KOMBINACIJO UKREPOV.</i>	75
Preglednica 75: <i>Izgube in dobitki za 1A. KOMBINACIJO UKREPOV v obdobju ogrevanja.</i>	76
Preglednica 76: <i>Izgube in dobitki za 1A. KOMBINACIJO UKREPOV v obdobju hlajenja.</i>	76
Preglednica 77: <i>Energetska bilanca za 1B. KOMBINACIJO UKREPOV.</i>	77
Preglednica 78: <i>Izgube in dobitki za 1B. KOMBINACIJO UKREPOV v obdobju ogrevanja.</i>	78
Preglednica 79: <i>Izgube in dobitki za 1B. KOMBINACIJO UKREPOV v obdobju hlajenja.</i>	78
Preglednica 80: <i>Energetska bilanca za 2. KOMBINACIJO UKREPOV.</i>	79
Preglednica 81: <i>Izgube in dobitki za 2. KOMBINACIJO UKREPOV v obdobju ogrevanja.</i>	80
Preglednica 82: <i>Izgube in dobitki za 2. KOMBINACIJO UKREPOV v obdobju hlajenja.</i>	80
Preglednica 83: <i>Pregled učinkov kombinacij ukrepov na potrebno toploto in hlad, glede na izhodiščno situacijo.</i>	81
Preglednica 84: <i>Pregled učinkov posameznih ukrepov na izgube in dobitke, glede na izhodiščno situacijo za sezono ogrevanja.</i>	81
Preglednica 85: <i>Pregled učinkov posameznih ukrepov na izgube in dobitke, glede na izhodiščno situacijo za sezono hlajenja.</i>	81
Preglednica 86: <i>Pregled skupne letne končne energije ob upoštevanju proizvedene energije iz sončne elektrarne.</i>	84

KAZALO GRAFIKONOV:

Grafikon 1: Pregled hierarhije ukrepov subvencioniranih s strani EKO sklada za obdobje 2008-2013 (Vir: Učinki nepovratnih finančnih spodbud (subvencij) Eko sklada za naložbe URE in OVE v stavbah, 2013, [12]).	3
Grafikon 2: Razmerje med površino stene in prostornino ogrevane cone.	29
Grafikon 3: Zmanjšanje transmisijских izgub zaradi 1. ukrepa, porazdeljeno po conah.	29
Grafikon 4: Primerjava zmanjšanja transmisijских izgub zaradi 1. in 2. ukrepa, porazdeljeno po conah.	31
Grafikon 5: Razmerje med površino strehe in prostornino ogrevane cone.	34
Grafikon 6: Zmanjšanje transmisijских izgub zaradi 3. ukrepa, porazdeljeno po conah.	34
Grafikon 7: Primerjava zmanjšanja transmisijских izgub zaradi 3. In 4. ukrepa, porazdeljeno po conah.	36
Grafikon 8: Razmerje med površino odprtih in prostornino ogrevane cone.	38
Grafikon 9: Zmanjšanje transmisijских izgub zaradi 5. ukrepa porazdeljeno po conah.	38
Grafikon 10: Zmanjšanje solarnih dobitkov zaradi 5. ukrepa, porazdeljeno po conah.	39
Grafikon 11: Primerjava zmanjšanja transmisijских izgub zaradi 5. in 6. ukrepa, porazdeljeno po conah.	40
Grafikon 12: Primerjava zmanjšanja solarnih dobitkov zaradi 5. n 6. ukrepa, porazdeljeno po conah.	41
Grafikon 13: Zmanjšanje ventilacijskih izgub zaradi 7. ukrepa, porazdeljeno po conah.	43
Grafikon 14: Prikaz urnih količin zunanjega zraka za prezračevanje na osebo po ogrevanih conah in priporočenih vrednosti iz Pravilnika za 7. ukrep.	44
Grafikon 15: Zmanjšanje transmisijских izgub zaradi 8. ukrepa porazdeljeno po conah.	46
Grafikon 16: Zmanjšanje ventilacijskih izgub zaradi 8. ukrepa, porazdeljeno po conah.	47
Grafikon 17: Prikaz urnih količin zunanjega zraka za prezračevanje na osebo po ogrevanih conah in priporočenih vrednosti iz Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb.	47
Grafikon 18: Primerjava zmanjšanja transmisijских izgub zaradi 8. in 9. ukrepa, porazdeljeno po conah.	49
Grafikon 19: Primerjava zmanjšanja solarnih dobitkov zaradi 8. in 9. ukrepa, porazdeljeno po conah.	49
Grafikon 20: Primerjava zmanjšanja solarnih dobitkov zaradi 5.,6.,8. in 9. ukrepa, porazdeljeno po conah.	50
Grafikon 21: Zmanjšanje transmisijских izgub zaradi 10. ukrepa porazdeljeno po conah.	52
Grafikon 22: Zmanjšanje ventilacijskih izgub zaradi 10. ukrepa, porazdeljeno po conah.	52
Grafikon 23: Primerjava zmanjšanja transmisijских izgub zaradi 10. in 11. ukrepa, porazdeljeno po conah.	54
Grafikon 24: Primerjava zmanjšanja solarnih dobitkov zaradi 10. in 11. ukrepa, porazdeljeno po conah.	54

Grafikon 25: Primerjava zmanjšanja notranjih dobitkov zaradi 10. in 11. ukrepa, porazdeljeno po conah.	55
Grafikon 26: Zmanjšanje transmisijskih izgub zaradi 12. ukrepa porazdeljeno po conah.	56
Grafikon 27: Zmanjšanje ventilacijskih izgub zaradi 12. ukrepa porazdeljeno po conah.	57
Grafikon 28: Povečanje notranjih dobitkov zaradi 12. ukrepa porazdeljeno po conah.	57
Grafikon 29: Povečanje solarnih dobitkov zaradi 12. ukrepa porazdeljeno po conah.	57
Grafikon 30: Primerjava zmanjšanja transmisijskih izgub zaradi 12. in 13. ukrepa, porazdeljeno po conah.	59
Grafikon 31: Primerjava zmanjšanja ventilacijskih izgub zaradi 12. in 13. ukrepa, porazdeljeno po conah.	59
Grafikon 32: Povečanje solarnih dobitkov zaradi 16. ukrepa porazdeljeno po conah.	64
Grafikon 33: Zmanjšanje solarnih dobitkov zaradi 17. ukrepa, porazdeljeno po conah.	66
Grafikon 34: Zmanjšanje transmisijskih izgub 17. ukrepa, porazdeljeno po conah.	66
Grafikon 35: Zmanjšanje ventilacijskih izgub zaradi 17. ukrepa, porazdeljeno po conah.	66
Grafikon 36: Predstavitev ukrepov glede na spremembe potrebnega toplote in hlada v kWh/m ³ a.	71
Grafikon 37: Predstavitev ukrepov glede na spremembe izgub in dobitkov v kWh za obdobje ogrevanja (17. ukrep* prikazuje spremembe v obdobju hlajenja).	72
Grafikon 38: Predstavitev kombinacij ukrepov glede na spremembe potrebnega toplote in hlada v kWh/m ³ a.	82
Grafikon 39: Predstavitev kombinacij ukrepov glede na spremembe izgub in dobitkov v kWh za obdobje ogrevanja.	82
Grafikon 40: Predstavitev kombinacij ukrepov glede na spremembe izgub in dobitkov v kWh za obdobje hlajenja.	82

KAZALO SLIK:

Slika 1: <i>Osnovna šola Prade</i>	12
Slika 2: <i>Šolski okoliš OŠ Prade (Vir: Google maps)</i>	12
Slika 3: <i>Tloris pritličja razredne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).</i>	13
Slika 4: <i>Tloris pritličja predmetne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).</i>	14
Slika 6: <i>Model osnovna šola Prade – pogled iz južne strani.</i>	18
Slika 8: <i>Model razredne stopnje – pogled iz južne strani.</i>	21
Slika 9: <i>Model telovadnice – pogled iz južne strani.</i>	22
Slika 10: <i>Primer zračnikov-zračnih rež na okvirju oken (vir: Jelovica, 2014 [34]).</i>	45
Slika 11: <i>Senčenje telovadnice – pogled iz severozahodne strani.</i>	64
Slika 12: <i>Senčenje predmetne in razredne stopnje – pogled iz jugovzhodne strani.</i>	64
Slika 13: <i>Vhodni podatki programa TOST o karakteristikah ogrevanja, hlajenja in priprave tople vode.</i>	68
Slika 14: <i>Vhodni podatki programa TOST o karakteristikah ogrevanja, hlajenja in priprave tople vode.</i>	83

1 UVOD

S podpisom Kjotskega mednarodnega sporazuma [1], smo se tudi v Evropski uniji zavezali k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov. Toplogredni plini naj bi bili glavni krivec za globalno segrevanje ozračja in nastanek podnebnih sprememb. Iz podatkov dosegljivih na spletu [2] izvemo, da se je povprečna temperatura zraka na zemlji v zadnjih 150 letih povečala za približno 0,6 °C. V naslednjih 100 letih pa naj bi se temperatura dvignila še za dodatnih 1,5 - 4,5 °C. Pri pregledu letnih povprečnih temperatur zraka po meteoroloških postajah Slovenije [3] ugotovimo, da se je v obdobju med 1981 - 2012 temperatura dvignila za 1,1 °C kar kaže, da se tudi v Sloveniji da zaslediti trend globalnega segrevanja. Kjotski sporazum zato določa ciljna obdobja v katerih naj bi države podpisnice dosegle določeno zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov. Upoštevanje načel Kjotskega sporazuma se kaže v sprejemanju novih ukrepov in zakonov na področju novogradenj in prenov obstoječih stavb. Te pokrivata Direktiva EU o energetske učinkovitosti stavb (2002/91/ES) (EPBD) [4] ter Prenovljena direktiva o energetske učinkovitosti stavb (2010/31/EU) (EPBD-r) [5]. Oba dokumenta predstavljata osnovo za slovensko zakonodajo na tem področju.

V Evropi je vedno bolj v ospredju praksa, da se obstoječe stavbe raje prenove kot pa ruši in na novo gradi. To potrjuje nizek delež (le 1 %) novogradenj na nepremičninskem tržišču EU v zadnjih nekaj letih [6] kar pomeni, da postajajo prenove starih stavb primarna skrb Evropske nepremičninske politike. Takšnega trenda nepremičninskega tržišča seveda ne moremo kar tako pripisati tudi Sloveniji. Lahko pa potrdimo, da si z Evropo delimo enako obdobje finančno gospodarske krize, katero skušamo reševati z ukrepi za oživitev gospodarstva. Eden od teh ukrepov je tudi prenova starih javnih in zasebnih stavb, kar lahko pomembno oživi gradbeništvo v Sloveniji. V preteklosti je bila prenova neke stavbe večinoma izvedena le zaradi dotrajanosti nosilne konstrukcije. Kasneje pa so se pojavili še drugi razlogi za prenovo kot so potrebe starejših uporabnikov ter invalidov, potrebe po znižanju obratovalnih stroškov, povečanje energijske učinkovitosti, povečanje rabe obnovljivih virov ter razni socialni razlogi.

Spodbujanje energetske učinkovitih prenov javnih in zasebnih stavb država in Evropska unija udeležujeta s subvencijami (delno financiranje naložb s strani evropske unije, EKO- sklad,...). Tako lahko z istim ukrepom zmanjšata izpuste toplogrednih plinov in hkrati učinkovito spodbujata gospodarstvo v času gospodarske krize. Subvencije in nepovratna sredstva so zato zelo dobrodošel ukrep, katerega je potrebno izkoristiti v največji možni meri. V Sloveniji bi bili lahko učinki tega ukrepa vidni v večji meri, vendar zaradi dolgotrajnih usklajevanj s strani ministrstev, temu ni bilo tako. Posledično je bila izkoriščenost sredstev namenjenih energetske učinkovitim prenovam nizka [7]. Situacija se je s časom izboljšala in tako lahko sedaj vidimo že bistveno več prenovljenih energetske učinkovitejših stavb. Ena takšnih je tudi Osnovna šola Prade.

1.1 Namen diplomske naloge

V okviru svoje diplomske naloge, bom podrobneje pregledal ukrepe energetske učinkovite prenove Osnovne šole Prade in tako poskušal upravičiti njeno smotrnost z gledišča energetske učinkovitosti. Preveril bom tudi možnost spoštovanja določila iz 9. členu EPBD-r, glede gradenj nizkoenergijskih oziroma skoraj nič energijskih javnih stavb. Ta namreč določa, da naj bi bile vse nove stavbe do konca leta 2020 skoraj nič energijske. Nove javne stavbe v lasti ali najemu države pa morajo biti skoraj nič energijske že do konca leta 2018, saj naj bi predstavljale vzgled preostalim. Čeprav Osnovna šola Prade ni novogradnja in zato zanjo to določilo ne velja, bom kljub temu preizkusil možnost prenove obstoječe šole v skoraj nič energijsko stavbo. Ob tem je potrebno omeniti, da je trenutno definicija meje za skoraj nič energijsko stavbo v Sloveniji še v fazi usklajevanja, zato bom pri tem upošteval svojo interpretacijo zahtev EPBD-r.

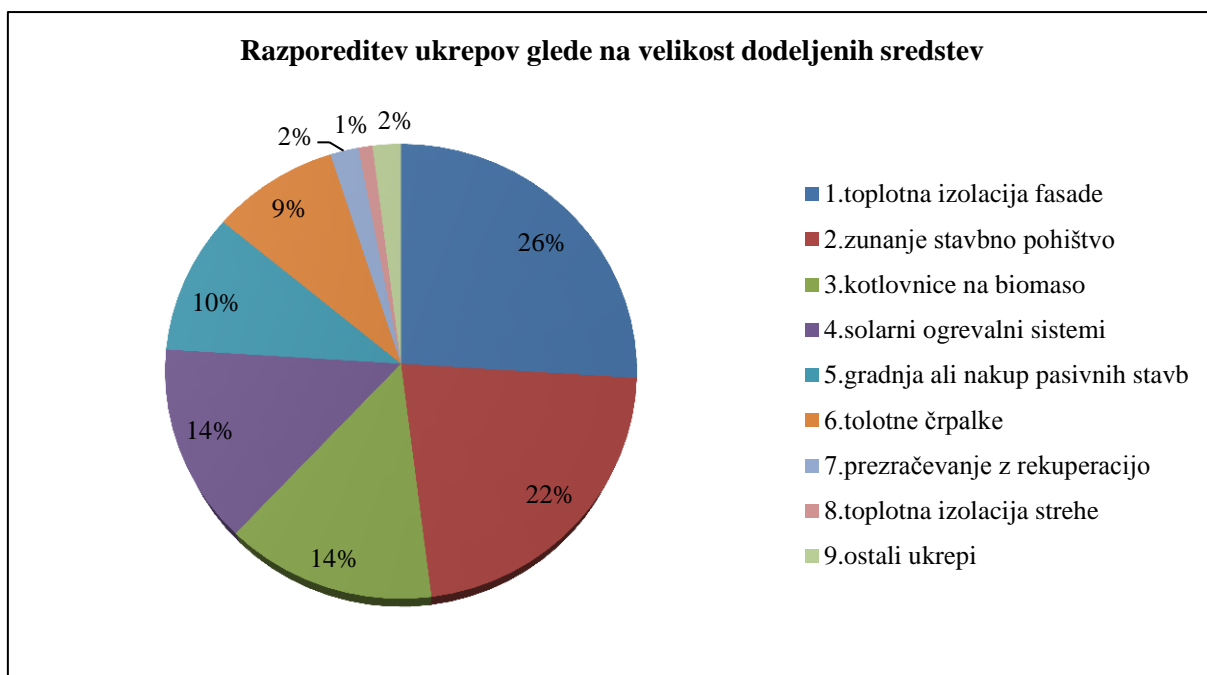
Ob energetske prenovi javne stavbe, predvideva Slovenska zakonodaja izpolnitev minimalne zahteve glede energetske učinkovitosti. Minimalne zahteve glede energetske učinkovitosti predstavljajo tudi omejitve glede toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov. Te so navedene v Tehnični smernici za graditev TSG-1-004:2010 (TSG4) [8]. Omejitve glede največje dovoljene potrebne toplote za ogrevanje pa so navedene v Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES2010) [9]. Pri tem določa TSG4 gradbene ukrepe, rešitve ter metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavb, ki pa jih predpisuje PURES2010. Torej, v okviru diplomske naloge, bom za vsak ukrep in kombinacijo ukrepov energetske prenove šole, preverjal tudi izpolnjevanje teh zahtev. Tako bom dobil predstavo o strogosti zahtev, ki nam jih narekujejo ti dokumenti.

1.2 Potek dela

Po pregledu trenutno veljavne zakonodaje na področju novogradenj in prenov, bom predstavil Osnovno šolo Prade, kjer se je energetske učinkovite prenove pravkar izvedla. Določil bom izhodiščno situacijo šole, za katero bom s pomočjo programov TOST [10] in TEDI [11] izračunal energetske bilanco. Izhodiščni situaciji bom posamično dodajal energetske učinkovite ukrepe in na osnovi vsakokratnega izračuna energetske bilance, ocenil učinke in lastnosti vsakega ukrepa. Na podlagi analize učinkovitosti posameznih ukrepov, bom nato sestavil dve smiselni kombinaciji ukrepov. Prva kombinacija bo vsebovala tipične ukrepe ki pridejo v poštev pri energetske prenovi. Z drugo kombinacijo ukrepov pa se bom poskušal čim bolj približati najnižji možni porabi energije, ki je cilj skoraj nič energijskih stavb (nZEB). Ob vsakem izračunu učinkovitosti posameznega ukrepa ali kombinacije ukrepov, bom preverjal tudi ali zadovoljimo zahteve pravilnika PURES2010.

2 DOSEDANJE IZKUŠNJE IN VZORČNI PRIMERI

Pri pregledu literature in spleta lahko hitro najdemo mnogo pozitivnih izkušenj glede energetske učinkovitih prenov. Za začetek, se mi zdi zelo zanimivo poročilo glede učinkov nepovratnih finančnih sredstev Eko sklada, ki so namenjena naložbam v učinkovito raba energije (URE) in obnovljive vire energije (OVE)[12]. Slednje navaja, da je bilo v letih 2008 - 2013 dodeljenih 75,8 mio EUR za subvencijo 50314 naložb v energetske učinkovite ukrepe. Predstavljena je razporeditev dodeljenih sredstev glede na vrsto izvedenega ukrepa (Grafikon 1). Opazimo lahko, da so se sredstva v največji meri porabila za ukrep izboljšanja toplotne izolacije fasade. Sledijo ukrep zamenjave stavbnega pohištva, ukrep zamenjave ogrevalnega sistema s sistemom ogrevanja na biomaso, solarnim ogrevalnim sistemom in toplotno črpalko. Šele na sedmem mestu najdemo ukrep namestitve prezračevalnega sistema z rekuperacijo odpadne toplote, proti koncu pa ukrep toplotne izolacije strehe. Iz hierarhije ukrepov bi bilo mogoče sklepati, da je takšen tudi vrstni red učinkovitosti teh ukrepov, kar pa ne drži vedno. S pomočjo analize učinkovitosti ukrepov pri energetske sanaciji Osnovne šole Prade, bom to tudi preveril.



Grafikon 1: Pregled hierarhije ukrepov subvencioniranih s strani EKO sklada za obdobje 2008-2013 (Vir: Učinki nepovratnih finančnih spodbud (subvencij) Eko sklada za naložbe URE in OVE v stavbah, 2013, [12]).

2.1 VZORČNI PRIMERI

2.1.1 Energetska prenova poslovnega objekta v Ankari - Turčija [13]

Obravnani objekt je dvajset nadstropna poslovna stolpnica, katera je bila projektirana okrog leta 1980, zgrajena pa leta 1988. V tistem času so bili v Turčiji HVAC sistemi (sistem za ogrevanje,

hlajenje in prezračevanje) šele v razvoju. Politika države pa takrat še ni namenjala velike pozornosti zmanjšanju emisij toplogrednih plinov in bolj smotrni rabi energije. S podpisom Kjotskega sporazuma leta 1997, so se zakoni na tem področju začeli spreminjati. To je povzročilo potrebo po energetski prenovi stavbe, čeprav je ta bila v uporabi šele 17 let. Energetsko prenavo so zasnovali tako, da na račun večje energetske učinkovitosti, ta ni zmanjšala bivalnega ugodja uporabnikov. V članku je bil tako podrobneje obravnavan učinek ukrepa optimizacije sistema HVAC in učinek ukrepa izboljšane toplotne izolativnosti oken (pred energetsko prenavo so bila nameščena okna s toplotno prehodnostjo $U = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$, po prenovi pa okna s toplotno prehodnostjo $U = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$). Skupen možen prihranek potrebne energije za ogrevanje in hlajenje je znašal 48 %. Pri tem pa je potrebno upoštevati, da gre velik del prihranka na račun prihranjenega hladu za hlajenje, saj ima Ankara toplejše podnebje kot Slovenija in je zato potreba po hlajenju prostorov večja.

2.1.2 Energetske prenove urbanih stanovanjskih objektov v severni Grčiji [14]

Čeprav je grško podnebje precej toplejše kot Slovensko, so tudi tam območja z mrzlimi in dolgimi zimami. Tak primer je območje severne Grčije. Za to območje je značilno, da stanovanjski objekti porabijo celo več energije kot pa industrija, kar je v nasprotju z drugimi pokrajinami Grčije. Njihova povprečna poraba toplote za ogrevanje je $130 - 180 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, medtem ko bi ta bila $80 - 110 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, če bi objekti bili toplotno izolirani. Izvedena je bila študija energetske bilance 42-ih objektov različnih starosti (objekti zgrajeni v letih med 1880 in 1980). Ugotovljeno je bilo, da se lastnosti stavb glede na obdobje izgradnje razlikujejo. Pri stavbah zgrajenih med 1940 in 1980 se je dalo v povprečju zaznati malenkost večjo izgube toplote skozi zunanje zidove, streho in odprtine v primerjavi s stavbami zgrajenimi po letu 1980. Vzrok je boljša izoliranost stavbnega ovoja pri novejših stavbah. Kot posledica boljše izoliranosti ovoja pa so bile ugotovljene večje izgube zaradi prezračevanja in naravne infiltracije. Po pregledu obstoječega stanja, je bila izvedena tudi študija potenciala prihrankov za vsako stavbo posebej. Ugotovljeno je bilo, da imajo stavbe velik razpon potencialnih prihrankov, ki se giblje med 7,8 % in 51 %. Ta je odvisen od upoštevanega števila ukrepov (boljša toplotna izolacija fasade, strehe, odprtini ali izboljššan ogrevalni sistem), saj so ponekod določeni ukrepi že bili izvedeni ali pa so ti bili neizvedljivi.

2.1.3 Energetsko učinkovita prenova več stanovanjskih stavb v Sloveniji [15]

V Sloveniji je bilo ugotovljeno, da porabijo starejše pomanjkljivo izolirane stavbe tudi preko 200 kWh/m^2 toplote za ogrevanje letno. Z optimalno izbiro energetske učinkovitih ukrepov pa lahko stavbo energetsko prenavimo do te mere, da poraba ne bo presegala $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Za tak rezultat so večinoma potrebni osnovni energetsko učinkoviti ukrepi, kot je ukrep izboljšanja toplotne izolativnosti fasade, ukrep izboljšanja toplotne izolativnosti stavbnega pohišstva in vgradnjo varčnih in energijsko učinkovitih sistemov ogrevanja. Korak naprej predstavljajo nizkoenergijske stavbe kjer poraba toplote

za ogrevanje ne presega $30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Tak rezultat večinoma prinese kombinacija predhodno omenjenih ukrepov ob vgradnji sistema za prezračevanje z rekuperacijo odpadne toplote. Poudariti je potrebno, da mora biti pristop k energetske prenovi celovit, saj lahko površna in nestrokovna izvedba privede do niza nezaželenih posledic. Primer tega so slabo obdelani toplotni mostovi, kateri hitro privedejo do problemov z vlago in plesnijo.

Za večstanovanjsko stavbo grajeno okoli leta 1960 je bilo ugotovljeno, da se njena letna poraba toplote za ogrevanje giblje med 170 in $190 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Ob izvedbi osnovne energetske učinkovite prenove (toplotna izolacija fasade, strehe, zamenjava stavbnega pohištva), bi se letna potreba po toploti za ogrevanje zmanjšala za 40% . Nadaljnje zmanjšanje za 35% , bi lahko dosegli z namestitvijo dodatnih 10 cm toplotne izolacije na vseh konstrukcijskih sklopih stavbnega ovoja. Za prestop stavbe v kategorijo nizko energijskih hiš pa bi bila potrebna namestitev decentraliziranega prezračevanja z rekuperacijo odpadne toplote. Ta ukrep bi prinesel še dodatnih 40% prihranka toplote, kar bi skupno porabo zmanjšalo na $38 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

3 ZAKONODAJA

3.1 Prenovljena direktiva o energetske učinkovitosti stavb (2010/31/EU) – EPBD-r [5]

Temeljna listina s katero namerava Evropska komisija izkoristiti velik varčevalni potencial na področju stavb je EPBD [4], ki je bila sprejeta 16. decembra 2002. Cilji tega dokumenta je izboljšanje energetske učinkovitosti stavb in hkrati upoštevanje zunanjih in notranjih klimatskih pogojev ter stroškovne učinkovitosti stavb. Zahteve EPBD so:

- določitev splošne okvirne metodologije izračunavanja energijske učinkovitosti stavb
- upoštevanje minimalnih zahtev glede energetske učinkovitosti novogradenj in prenovljenih večjih stavb
- izdajanje energetske izkaznice oziroma energetske certificiranje stavb
- redni pregledi kotlov in klimatskih sistemov v stavbah ter oceno ogrevalnih sistemov starejših od 15 let

Leta 2010 je nato izšla prenovljena direktiva EPBD-r [5], katera upošteva cilje »20-20-20 do 2020« evropske podnebno-energetske politike. Kar pomeni, da zahteva direktiva za stavbe 20 % zmanjšanje emisij CO₂, 20 % povečanje energetske učinkovitosti ter 20 % delež obnovljivih virov energije (OVE) v primarni energijski bilanci. Kot že samo ime pove, je prenovljena direktiva posodobitev stare direktive iz leta 2002. Njen namen je povečanje učinka prve direktive, saj je Evropska komisija ugotovila, da je implementacija EPBD-ja potekala prepočasi in ne dovolj učinkovito. Prva direktiva žal ni zajela vseh stavb z velikim potencialom prihranka, primerjava učinkovitosti stavb med seboj ni bila mogoča, pojavilo se je veliko število različnih metod za določanje porabe energije ter minimalne zahteve niso bile vedno stroškovno učinkovite. Te pomanjkljivosti EPBD-r odpravlja in hkrati spodbuja tehnološki razvoj, ustvarja nova delovna mesta in spodbuja regionalni razvoj [16]. Prenovljena direktiva določa naslednje zahteve:

- zahteva po skupnem splošnem okviru metodologije za izračunavanje celovite energetske učinkovitosti stavb in stavbnih enot
- zahteva po upoštevanju minimalnih zahtev glede energetske učinkovitosti
- izdelava nacionalnega načrta za povečanje števila skoraj nič energijskih stavb
- energetske certificiranje stavb in stavbnih enot (in ne več samo v stavbah)
- redni pregledi ogrevalnih in klimatskih sistemov v stavbah (in ne več samo kotlov)
- neodvisni nadzorni sistemi za energetske izkaznice in poročila o pregledu

Najbolj znano določilo EPBD-r pa sta zahtevi:

- da so do 31. decembra 2020 vse nove stavbe skoraj nič energetske stavbe

- da so do 31. decembra 2018 nove stavbe, ki jih javni organi uporabljajo kot lastniki, skoraj nič energijske stavbe

3.2 Slovenska zakonodaja

Direktivi EPBD ter EPBD-r, sta bili v slovensko zakonodajo v celoti preneseni v okviru:

- Zakona o graditvi objektov (ZGO-1) [17]
- Energetskega zakona (EZ-1) [18]
- Zakona o varstvu okolja [19]

3.2.1 Zakon o graditvi objektov (ZGO-1) [17]

Kot je navedeno v 1. členu Zakona o graditvi objektov, ta ureja graditev vseh objektov, določa bistvene zahteve gradnje ter njihovo izvajanje, predpisuje način in pogoje organizacije gradnje ter uvaja nadzor izvajanja svojih določil in sankcioniranje ob neizvajanju. V njegovem okviru je implementiranih več pravilnikov s katerimi zadovoljujemo zahtevam EPBD-r (zahteva po enotni metodologiji računa energijske učinkovitosti in minimalne zahteve za novogradnje in prenove obstoječih stavb). Ti pravilniki so:

- Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah - PURES2010 [9]
- Tehnična smernica za graditev - TSG4 [8]
- Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [20]

PURES2010, ki je bil sprejet 30. junija 2010 ter stopil v polno veljavo s 1. januarjem 2011, vsebuje tehnične zahteve EPBD-r glede učinkovite rabe energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja, priprave tople vode, razsvetljave v stavbah, zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije ter metodologija za izračun energijskih lastnosti stavbe. Ta pravilnik sodi med gradbeno zakonodajo in skupaj z ZGO-1 pokriva vse tri faze gradnje: projektiranje, gradnjo in vzdrževanje stavb. Uporablja se pri novogradnji in prenovi stavb, kjer se posega v najmanj 25 % površine toplotnega ovoja, če je to izvedljivo. Pravilnik PURES2010 določa, da je energijska učinkovitost stavbe dosežena, če so izpolnjeni naslednji pogoji:

- povprečna toplotna prevodnost ovoja (H_t') mora biti manjša od največje dovoljene vrednosti, ki je podana v odvisnosti od povprečne temperature na lokaciji, deleža zasteklitve in faktorja oblike stavbe
- letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe (Q_{NH}) mora biti manjša od največje dovoljene
- letni potrebni hlad za hlajenje stavbe (Q_{NC}) mora biti manjši od dovoljene vrednosti (velja le za stanovanjske stavbe)

- letna primarna energija za delovanje sistemov v stavbi (Q_p) ne sme presežati dovoljene vrednosti
- ne sme biti presežena nobena od mejnih vrednosti toplotne prehodnosti navedenih v preglednici 1 (U_{MAX})

Vsi pogoji so navedeni v dveh nivojih zahtevnosti, saj predvideva pravilnik prehodno obdobje do konca 2014, v katerem so te zahteve nekoliko nižje. Dodatno se zahteva, da so energetske lastnosti javnih stavb za 10 % boljše kot zasebne stavbe, ter tako služijo kot zgled zasebnikom. Glede uporabe obnovljivih virov energije pa PURES2010 zahteva, da je najmanj 25 % celotne končne energije za delovanje sistemov v stavbi zagotovljene iz obnovljivih virov energije.

TSG4 določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za doseg zahtev navedenih v PURES2010. Med drugim določa tudi največje dovoljene toplotne prehodnosti za konstrukcijske sklope katere sem upošteval pri zasnovi obravnavanih energetske učinkovitih ukrepov (preglednica 1).

Ker ima ustrezno prezračevanje stavbe velik prispevek pri prihranku energije za ogrevanje in hlajenje je potrebno nameniti dovolj pozornosti tudi Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji. Slednji navaja tehnične zahteve za prezračevanje in klimatizacijo stavb ter tehnične zahteve za mehanske prezračevalne sisteme.

Preglednica 1: Največje dovoljene toplotne prehodnosti sklopov po TSG4.

	Element ovoja stavbe	U_{max} [W/m²K]
1	Zunanja stena in stena proti neogrevanim prostorom	0,28
3	Stene ki mejijo na ogrevane sosednje stavbe	0,50
4	Stene med stanovanji in stene proti manj ogrevanim prostorom	0,70
	Notranje stene in medetažne konstrukcije med ogrevanimi prostori	0,90
5	Zunanje stene ogrevanih prostorov proti terenu	0,35
6	Tla na terenu, nad neogrevano kletjo ali garažo	0,35
7	Tla nad zunanjim zrakom	0,30
8	Tla na terenu, nad neogrevano kletjo ali garažo z panelnim ali talnim gretjem	0,30
9	Strop proti neogrevanem prostoru, ravne ali poševne strehe	0,20
10	Terace < 5 % strehe	0,60
11	Strop proti terenu	0,35
12	Okna iz lesa ali umetnih mas	1,30
	Okna z okvirji iz kovin	1,60
13	Strešna okna, steklene strehe	1,40
14	Svetlobne kupole, svetlobniki	2,40
15	Vhodna vrata	1,60

3.2.2 Energetski zakon (EZ-1)[18]

Kot že rečeno, so tudi v Energetskem zakonu vključene zahteve EPBD-r in sicer v okviru samega zakona in njegovih dopolnil in pravilnikov:

- Zakon o spremembah in dopolnitvah energetskega zakona (EZ-B), (Ur.l. RS št. 118/2006, z dne 17.11.2006)
- Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb, (Ur.l.Št. 77/2009, z dne 2.10.2009)
- Pravilnik o usposabljanju, licencah in registru licenc neodvisnih strokovnjakov za izdelavo energetskih izkaznic, (Ur.l. RS št. 6/2010, z dne 29.10.2010)
- Pravilnik o metodologiji izdelave in vsebini študije izvedljivosti alternativnih sistemov za oskrbo stavb z energijo, (Ur.l. RS , št. 35/2008, z dne 9.4. 2008)
- Pravilnik o rednih pregledih klimatskih sistemov (Ur.l. RS , št. 26/2008, z dne 17.3.2008)
- Pravilnik o usposabljanju, licencah in registru licenc neodvisnih strokovnjakov za redne preglede klimatskih sistemov (Uradni list RS , št. 6/2010, z dne 29.10.2010)

Trenutno je v veljavi nov Energetski zakon (EZ-1), kateri poleg zgoraj navedenega, uvaja tudi novosti na mnogih področjih povezanih z energijo. Na področju energetske učinkovitosti na primer zahteva, da je potrebno vsako leto energetske sanirati 3 % površin javnih stavb. To bo spodbudilo nova delovna mesta, hkrati pa prineslo prihranke v javnih izdatkih zaradi manjše potrebe po energiji za ogrevanje in hlajenje.

3.2.3 Zakon o varstvu okolja (ZVO-1) [19]

Zakon skrbi za trajnostni razvoj tako da skrbi za varstvo pred obremenjevanjem okolja. V tem okviru določa načela varstva okolja, ukrepe za varstvo okolja, spremljanje stanja okolja, ekonomske in finančne instrumente varstva okolja, javne službe varstva okolja in druga z varstvom okolja povezana vprašanja. Znotraj tega zakona je implementirana tudi zahteva EPBD o rednih pregledih kotlov.

4 UPORABLJENI RAČUNALNIŠKI PROGRAMI

4.1 Računalniški program TOST [11]

Pri pregledu diplomske naloge Ahčin Marka o primerjavi merjene in računske porabe toplote za ogrevanje v večstanovanjskih stavbah v Jesenicah [21] in diplome Šestan Primoža o primerjavi delovanja programskih orodij za izračun porabe energije v stavbah [22], kjer je bila narejena primerjava zanesljivosti delovanja več programov za izračun energetske bilance stavb, je bilo ugotovljeno da je trenutno še najbolj zanesljiv program za izračun energijske bilance stavb, program TOST. To ugotovitev je še dodatno potrdil članek o študiji delovanja programske opreme za izračun porabe energije v stavbah [23], zato sem se kljub veliki ponudbi tovrstnih programov odločil, da bom v svoji diplomski nalogi uporabljal program TOST. Poleg tega sem lahko ob delu s tem programom vedno računal na odlično podporo pri uporabi, s strani Katedre za stavbe in konstrukcijske elemente na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, saj je bil program tam tudi razvit.

Program upošteva pravilnik PURES2010, ter uporablja metodologijo izračuna v skladu z veljavnim evropskim standardom SIST EN ISO 13790:2008 [27]. Deluje v okolju programa Excel ter je zato tudi dokaj intuitiven za uporabo. Omogočen je mesečni izračun za delovanje stanovanjskih in nestanovanjskih stavb. V izračunu je možno upoštevati štiri značilna časovna podobdobja (dan, noč, vikend, obdobje nezasedenosti), kar omogoča izvedbo bolj realnih izračunov. V programu je možna tudi simulacija raznih posebnih elementov ovoja, kot so steklenjaki, prezračevani in ogrevani elementi ovoja, netransparentni elementi ovoja, transparentna izolacija ter zbiralno shranjevalne stene. Orientiranost stavbe je upoštevana le nazivno, kar pomeni da program upošteva idealno orientacijo na strani neba. Pri vnašanju lastnosti in dimenzij objekta se lahko srečamo tudi z omejitvijo programa glede omejenega števila toplotnih con in njihovih elementov. V mojem primeru ni prišlo do prevelikega števila ogrevalnih con, zato tega ne morem šteti kot pomanjkljivost.

4.2 Računalniški program TEDI [10]

Za izračun toplotne prehodnosti in analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne konstrukcijske sklope, sem izbral program TEDI. Tudi ta program je bil razvit na Katedri za stavbe in konstrukcijske elemente, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Program uporabljamo tako, da vanj vnesemo podatke o sestavi konstrukcijskega sklopa, nato pa v zavihku rezultatov preverimo toplotno prehodnost in difuzijo vodne pare skozi konstrukcijski sklop. Izberemo lahko tudi grafični prikaz difuzije vodne pare ter tako ugotovimo pojav morebitne točke kondenzacije v konstrukcijskem sklopu.

4.3 Računalniški program SHADING II [24]

Analizo osenčenosti šole sem opravil s programom SHADING II, ki deluje v okolju programa SketchUp [25]. Delo je potekalo tako, da sem v programu SketchUp najprej izrisal tri-dimenzionalni model šole. Nato sem šolo natančno lociral s pomočjo Googlovih satelitskih posnetkov (Google Maps)

[33] ter tako relativno natančno določil orientacijo šole glede na strani neba. S pomočjo programa SHADING II, sem nato izvedel analizo osenčenosti in tako dobil faktorje osenčenosti potrebne pri izračunu energijske bilance. Izračun faktorjev osenčenosti bom natančneje predstavil v naslednjem poglavju.

5 PREDSTAVITEV OBJEKTA

5.1 Splošno o Osnovni šoli Prade

Osnovna šola Prade (Slika 1) se nahaja na obrobju mesta Koper. Pokriva relativno velik šolski okoliš zaselkov Bertoki, Pobegi, Čezarji, Sveti Anton, del Škocjana ter bližnje manjše zaselke (Slika 2). V zadnjih letih se je gostota poseljenosti na tem območju zelo povečala in posledično se je povečalo tudi število vpisanih učencev. Pojavila se je prostorska stiska in potreba po novih prostorih, kar se je tudi rešilo z izgradnjo nove šole, ki bo prevzela del učencev. Tako se je Osnovna šola Prade sicer malenkost razbremenila, vendar ostaja še vedno matična osnovna šola tega okoliša in bo kot taka še dolgo v uporabi. Ker je bila stavba šole energetske zelo potratna, se je pojavila tudi težnja po energetske prenovi. Po dolgem dogovarjanju z Mestno občino Koper in iskanju sredstev je energetska prenova šole sedaj zaključen. Objekt je dobil dodaten toplotno izolacijski sloj na fasadi, ponekod novo stavbno pohištvo, prezračevalni sistem z rekuperacijo odpadne toplote in toplotno črpalko (zrak/voda) katera je nadomestila obstoječ kotel za ogrevanje na kurilno olje.



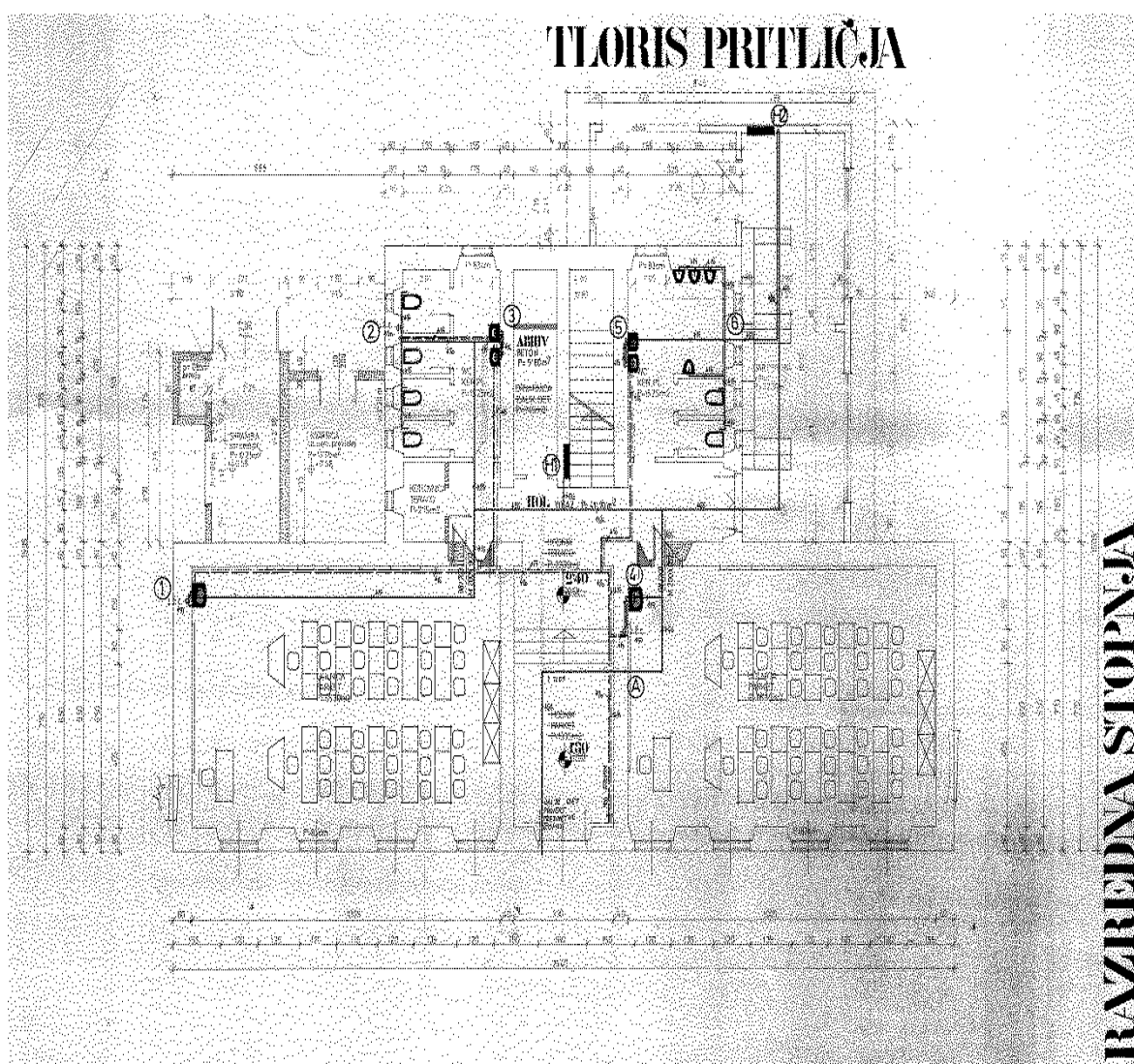
Slika 1: Osnovna šola Prade



Slika 2: Šolski okoliš OŠ Prade (Vir: Google maps).

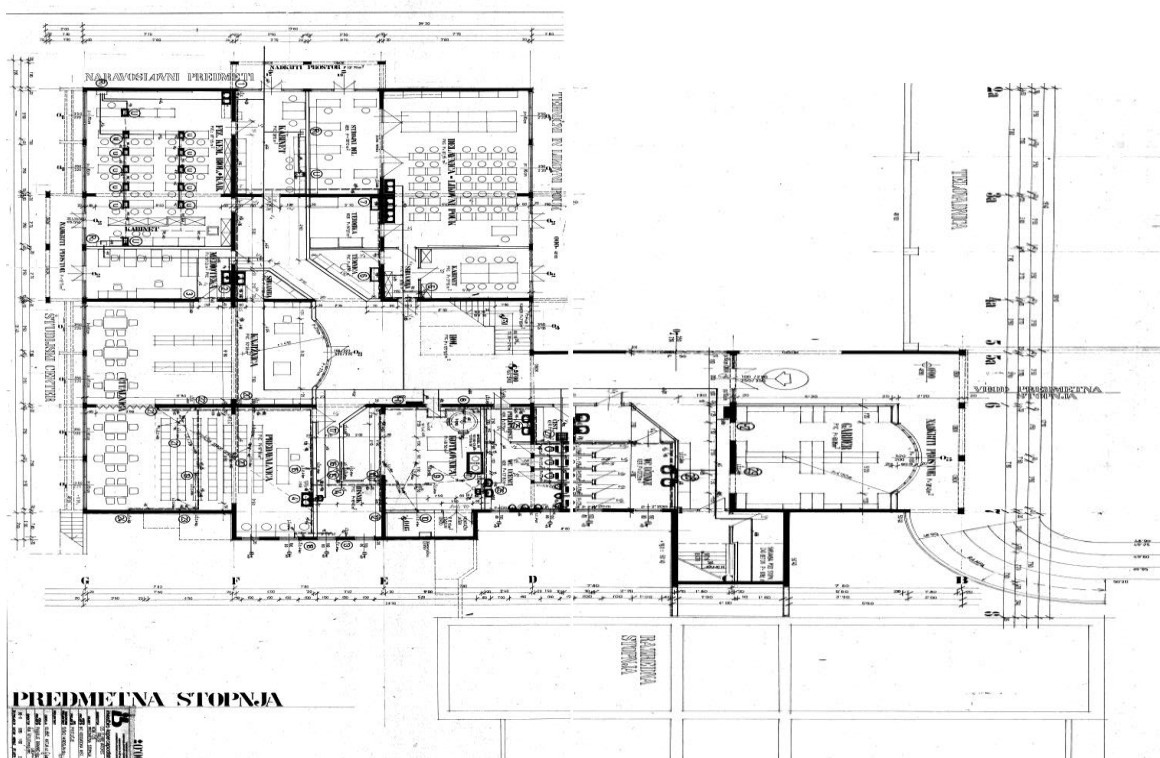
5.2 Zasnova izhodiščne situacije

Osnovna šola Prade obsega tri stavbe: razredna stopnja, predmetna stopnja in telovadnica. Stavba starejše razredne stopnje (Slika 3) je bila zgrajena že leta 1908 in prvotno služila za vojaške namene kot vojaška kasarna. Nosilna konstrukcija je izvedena iz masivnih kamnitih zidov debeline od 55 cm do 60 cm, strešna konstrukcija je lesena dvokapnica s slemenom v vzdolžni ter pravokotni smeri (v smeri razširitve). Medetažne konstrukcije so prvotno bile lesene, vendar so v okviru gradnje predmetne stopnje ter telovadnice leta 1987, bile nadomeščene z armiranobetonskimi ploščami. Istočasno je bilo zamenjano vso stavbno pohištvo in izvedena je bila tudi toplotna izolacija fasade s 5 cm plastjo polistirena [26].



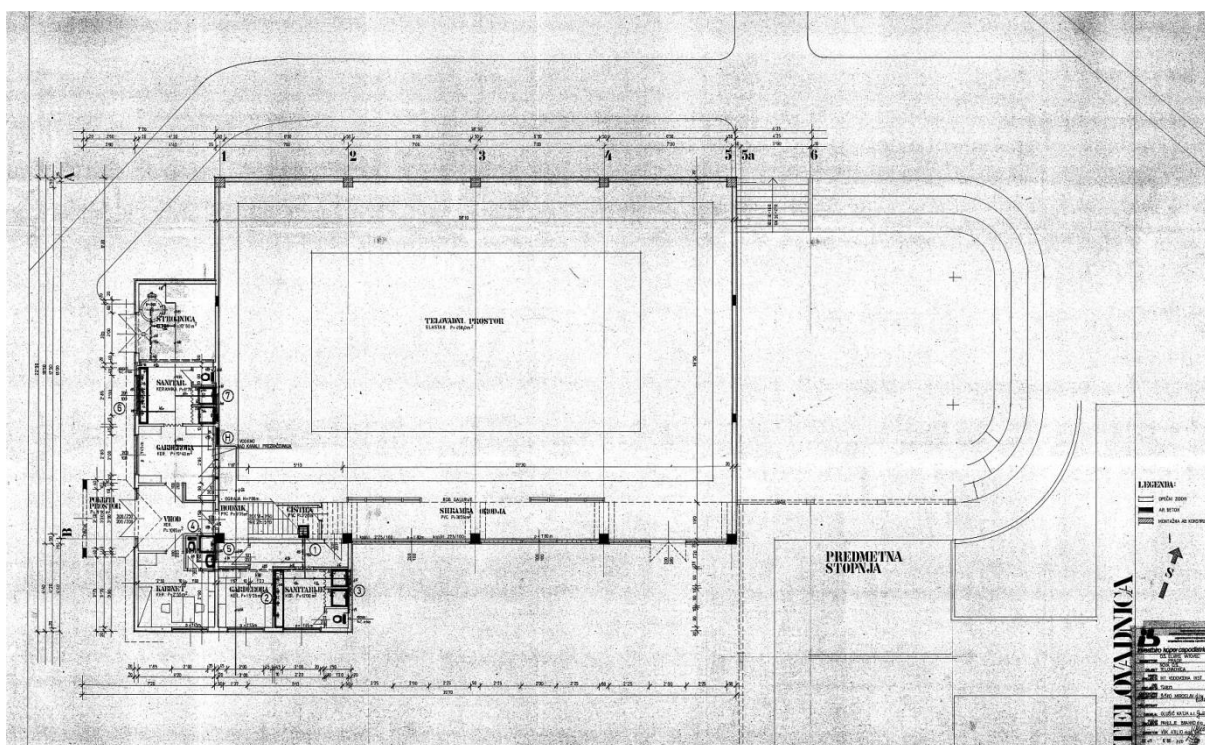
Slika 3: Tloris pritličja razredne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).

Nosilna konstrukcija predmetne stopnje (Slika 4) je izvedena iz betonskih stenastih nosilcev ter opečnatih zidanih sten, katere so povezane med seboj preko armiranobetonske plošče. Streha je montažna iz prefabriciranih prednapetih betonskih U-plošč. Predelne stene so iz navadne modularne opeke (19 cm) ter prolita (8 cm).



Slika 4: Tloris pritličja predmetne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).

Telovadnica (Slika 5) ima zasnovo podobno kot predmetna stopnja. Konstrukcija je spet kombinacija stenastih armiranobetonskih nosilcev in okvirjev ter opečnatih polnil. Strešna konstrukcija pa je montažna iz prenapetih armiranobetonskih π -plošč.



Slika 5: Tloris telovadnice (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).

V naslednjem poglavju o vhodnih podatkih izhodiščne situacije, bodo predstavljeni vhodni podatki, ki sem jih uporabil pri izračunu energetske bilance izhodiščne situacije v programu TOST. Izračun energetske bilance izhodiščne situacije bo prikazan v preglednici 17. V tej preglednici bo predstavljena tudi letna potrebna toplota za ogrevanje in hlad za hlajenje, ki ju bom nato primerjal z letno potrebno toploto in hladom vsakega posameznega obravnavanega ukrepa energetske prenove. Za lažje ugotavljanje učinkov posameznih ukrepov ali kombinacij ukrepov, bom podal tudi izgube in dobitke izhodiščne situacije za sezono ogrevanja in hlajenja za vsako ogrevano cono posebej (preglednica 18 in 19). Ti podatki bodo predstavljali izhodiščne vrednosti, katere bom nato posamično primerjal z izračuni energetskih bilanc osemnajstih ukrepov in treh kombinacij teh ukrepov.

5.3 Vhodni podatki izhodiščne situacije

Izhodiščna situacija predstavlja stanje šole pred prenovo in nam bo služila kot referenčni izračun. Osnovno šolo Prade sem obravnaval kot skupek treh ločenih ogrevanih con, zato bom najprej predstavil vhodne podatke, kateri so skupni vsem trem cona, nato pa bom predstavil vsako ogrevano cono posebej.

5.3.1 Vhodni podatki skupni vsem trem conam

Objekt je lociran z geodetskimi koordinatami glede na svoj položaj na zemeljskem površju. Na osnovi teh podatkov, program naloži klimatske podatke. Uporabljene geodetske koordinate so prikazane v preglednici 2:

Preglednica 2: Geodetske koordinate.

Koordinata X	45211
Koordinata Y	404047

Časovna podoobdobja sem določil tako, da sem za vsak mesec seštel ure nočnega podoobdobja in podoobdobja vikenda ter dneve v mesecu ko je šola nezasedena (prazniki in šolske počitnice). Upošteval sem, da traja nočno podoobdobje 8 ur dnevno, podoobdobje vikenda vse nedelje v mesecu, razen prazničnih in počitniških, podoobdobje nezasedenosti pa dnevi praznikov in šolskih počitnic.

Za vse ogrevane cone sem določil enotne temperature na osnovi podatkov, ki so mi bili posredovani s strani hišnika šole Osnovne šole Prade (preglednica 3):

Preglednica 3: Projektne temperature.

Projektna notranja temperatura pozimi	21 °C
Projektna notranja temperatura poleti	26 °C

Ob izračunu energetske bilance velja upoštevati tudi vpliv notranjih dobitkov. Notranji dobitki so sproščena toplota, ki jo oddajajo uporabniki v prostorih ter toplota, ki jo oddajajo razne električne naprave znotraj šole. Za podobdobje zasedenosti sem tako upošteval povprečno vrednost notranjih dobitkov za šole, navedeno v standardu SIST EN ISO 13790:2008 (tabela G.12), to je 7 W/m^2 . V podobdobjih nezasedenosti, noči in vikenda sem upošteval povprečje notranjih dobitkov, ki jih proizvedejo električni aparati v vseh prostorih šole, to je $1,5 \text{ W/m}^2$ (pri določitvi te vrednosti sem se skliceval na tabelo G.11 standarda SIST EN ISO 13790:2008, vendar sem pri tem upošteval malenkost višjo stopnjo zasedenosti prostorov, zaradi prostorske stiske v šoli). Notranji dobitki v podobdobju zasedenosti, nezasedenosti, noči in vikenda so predstavljeni v preglednici 4:

Preglednica 4: Notranji dobitki.

Notranji dobitki v podobdobju zasedenosti	7 W/m^2
Notranji dobitki v podobdobju nezasedenosti	$1,5 \text{ W/m}^2$
Notranji dobitki v podobdobju noči	$1,5 \text{ W/m}^2$
Notranji dobitki v podobdobju vikenda	$1,5 \text{ W/m}^2$

V zavihku prezračevanja programa TOST, sem za naravno prezračevanje predpostavil urne izmenjave zraka z zunanjim okoljem (preglednica 5) in se pri tem spet skliceval na standard SIST EN ISO 13790:2008 (tabela F.3). Standard namreč navaja urne izmenjave zraka pri naravnem prezračevanju za večstanovanjsko hišo. Izbral sem zmerni razred zaščitenosti in nizko stopnjo tesnjenja stavbe ter s tem okvirno upošteval večkratno odpiranje oken zaradi zračenja v podobdobju zasedenosti šole. Glede minimalne izmenjave zraka pa je bil upoštevan Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Ta navaja, da je potrebno v času prisotnosti ljudi v prostorih namenjenih za delo in bivanje, dosežati vsaj $0,5/\text{h}$ izmenjavo zraka. V času odsotnosti ljudi pa $0,2/\text{h}$.

Preglednica 5: Urne izmenjave zraka.

Urna izmenjava zraka z zunanjim okoljem	$1,1/\text{h}$
Minimalna izmenjava zraka	$0,5/\text{h}$

V izhodiščni situaciji sem upošteval precej dotrajana in slabo vzdrževana lesena okna z dvoslojno »termopan« zasteklitvijo, katera so bila vgrajena v času izgradnje/prenove šole. Predpostavljena povprečna toplotna prehodnost takšnih oken je $U = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Predpostavil sem 76 % prehod celotnega sončnega sevanja skozi upoštevano dvoslojno zasteklitev. Faktor okvirja, ki predstavlja razmerje med površino okvirja v primerjavi s površino celotne okenske odprtine pa je 0,2.

Notranjo razsvetljavo šole večinoma predstavljajo cevne fluorescentne sijalke (neonske luči), povprečne moči 25 W/kom. Povprečno je v vsaki učilnici nameščenih 20 takih luči. Ob upoštevanju celotne površine šole pa to nanese na povprečno gostoto moči svetilk 8 W/m².

Vse geometrijske karakteristike, ki so bile upoštevane za izračun energetske bilance šole, so bile pridobljene na osnovi PGD-ja (projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja) [28]. Geometrijske karakteristike celotne stavbe so predstavljene v preglednici 6:

Preglednica 6: Geometrijske karakteristike celotne šole.

Neto uporabna površina stavbe A_u (m ²)	3205
Kondicionirana prostornina stavbe V_e (m ³)	15898
Površina toplotnega ovoja stavbe A (m ²)	7302
Oblikovni faktor $f_o = A/V_e$ (m ⁻¹)	0,46

Celotni šoli so skupni tudi faktorji osenčenosti, katere sem izračunal skladno s SIST EN ISO 13790:2008 po formuli 1, kjer je faktor osenčenosti objekta ($F_{sh,ob}$) podan kot kvocient dejansko prejete povprečne sončne obsevanosti površine ($L_{sol,ps,mean}$) in povprečne sončne obsevanosti površine brez senčenja ($L_{sol,mean}$) [21]. To pomeni, da je faktor osenčenosti razmerje med dejansko obsevanostjo površine in maksimalno možno obsevanostjo iste površine brez kakršnega koli vpliva sosednjih objektov ali okolice.

$$F_{sh,ob} = \frac{L_{sol,ps,mean}}{L_{sol,mean}} \quad (1)$$

Osenčenosti zunanjih površin šole sem izračunal s pomočjo programa SketchUp v katerem je bil nameščen dodatek SHADING II, ki je namenjen prav izračunu osenčenosti površin. Delo je potekalo tako, da sem na modelu šole (Slika 6) označil stene, katere sem predhodno združil glede na njihovo orientacijo, nato sem sprožil analizo osenčenosti. Program je vrnil rezultate v obliki tabele, v kateri so bile navedene osenčenosti za vse izbrane stene ob vsaki uri dneva na reprezentativni dan v vsakem mesecu leta (izbral sem 21. dan v mesecu). Nato sem za vseh dvanajst obravnavanih dni izračunal povprečje dnevne osenčenosti tako, da sem seštel vse urne osenčenosti v enem dnevu in jih delil s številom ur trajanja dneva (od sončnega vzhoda do sončnega zahoda). Rezultati so prikazani v preglednici 7.



Slika 6: Model osnovna šola Prade – pogled iz južne strani.

Preglednica 7: Dejanska osenčenost celotne šole z okolico in senčenjem objektov med seboj izražena v %.

%	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEPT	OKT	NOV	DEC
J	64,2	72,2	66,7	62,9	51,0	51,4	55,9	62,8	69,6	63,7	64,8	60,4
S	0,0	0,0	6,7	12,9	21,6	22,1	17,1	13,0	3,3	2,8	0,0	0,0
V	17,2	26,0	28,6	33,2	35,1	35,9	34,9	33,0	26,5	21,9	19,2	15,9
Z	46,3	43,3	43,5	42,8	42,1	43,1	42,7	43,0	46,2	44,7	44,6	43,6
Streha	80,0	88,3	86,0	91,4	87,5	88,6	87,7	91,1	87,5	82,5	82,3	74,4

Omenjeni postopek izračuna osenčenosti sem nato ponovil, vendar tokrat ob upoštevanju vsakega objekta posebej in brez vpliva okolice. Tako sem dobil neovirane osenčenosti vsakega objekta posebej, ki so prikazane v preglednici 8.

Preglednica 8: Neovirana osenčenosti celotne šole izraženo v %.

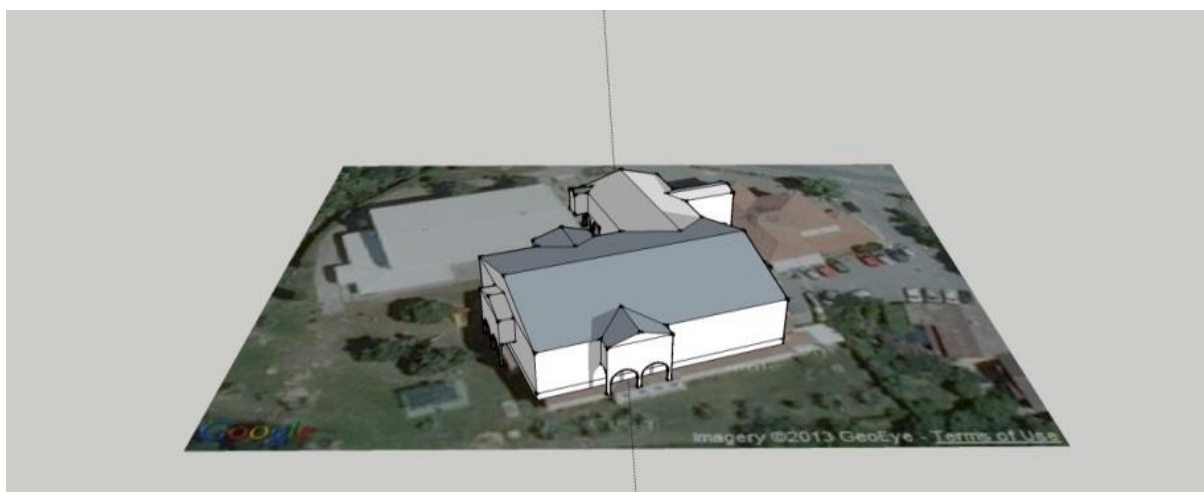
%	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEPT	OKT	NOV	DEC
J	86,5	83,9	72,8	69,1	55,0	55,1	60,3	69,2	80,1	78,0	84,7	85,5
S	0,0	0,1	11,6	16,3	29,1	29,2	24,1	16,3	5,8	6,5	0,0	0,0
V	25,0	30,8	33,9	40,0	42,5	43,0	42,6	40,1	34,5	28,2	24,9	24,7
Z	57,2	53,6	53,6	49,9	49,7	49,7	49,7	49,9	53,2	56,9	57,5	56,8
Streha	81,4	90,2	89,1	94,8	90,9	91,6	91,3	94,7	90,9	85,2	84,7	78,4

Preglednica 7 tako predstavlja vrednosti dejansko prejete povprečne osenčenosti površine (v formuli (1) kot $L_{sol,ps,mean}$), preglednica 8 pa predstavlja povprečne osenčenosti površine brez senčenja (v formuli (1) kot $L_{sol,mean}$). S formulo (1) sem nato izračunal faktorje osenčenosti $F_{sh,ob}$ celotne šole, ki so prikazani v preglednici 9.

Preglednica 9: Faktorji osenčenosti $F_{sh,ob}$.

$F_{sh,ob}$	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEPT	OKT	NOV	DEC
J	0,74	0,86	0,92	0,91	0,93	0,93	0,93	0,91	0,87	0,82	0,76	0,71
S	0,00	0,00	0,57	0,79	0,74	0,76	0,71	0,80	0,56	0,43	0,00	0,00
V	0,69	0,84	0,84	0,83	0,83	0,84	0,82	0,82	0,77	0,78	0,77	0,64
Z	0,81	0,81	0,81	0,86	0,85	0,87	0,86	0,86	0,87	0,79	0,78	0,77
Streha	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,97	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,95

5.3.2 1. Ogrevana cona - Predmetna stopnja



Slika 7: Model predmetne stopnje - pogled iz južne strani.

Geometrijske karakteristike stavbe predmetne stopnje (Slika 7) so predstavljene v preglednici 10.

Preglednica 10: Geometrijske karakteristike predmetne stopnje.

Prostornina cone (m^3)	6904,0
Uporabna površina cone (m^2)	1723,0
Površina zunanjih sten (netransparentni del) (m^2)	773,9
Površina odprtih (horizontalno, J,V,Z,S) (m^2)	427,4
Površina strehe (m^2)	1106,0
Površina tal na terenu (m^2)	948,0

Bistveni konstrukcijski sklopi stavbe predmetne stopnje so predstavljeni v preglednicah 11, 12 in 13. Povzeti so iz dokumentacije za pridobitev gradbenega dovoljenja Osnovne šole Prade [28]. Za vsakega sem s programom TEDI izračunal toplotno prehodnost U ter ob tem navedel še vrednost U_{max} , ki predstavlja največjo dovoljeno toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa po TSG4.

Preglednica 11: Sestava konstrukcijskega sklopa zunanje stene predmetne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28])

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Apnena malta	0,010	1600	0,810
Opečni votlaki	0,190	1400	0,610
Plošče polistirena	0,050	15	0,039
Cementna malta	0,010	2100	1,400
U = 0,561 W/m²K		U_{max} = 0,280 W/m²K	

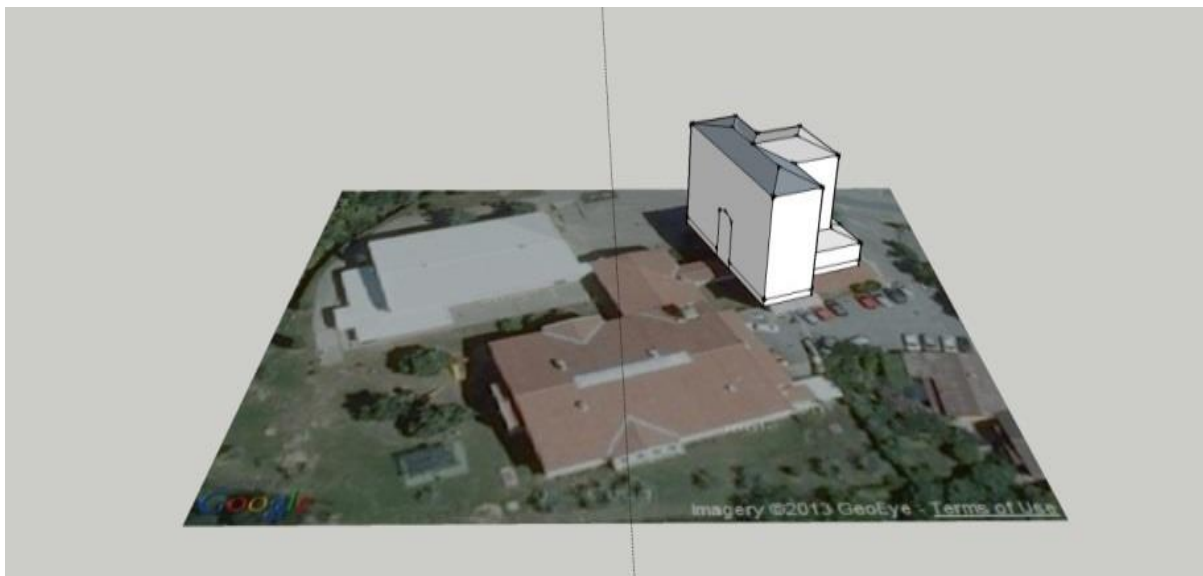
Preglednica 12: Sestava konstrukcijskega sklopa strehe predmetne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Beton	0,150	2400	2,040
Bitumenski trak	0,002	1100	0,170
Kamena volna med špirovci (15cm x15cm)	0,150	15	0,039
Leseni opaž (podeskano)	0,010	500	0,140
Strešna lepenka	0,002	1100	0,190
Zračna plast (prečne-vzdolžne lesene letve)	0,050	1	0,286
Opečni strešniki	0,010	1900	0,990
U = 0,244 W/m²K		U_{max} = 0,200 W/m²K	

Preglednica 13: Sestava konstrukcijskega sklopa tal na terenu predmetne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Linolej	0,010	1200	0,190
Cementni estrih	0,050	2200	1,400
Bitumenski trak	0,005	1100	0,170
Armirani beton	0,100	2200	1,510
Gramozno nasutje	0,300	1500	1,400
U = 1,904 W/m²K		U_{max} = 0,300 W/m²K	

5.3.3 2. Ogrevana cona - Razredna stopnja:



Slika 8: Model razredne stopnje – pogled iz južne strani.

Geometrijske karakteristike stavbe razredne stopnje (Slika 8) so predstavljene v preglednici 14. Upoštevani konstrukcijski sklopi stavbe razredne stopnje pa so predstavljeni v preglednicah 15, 16 in 17.

Preglednica 14: Geometrijske karakteristike razredne stopnje.

Prostornina cone (m ³)	4408,0
Uporabna površina cone (m ²)	840,0
Površina zunanjih sten (netransparentni del) (m ²)	1152,5
Površina odprtin (horizontalno, J,V,Z,S) (m ²)	107,5
Površina strehe (m ²)	346,0
Površina tal na terenu (m ²)	319,0

Preglednica 15: Sestava konstrukcijskega sklopa zunanje stene razredne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Apnena malta	0,030	1600	0,810
Zid iz naravnega kamna	0,550	2000	1,160
Plošče polistirena	0,050	15	0,039
Cementna malta	0,010	2100	1,400
$U = 0,508 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_{\max} = 0,280 \text{ W/m}^2\text{K}$		

Preglednica 16: Sestava konstrukcijskega sklopa strehe razredne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Mavčno kartonaste plošče	0,015	900	0,210
Polietilenska folija	0,002	1000	0,190
Steklena volna med špirovci (15cm x15cm)	0,150	200	0,041
Leseni opaž (podeskano)	0,010	500	0,140
Strešna lepenka	0,002	1100	0,190
Zračna plast (prečne-vzdolžne lesene letve)	0,050	1	0,286
Opečni strešniki	0,010	1900	0,990
U = 0,238 W/m²K		U_{max} = 0,200 W/m²K	

Preglednica 17: Sestava konstrukcijskega sklopa tal na terenu razredne stopnje (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Linolej	0,010	1200	0,190
Cementni estrih	0,050	2200	1,400
Bitumenski trak	0,005	1100	0,170
Armirani beton	0,100	2200	1,510
Gramozno nasutje	0,300	1500	1,400
U = 1,904 W/m²K		U_{max} = 0,300 W/m²K	

5.3.4 3. Ogrevana cona – Telovadnica



Slika 9: Model telovadnice – pogled iz južne strani.

Geometrijske karakteristike stavbe telovadnice (Slika 9) so predstavljene v preglednici 18. Upoštevani konstrukcijski sklopi stavbe telovadnice pa so predstavljeni v preglednicah 19, 20 in 21.

Preglednica 18: Geometrijske karakteristike telovadnice.

Prostornina cone (m ³)	4.586,0
Uporabna površina cone (m ²)	642,0
Površina zunanjih sten (netransparentni del) (m ²)	637,0
Površina odprtin (horizontalno, J,V,Z,S) (m ²)	185,0
Površina strehe (m ²)	664,0
Površina tal na terenu (m ²)	635,0

Preglednica 19: Sestava konstrukcijskega sklopa zunanje stene telovadnice (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Apnena malta	0,010	1600	0,810
Opečni votlaki	0,190	1400	0,610
Plošče polistirena	0,050	15	0,039
Cementna malta	0,010	2100	1,400
U = 0,561 W/m²K		U_{max} = 0,280 W/m²K	

Preglednica 20: Sestava konstrukcijskega sklopa strehe telovadnice (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Beton	0,150	2400	2,040
Bitumenski trak	0,002	1100	0,170
Kamena volna med špirovci (15cm x15cm)	0,150	15	0,039
Leseni opaž (podeskano)	0,010	500	0,140
Strešna lepenka	0,002	1100	0,190
Zračna plast (prečne-vzdolžne lesene letve)	0,050	1	0,286
Trapezna pločevina	0,0005	7800	58,500
U = 0,244 W/m²K		U_{max} = 0,200 W/m²K	

Preglednica 21: Sestava konstrukcijskega sklopa tal na terenu telovadnice (Vir: Investbiro Koper Capodistria, 1986, [28]).

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Linolej	0,010	1200	0,190
Cementni estrih	0,050	2200	1,400
Bitumenski trak	0,005	1100	0,170
Armirani beton	0,100	2200	1,510
Gramozno nasutje	0,300	1500	1,400
U = 1,904 W/m²K		U_{max} = 0,300 W/m²K	

5.3.5 Rezultati izračuna energetske bilance izhodiščne situacije

V preglednici 22 so prikazani rezultati energetske bilance za izhodiščno situacijo. V rdeče obarvanih okencih preglednice je podana letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH} , ki predstavlja letno potrebno toploto za doseganje predvidenih notranjih temperatur zraka v sezoni ogrevanja [8]. V modro obarvanih okencih preglednice pa je podana letna potreba po hladu za hlajenje Q_{NC} , ki predstavlja letno potrebni hlad za doseganje predvidenih notranjih temperatur v sezoni hlajenja [8]. Zaradi boljšega razumevanja rezultatov, so obe vrednosti podane v treh enotah (kWh, kWh/m²a in kWh/m³a). V preglednici 22 je podan tudi koeficient specifičnih transmisijskih izgub H'_T , ki nam pove razmerje med koeficientom transmisijskih toplotnih izgub stavbe H_T (W/K) in celotno zunanjo površino stavbe [9]. V zadnjem stolpcu preglednice 22 pa so podane največje dovoljene vrednosti, ki nam jih narekuje PURES2010.

Preglednica 22: Energetska bilanca izhodiščne situacije.

Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	393120	105155
	kWh/m ² a	122,66	32,81
	kWh/m ³ a	24,73	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	73900	
	kWh/m ² a	23,06	
	kWh/m ³ a	4,65	
Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,55	0,44

Zaradi boljše preglednosti in razumevanja določenih ukrepov, ki jih bom obravnaval v okviru energetske prenove šole, so rezultati energetske bilance predstavljeni tudi v preglednici 23. V njej so navedene transmisijske in ventilacijske izgube za sezono ogrevanja, v vsaki ogrevani coni posebej. Transmisijske izgube so toplotne izgube zaradi prehoda toplote skozi ovoj stavbe [8]. Ventilacijske izgube so izgube toplote zaradi izmenjave odtočnega zraka iz prostorov z dotočnim zunanjim zrakom [8]. Poleg izgub so navedeni tudi notranji dobitki toplote zaradi notranjih virov, ki nastajajo v prostorih ter solarni dobitki zaradi sončnega obsevanja [8]. Za sezono hlajenja pa so dobitki in izgube predstavljeni v preglednici 24.

Preglednica 23: Izgube in dobitki izhodiščne situacije za sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	151095	81534	88352	320981	61,1
Ventilacijske izgube	86927	57662	59446	204035	38,9
Skupne izgube	238022	139196	147798	525016	100
Notranji dobitki	38005	21961	16225	76191	37,6
Solarni dobitki	77631	13285	35655	126571	62,4
Skupni dobitki	115636	35247	51879	202762	100

Preglednica 24: Izgube in dobitki izhodiščne situacije za sezono hlajenja.

Izgube in dobitki za sezono hlajenja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	76948	13184	26089	116221	69,3
Ventilacijske izgube	35560	5268	10539	51366	30,7
Skupne izgube	112507	18452	36628	167588	100
Notranji dobitki	24273	4910	5596	34779	21,8
Solarni dobitki	92210	7680	24796	124685	78,2
Skupni dobitki	116482	12590	30392	159464	100

S pomočjo tako prestavljenih rezultatov, bom lahko v nadaljevanju primerjal vsak obravnavani ukrep z izhodiščno situacijo in tako ocenjeval njegovo učinkovitost. Opazoval bom predvsem spreminjanje letne potrebne toplote in hlada. Učinke ukrepov bom podrobneje pregledal tudi s primerjavo toplotnih izgub in dobitkov po ogrevanih conah.

5.3.6 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance izhodiščne situacije

Šola je v letu 2013, za ogrevanje porabila 37819 litrov kurilnega olja, kar nanese na 387646 kWh toplotne energije [26]. Letna potrebna toplota za ogrevanje, ki sem jo izračunal v izhodiščni situaciji pa je 393120 kWh (preglednica 22). Ob primerjavi teh vrednosti lahko ugotovimo, da sem prišel do

presenetljivo natančnih rezultatov, saj je odstopanje skoraj zanemarljivo (cca. 1 %). Energetska bilanca izhodiščne situacije nam pokaže, da je šola energetsko zelo potraten objekt. Izračunana letna poraba toplote za ogrevanje je skoraj štirikratnik maksimalne dovoljene vrednosti, ki nam jo določa PURES2010. V preglednici 23 lahko opazimo, da ima šola veliko transmisijskih izgub (320981 kWh ali 20,19 kWh/m³a) ter veliko ventilacijskih izgub (204035 kWh ali 12,83 kWh/m³a), kar skupno nanese 525016 kWh ali 33,02 kWh/m³a. Transmisijske izgube lahko pripišemo nezadostni toplotni izolativnosti zunanjega ovoja stavbe in stavbnega pohištva. Velike ventilacijske izgube pa lahko pripišemo slabemu tesnjenju stavbnega pohištva in upoštevanega prezračevalnega režima. Opazimo pa lahko tudi, da ima šola kar velike solarne dobitke (126571 kWh ali 7,96 kWh/m³a). Vpliv okolice ki bi lahko senčila objekt, je namreč zelo majhen (visoke vrednosti $F_{sh,ob}$ v preglednici 9). Skupaj z notranjimi dobitki (76191 kWh ali 4,79 kWh/m³a), nanesejo skupni dobitki šole za ogrevalno sezono 202762 kWh oziroma 12,75 kWh/m³a.

6 NABOR UKREPOV ENERGETSKE SANACIJE

Kot sem že uvodoma omenil, bo ugotavljanje učinkovitosti posameznih energetsko učinkovitih ukrepov potekalo tako, da bom referenčni izhodiščni situaciji posamično dodajal ukrepe za izboljšanje energetske učinkovitosti ter tako ocenjeval učinek na energetsko bilanco.

6.1 1. UKREP: Povečana debelina toplotne izolacije fasade (skupno 15 cm polistirena)

Na celotno fasado šole, sem poleg že obstoječih 5 cm toplotne izolacije (polistirenske fasadne plošče $\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$) namestil še dodatnih 10 cm enake toplotne izolacije, kar nanese skupno 15 cm toplotne izolacije. Tako toplotno izolirane stene razredne stopnje imajo sedaj toplotno prehodnost $U = 0,221 \text{ W/m}^2\text{K}$, stene telovadnice in razredne stopnje pa $U = 0,230 \text{ W/m}^2\text{K}$, kar zadovoljuje PURES2010 ($U < 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$). Če bi hotel zadostiti minimalnim zahtevam glede toplotne izolativnosti iz tehnične smernice TSG4, bi bilo dovolj že 12 cm toplotne izolacije navedenih karakteristik, vendar sem raje izbral debelejšo izolacijo. Vzrok za debelejšo izolacijo so namreč ostreje zahteve glede toplotne izolativnosti, ki jih lahko pričakujemo v prihodnosti. Sicer pa že trenutna zakonodaja narekuje, da naj bi javni objekti s tega vidika predstavljali vzgled okolici. Izboljšana sestava konstrukcijskih sklopov 1. ukrepa je navedena v preglednicah 25 in 26.

Preglednica 25: Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa zunanje stene predmetne stopnje in telovadnice.

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Apnena malta	0,010	1600	0,810
Opečni votlaki	0,190	1400	0,610
Plošče polistirena	0,150	15	0,039
Cementna malta	0,010	2100	1,400
$U = 0,230 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U_{\max} = 0,280 \text{ W/m}^2\text{K}$	

Preglednica 26: Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa zunanje stene razredne stopnje.

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Apnena malta	0,030	1600	0,810
Zid iz naravnega kamna	0,550	2000	1,160
Plošče polistirena	0,150	15	0,039
Cementna malta	0,010	2100	1,400
$U = 0,221 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U_{\max} = 0,280 \text{ W/m}^2\text{K}$	

6.1.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 1. UKREP

Preglednica 27: Energetska bilanca za 1. UKREP.

Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	342219	105155
	kWh/m ² a	106,78	32,81
	kWh/m ³ a	21,53	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	81253	
	kWh/m ² a	25,35	
	kWh/m ³ a	5,11	
Koeficient specifičnih transmisijских toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,46	0,44

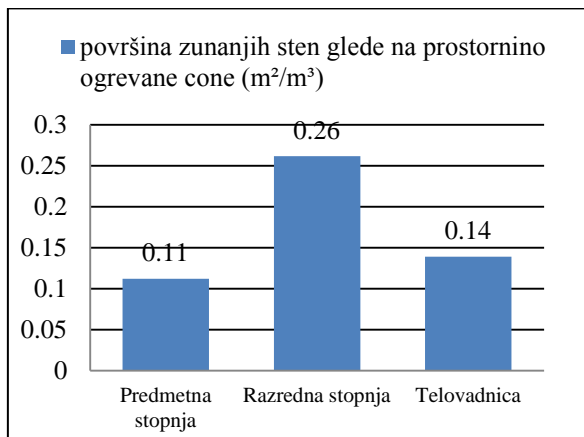
Preglednica 28: Izgube in dobitki za 1. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	132333	58635	74070	265038	56,7
Ventilacijske izgube	85919	57255	59315	202488	43,3
Skupne izgube	218252	115890	133385	467526	100
Notranji dobitki	36679	21358	16134	74172	38,7
Solarni dobitki	70633	11722	35332	117688	61,3
Skupni dobitki	107312	33081	51466	191859	100

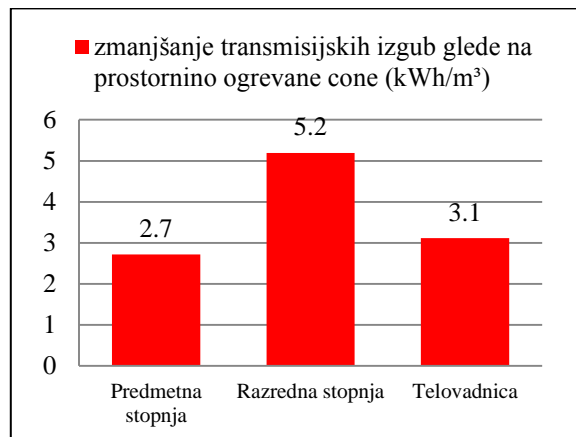
6.1.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 1. UKREP

Debelejši sloj toplotne izolacije prinese 12,9 % zmanjšanje letne potrebne toplote za ogrevanje. Prihranek gre predvsem na račun zmanjšanja transmisijских izgub, ki so sedaj manjše za 17,4 % (55493 kWh). Ko preračunamo prihranke transmisijских izgub glede na volumen vsake ogrevane cone posebej, ugotovimo da je ukrep najbolj učinkovit v razredni stopnji, kjer znaša prihranek 5,2 kWh/m³a. V predmetni stopnji je ta prihranek 2,7 kWh/m³a, v telovadnici pa 3,1 kWh/m³a. Takšen vrstni red zmanjšanja transmisijских izgub po ogrevanih conah je bil pričakovan, saj ta sovpada z razmerjem površine zunanjih sten glede na prostornino ogrevane cone. To pomeni, da je največ prihrankov v ogrevani coni, ki ima največjo površino zunanjih sten glede na svoj volumen. V mojem

primeru je to razredna stopnja, saj ima ta zaradi svoje visoke štiri etažne zasnove, največ zunanjih sten glede na svoj volumen. Korelacijo med površino zunanjih sten ter zmanjšanjem transmisijskih izgub lahko vidimo v grafikonih 2 in 3, njuna oblika je namreč zelo podobna.



Grafikon 2: Razmerje med površino stene in prostornino ogrevane cone.



Grafikon 3: Zmanjšanje transmisijskih izgub zaradi 1. ukrepa, porazdeljeno po conah.

Ob primerjavi preglednice 28 in preglednice 23 iz izhodiščne situacije, lahko presenetljivo ugotovimo 7 % (8883 kWh) manjše solarne dobitke. Prvotno sem vzrok manjših solarnih dobitkov pripisoval debelejši toplotni izolaciji, saj naj bi ta zmanjšala solarne dobitke skozi netransparentne dele stavbnega ovoja. Kasneje pa sem to razlago opustil, saj se po metodi izračuna po SIST EN ISO 13790:2008, solarne pritoke skozi netransparentne dele stavb zanemari. Pravi vzrok leži v metodi izračuna programa TOST, ki bazira na standardu SIST EN ISO 13790:2008. Program namreč izračuna toplotne izgube stavbe in na osnovi teh določi obdobje v katerem je potrebno stavbo ogrevati. To obdobje pa služi hkrati tudi za definiranje časovnega obdobja v katerem se upoštevajo solarni dobitki. S 1. ukrepom sem zmanjšal toplotne izgube, zato se je obdobje v katerem je potrebno stavbo ogrevati skrajšalo. Posledično pa je krajši tudi čas ko se upoštevajo solarni dobitki, zato je teh sedaj manj

6.2 2. UKREP: Dodatno povečana toplotna izolacija fasade (skupno 30 cm polistirena)

Celotno fasado šole sem tokrat prekril s 25 cm toplotne izolacije (polistirenske fasadne plošče $\lambda = 0,039$ W/mK), kar skupaj s prvotnimi 5 cm, nanese na skupnih 30 cm toplotne izolacije. Glede na prejšnji ukrep, je sedaj skupno nameščena enkrat debelejša toplotna izolacija. Tako želim prikazati kolikšen je vpliv dodatne toplotne izolacije na energetsko bilanco stavbe. V programu TEDI sem izračunal toplotno prehodnost tako zasnovanih konstrukcijskih sklopov ter jih primerno upošteval v programu TOST. Zunanje stene razredne stopnje imajo sedaj toplotno prehodnost $U = 0,119$ W/m²K, zunanje stene telovadnice in razredne stopnje pa $U = 0,122$ W/m²K. Izboljšani konstrukcijski sklopi 2. ukrepa so predstavljeni v preglednicah 29 in 30.

Preglednica 29: Sestava izboljšane konstrukcijskega sklopa zunanje stene predmetne stopnje in telovadnice.

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Apnena malta	0,010	1600	0,810
Opečni votlaki	0,190	1400	0,610
Plošče polistirena	0,300	15	0,039
Cementna malta	0,010	2100	1,400
U = 0,122 W/m²K		U_{max} = 0,280 W/m²K	

Preglednica 30: Sestava izboljšane konstrukcijskega sklopa zunanje stene razredne stopnje.

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Apnena malta	0,030	1600	0,810
Zid iz naravnega kamna	0,550	2000	1,160
Plošče polistirena	0,300	15	0,039
Cementna malta	0,010	2100	1,400
U = 0,119 W/m²K		U_{max} = 0,280 W/m²K	

6.2.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 2. UKREP

Preglednica 31: Energetska bilanca za 2. UKREP.

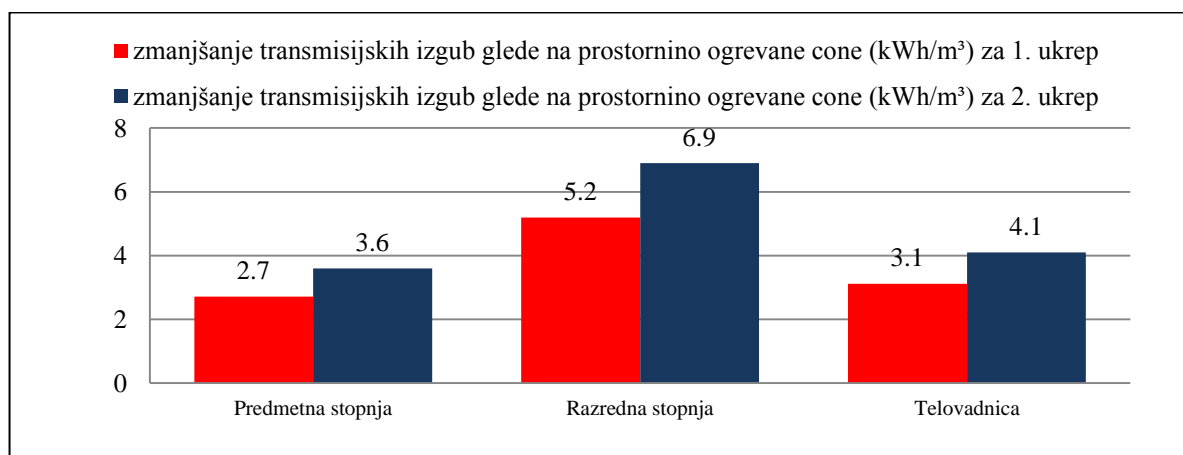
Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	325164	105155
	kWh/m ² a	101,46	32,81
	kWh/m ³ a	20,45	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	83986	
	kWh/m ² a	26,20	
	kWh/m ³ a	5,28	
Koefficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,43	0,44

Preglednica 32: Izgube in dobitki za 2. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	126323	50879	69295	246497	54,9
Ventilacijske izgube	85629	57153	59270	202053	45,1
Skupne izgube	211952	108032	128566	448550	100
Notranji dobitki	36356	21258	16104	73718	38,8
Solarni dobitki	69642	11547	35223	116412	61,2
Skupni dobitki	105998	32805	51327	190129	100

6.2.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 2. UKREP

Upoštevana 30 cm debela toplotna izolacija zmanjša letno potrebno toploto za ogrevanje za 17,3 %. Večinoma gredo ti na račun manjših transmisijskih izgub. Proti 1. ukrepu, pomeni to skoraj 5 % (17055 kWh) več prihranka toplote za ogrevanje. Kot sem ugotovil že pri prejšnjem ukrepu, se vpliv povečane toplotne izolacije najbolj pozna v razredni stopnji, kjer prihranek tokrat 6,9 kWh/m³a. V predmetni stopnji je prihranek 3,6 kWh/m³a, v telovadnici pa 4,1 kWh/m³a. Primerjavo prihrankov toplote za ogrevanje med 1. ukrepom in 2. ukrepom sem predstavil v grafikonu 4.



Grafikon 4: Primerjava zmanjšanja transmisijskih izgub zaradi 1. in 2. ukrepa, porazdeljeno po conah.

6.3 3. UKREP: Povečana debelina toplotna izolacija strehe (skupno 20 cm kamene volne)

Streha osnovne šole ima v izhodiščni situaciji 15 cm toplotne izolacije iz kamene volne ($\lambda = 0,039$ W/mK), ki pa ne zadovolji minimalne zahteve o toplotni prehodnosti konstrukcijskega sklopa strehe. Tehnična smernica TSG4, namreč predvideva največjo toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa strehe v velikosti $U = 0,200$ W/m²K. Da bi zadovoljili tej zahtevi je bilo potrebno obstoječi 15

centimetrski toplotni izolaciji, dodati še 5 cm enake toplotne izolacije. Izboljšani konstrukcijski sklopi 3. ukrepa imajo zato sedaj sestavo kot je prikazana v preglednicah 33, 34 in 35.

Preglednica 33: Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa strehe predmetne stopnje.

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Beton	0,150	2400	2,040
Bitumenski trak	0,002	1100	0,170
Kamena volna med špirovci (15cm x15cm)	0,200	15	0,039
Leseni opaž (podeskano)	0,010	500	0,140
Strešna lepenka	0,002	1100	0,190
Zračna plast (prečne-vzdolžne lesene letve)	0,050	1	0,286
Opečni strešniki	0,010	1900	0,990
U = 0,186 W/m²K		U_{max} = 0,200 W/m²K	

Preglednica 34: Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa strehe razredne stopnje.

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Mavčno kartonaste plošče	0,015	900	0,210
Polietilenska folija	0,002	1000	0,190
Steklena volna med špirovci (15cm x15cm)	0,200	200	0,041
Leseni opaž (podeskano)	0,010	500	0,140
Strešna lepenka	0,002	1100	0,190
Zračna plast (prečne-vzdolžne lesene letve)	0,050	1	0,286
Opečni strešniki	0,010	1900	0,990
U = 0,181 W/m²K		U_{max} = 0,200 W/m²K	

Preglednica 35: Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa strehe telovadnice.

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Beton	0,150	2400	2,040
Bitumenski trak	0,002	1100	0,170
Kamena volna med špirovci (15cm x15cm)	0,200	15	0,039
Leseni opaž (podeskano)	0,010	500	0,140
Strešna lepenka	0,002	1100	0,190
Zračna plast (prečne-vzdolžne lesene letve)	0,050	1	0,286
Trapezna pločevina	0,0005	7800	58,500
U = 0,186 W/m²K		U_{max} = 0,200 W/m²K	

6.3.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 3. UKREP

Preglednica 36: Energetska bilanca za 3. UKREP.

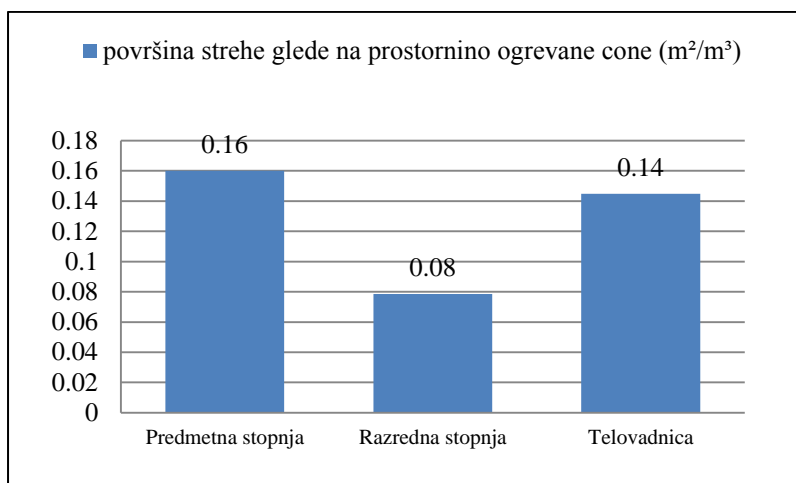
Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	385532	105155
	kWh/m ² a	120,29	32,81
	kWh/m ³ a	24,25	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	75229	
	kWh/m ² a	23,47	
	kWh/m ³ a	4,73	
Koeficient specifičnih transmisijских toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,54	0,44

Preglednica 37: Izgube in dobitki za 3. UKREP med sezono ogrevanja.

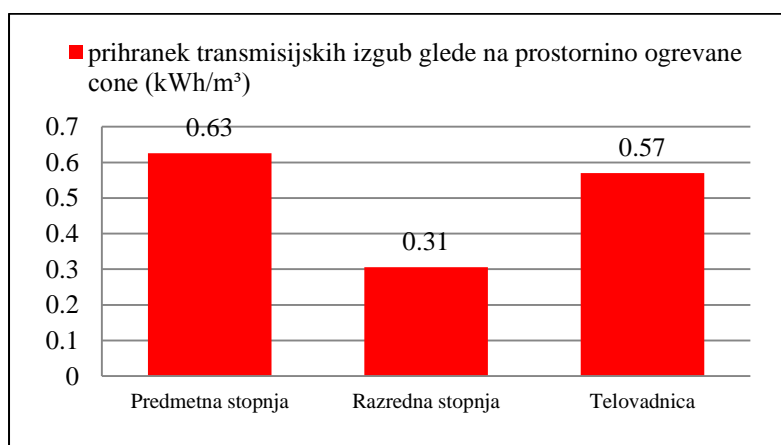
Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	146776	80187	85738	312701	54,9
Ventilacijske izgube	86847	57652	59422	203920	45,1
Skupne izgube	233622	137839	145160	516622	100
Notranji dobitki	37896	21945	16208	76049	38,8
Solarni dobitki	77381	13272	35596	126249	61,2
Skupni dobitki	115277	35217	51804	202297	100

6.3.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 3. UKREP

Toplotna izolacija strehe je bila že v izhodišču solidna, zato je prihranek letne potrebne toplote za ogrevanje le 1,9 % (7588 kWh). Tudi tokrat gre prihranek toplote večinoma na račun manjših transmisijских izgub, ki so v celoti manjše za 2,6 % (8280 kWh). Grafikon 6 nam prikazuje razporeditev teh prihrankov po ogrevanih conah. Ugotovimo, da je tokrat ukrep najbolj učinkovit v predmetni stopnji, kjer je prihranek transmisijских izgub 0,63 kWh/m³a. V telovadnici je prihranek 0,57 kWh/m³a, v razredni stopnji pa 0,31 kWh/m³a. Ob primerjavi grafikona 6 in grafikona 5 lahko opazimo, da ima predmetna stopnja istočasno tudi največjo površino strehe glede na svojo prostornino. Spet torej velja korelacija med prihrankom transmisijских izgub in razmerjem površine strehe glede na volumen ogrevane cone.



Grafikon 5: Razmerje med površino strehe in prostornino ogrevane cone.



Grafikon 6: Zmanjšanje transmisijskih izgub zaradi 3. ukrepa, porazdeljeno po conah.

6.4 4. UKREP: Dodatno povečana debelina toplotne izolacija strehe (skupno 40 cm kamene volne)

Na streho sem tokrat namestil 100 % več toplotne izolacije kot v 3. ukrepu. Izboljšani konstrukcijski sklopi imajo sedaj sestavo kot je navedena v preglednicah 38, 39 in 40.

Preglednica 38: Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa strehe predmetne stopnje.

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Beton	0,150	2400	2,040
Bitumenski trak	0,002	1100	0,170
Kamena volna med špirovci (15cm x15cm)	0,400	15	0,039
Leseni opaž (podeskano)	0,010	500	0,140
Strešna lepenka	0,002	1100	0,190
Zračna plast (prečne-vzdolžne lesene letve)	0,050	1	0,286
Opečni strešniki	0,010	1900	0,990
U = 0,095 W/m²K		U_{max} = 0,200 W/m²K	

Preglednica 39: Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa strehe razredne stopnje.

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Mavčno kartonaste plošče	0,015	900	0,210
Polietilenska folija	0,002	1000	0,190
Steklena volna med špirovci (15cm x15cm)	0,400	200	0,041
Leseni opaž (podeskano)	0,010	500	0,140
Strešna lepenka	0,002	1100	0,190
Zračna plast (prečne-vzdolžne lesene letve)	0,050	1	0,286
Opečni strešniki	0,010	1900	0,990
U = 0,093 W/m²K		U_{max} = 0,200 W/m²K	

Preglednica 40: Sestava izboljšanega konstrukcijskega sklopa strehe telovadnice.

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Beton	0,150	2400	2,040
Bitumenski trak	0,002	1100	0,170
Kamena volna med špirovci (15cm x15cm)	0,400	15	0,039
Leseni opaž (podeskano)	0,010	500	0,140
Strešna lepenka	0,002	1100	0,190
Zračna plast (prečne-vzdolžne lesene letve)	0,050	1	0,286
Trapezna pločevina	0,0005	7800	58,500
U = 0,095 W/m²K		U_{max} = 0,200 W/m²K	

6.4.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 4. UKREP

Preglednica 41: Energetska bilanca za 4. UKREP.

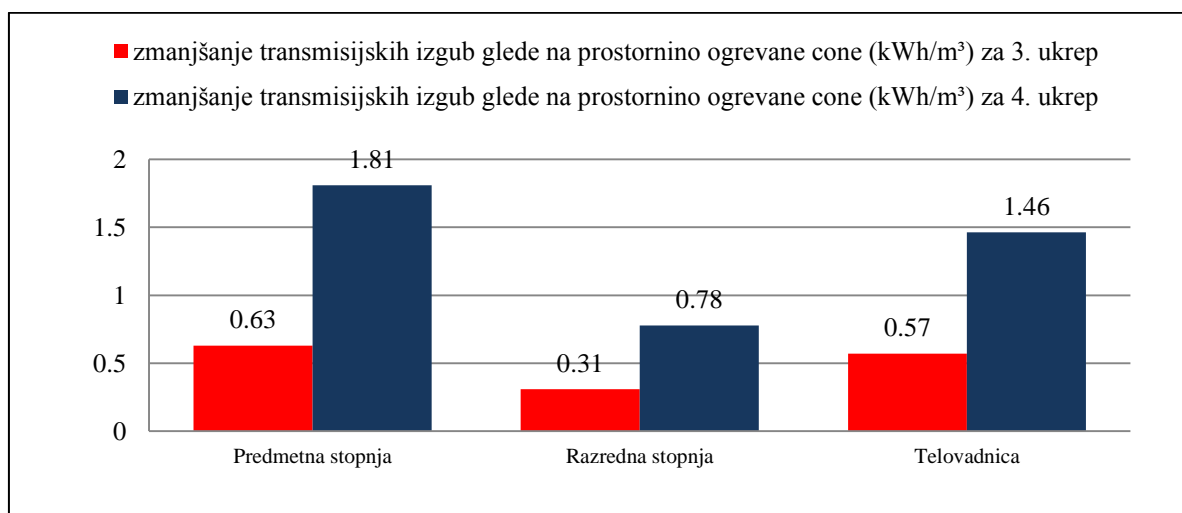
Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	373224	105155
	kWh/m ² a	116,45	32,81
	kWh/m ³ a	23,48	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	77411	
	kWh/m ² a	24,15	
	kWh/m ³ a	4,87	
Koefficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,52	0,44

Preglednica 42: Izgube in dobitki za 4. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	138601	78111	81642	298354	59,5
Ventilacijske izgube	86146	57638	59385	203168	40,5
Skupne izgube	224747	135749	141072	501523	100
Notranji dobitki	36946	21928	16182	75056	38,5
Solarni dobitki	71328	13258	35503	120089	61,5
Skupni dobitki	108274	35186	51686	195145	100

6.4.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 4. UKREP

Ukrep nam v primerjavi z izhodiščno situacijo, prinese 5 % prihranka letne potrebne toplote za ogrevanje, kar nanese na 19896 kWh. Pričakovano, gre tudi tokrat večina prihranka na račun manjših transmisijskih izgub, ki so sedaj manjše za 7 % (22627 kWh). Primerjava transmisijskih izgub med tem ukrepom in 3. ukrepom, kjer je bilo nameščenih 20 cm enake toplotne izolacije, sem predstavil v grafikonu 7. Spet lahko opazimo, da je učinkovitost ukrepa sorazmerna s površino strehe. Torej, največji prihranek je na predmetni stopnji, saj je tam največja površina strehe glede na volumen ogrevane cone.



Grafikon 7: Primerjava zmanjšanja transmisijskih izgub zaradi 3. In 4. ukrepa, porazdeljeno po conah.

6.5 5. UKREP: Namestitev novih dvoslojnih oken ($U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,58$)

Tokrat sem obravnaval učinke ukrepa zamenjave obstoječih oken z novimi. Izbral sem lesena okna z dvoslojno zasteklitvijo (polnjeno z argonom) ter nizko emisijskim premazom ($U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,58$). Prvotno so namreč bila nameščena dotrajana lesena okna s toplotno izolacijskim dvoslojnim steklom. Ta so bila po večini zelo poškodovana ter zato niso imela več dobrih toplotno izolacijskih lastnosti ($U_w = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,76$). Ob pogoju ustrezne vgradnje, dosežemo z zamenjavo oken boljše tesnjenje ter boljšo toplotno izolativnost ovoja stavbe. Hkrati se ob povečani zatesnjenosti lahko pojavi problem prekomerne vlage v prostorih, kar moramo reševati z zračenjem, saj lahko pride v nasprotnem primeru do rasti plesni. Iz tega lahko sklepam, da bi moral ukrepu zamenjave oken dodati tudi novi režima prezračevanja. Vendar sem se raje odločil, da vpliv režima prezračevanja prikažem v samostojnem ukrepu, saj bo tako vpliv posameznega ukrepa bolj razviden. Zato sem v 5. in 6. ukrepu obravnaval le učinek izboljšane toplotne izolativnosti stavbe zaradi zamenjave oken, izboljšana zatesnjenost stavbe pa bo medtem zanemarljiva. Torej, v izračunu energetske bilance 5. ukrepa, sem upošteval le izboljšano toplotno izolativnost ($U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) in manjšo prepustnost sočnega sevanja ($g = 0,58$). Režim prezračevanja pa ostaja enak kot pri starih oknih, kjer je bila upoštevana 1,1-kratna urna izmenjava zraka za podobdobje zasedenosti in 0,5-kratna urna zamenjava zraka v podobdobju nezasedenosti, noči in vikenda. Velja še omeniti da nam TSG4 predpisuje okna s toplotno izolativnostjo manjšo od $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, kar je sedaj izpolnjeno.

6.5.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 5. UKREP

Preglednica 43: Energetska bilanca za 5. UKREP.

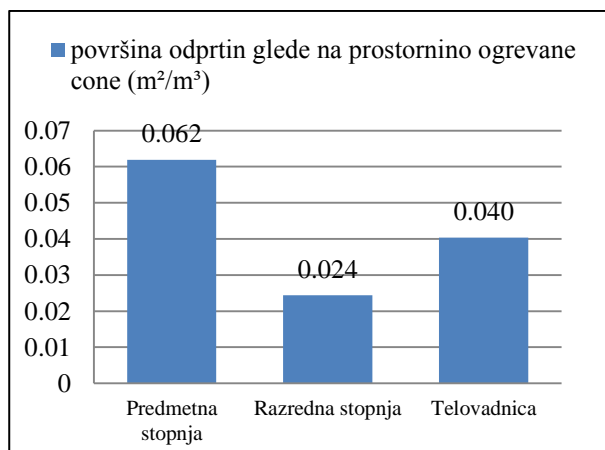
Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	332504	105155
	kWh/m ² a	103,75	32,81
	kWh/m ³ a	20,91	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	61430	
	kWh/m ² a	19,17	
	kWh/m ³ a	3,86	
Koefficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,42	0,44

Preglednica 44: Izgube in dobitki za 5. UKREP med sezono ogrevanja.

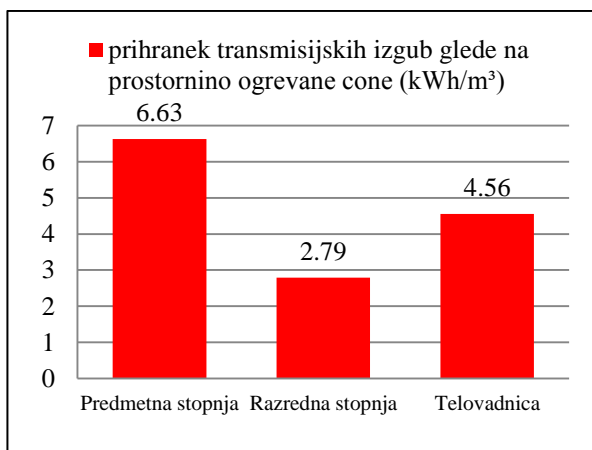
Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	105338	69244	67461	242044	54,3
Ventilacijske izgube	86729	57703	59534	203965	45,7
Skupne izgube	192067	126947	126995	446009	100
Notranji dobitki	37737	22034	16283	76054	43,6
Solarni dobitki	60968	10188	27371	98526	56,4
Skupni dobitki	98705	32222	43564	174580	100

6.5.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 5. UKREP

Skupno prinese ukrep 15,4 % (60616 kWh) prihranka letne potrebne toplote za ogrevanje. Praktično ves prihranek gre na račun transmisijskih izgub, ki so sedaj manjše za 24,6 % (78937 kWh). Podobno kot v predhodnih ukrepih, lahko tudi tokrat opazimo korelacijo med koeficientom površine oken glede na prostornino ogrevane cone in manjšimi transmisijskimi izgubami po conah (grafikona 8 in 9).

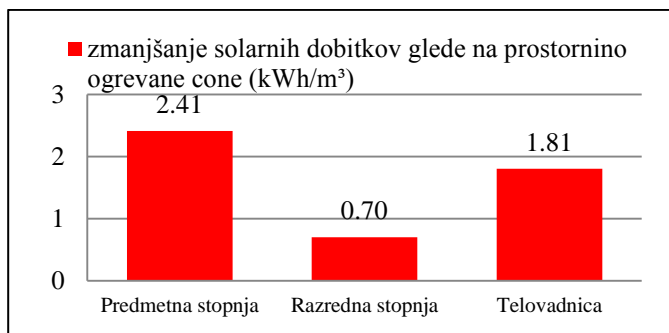


Grafikon 8: Razmerje med površino odprtin in prostornino ogrevane cone.



Grafikon 9: Zmanjšanje transmisijskih izgub zaradi 5. ukrepa porazdeljeno po conah.

Poleg transmisijskih izgub so bistveno manjši tudi solarni dobitki (za 22,2 % (28045 kWh)). Ob primerjavi grafikonov 8 in 10 opazimo, da obstaja korelacija med razmerjem površine oken na prostornino ogrevane cone in manjšimi solarnimi dobitki, saj so manjši solarni dobitki posledica nižjega g faktorja novih oken.



Grafikon 10: Zmanjšanje solarnih dobitkov zaradi 5. ukrepa, porazdeljeno po conah.

Izpostaviti je potrebno tudi zmanjšanje letnega potrebnega hlada za hlajenje, ki je proti izhodiščni situaciji manjše za 17 % (12470 kWh). To je v nasprotju z učinki prvih štirih ukrepov, kjer smo prav tako izboljšali toplotno izolativnost stavbnega ovoja (povečana toplotna izolacija na strehi in zunanjih stenah), vendar se je takrat potreba po hlajenju povečala. Vzrok je manjša prepustnost sončnega sevanja novih oken ($g = 0,58$). Če bi upoštevali samo boljšo toplotno izolativnost novih oken in bi prepustnost sončnega sevanja pustili nespremenjeno ($g = 0,76$), bi bila potreba po letnem hladu za hlajenje večja kot v izhodiščni situaciji (za cca. 20 %). Solarni dobitki bi namreč ostali enaki kot v izhodiščni situaciji, transmisijske izgube v času hlajenja pa bi bile manjše, kar bi prineslo večjo potrebo po hladu za hlajenje.

6.6 6. UKREP: Namestitev troslojnih oken ($U_w = 0,7W/m^2K$, $g = 0,50$)

Pri tem ukrepu sem preveril učinek namestitve oken s trojno zasteklitvijo. Poleg boljše toplotne izolativnosti so takšna okna tudi zelo dobro zvočno izolativna. Izbira takšnih oken je lahko upravičena, saj poteka tik pred šolo zelo prometna cesta, katera povzroča precej hrupa. Vse ostale lastnosti ukrepa ostajajo enake kot v prejšnjem ukrepu.

6.6.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 6. UKREP

Preglednica 45: Energetska bilanca za 6. UKREP.

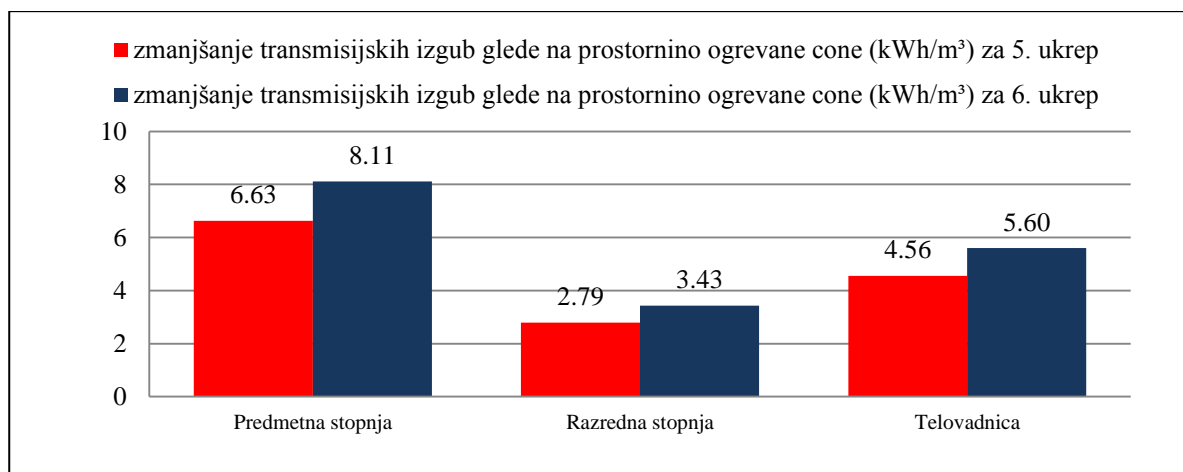
Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	321292	105155
	kWh/m ² a	100,25	32,81
	kWh/m ³ a	20,21	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	53025	
	kWh/m ² a	16,54	
	kWh/m ³ a	3,33	
Koefficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,38	0,44

Preglednica 46: Izgube in dobitki za 6. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	95109	66398	62663	224170	52,3
Ventilacijske izgube	86843	57748	59649	204240	47,7
Skupne izgube	181953	124146	122311	428410	100
Notranji dobitki	37892	22127	16364	76383	46,8
Solarni dobitki	54282	8855	23826	86964	53,2
Skupni dobitki	92174	30982	40190	163347	100

6.6.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 6. UKREP

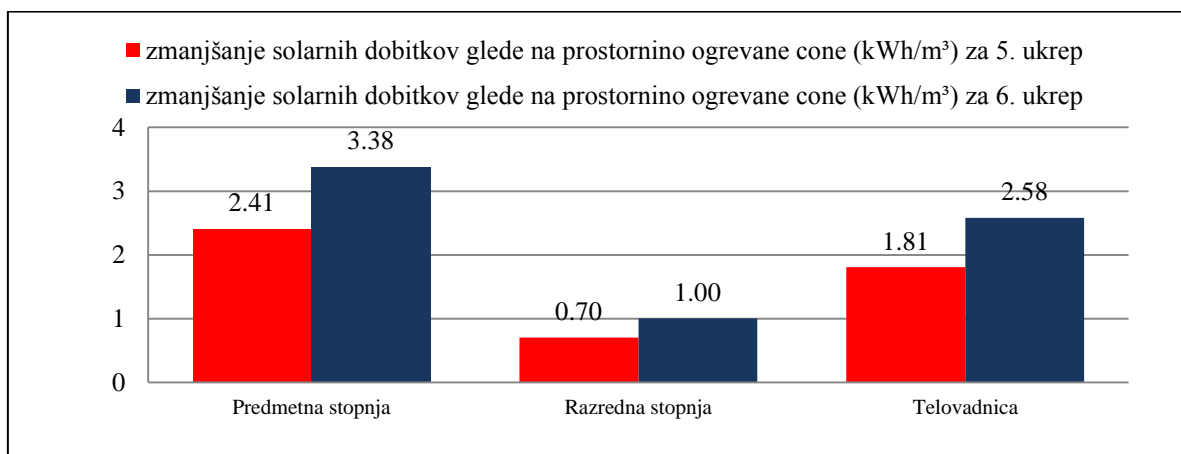
Ukrep prinese 18,3 % manjšo letno potrebo po toploti za ogrevanje, kar predstavlja 71828 kWh. Kot pri prejšnjem ukrepu, gre večina prihranka na račun manjših transmisijskih izgub, ki so tokrat manjše za 30,2 % (96811 kWh). Porazdelitev prihrankov transmisijskih izgub po ogrevanih conah sem predstavil v grafikonu 11, kjer je tudi primerjava zmanjšanja transmisijskih izgub iz prejšnjega ukrepa. Spet opazimo korelacijo med prihrankom transmisijskih izgub in med razmerjem površine oken na prostornino ogrevane cone (grafikon 8).



Grafikon 11: Primerjava zmanjšanja transmisijskih izgub zaradi 5. in 6. ukrepa, porazdeljeno po conah.

Solarni dobitki so tokrat v skupnem manjši za 31,3 % (39607 kWh), kar pa ni več zanemarljiva izguba solarnih dobitkov in se zato v energetske bilanci že bistveno pozna. Inštitut za pasivne hiše celo priporoča, da se okna s troslojno zasteklitvijo pri pasivni gradnji ne vgrajuje na lokacijah južneje od evropskih Alp [29]. Izkazalo se je, da je njihov učinek na energetske bilanco zaradi manjših solarnih dobitkov, mnogokrat slabši kot pri vgradnji oken z dvoslojne zasteklitve. Če pri tem upoštevamo še

dejstvo, da ima troslojna zasteklitev nižjo prepustnost dnevne svetlobe pa lahko ta ukrep hitro postane še manj smiseln. Ob slabši osvetljenosti učilnic nastopi poleg slabše kvalitete pouka, tudi večja potreba po umetni razsvetljavi in to lahko v končni fazi pripelje do večje skupne končne potrebne letne energije. Do podobne ugotovitve je prišel tudi Gantar Aleksander v svoji diplomski nalogi o izboljšanju bivalnih in delovnih pogojev v večnamenski stavbi [30]. Ugotovil je, da troslojna zasteklitev proti dvoslojni, pomembno zmanjša dnevno osvetljenost učilnic in zato ni upravičena. Ob prenovi večnamenske stavbe je avtor namreč želel ohraniti ekvivalentno dnevno osvetljenost v učilnicah obravnavane stavbe. Razlog slabše prepustnosti dnevne svetlobe pa je tičal ravno v večjem številu slojev zasteklitve. Avtor je tudi ugotovil, da bi bilo potrebno povečati površino oken z troslojno zasteklitvijo, da bi tako dosegel enako osvetljenost prostorov kot jo nudi dvojna zasteklitev. To pa bi izvedbo prenove večnamenske stavbe še dodatno podražilo. Ker v svoji diplomski nalogi obravnavam osnovno šolo, je osvetljenost prostorov vsekakor nezanemarljiv aspekt tega ukrepa. Primerjava zmanjšanja solarnih dobitkov po conah za 5. in 6. ukrep, je predstavljena v grafikonu 12.



Grafikon 12: Primerjava zmanjšanja solarnih dobitkov zaradi 5. n 6. ukrepa, porazdeljeno po conah.

Letna potreba po hladu za hlajenje se je tokrat zmanjšala za 28,4 % (20875 kWh). Vzrok je še manjša upoštevana prepustnost sončnega sevanja ($g = 0,50$) v primerjavi s prejšnjim ukrepom.

6.7 7. UKREP: Optimizacija režima prezračevanja (»naravno prezračevanje«)

Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb navaja, da je naravno prezračevanje »prezračevanje, pri katerem se izkoriščajo naravne fizikalne lastnosti zraka pri različnih temperaturah v prostorih in zunaj njih, brez uporabe mehanskih naprav. Naravno prezračevanje poteka skozi odprta okna in zunanja vrata, prezračevalne odprtine in prezračevalne kanale ter čim manj nekontrolirano skozi pipire, zidove itn.« [20]. Na podlagi tega opisa, sem si zamislil nekakšen urnik prezračevanja, v okviru katerega bi bilo potrebno vsak odmor (1x na uro) odpreti okna in tako ročno prezračiti prostore. Takšen prezračevalni režim bi nadomestil zračenje skozi priprta okna, ki sem ga upošteval v izhodiščni situaciji. Tako bi v podobdobju zasedenosti dosegel 0,8-kratno urno zamenjavo zraka, proti 1,1-kratni zamenjavi v izhodiščni situaciji. Ob tem sem upošteval, da je naravno prezračevanje še

vedno prisotno 24 ur na dan, v obsegu 0,5/h. V obdobju neuporabe (podobno noči, vikend in nezasedenosti), ročnega prezračevanja ni. Prezračevalni režim ki sem si ga zamislil, bi bil v praksi brez uporabe mehanskega sistema odpiranja oken, težko izvedljiv in nerealen. Kljub temu pa sem se odločil preveriti učinke takšnega ukrepa, saj bom tako dobil boljšo predstavo o potencialu prihrankov, ki ga nudi ustrezen prezračevalni režim.

6.7.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 7. UKREP

Preglednica 47: Energetska bilanca za 7. UKREP.

Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	357844	105155
	kWh/m ² a	111,65	32,81
	kWh/m ³ a	22,51	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	80082	
	kWh/m ² a	24,99	
	kWh/m ³ a	5,04	
Koefficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,55	0,44

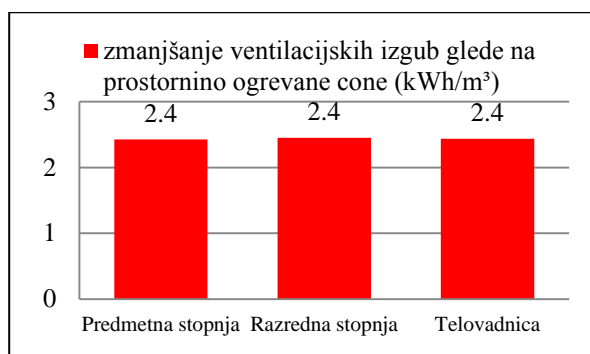
Preglednica 48: Izgube in dobitki za 7. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	149985	81385	88208	319578	65,9
Ventilacijske izgube	70183	46863	48274	165320	34,1
Skupne izgube	220168	128248	136483	484898	100
Notranji dobitki	36672	21774	16107	74553	37,5
Solarni dobitki	75523	13162	35444	124128	62,5
Skupni dobitki	112195	34936	51551	198681	100

6.7.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 7. UKREP

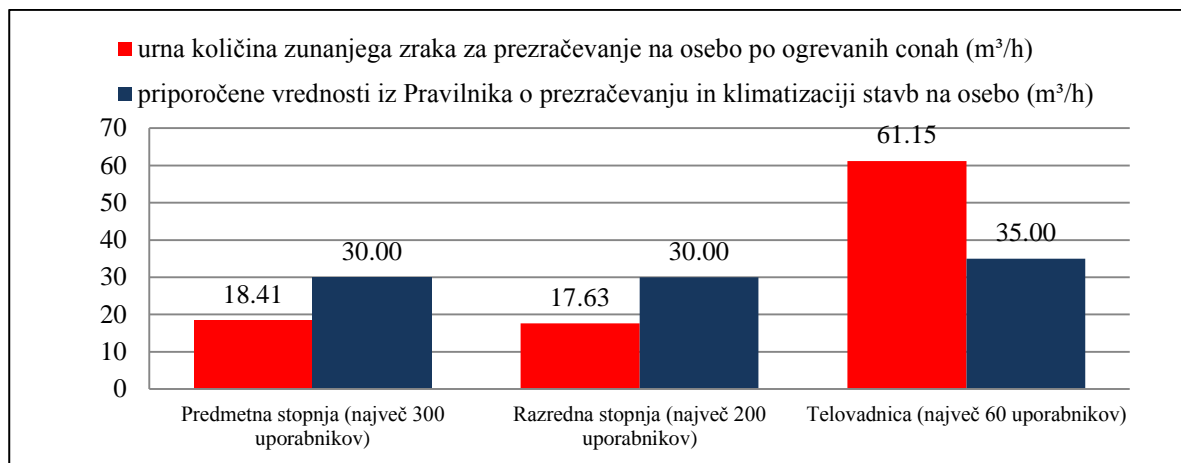
Ukrep prinese 9 % prihranka letne potrebne toplote za ogrevanje v primerjavi z izhodiščno situacijo, kar nanese na 35276 kWh. Prihranek gre v največji meri na račun manjših ventilacijskih izgub, ki so v skupnem manjše za 19 % (38715 kWh). To je seveda logično, saj sem zmanjšal le urno količino

zamenjave zraka v podobdobju zasedenosti. Zmanjšanje ventilacijskih izgub zaradi optimizacije režima prezračevanja, sem predstavil v grafikonu 13. Zaradi načina določanja karakteristik ročnega prezračevanja v programu TOST, je zmanjšanje ventilacijskih izgub glede na prostornino ogrevane cone v vseh treh ogrevanih conah enako. V programu TOST podamo namreč za takšen tip prezračevanja, urno izmenjavo zraka z zunanjim okoljem (1/h) kar pomeni, da so ventilacijske izgube neodvisne od prostornine ogrevane cone.



Grafikon 13: Zmanjšanje ventilacijskih izgub zaradi 7. ukrepa, porazdeljeno po conah.

Ker nam Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb priporoča kvantiteto prezračevanja v urni količini zunanjega zraka za prezračevanje na osebo na uro, sem upošteval količine zunanjega zraka za prezračevanje v tem ukrepu ustrezno pretvoril. Torej, porazdelil sem količino zunanjega zraka za prezračevanje (0,8/h za podobdobje zasedenosti), na predvideno število uporabnikov ogrevane cone ter tako dobil vrednosti v grafikonu 14 (vrednosti rdečih stolpcov). Pri tem sem količino zunanjega zraka za prezračevanje dobil tako, da sem volumen vsake ogrevane cone pomnožil z 0,8 (toliko namreč znaša predpostavljeno urna zamenjava zraka v podobdobju zasedenosti). Priporočena urna količina zunanjega zraka za prezračevanje po Pravilniku za prezračevanje in klimatizacijo stavb, znaša na osebo 30 m³/h (učilnice v šolskih objektih) in 35 m³/h (telovadnice v šolskih objektih) [20]. Tem količinam zadovoljimo le v telovadnici, saj je tam naenkrat predvideno največ 60 ljudi (dosežemo 61,1 m³/h zamenjave zunanjega zraka na osebo na uro). V ostalih ogrevanih conah pa nam zastavljen režim prezračevanja omogoči le 17,6-18,4 m³/h zunanjega zraka za prezračevanje na osebo na uro. Pri tem sem upošteval, da se v stavbi predmetne stopnje nahaja največ 300 ljudi naenkrat, v stavbi razredne stopnje pa 200 ljudi naenkrat.



Grafikon 14: Prikaz urnih količin zunanje zraka za prezračevanje na osebo po ogrevanih conah in priporočenih vrednosti iz Pravilnika za 7. ukrep.

Potreba po celotni letni količini hladu za hlajenje, se je proti izhodiščni situaciji povečala za 8,4 % (6182 kWh). Tak rezultat je posledica vdora toplote iz zunanosti v sezoni hlajenja.

6.8 8. UKREP: Montaža hibridnih zračnikov na okna ($U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,58$)

Sedaj, ko sem v 5., 6. in 7. ukrepu predstavil posamično učinek ukrepa namestitve boljših oken in posamično učinek ukrepa optimizacije režima prezračevanja (»naravno prezračevanje«), bom v tem ukrepu preučil učinke obojega hkrati. Združil sem montažo boljših oken iz 5. ukrepa in montažo hibridnih zračnikov (»hibridno prezračevanje«) na okenske okvirje (Slika 10), s katerimi bom optimiziral režim prezračevanja. Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb definira hibridno prezračevanje kot »prezračevanje, pri katerem se hkrati uporabljata naravno in mehansko prezračevanje« [20]. Uporabljeni hibridni zračniki so torej kombinacija mehanske zračne lopute in naravnega prezračevanja. Zračne lopute se upravlja z ročnim odpiranjem in zapiranjem ter tako nastavljam večjo ali manjšo izmenjavo zraka z zunanjo okolico. Takšen režim prezračevanja sem v programu TOST simuliral tako, da sem v času odsotnosti ljudi (podobdobje vikenda, noči in nezasedenosti) predpostavil minimalno izmenjavo zraka z okolico 0,3/h (hibridni zračniki so zaprti, prisotna je le naravna infiltracija), v času uporabe pa sem izmenjavo zraka povečal na 0,7/h (hibridni zračniki so odprti). V primerjavi s prejšnjim ukrepom, kjer sem predvidel da se z odpiranjem oken doseže 0,8/h izmenjave zraka z okolico, sem tokrat upošteval malenkost nižjo izmenjavo zraka z zunanjo okolico (0,7/h) zaradi majhne velikost zračnikov. Tudi ta režim prezračevanja bi bil v praksi težko izvedljiv, saj bi bilo potrebno vsak začetek dneva zračnike ročno odpreti in na koncu dneva ročno spet zapreti. Problem bi verjetno nastajal ker bi zračniki večinoma ostajali samo odprti ali pa samo zaprti. Če bi uporabili avtomatizirane sisteme odpiranja loput zračnikov, bi se temu problemu verjetno lahko izognili. Učinke tega ukrepa bom kljub temu preveril, saj bom tako dobil boljšo predstavo o potencialu prihrankov, ki ga nudi ustrezen prezračevalni režim.



Slika 10: Primer zračnikov-zračnih rež na okvirju oken (vir: Jelovica, 2014 [34]).

6.8.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 8. UKREP

Preglednica 49: Energetska bilanca za 8. UKREP.

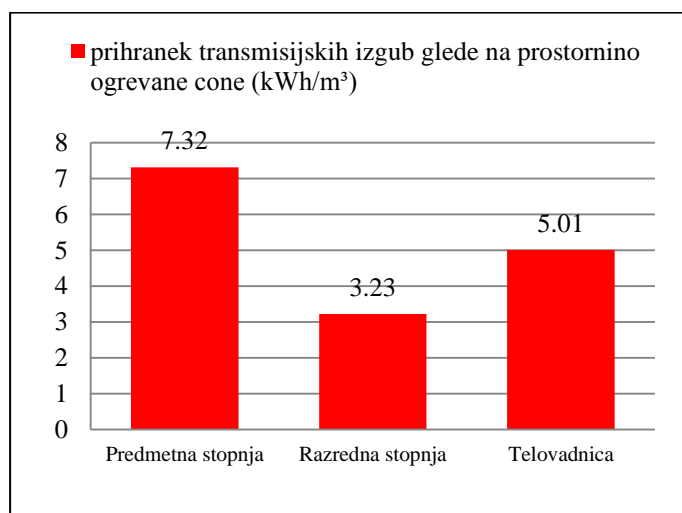
Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	256160	105155
	kWh/m ² a	79,92	32,81
	kWh/m ³ a	16,11	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	76398	
	kWh/m ² a	23,84	
	kWh/m ³ a	4,81	
Koeficient specifičnih transmisijjskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,42	0,44

Preglednica 50: Izgube in dobitki za 8. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	100565	67310	65372	233247	65,0
Ventilacijske izgube	52485	35887	37007	125379	35,0
Skupne izgube	153049	103197	102379	358626	100
Notranji dobitki	34436	21716	16060	72212	44,8
Solarni dobitki	51931	10003	26881	88815	55,2
Skupni dobitki	86367	31719	42941	161027	100

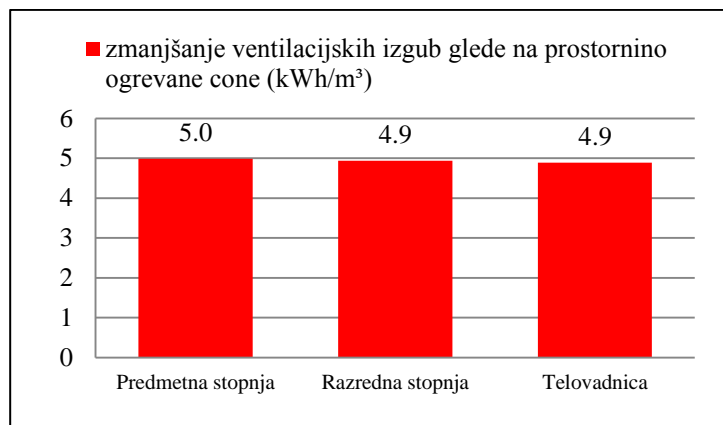
6.8.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 8. UKREP

8. ukrep nam prinese 34,9 % (136960 kWh) prihranka skupne letne potrebne toplote za ogrevanje proti izhodiščni situaciji. Tokrat gre prihranek na račun manjših transmisijskih in ventilacijskih izgub. Transmisijske izgube so v celoti manjše za 27,3 % (87734 kWh) in so predstavljene v grafikonu 15. Prihranek transmisijskih izgub bi moral biti enak kot v 5. ukrepu, saj so obravnavana enaka okna. Kljub temu pa so ti večji za 2,7 %. Vzrok se spet skriva v metodi izračuna programa TOST, podobno kot sem to ugotovil že v 1. ukrepu. Namreč, na osnovi izgub stavbe program določi obdobje v katerem je potrebno stavbo ogrevati. To obdobje pa je v primerjavi s 5. ukrepom sedaj krajše, saj ima stavba manj ventilacijskih izgub, posledično pa to prinese tudi manj transmisijskih izgub. Na prvi pogled me je ta razlika prihrankov transmisijskih izgub v primerjavi s 5. ukrepom nekoliko presenetila. Nisem namreč pričakoval razlik v rezultatih transmisijskih izgub, saj so v obeh ukrepih bila obravnavana okna enakih karakteristik, spremenil se je le režim prezračevanja, ki pa načeloma ne vpliva na transmisijske izgube.



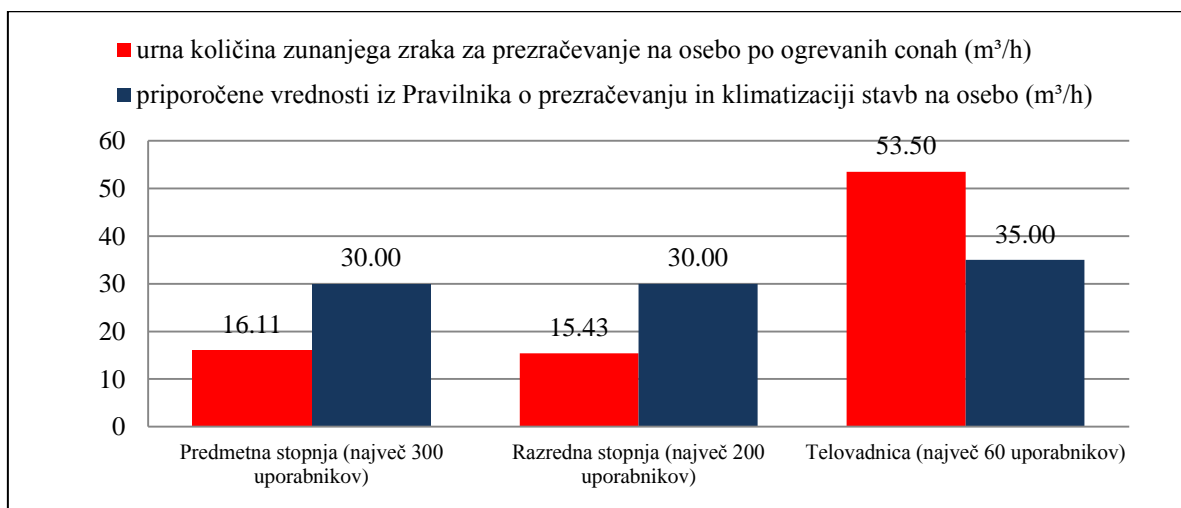
Grafikon 15: Zmanjšanje transmisijskih izgub zaradi 8. ukrepa porazdeljeno po conah.

Ventilacijske izgube so tudi tokrat, zaradi načina podajanja karakteristik hibridnega prezračevanja v programu TOST, enako razporejene po conah (grafikon 16). V celoti so proti izhodiščni situaciji manjše za 38,5 % (78656 kWh). To pa je kar 1-krat manj kot v 7. ukrepu, kjer je upoštevana izmenjava zraka z okolico v podobnem obdobju zasedenosti večja le za 0,1/h. Upoštevana minimalna izmenjava zraka z okolico pa je večja le za 0,2/h. Opazimo, da ima tako majhna sprememba režima prezračevanja, zelo velik učinek na energetsko bilanco šole.



Grafikon 16: Zmanjšanje ventilacijskih izgub zaradi 8. ukrepa, porazdeljeno po conah.

Omeniti je potrebno, da tudi tokrat zadovoljim vrednostim navedenih v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb, glede količine zunanjega zraka za prezračevanje na osebo, le v telovadnici (grafikon 17).



Grafikon 17: Prikaz urnih količin zunanjega zraka za prezračevanje na osebo po ogrevanih conah in priporočenih vrednosti iz Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb.

Solarni dobitki so se proti izhodiščni situaciji v skupnem zmanjšali za 29,8 % (37756 kWh). To je 7,6 % (9711 kWh) manj solarnih dobitkov kot v 5. ukrepu, kjer sem upoštevali enaka okna. Tudi ta razlika je posledica metode izračuna programa TOST, podobno kot sem to ugotovil pri zmanjšanju solarnih dobitkov v 1.ukrepu.

6.9 9. UKREP: Montaža hibridnih zračnikov na okna ($U_w = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,50$)

9. ukrep se od 8. ukrepa razlikuje le v upoštevanih troslojnih oknih s toplotno prehodnostjo $U_w = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ in 50 % prehodnostjo sončnega sevanja. Karakteristike hibridnega sistema prezračevanja ostajajo enake kot v prejšnjem ukrepu.

6.9.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 9. UKREP

Preglednica 51: Energetska bilanca za 9. UKREP.

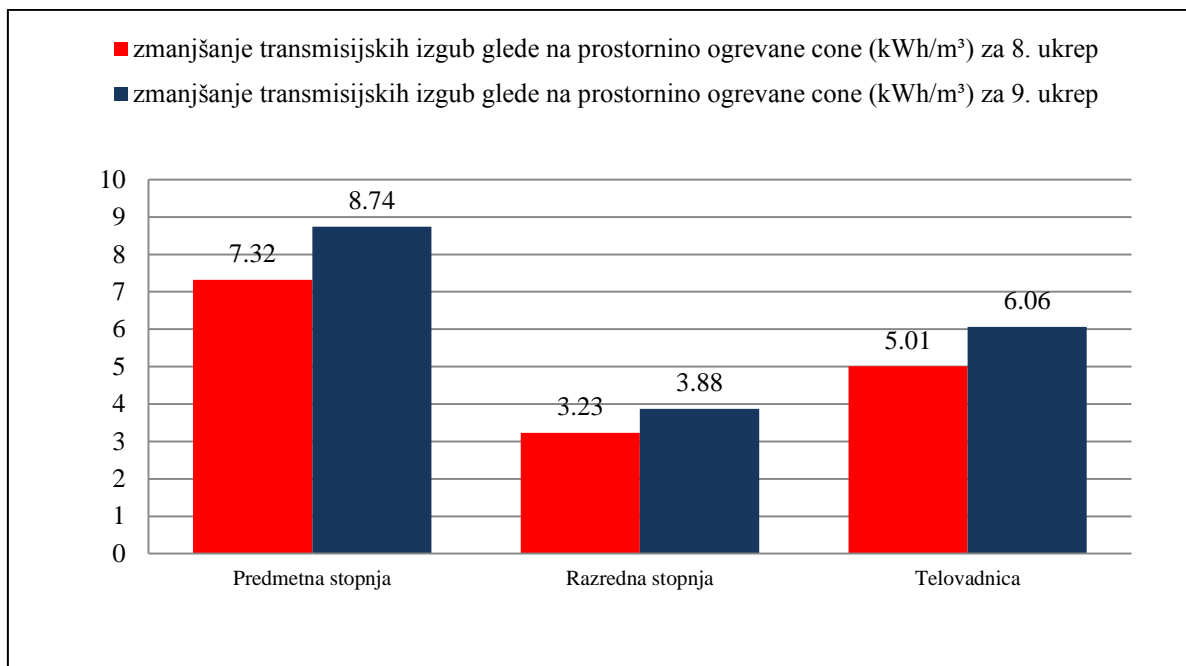
Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	244810	105155
	kWh/m ² a	76,38	32,81
	kWh/m ³ a	15,40	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	67796	
	kWh/m ² a	21,15	
	kWh/m ³ a	4,26	
Koefficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,39	0,44

Preglednica 52: Izgube in dobitki za 9. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	90757	64449	60547	215754	63,2
Ventilacijske izgube	52581	35903	37056	125540	36,8
Skupne izgube	143338	100352	97603	341293	100
Notranji dobitki	34577	21749	16111	72436	48,0
Solarni dobitki	46461	8644	23305	78410	52,0
Skupni dobitki	81038	30393	39416	150846	100

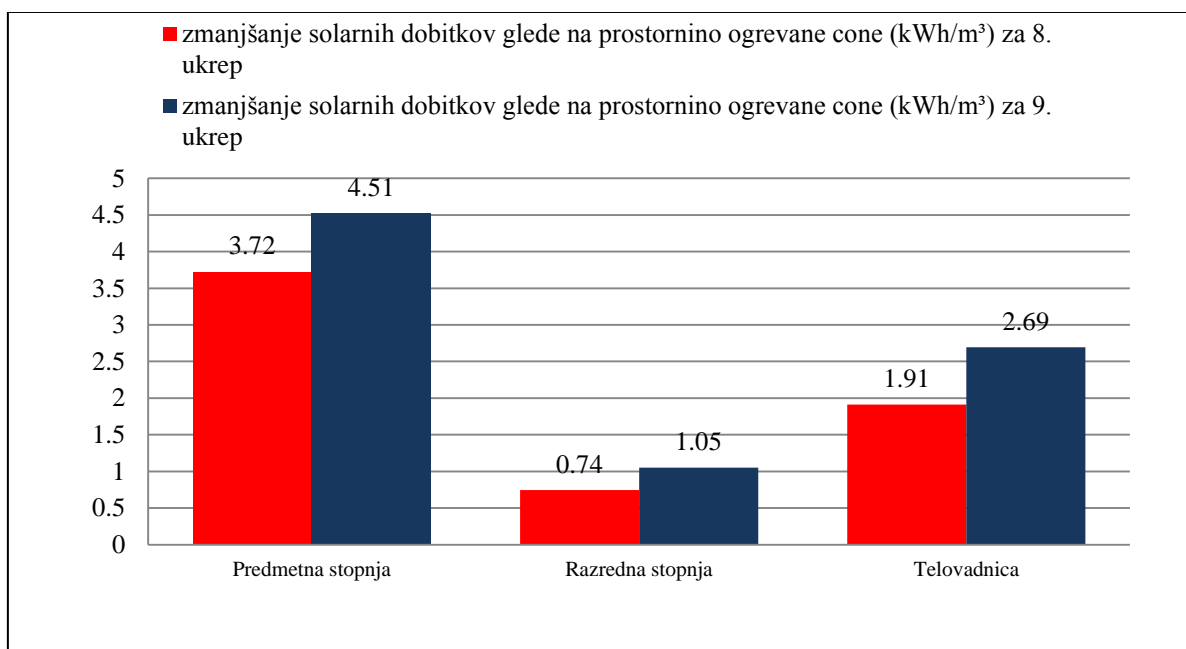
6.9.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 9. UKREP

Skupni prihranek letne potrebne toplote za ogrevanje proti izhodiščni situaciji je tokrat 37,7 % večji, kar pomeni 148310 kWh prihranka toplote. Spet gre največ prihranka na račun manjših transmisijskih in ventilacijskih izgub. Ob pregledu transmisijskih izgub vidimo, da so se tokrat zmanjšale za 32,8 % (105227 kWh). V grafikonu 18 je prikazana razporeditev transmisijskih prihrankov po ogrevanih conah. Opazimo večji prihranek kot v 8. ukrepu, saj sem upošteval bolj toplotno izolativna okna s troslojno zasteklitvijo.



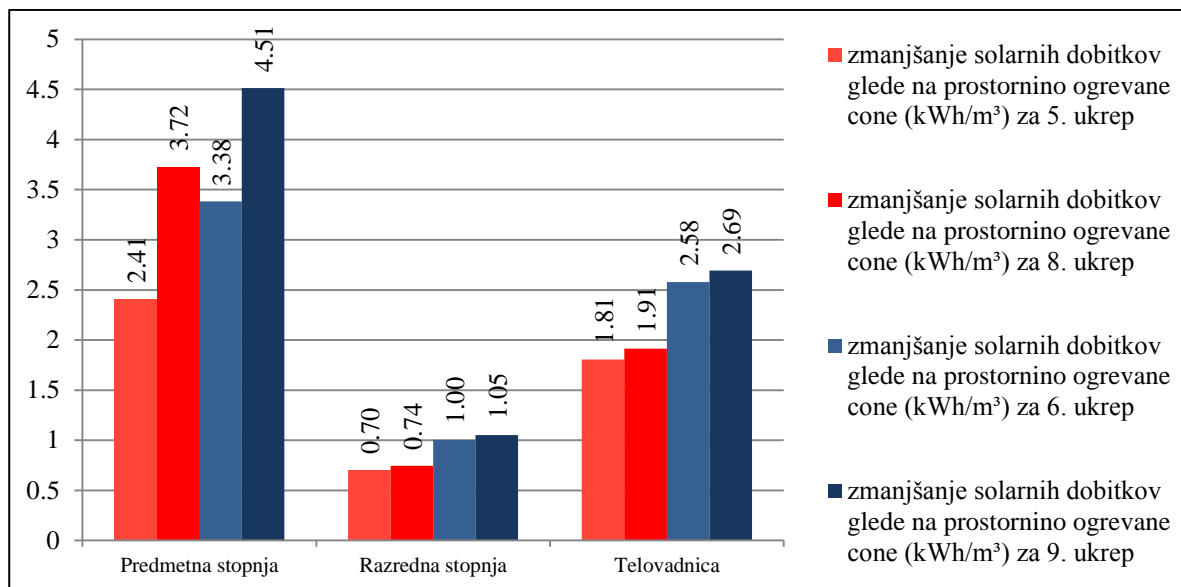
Grafikon 18: Primerjava zmanjšanja transmisijskih izgub zaradi 8. in 9. ukrepa, porazdeljeno po conah.

Solarni dobitki so se v primerjavi z izhodiščno situacijo zmanjšali za 38,0 % (48161 kWh), kar je 6,7 % (8554 kWh) manj kot v 6. ukrepu, kjer sem upoštevali enaka okna. Tudi tokrat se razlog za manjše solarne dobitke v primerjavi s 6. ukreпом, skriva v metodi izračuna programa TOST. Primerjava solarnih dobitkov 8. in 9. ukrepa je prikazana v grafikonu 19.



Grafikon 19: Primerjava zmanjšanja solarnih dobitkov zaradi 8. in 9. ukrepa, porazdeljeno po conah.

V grafikonu 20, je prikazana še primerjavo zmanjšanja solarnih dobitkov med pari ukrepov (5. in 6. ukrep ter 8. in 9. ukrep). Opazimo da spremenjeni režim prezračevanja največ vpliva na zmanjšanje solarnih dobitkov v predmetni stopnji, drugod pa je skoraj zanemarljiv.



Grafikon 20: Primerjava zmanjšanja solarnih dobitkov zaradi 5., 6., 8. in 9. ukrepa, porazdeljeno po conah.

Ventilacijske izgube so tokrat identične, saj sem upošteval hibridno prezračevanje enakih karakteristik kot v predhodnem ukrepu. Iz ukrepov od 5. do 9. lahko ugotovimo, da bi bil zelo učinkovit ukrep uporaba mehanskega prezračevanja z rekuperacijo odpadne toplote, ki bi še dodatno zmanjšal ventilacijske izgube. Vemo pa tudi, da ob zamenjavi oken pridobimo na tesnjenju objekta, hkrati pa povečamo potrebo po zračenju. Zračenje zagotovimo z ustreznim režimom prezračevanja, ki je lahko ročni, mehanski, mehanski z rekuperacijo ali pa hibridni, ki je kombinacija ročnega in mehanskega. Z režimom prezračevanja uravnavamo ventilacijske izgube stavbe, ki predstavljajo kar 38,9 % vseh izgub šole v izhodiščni situaciji. Rekuperacija teh ventilacijskih izgub je torej smiselni ukrep, katerega bom preveril v nadaljevanju.

6.10 10. UKREP: Mehansko prezračevanje z rekuperacijo odpadne toplote in novimi okni ($U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,58$)

V tem ukrepu bom preveril učinke mehanskega prezračevanja z rekuperacijo odpadne toplote in namestitve novih oken, ki so enaka kot v 5. ukrepu. Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb definira mehansko prezračevanje kot prezračevanje pri katerem se »zamenjava odtočnega zraka z zunanjim doseže z mehansko napravo, pri klimatizaciji pa s klimatizacijsko napeljavo. Klimatizacijska napeljava je kombinacija vseh potrebnih komponent, ki zagotavljajo klimatizacijo prostora« [20]. Glede na to sem si zamislil centralni sistem prezračevanja s pripadajočo avtomatsko regulacijo klime v prostorih in pripadajočim monitoringom delovanja. Upošteval sem tri hitrosti prezračevanja (hitrosti izmenjave zraka: 1/h, 1,5/h in 2/h), katere so določene tako da ustrezajo zahtevam v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Ta navaja, da je potrebno v šolskih učilnicah zagotoviti 30 m^3 zunanjega zraka za prezračevanje na osebo na uro, v telovadnicah pa 35 m^3 . Tem zahtevam izbrani režim prezračevanja sedaj ustreza. S srednjo hitrostjo sistem zadosti potrebo po zraku za prezračevanje pri normalnem številu učencev v šoli (predmetna stopnja: 300 uporabnikov; razredna stopnja: 200

uporabnikov, telovadnica: 60 uporabnikov), višja in nižja hitrost pa sta namenjeni izrednim situacijam. Upošteval sem, da ima tudi mehansko prezračevanje nekaj naravne infiltracije skozi zaprte zračnike (0,3/h ob tlačni razliki 50 Pa). Izkoristek rekuperacije je 90 %, režim delovanja pa 100 % v času zasedenosti šole.

6.10.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 10. UKREP

Preglednica 53: Energetska bilanca za 10. UKREP.

Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	231775	105155
	kWh/m ² a	72,32	32,81
	kWh/m ³ a	14,58	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	82539	
	kWh/m ² a	25,75	
	kWh/m ³ a	5,19	
Koefficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,42	0,44

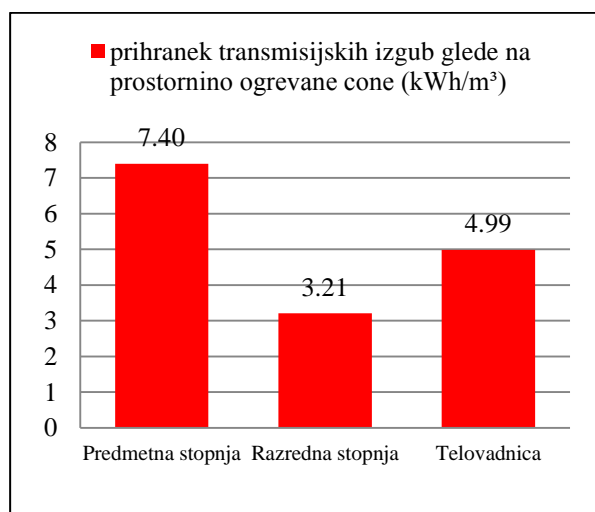
Preglednica 54: Izgube in dobitki za 10. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	100035	67400	65489	232924	70,6
Ventilacijske izgube	40321	27809	28624	96755	29,4
Skupne izgube	140356	95209	94113	329679	100
Notranji dobitki	33247	21547	15945	70739	44,8
Solarni dobitki	50633	9920	26746	87299	55,2
Skupni dobitki	83880	31467	42692	158038	100

6.10.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 10. UKREP

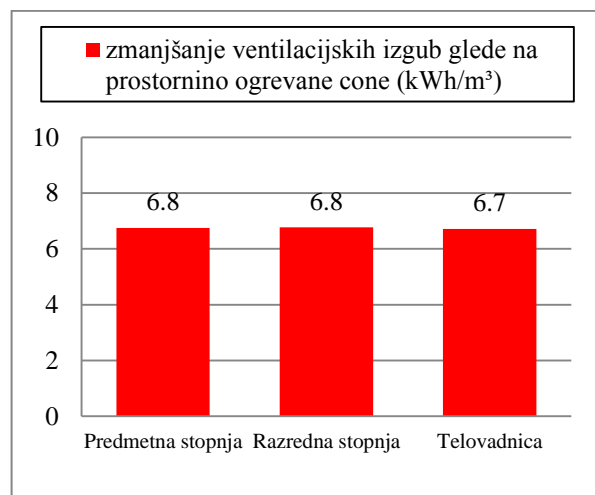
Ukrep prinese 41 % prihranka letne potrebne toplote za ogrevanje proti izhodiščni situaciji, to je 161345 kWh prihranka. Kot je razvidno iz preglednice 54, gre tudi tukaj največ prihranka na račun

manjših transmisijskih in ventilacijskih izgub. Transmisijske izgube so nižje za 27,4 % (88057 kWh), njihovo razporeditev po ogrevanih conah pa lahko vidimo v grafikonu 21.



Grafikon 21: Zmanjšanje transmisijskih izgub zaradi 10. ukrepa porazdeljeno po conah.

Ventilacijske izgube so tokrat bistveno nižje zaradi uporabe odpadne toplote. V skupnem so proti izhodiščni situaciji nižje za 52,6 %, to je 107280 kWh. Razporeditev prihrankov ventilacijskih izgub po ogrevanih conah je prikazana v grafikonu 22. Tudi tukaj lahko vidimo, da so ti enakomerno razporejeni zaradi načina podajanja karakteristik prezračevanja v programu TOST (grafikon 22).



Grafikon 22: Zmanjšanje ventilacijskih izgub zaradi 10. ukrepa, porazdeljeno po conah.

Pri pregledu solarnih dobitkov lahko opazimo, da so ti manjši za 31 % (39272 kWh) proti izhodiščni situaciji, kar je za 8,8 % (11227 kWh) manj kot v 5. ukrepu, kjer smo upoštevali enaka okna. Tokrat bom izpostavil tudi zmanjšanje notranjih dobitkov, ki so proti izhodiščni situaciji manjši za 7,1 % (5452 kWh). Zmanjšanje solarnih in notranjih dobitkov je tudi tokrat posledica metode izračuna programa TOST in bi utegnila zмести marsikoga brez ustreznega poznavanja ozadja izračuna energetskih bilanc programa TOST.

6.11 11. UKREP: Mehansko prezračevanje z rekuperacijo odpadne toplote in novimi okni ($U_w = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,50$)

Ukrep je podoben prejšnjemu, le da sem tokrat upošteval troslojna okna s toplotno prehodnostjo $U_w = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ in 50 % prepustnostjo celotnega sončnega sevanja. Takšna okna so nameščena tudi v 6. ukrepu. Sistem prezračevanja pa ostaja enak kot v prejšnjem ukrepu.

6.11.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 11. UKREP

Preglednica 55: Energetska bilanca za 11. UKREP.

Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	220431	105155
	kWh/m ² a	68,78	32,81
	kWh/m ³ a	13,87	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	73904	
	kWh/m ² a	23,06	
	kWh/m ³ a	4,65	
Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,39	0,44

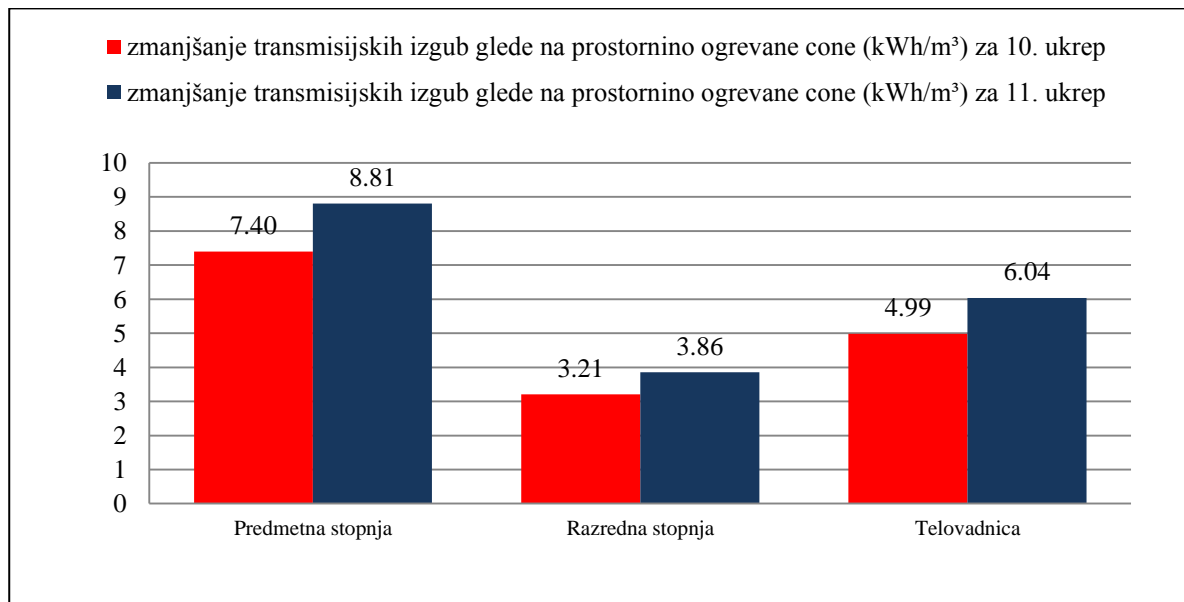
Preglednica 56: Izgube in dobitki za 11. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	90270	64539	60664	215473	69,0
Ventilacijske izgube	40384	27816	28660	96861	31,0
Skupne izgube	130654	92355	89324	312333	100
Notranji dobitki	33305	21570	15986	70861	47,9
Solarni dobitki	45228	8569	23180	76977	52,1
Skupni dobitki	78533	30139	39166	147838	100

6.11.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 11. UKREP

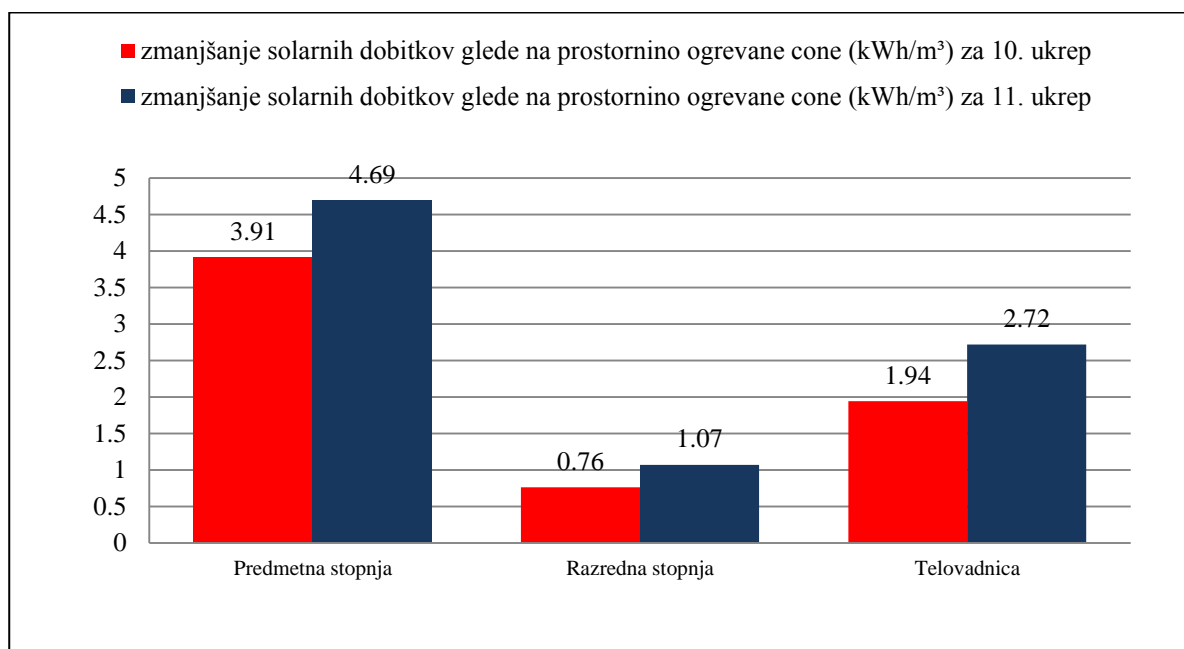
Ob uporabi troslojnih oken nam rekuperacija prihrani 43,9 % letne potrebne toplote za ogrevanje proti izhodiščni situaciji, kar nanese na 172689 kWh. Medtem pa letni potrebni hlad za hlajenje ostaja

praktično nespremenjen. Transmisijske izgube so v skupnem nižje za 32,9 % (105508 kWh), kar je spet praktično enako kot v 9. ukrepu, saj so upoštevana enaka okna. Po conah, so transmisijski prihranki predstavljeni v grafikonu 23, kjer je prikazana tudi primerjava z 10. ukrepom.



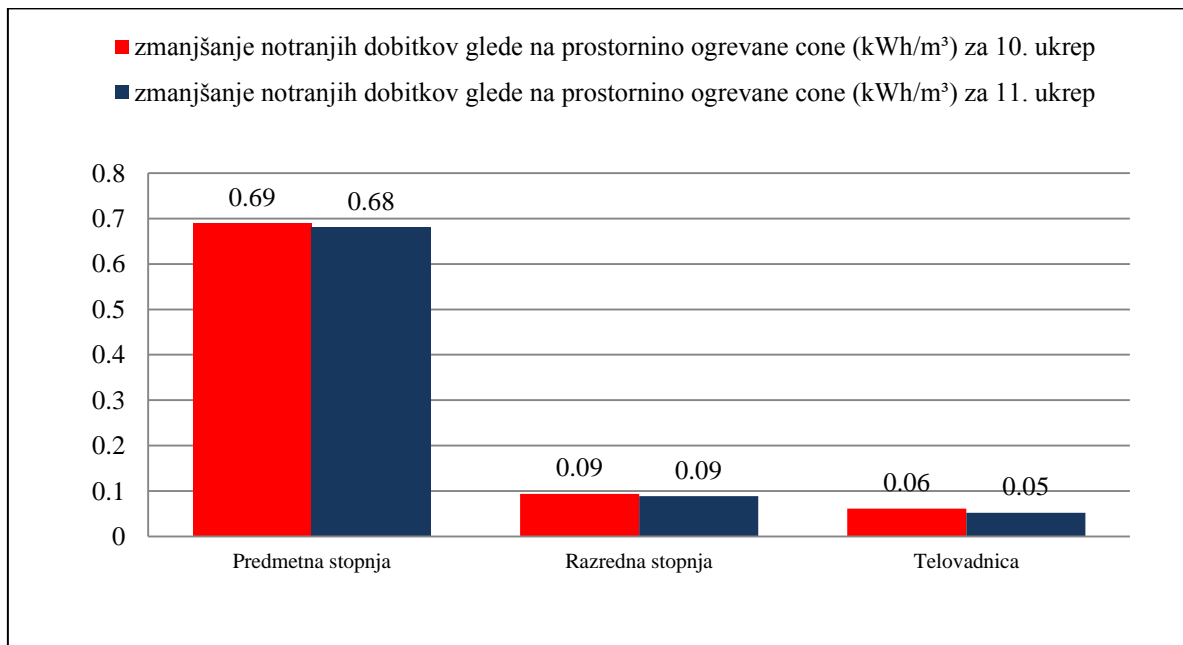
Grafikon 23: Primerjava zmanjšanja transmisijskih izgub zaradi 10. in 11. ukrepa, porazdeljeno po conah.

Ventilacijske izgube so enake kot v prejšnjem ukrepu, saj so upoštewane enake karakteristike sistema prezračevanja z rekuperacijo. Solarni dobitki so proti izhodiščni situaciji manjši za 39,2 % (49594 kWh), kar je za 7,9 % (9987 kWh) manj kot v 6. ukrepu, kjer smo upoštevali enaka okna. Po conah so ti predstavljeni v grafikonu 24, kjer lahko vidimo njihovo primerjavo z 10. ukrepom.



Grafikon 24: Primerjava zmanjšanja solarnih dobitkov zaradi 10. in 11. ukrepa, porazdeljeno po conah.

Celotni notranji dobitki so se proti izhodiščni situaciji zmanjšali za 7,0 % (5330 kWh). Primerjavo zmanjšanja notranjih dobitkov 10. in 11. ukrepa sem predstavil v grafikonu 25. Opazimo, da je sprememba pri obeh ukrepih približno enako.



Grafikon 25: Primerjava zmanjšanja notranjih dobitkov zaradi 10. in 11. ukrepa, porazdeljeno po conah.

6.12 12. UKREP: Optimizacija ogrevanja v podobdobjih neuporabe

Tokrat sem obravnavall zelo enostaven ukrep, katerega mnogi podcenjujejo. Upošteval sem, da se v podobdobjih neuporabe (podobdobje nezasedenosti, vikenda in noči), temperatura ogrevanja spusti na 16°C. V podobdobju zasedenosti pa temperatura ostane nespremenjena, to je 21 °C.

6.12.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 12. UKREP

Preglednica 57: Energetska bilanca za 12. UKREP.

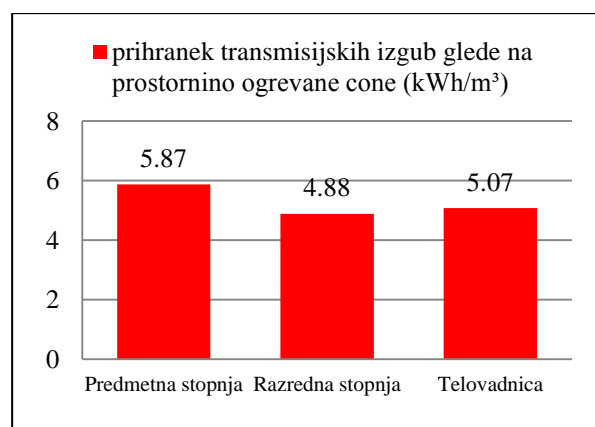
Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	298676	105155
	kWh/m ² a	93,19	32,81
	kWh/m ³ a	18,79	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	73895	
	kWh/m ² a	23,06	
	kWh/m ³ a	4,65	
Koefficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H_T' (W/m ² K)		0,55	0,44

Preglednica 58: Izgube in dobitki za 12. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	110573	60002	65079	235654	57,3
Ventilacijske izgube	74875	49415	51253	175544	42,7
Skupne izgube	185448	109417	116333	411198	100
Notranji dobitki	39277	23986	18154	81417	33,4
Solarni dobitki	90223	19590	52539	162352	66,6
Skupni dobitki	129500	43576	70693	243769	100

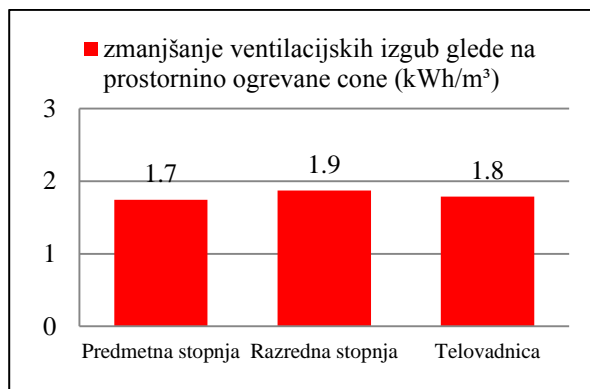
6.12.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 12. UKREP

Prihranek letne potrebne toplote za ogrevanje proti izhodiščni situaciji je 24 %, kar nanese na 94444 kWh. Letni potrebni hlad za hlajenje pa ostaja skoraj nespremenjen. Pričakovano gredo prihranki na račun manjših transmisijskih in ventilacijskih izgub. Transmisijske izgube so manjše za 26,6 % (85327 kWh). Njihova razporeditev po ogrevanih conah je predstavljena v grafikonu 26. Vidimo, da so prihranki po conah razporejeni precej enakomerno, saj so si toplotne prehodnosti zunanjih sten, streh, tal in oken med različnimi ogrevanimi conami, zelo podobne ali celo enake.



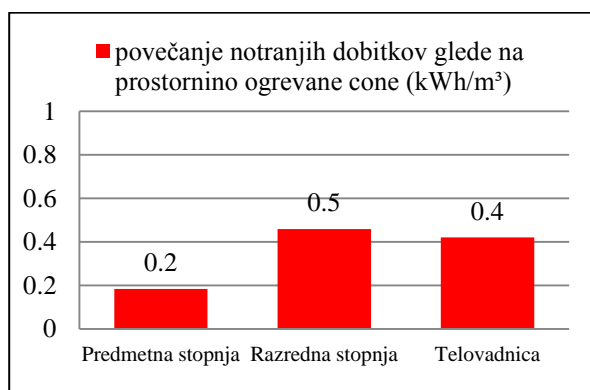
Grafikon 26: Zmanjšanje transmisijskih izgub zaradi 12. ukrepa porazdeljeno po conah.

Ventilacijske izgube so manjše za 14 % (28491 kWh). Njihova razporeditev po conah je predstavljena v grafikonu 27. Opazimo lahko, da so tudi tokrat prihranki precej enakomerno razporejeni.



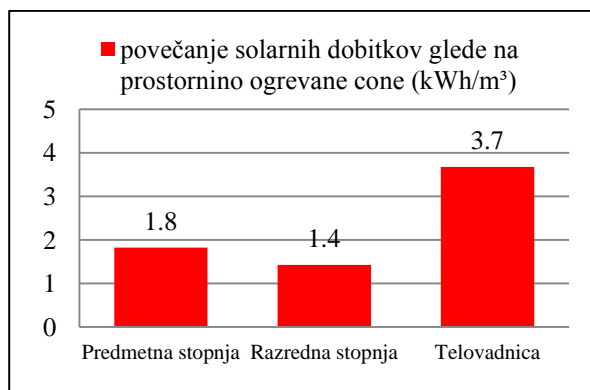
Grafikon 27: Zmanjšanje ventilacijskih izgub zaradi 12. ukrepa porazdeljeno po conah.

Zanimivo je povečanje notranjih in solarnih dobitkov. Notranji dobitki so se povečali za 6,8 % (5226 kWh), največ v razredni stopnji (grafikon 28).



Grafikon 28: Povečanje notranjih dobitkov zaradi 12. ukrepa porazdeljeno po conah.

Solarni dobitki pa so se povečali za celih 28,3 % (35781 kWh), tokrat največ v telovadnici (grafikon 29). Takšni rezultati seveda niso logični in jih zato tudi ne bom upošteval. Pričakoval sem, da se ta del energetske bilance ne bo spremenil. Težko si namreč predstavljam, da zaradi upoštevanega ukrepa sonce odda več solarnih dobitkov in notranji viri več notranjih dobitkov. Vzrok tega se spet skriva v metodi izračuna programa TOST, ki izvira iz standarda SIST EN ISO 13790:2008. Metoda namreč z določeno kombinacijo vhodnih podatkov, vrne nelogične rezultate za solarne in notranje dobitke.



Grafikon 29: Povečanje solarnih dobitkov zaradi 12. ukrepa porazdeljeno po conah.

6.13 13. UKREP: Optimizacija ogrevanja v podobdobjih neuporabe in uporabe

Pri tem ukrepu sem naredil še korak naprej pri optimizaciji ogrevanja iz prejšnjega ukrepa. Poleg spremembe ogrevalnega režima v podobdobjih neuporabe (podobdobje nezasedenosti, vikenda in noči), sem optimiziral temperaturo ogrevanja tudi v podobdobju zasedenosti. V telovadnici sem upošteval temperaturo 18 °C, ki bi bila za fizično aktivnost uporabnikov ustrežnejša, kot pa prej upoštevanih 21 °C. V razredni in predmetni stopnji sem upošteval temperaturo 20 °C, ki je že mogoče nizka za mentalno delo, vendar še vedno sprejemljiva.

6.13.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 13. UKREP

Preglednica 59: Energetska bilanca za 13. UKREP.

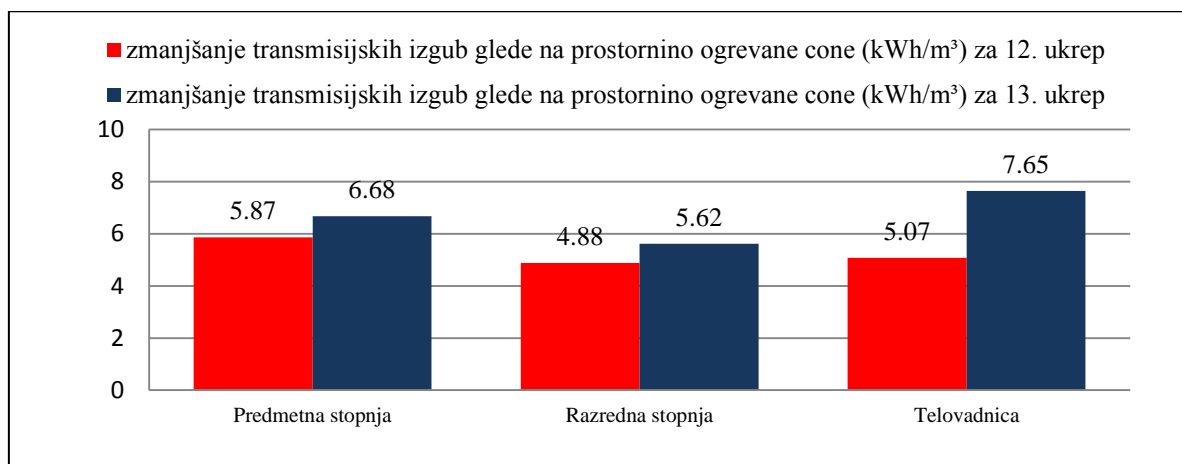
Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	264016	105155
	kWh/m ² a	82,38	32,81
	kWh/m ³ a	16,61	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	73897	
	kWh/m ² a	23,06	
	kWh/m ³ a	4,65	
Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,55	0,44

Preglednica 60: Izgube in dobitki za 13. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	104980	56772	53292	215044	58,2
Ventilacijske izgube	69793	45792	39126	154711	41,8
Skupne izgube	174773	102564	92418	369755	100
Notranji dobitki	43588	26117	16771	86477	33,7
Solarni dobitki	99233	21125	50073	170431	66,3
Skupni dobitki	142821	47243	66845	256908	100

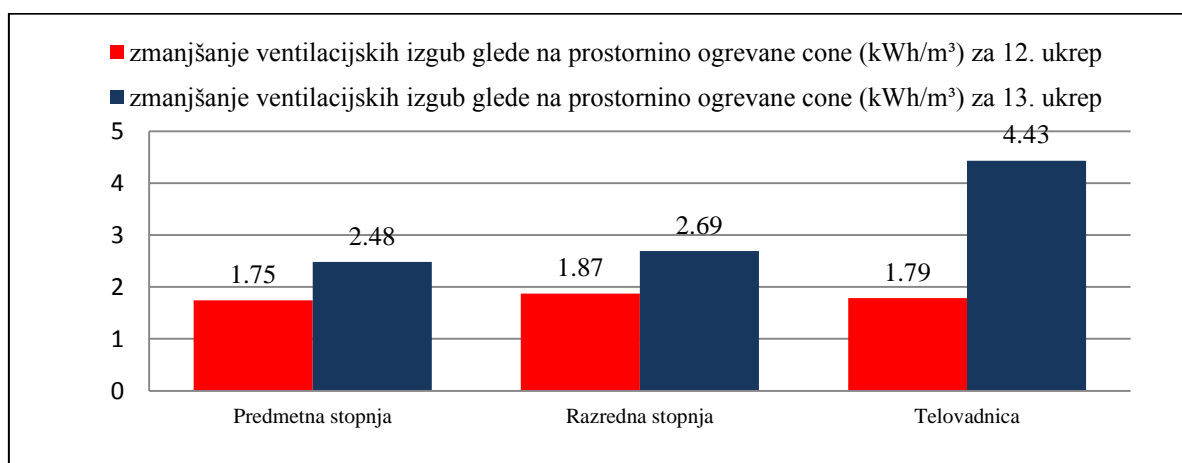
6.13.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 13. UKREP

Ukrep prinese prihranek letne potrebne toplote za ogrevanje proti izhodiščni situaciji v višini 32,8 % (129104 kWh), na letno potrebo po hladu za hlajenje pa praktično ne vpliva. Transmisijske izgube so manjše za 33 % (105937 kWh). Njihova razporeditev po ogrevanih conah je predstavljena v grafikonu 30. Opazimo, da je največji prihranek transmisijskih izgub v telovadnici, saj sem tam zmanjšal temperaturo ogrevanja za 3 °C in ne samo za 1 °C kot v ostalih dveh conah.



Grafikon 30: Primerjava zmanjšanja transmisijskih izgub zaradi 12. in 13. ukrepa, porazdeljeno po conah.

Ventilacijske izgube so manjše za 24,2 % (49324 kWh). Njihova razporeditev po conah je predstavljena v grafikonu 31. Zaradi prej navedenega razloga, so tudi tukaj največji prihranki v telovadnici.



Grafikon 31: Primerjava zmanjšanja ventilacijskih izgub zaradi 12. in 13. ukrepa, porazdeljeno po conah.

Povečanja notranjih (za 13,5 %) in solarnih dobitkov (za 34,6 %) tokrat ne bom podrobneje komentiral, ker sem že v prejšnjem ukrepu ugotovil, da je vzrok njihovega povečanja v načinu izračunavanja energetske bilance po standardu SIST EN ISO 13790:2008. Seveda tudi teh nelogičnih in nerealnih rezultatov ne bom upošteval v končni primerjavi učinkovitosti ukrepov.

6.14 14. UKREP: Toplotno izolacija tal

Osnovna šola v izhodiščni situaciji nima toplotne izolacije na temeljni plošči (toplotno prehodnost $U = 1,904 \text{ W/m}^2\text{K}$), zato sem kot možen ukrep preveril učinke njene namestitve. Pri izvedbi takšnega ukrepa bi verjetno prišlo do mnogih problemov in dodatnih stroškov (dvig nivoja tal, zamenjava vseh vrat, postavitve nove finalne obloge, inštalacije,...), vendar je ukrep smiselno računsko preveriti in tako preučiti kakšne učinke ima talna toplotna izolacija na energetsko bilanco objekta. V izračunu sem zato nad betonsko ploščo upošteval 12 cm toplotne izolacije iz stirodura (trdih polistirenskih plošč s toplotno izolativnostjo $\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$) ter tako dosegel toplotno prehodnost $U = 0,265 \text{ W/m}^2\text{K}$. Toplotno izoliran konstrukcijski sklop je predstavljen v preglednici 61.

Preglednica 61: Sestava konstrukcijskega sklopa tal na terenu.

Material (prvi sloj je znotraj)	Debelina (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Linolej	0,010	1200	0,190
Cementni estrih	0,050	2200	1,400
Stirodur plošče	0,120	20	0,037
Bitumenski trak	0,005	1100	0,170
Armirani beton	0,100	2200	1,510
Gramozno nasutje	0,300	1500	1,400
$U = 0,265 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U_{\max} = 0,300 \text{ W/m}^2\text{K}$	

6.14.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 14. UKREP

Preglednica 62: Energetska bilanca za 14. UKREP.

Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	387272	105155
	kWh/m ² a	120,83	32,81
	kWh/m ³ a	24,36	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	76187	
	kWh/m ² a	23,77	
	kWh/m ³ a	4,79	
Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,53	0,44

Preglednica 63: Izgube in dobitki za 14. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	148259	80012	86213	314484	60,7
Ventilacijske izgube	86802	57640	59398	203840	39,3
Skupne izgube	235060	137653	145611	518324	100
Notranji dobitki	37832	21931	16192	75954	37,6
Solarni dobitki	77245	13260	35537	126041	62,4
Skupni dobitki	115076	35191	51728	201995	100

6.14.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 14. UKREP

Ukrep prinese samo 1,5 % (5848 kWh) prihranka letne potrebne toplote za ogrevanje proti izhodiščni situaciji, hkrati pa poveča letno potrebo po hladu za 3 % (2287 kWh). Prihranki gredo na račun manjših transmisijskih izgub, ki so v celoti manjše za 2 % (6497 kWh). Podrobnejša analiza energetske bilance pri tako nizkem učinku zato ni smiselna. Zaradi drage in obsežne izvedbe pa je ukrep vprašljiv tudi iz ekonomskega vidika.

6.15 15. UKREP: Zaprtje vseh okenskih odprtín na severni strani telovadnice

V izhodiščni situaciji telovadnice sem upošteval 185 m² okenskih odprtín, od tega jih je kar 75 m² na senčni severni fasadi. Zardi takšne zasnove telovadnice, je smiselno preveriti učinke ukrepa zazidave teh okenskih odprtín in tako preveriti kako bo to vplivalo na energetske bilanco.

6.15.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 15. UKREP

Preglednica 64: Energetska bilanca za 15. UKREP.

Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	384292	105155
	kWh/m ² a	119,90	32,81
	kWh/m ³ a	24,17	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	69842	
	kWh/m ² a	21,79	
	kWh/m ³ a	4,39	
Koefficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,53	0,44

Preglednica 65: Izgube in dobitki za 15. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	151095	81534	77532	310161	60,3
Ventilacijske izgube	86927	57662	59701	204290	39,7
Skupne izgube	238022	139196	137233	514451	100
Notranji dobitki	38005	21961	16413	76379	38,3
Solarni dobitki	77631	13285	32307	123224	61,7
Skupni dobitki	115636	35247	48720	199603	100

6.15.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 15. UKREP

Ukrep prinese samo 2,2 % (8828 kWh) prihranka letne potrebne toplote za ogrevanje in 5,6 % (4058 kWh) prihranka letnega hladu za hlajenje v primerjavi z izhodiščno situacijo. Pri tem pa je potrebno upoštevati, da je ta prihranek realiziran le v telovadnici. Transmisijske izgube telovadnice so proti transmisijskim izgubam telovadnice v izhodiščni situaciji, manjše za 12,2 % (10820 kWh). Solarni dobitki pa za 9,4 % (3348 kWh). Glede na celotno šolo pa so transmisijske izgube manjše za 3,4 %, solarni dobitki pa za 2,6 %. Ukrep prinese hkrati zanimive prihranke toplote in hladu, hkrati pa poslabša uporabne pogoje zaradi manjše naravne osvetljenosti telovadnice.

6.16 16. UKREP: Neupoštevanje senčenja okolice šole

S tem ukrepom želim preveriti vpliv okolica na senčenje šole. V izhodiščni situaciji sem ob izračunu faktorjev osenčenosti upošteval vso okolico šole (sosednje stanovanjske objekte in vso vegetacijo okoli šole). V tem ukrepu pa senčenja okolice ne bom upošteval. Upošteval bom samo osenčenost, ki nastane zaradi medsebojnega senčenja predmetne in razredne stopnje ter telovadnice.

Preglednica 66: Faktorji osenčenosti F_s , brez upoštevanja senčenja okolice.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEPT	OKT	NOV	DEC
J	0,87	0,92	0,93	0,92	0,93	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,86
S	0,00	0,00	0,78	0,89	0,85	0,87	0,84	0,90	0,81	0,72	0,00	0,00
V	0,80	0,86	0,86	0,86	0,87	0,88	0,87	0,86	0,81	0,83	0,84	0,80
Z	0,88	0,90	0,90	0,93	0,94	0,95	0,94	0,94	0,93	0,88	0,87	0,86
Streha	1,00	0,99	0,97	0,97	0,96	0,97	0,96	0,96	0,97	0,99	0,99	0,98

6.16.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 16. UKREP

Preglednica 67: Energetska bilanca za 16. UKREP.

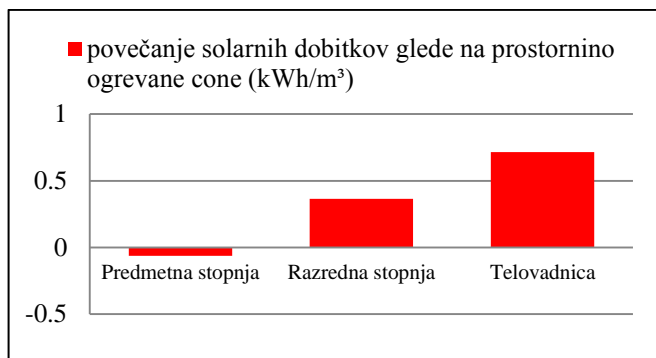
Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	386676	105155
	kWh/m ² a	120,65	32,81
	kWh/m ³ a	24,32	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	81107	
	kWh/m ² a	25,31	
	kWh/m ³ a	5,10	
Koeficient specifičnih transmisijских toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,55	0,44

Preglednica 68: Izgube in dobitki za 16. UKREP med sezono ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	149086	81470	88262	318817	61,1
Ventilacijske izgube	86051	57619	59394	203063	38,9
Skupne izgube	235137	139088	147655	521880	100
Notranji dobitki	36871	21905	16189	74965	36,4
Solarni dobitki	77188	14896	38935	131019	63,6
Skupni dobitki	114059	36801	55124	205983	100

6.16.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 16. UKREP

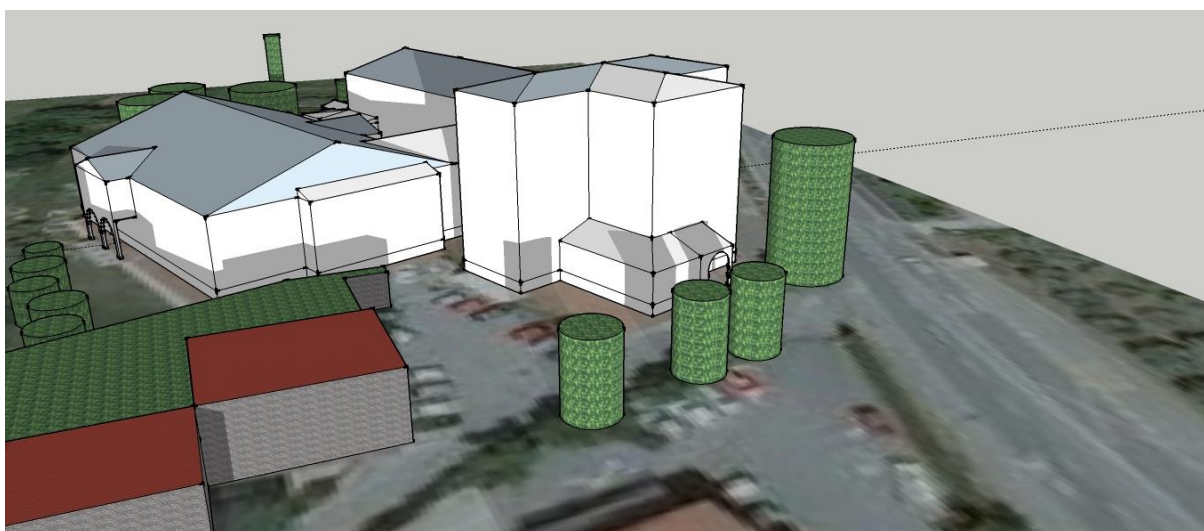
Opazimo da senčenje okolice bistveno ne vpliva na letno potrebno toploto za ogrevanje. Ta je sedaj manjša za le 1,7 % (6444 kWh), medtem ko pa je letni potrebni hlad za hlajenje večji za 9,7 % (7207 kWh). Ko podrobneje pregledamo dobitke in izgube energetske bilance v preglednici 68 ugotovimo vzroke za te spremembe. Neupoštevanje senčenja okolice nam namreč prinese 3,5 % (4448 kWh) več solarnih dobitkov pozimi ter hkrati 9,4 % (11742 kWh) več nezaželenih solarnih dobitkov poleti. Iz grafikona 32 lahko sklepamo, da je okolica največ senčila telovadnico, nato pa razredno in predmetno stopnjo. Na sliki 11 je prikazano senčenje okolice severozahodne strani telovadnice v poletnih večernih urah. Na sliki 12, pa je prikazano senčenje okolice jugovzhodne strani razredne stopnje v zgodnjih jutranjih urah spomladi ali jeseni.



Grafikon 32: Povečanje solarnih dobitkov zaradi 16. ukrepa porazdeljeno po conah.



Slika 11: Senčenje telovadnice – pogled iz severozahodne strani.



Slika 12: Senčenje predmetne in razredne stopnje – pogled iz jugovzhodne strani.

6.17 17. UKREP: Uporaba zunanjih senčil (april-september)

Ta ukrep predvideva uporabo senčil na zunanji strani vseh oken, ki so izpostavljena soncu. V programu TOST sem to simuliral tako, da sem obkljukal mesec v katerem želim upoštevati senčila. Tako sem za izbrani mesec upošteval 100 % osenčenost oken. Najprej sem preveril učinke uporabe

senčil skozi celo leto, kar pa se ni najbolj poznalo na energetske bilanci, saj je ukrep zmanjšal solarne dobitke tudi pozimi ko so ti dobrodošli. S poskušanjem različnih obdobj uporabe senčil sem nato ugotovil, da je uporaba senčil najbolj smiselna v obdobju od vključno aprila pa do konca septembra. Torej 6 mesecev. Tako sem zmanjšal solarne dobitke le poleti, ko so ti odveč. V praksi bi to pomenilo namestitev pomičnih senčil, ki bi jih lahko uporabljali le v določenem delu leta.

6.17.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 17. UKREP

Preglednica 69: Energetska bilanca za 17. UKREP.

Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	407649	105155
	kWh/m ² a	127,19	32,81
	kWh/m ³ a	25,64	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	15872	
	kWh/m ² a	4,95	
	kWh/m ³ a	1,00	
Koeficient specifičnih transmisij toplinskih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,55	0,44

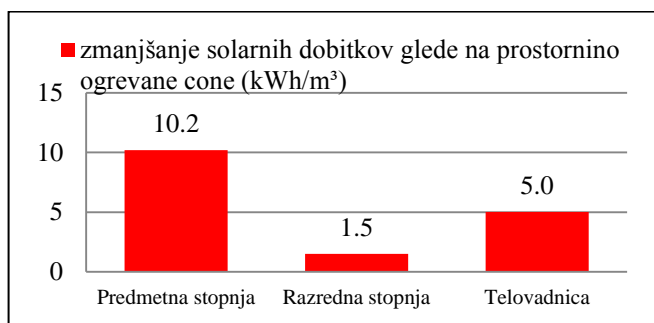
Preglednica 70: Izgube in dobitki za 17. UKREP med sezono hlajenja.

Izgube in dobitki za sezono hlajenja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	37353	3688	13274	54315	73,1
Ventilacijske izgube	14265	2809	2957	20030	26,9
Skupne izgube	51618	6497	16231	74345	100
Notranji dobitki	14897	2081	2676	19654	39,4
Solarni dobitki	21760	1012	7421	30193	60,6
Skupni dobitki	36657	3094	10097	49847	100

6.17.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 17. UKREP

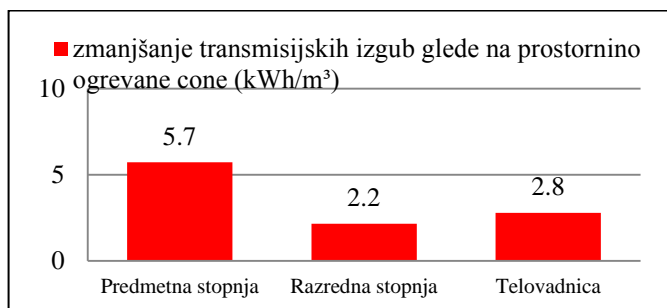
Letna potrebna toplota za ogrevanje se proti izhodiščni situaciji tokrat poveča za 3,7 % (14529 kWh), letna potreba po hladu za hlajenje pa se zmanjša za 78,5 % (58028 kWh). Učinki ukrepa se torej

kažejo pretežno v sezoni hlajenja. V preglednici 70, ki tokrat prikazuje izgube in dobitke za sezono hlajenja opazimo, da ukrep najbolj vpliva na zmanjšanje solarnih dobitkov. Ti so v primerjavi z izhodiščno situacijo manjši za 75,8 % (94492 kWh). V grafikonu 33 kjer je prikazano zmanjšanje solarnih dobitkov po ogrevanih conah lahko opazimo, da ukrep tokrat najbolj učinkuje v stavbi predmetne stopnje. Razlog je v veliki površini oken na južni strani predmetne stopnje (175,7 m² od skupno 427,2 m²).

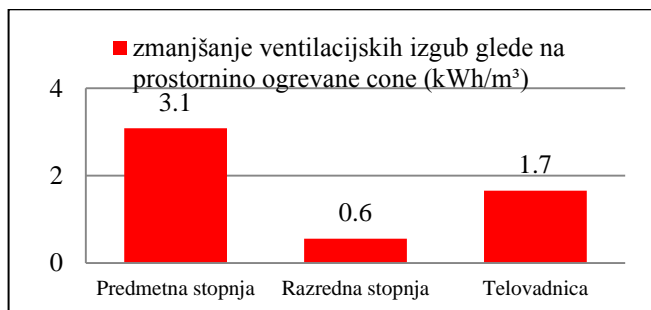


Grafikon 33: Zmanjšanje solarnih dobitkov zaradi 17. ukrepa, porazdeljeno po conah.

V preglednici 70 opazimo tudi precejšnje zmanjšanje transmisijskih in ventilacijskih izgub proti izhodiščni situaciji. Transmisijske izgube so manjše za 53,3 % (61906 kWh), ventilacijske izgube pa za 61 % (31336 kWh). Zmanjšanje obojnih izgube je spet največje v stavbi predmetne stopnje, kar lahko vidimo v grafikonih 34 in 35. Razlog je spet enak kot pri solarnih dobitkih.



Grafikon 34: Zmanjšanje transmisijskih izgub 17. ukrepa, porazdeljeno po conah.



Grafikon 35: Zmanjšanje ventilacijskih izgub zaradi 17. ukrepa, porazdeljeno po conah.

6.18 18. UKREP: Namestitev fotonapetostnih modulov

Zaradi zelo ugodne geografske lege šole, bi bilo smiselno upoštevati tudi uporabo obnovljivih virov energije kot je sončna energija. Primorska regija je znana po velikem številu sončnih dni in je zato primerna za takšne ukrepe. Zamislil sem si namestitev fotonapetostnih modulov na strešno konstrukcijo ali pa kar celo v strešno konstrukcijo. Upošteval sem le del strehe predmetne stopnje, ki je orientirana v smeri juga, saj je le ta dovolj velik in primerno nagnjen (naklon 23°). Streha telovadnice ima precej manjši naklon in bi zato bilo potrebno nameščanje dodatne podkonstrukcije za uravnavanje naklona panelov ter izdelava ustrezne študije senčenja panelov med seboj. Celotna površina panelov tako znaša 640 m^2 . Predvidel sem uporabo mono-kristalnih panelov, katerih nazivna moč je 180 W/h na panel velikosti $1580\text{ mm} \times 808\text{ mm}$, kar nanese na 140 W/m^2 maksimalne moči. Celotna nazivna moč elektrarne bi tako bila 90 kWp . Te podatke sem vnesel v internetno aplikacijo Evropske komisije (inštitut za energijo in transport IET) [31] za izračun proizvedene energije sončnih elektrarn, ter tako dobil letno proizvedeno električno energijo. Pri tem sem upošteval fiksni sistem panelov z naklon 23° (naklon je nagnjenost glede na vodoravno lego) in orientacija glede na južno smer neba -19° (negativna orientiranost pomeni proti urni zasuk od južne lege). Aplikacija je vrnila rezultate ki so predstavljeni v preglednici 71.

Preglednica 71: Proizvedena energija sončne elektrarne.

	Dnevno povprečje (kWh)	Mesečno povprečje (kWh)
JAN	134	4160
FEB	219	6140
MAR	288	8940
APR	347	10400
MAJ	396	12300
JUN	409	12300
JUL	430	13300
AUG	381	11800
SEP	319	9570
OCT	218	6750
NOV	140	4190
DEC	121	3740
Mesečno povprečje	284	8630
Letna proizvodnja	104000	

6.18.1 Komentar rezultatov za 18. UKREP

Sončna elektrarna proizvede 104000 kWh letno, kar nanese na $11,6\%$ končne letne energije, ki jo potrebuje šola v izhodiščni situaciji. Končna letna energija šole v izhodiščni situaciji namreč znaša 896250 kWh . To sicer ne zadostuje za izpolnjevanje pogoja iz pravilnika PURES2010, glede rabe obnovljivih virov energije. PURES2010 namreč navaja, da je energetska učinkovitost stavbe dosežena,

če najmanj 25 % končne letne energije za ogrevanje in hlajenje stavbe ter pripravo tople vode izvira iz sončne energije. Pri tem je potrebno obrazložiti, da je končna letna energija, energija ki je na voljo uporabniku na mestu uporabe in jo letno potrebujejo nameščeni sistemi hlajenja, ogrevanja, ogrevanja sanitarne vode ter razsvetljava [9]. Končna letna energija je odvisna od faktorjev izkoristka vsakega sistema posebej ter od uporabljenega energenta (Slika 13). Če bi hoteli torej doseči prag energetske učinkovitosti pravilnika PURES2010 za zastavljeni način ogrevanja, hlajenja in priprave tople vode, bi bilo potrebno inštalirati najmanj 1724 m², kar pomeni še dodatnih 849 panelov. To pa seveda velja za izhodiščno situacijo, kjer še niso upoštevani ukrepi energetske prenove. Zato je končna letna energija šole bistveno večja kot pa bo po izvedeni energetski prenovi.

The image shows a screenshot of the TOST program input interface, divided into three sections: Ogrevanje (Heating), Hlajenje (Cooling), and Topla voda (Hot water). Each section contains a dropdown menu for 'Energent' (Energy source) and a sub-section for 'Učinkovitost sistemov' (System efficiency) with input fields for 'Generacija' (Generation), 'Distribucija' (Distribution), and 'Emisija' (Emission).

System	Energent	Generacija	Distribucija	Emisija
Ogrevanje	Ekstra lahko kurilno olje	0,90	0,80	0,80
Hlajenje	Električna energija	2,50	0,95	0,92
Topla voda	Ekstra lahko kurilno olje	0,90	0,80	1,00

Slika 13: Vhodni podatki programa TOST o karakteristikah ogrevanja, hlajenja in priprave tople vode.

6.19 PREGLED UČINKOV PREDLAGANIH UKREPOV

V spodnjih dveh preglednicah so zbrani učinki vseh obravnavanih ukrepov. Preglednica 72 prikazuje letno potrebno toploto za ogrevanje in letni potrebni hlad za hlajenje vsakega ukrepa posebej ter njihove spremembe (v %) glede na izhodiščno situacijo. Preglednica 73 pa prikazuje spremembe (v %) transmisijskih izgub, ventilacijskih izgub, notranjih dobitkov in solarnih dobitkov v primerjavi z izhodiščno situacijo. Z **zeleno** so obarvane negativne spremembe, medtem ko pa so z **rdečo** obarvane pozitivne spremembe v absolutnem smislu vrednosti. Pri prikazu spremembe letne potrebne toplote in hladu ter pri prikazu spremembe transmisijskih in ventilacijskih izgub, pomenijo negativne-**zelene** spremembe prihranke energije. Pri prikazu sprememb notranjih in solarnih dobitkov pa je njihov pomen odvisen od obravnavane sezone. Negativne-**zelene** spremembe so namreč v sezoni ogrevanja nezaželene, ker prinašajo manjše dobitke v energetsko bilanco in posledično večjo potrebo po toploti za ogrevanje. V sezoni hlajenja pa so negativne-**zelene** spremembe zaželene, ker prinašajo manjše

dobitke v energetske bilanco, kar pa tokrat pomeni manjšo potrebo po hladu za hlajenje. V preglednici 73 so spremembe solarnih in notranjih dobitkov 12. in 13. ukrepa v oklepaju, saj so vrednosti nerealne in jih zato ne bom upošteval v primerjavi učinkov ukrepov.

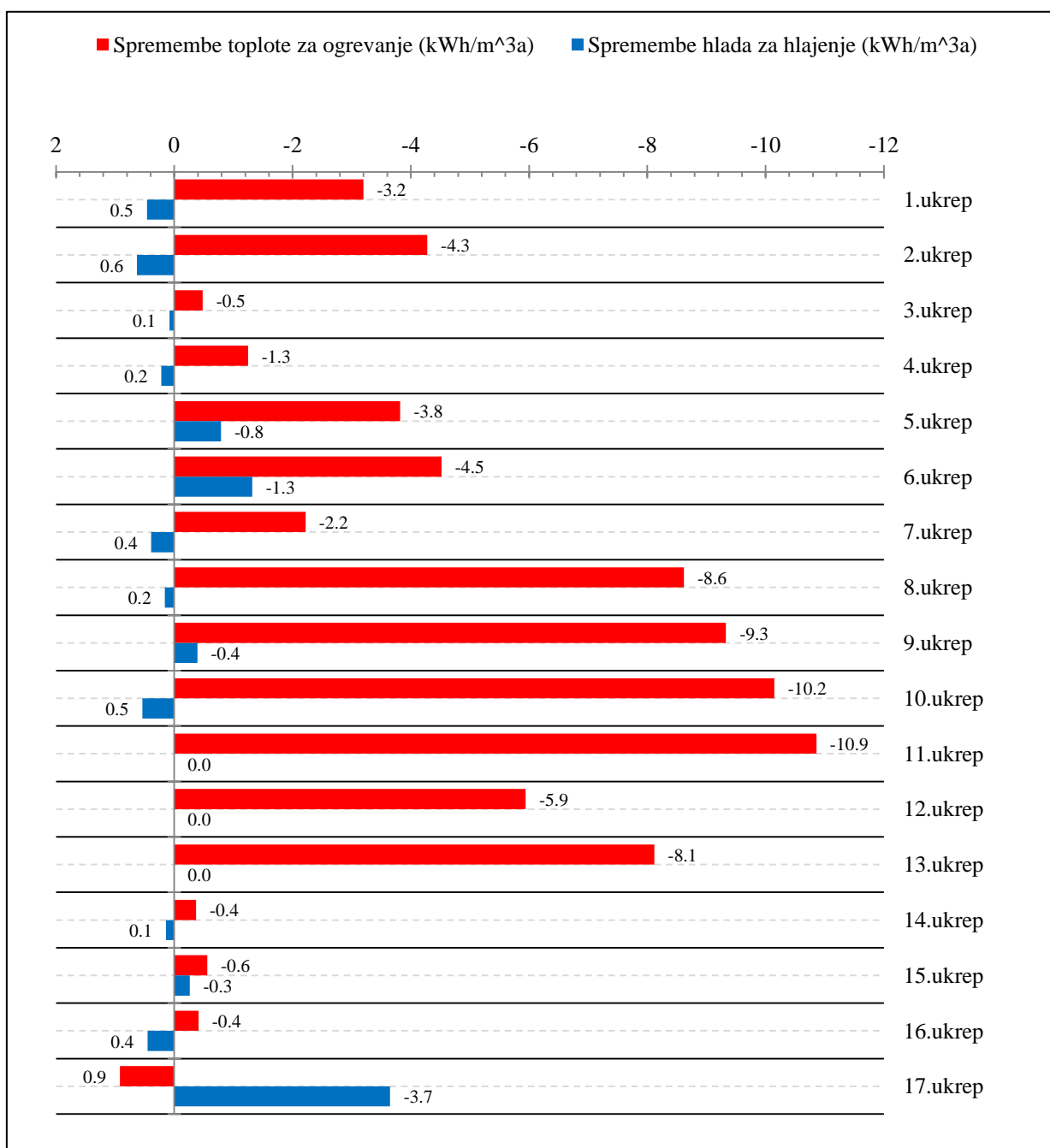
Preglednica 72: Pregled učinkov posameznih ukrepov na potrebno toploto in hlad, glede na izhodiščno situacijo.

ukrep	Letna potrebna toplota za ogrevanje (kWh/m ² a)	Sprememba glede na izhodiščno situacijo (%)	Letni potrebni hlad za hlajenje (kWh/m ² a)	Sprememba glede na izhodiščno situacijo (%)
izhodiščna situacija	24,73	0	4,65	0
1.ukrep: Povečana toplotna izolacija fasade (15 cm polistirena)	21,53	-12,9	5,11	9,9
2.ukrep: Dodatno povečana toplotna izolacija fasade (30 cm polistiren)	20,45	-17,3	5,28	13,5
3.ukrep: Povečana toplotna izolacija strehe (20 cm kamene volne)	24,25	-1,9	4,73	1,7
4.ukrep: Dodatno povečana toplotna izolacija strehe (40 cm kamene volne)	23,48	-5,0	4,87	4,7
5.ukrep: Namestitev oken U = 1,1	20,91	-15,4	3,86	-17,0
6.ukrep: Namestitev oken U = 0,7	20,21	-18,3	3,33	-28,4
7.ukrep: Optimizacija prezračevanja (»naravno«)	22,51	-9,0	5,04	8,4
8.ukrep: Hibridno zračenje + okna 1,1	16,11	-34,9	4,81	3,4
9.ukrep: Hibridno zračenje + okna 0,7	15,40	-37,7	4,26	-8,4
10.ukrep: Mehansko zračenje + rekuperacija + okna 1,1	14,58	-41,0	5,19	11,6
11.ukrep: Mehansko zračenje + rekuperacija + okna 0,7	13,87	-43,9	4,65	0
12.ukrep: Optimizacija ogrevanja v podobdobjih neuporabe	18,79	-24,0	4,65	0
13.ukrep: Optimizacija ogrevanja v podobdobjih neuporabe in uporabe	16,61	-32,8	4,65	0
14.ukrep: Toplotno izolacija tal	24,36	-1,5	4,79	3,0
15.ukrep: Zazidava oken telovadnice	24,17	-2,3	4,39	-5,6
16.ukrep: Neupoštevanje senčenja okolice šole	24,32	-1,7	5,10	9,7
17.ukrep: Uporaba zunanjih senčil	25,65	3,7	1,00	-78,5
18.ukrep: Namestitev fotonapetostnih panelov	/	/	/	/

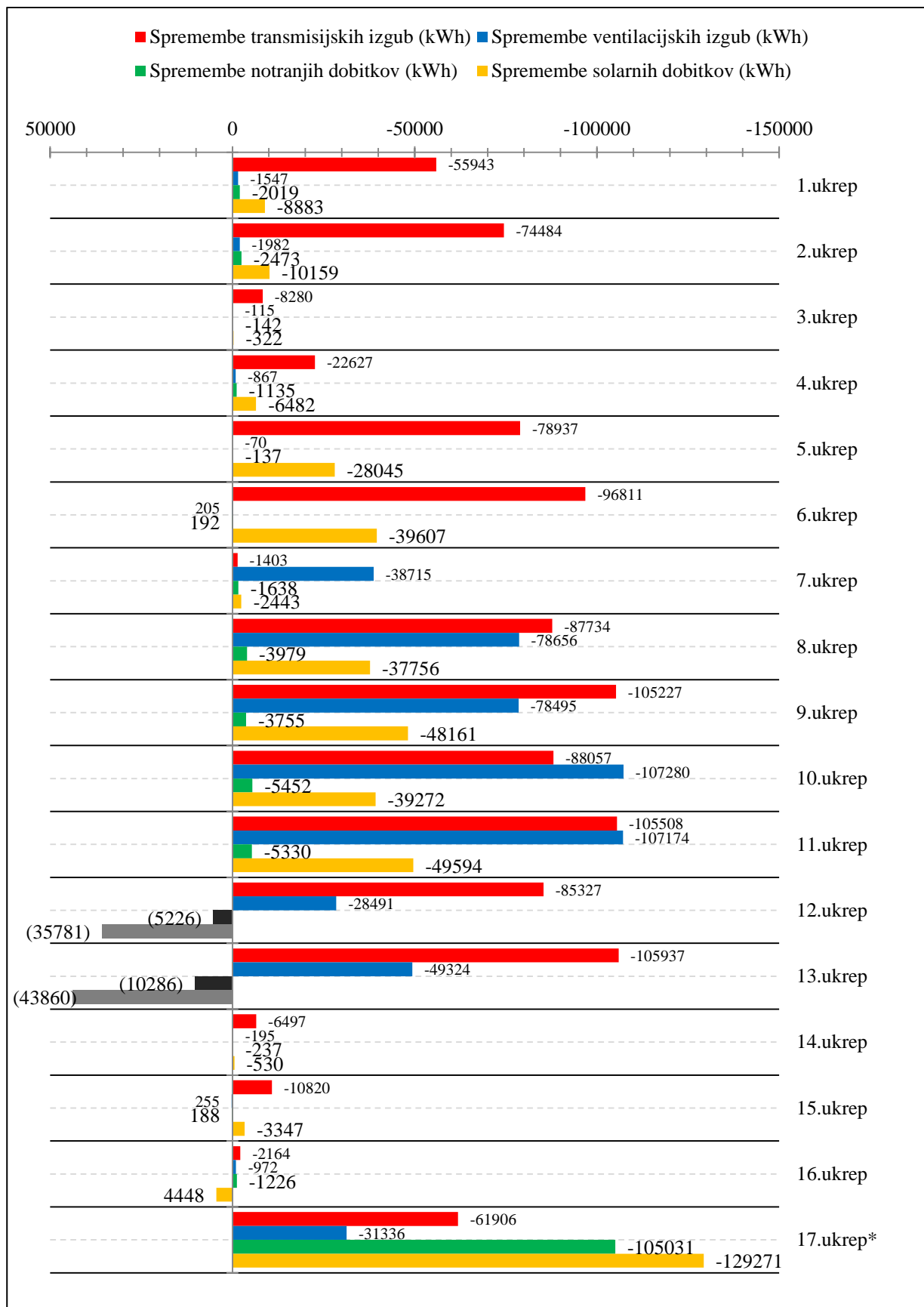
Preglednica 73: Pregled učinkov posameznih ukrepov na izgube in dobitke, glede na izhodiščno situacijo za sezono ogrevanja (* hlajenja).

Ukrep	Sprememba transmisijskih izgub (%)	Sprememba ventilacijskih izgub (%)	Sprememba notranjih dobitkov (%)	Sprememba solarnih dobitkov (%)
1.ukrep: Povečana toplotna izolacija fasade (15 cm polistirena)	-17,4	-0,8	-2,6	-7,0
2.ukrep: Dodatno povečana toplotna izolacija fasade (30 cm polistiren)	-23,2	-1,0	-3,2	-8,0
3.ukrep: Povečana toplotna izolacija strehe (20 cm kamene volne)	-2,6	0	-0,2	-0,2
4.ukrep: Dodatno povečana toplotna izolacija strehe (40 cm kamene volne)	-7,0	-0,4	-1,5	-5,1
5.ukrep: Namestitev oken U = 1,1	-24,6	0	-0,2	-22,2
6.ukrep: Namestitev oken U = 0,7	-30,2	0,1	0,2	-31,3
7.ukrep: Optimizacija prezračevanja (»naravno«)	-0,4	-19,0	-2,1	-1,9
8.ukrep: Hibridno zračenje + okna 1,1	-27,3	-38,5	-5,2	-29,8
9.ukrep: Hibridno zračenje + okna 0,7	-32,8	-38,5	-4,9	-38,0
10.ukrep: Mehansko zračenje + rekuperacija + okna 1,1	-27,4	-52,6	-7,1	-31,0
11.ukrep: Mehansko zračenje + rekuperacija + okna 0,7	-32,9	-52,5	-7,0	-39,2
12.ukrep: Optimizacija ogrevanja v podobdobjih neuporabe	-26,6	-14,0	(6,8)	(28,3)
13.ukrep: Optimizacija ogrevanja v podobdobjih neuporabe in uporabe	-33,0	-24,2	(13,5)	(34,6)
14.ukrep: Toplotna izolacija tal	-2,0	0	-0,3	-0,4
15.ukrep: Zazidava oken telovadnice	-3,4	0,1	0,2	-2,6
16.ukrep: Neupoštevanje senčenja okolice šole	-0,7	-0,5	-1,6	3,5
17.ukrep: Uporaba zunanjih senčil	*-53,3	*-61,0	*-43,5	*-75,8
18.ukrep: Namestitev fotonapetostnih panelov	/	/	/	/

Procentualni pregled učinkov ukrepov nam omogoča dobro primerjavo ukrepov med seboj, vendar pa iz tako predstavljenih rezultatov težko ocenimo učinkovitost ukrepa v smislu dejanskega zmanjšanja potrebne po energije, saj ti niso predstavljene v kWh/m³a ali kWh ampak v %. Zato sem podatke iz preglednic 72 in 73 predstavil še v obliki grafikonov 36 in 37, kjer lahko razberemo učinkovitost v spremembi kWh/m³a ali kWh in tako lažje primerjamo spremembe izgub in dobitkov. Grafikon 36 tako predstavlja spremembe potrebne toplote in hlada v kWh/m³a, grafikon 37 pa spremembe izgub in dobitkov v kWh. Tudi v grafikonu 37 so spremembe solarnih in notranjih dobitkov 12. in 13. sivo obarvane, saj so vrednosti nerealne in jih zato ne bom upošteval v primerjavi ukrepov.



Grafikon 36: Predstavitev ukrepov glede na spremembe potrebne toplote in hlada v kWh/m³a.



Grafikon 37: Predstavitev ukrepov glede na spremembe izgub in dobitkov v kWh za obdobje ogrevanja (17. ukrep* prikazuje spremembe v obdobju hlajenja).

6.20 KOMENTAR UČINKOV UKREPOV

Iz grafikona 36 lahko hitro ugotovimo, da sta glede prihranka letne potrebne toplote za ogrevanje najbolj učinkovita 10. in 11. ukrep, kjer sem hkrati upošteval boljše okna ($U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ in $U_w = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$) ter mehanski sistem prezračevanja z rekuperacijo odpadne toplote. V obeh ukrepih sem dejansko obravnaval dva ukrepa v enem, saj zaradi narave ukrepa ni mogoče obravnavati samo mehanskega sistema prezračevanja z rekuperacijo, brez da bi pri tem upoštevali tudi boljše zatesnjenost stavbe zaradi boljših oken. Kljub temu pa ugotovimo, da v obeh ukrepih prevladuje učinek upoštevanega sistema prezračevanja z rekuperacijo nad učinkom boljših oken. Če namreč od 10. in 11. ukrepa odštejemo prihranek letne toplote 5. in 6. ukrepa (ukrepa upoštevatata samo učinke boljših oken) ugotovimo, da je prihranek letne toplote zaradi prezračevanja z rekuperacijo še vedno največji v primerjavi z ostalimi ukrepi. Veliki prihranki zaradi upoštevanja sistema prezračevanja z rekuperacijo, so me precej presenetili. Sam sem namreč pričakoval, da bodo najbolj učinkoviti ukrepi glede izboljšanja toplotne izolativnosti stavbnega ovoja (streha, fasada, tla in okna). Po ustreznem premisleku pa postanejo ti rezultati bolj smiselni, saj povzroči slabo tesnjenje oken in zračenje skozi odprta ali priprta okna, zamenjavo notranjega zraka z zunanjim v velikosti 0,5/h - 1,1/h. Takšna količina zamenjanega zraka pa predstavlja velike toplotne izgube. Ob tem je še potrebno poudariti, da so upoštewane količine izmenjanega zraka z okolico, optimistično nizko zastavljene.

Učinek ukrepa prezračevanja z rekuperacijo odpadne toplote je večinoma odvisen od volumna objekta in podane vrednosti urne zamenjave zraka, kar pomeni da nanj količina oken le malo vpliva. To pomeni, da bi bili rezultati zelo podobni, če bi obravnavali stavbo z drugačno obliko vendar istim volumnom. V nasprotju s tem pa je ukrep zamenjave oken z boljšimi, kjer na učinek ukrepa najbolj vpliva površina in orientacija oken. Večja kot je površina okenskih odprtih, večji je učinek ukrepa. Enako velja tudi za vse ostale ukrepe, ki izboljšujejo toplotno izolativnost stavbnega ovoja (1., 2., 3., 4., 5., 6. in 14. ukrep). Učinki teh ukrepov na konstrukcijskih sklopih, ki tvorijo stavbni ovoj so:

- prihranek letne toplote zaradi izboljšane toplotne izolativnosti fasade znaša 12,9 - 17,3 %
- prihranek letne toplote zaradi izboljšane toplotne izolativnosti strehe znaša 1,9 - 5,0 %
- prihranek letne toplote zaradi boljših oken znaša 15,4 - 18,3 % ;
- prihranek letne toplote zaradi izboljšane toplotne izolativnosti tal znaša 1,5 %

Če izračunam učinek izboljšane toplotne izolacije celotnega stavbnega ovoja, znaša prihranek 31,7 – 42,1 % v primerjavi z izhodiščno situacijo. Ker so vsi štiri deli zunanega ovoja med seboj neodvisni glede toplotne izolativnosti, pridemo do zanimive ugotovitve, da lahko učinke ukrepov kar linearno seštevamo. Na prvi pogled, brez poglobljenega razmisleka, ta ugotovitev marsikomu uide. Tukaj lahko še omenim, da sta fasada in streha že v izhodišču imela nekaj toplotne izolacije, zato so prihranki letne toplote ustrezno nižji.

Do izraza prideta tudi ukrepa glede optimizacije temperature ogrevanja v vseh podobdobjih uporabe (12. in 13. ukrep). Optimiziranje temperature ogrevanja prinese 24,0 – 32,8 % prihranka letne potrebne toplote proti izhodiščni situaciji. Zaradi nepredvidljivosti uporabnikov ter dejstva, da je šola javna stavba kjer se mnogokrat izvajajo tudi nekatere dodatne dejavnosti (razna poletna izobraževanja, uporaba prostorov kot volišče, uporaba prostorov ob naravni nesreči ,), je modeliranje teh ukrepov zelo težavno. Močno je namreč prisoten vpliv uporabnikov in bi zato pri primerjavi izmerjenih in izračunanih učinkov teh ukrepov lahko prišlo do velikega odstopanja. Rezultate 12. in 13. ukrepa je zato potrebno jemati z rezervo. Njun učinek pa vsekakor ni zanemarljiv in bi marsikoga utegnil presenetiti. Potrebno je tudi izpostaviti, da ta dva ukrepa v veliki meri vplivata tudi na učinkovitost ukrepov glede režimov prezračevanja.

Na letni potrebni hlad za hlajenje najbolj vpliva 17. ukrep, kjer sem preizkušal učinke pomičnih senčil. Vsi ostali ukrepi pa bistveno ne pripomorejo k prihranku hladu, nekateri ukrepi potrebo po hladu celo malenkost povečajo. V okviru diplomske naloge sem se bolj osredotočil na ukrepe, katerih cilj je zmanjšati letno potrebno toploto za ogrevanje, ne pa letnega hladu. Šola je namreč v poletnem času večinoma nezasedena.

V zgornjih preglednicah in grafikonih nisem omenil 18. ukrepa, kjer sem obravnaval izkoriščanje sončne energije za proizvodnjo elektrike s fotonapetostni moduli. Vzrok je v temu, da proizvedeno elektriko ni mogoče kategorizirati znotraj prikazanih količin v predstavljenih preglednicah in grafikonih.

7 KOMBINACIJE UKREPOV

Kot sem že uvodoma napisal, sem oblikoval dve kombinaciji ukrepov. Prva kombinacija vsebuje ukrepe, kateri se najpogosteje izvajajo ob energetske učinkoviti sanaciji. Izbor teh ukrepov je bil narejen ob upoštevanju učinkovitosti glede na ceno izvedbe. Za drugo kombinacijo ukrepov pa sem upošteval kar vse ukrepe, ki prinašajo energetske prihranke v končni energetski bilanci. Pri tem se nisem oziral na ceno izvedbe ukrepa, saj je tokrat bil cilj doseči najnižjo porabo, oziroma izpolniti zahtevo EPBD-r o skoraj nič energijski stavbi.

7.1 1A. KOMBINACIJA UKREPOV

Najpogosteje se ob energetske učinkoviti sanaciji stavbe izboljšuje samo toplotno izolativnost ovoja stavbe. Manj pogosto se posega tudi v spremembo prezračevalnega režima in optimizacije režima ogrevanja. Sam sem v prvo kombinacijo ukrepov vključil 1., 3. in 5. ukrep, kateri izboljšujejo toplotno izolativnost stavbnega ovoja in 8., 12. in 13. ukrep, ki izboljšujejo prezračevalni režim in optimizirajo režim ogrevanja. Dodatno sem upošteval tudi 17. ukrep namestitve zunanjih pomičnih senčil, zato bodo rezultati izračuna energetske bilance predstavljeni tudi za obdobje hlajenja. Izbrani ukrepi so takšni, da prinesejo kar največ prihrankov glede na ceno izvedbe, hkrati pa še zadovoljujejo zahteve Tehnične smernice TSG4.

7.1.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 1A. KOMBINACIJO UKREPOV

Preglednica 74: Energetska bilanca za 1A. KOMBINACIJO UKREPOV

Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	134343	105155
	kWh/m ² a	41,29	32,81
	kWh/m ³ a	8,45	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	31422	
	kWh/m ² a	9,80	
	kWh/m ³ a	1,98	
Koeficient specifičnih transmisij toplinskih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,31	0,44

Preglednica 75: Izgube in dobitki za 1A. KOMBINACIJO UKREPOV v obdobju ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	55411	29765	28701	113877	54,0
Ventilacijske izgube	42441	28213	24491	95145	46,0
Skupne izgube	97852	57978	16231	209022	100
Notranji dobitki	39924	23588	2676	80267	47,3
Solarni dobitki	53842	9807	7421	89522	52,7
Skupni dobitki	93766	33395	10097	169790	100

Preglednica 76: Izgube in dobitki za 1A. KOMBINACIJO UKREPOV v obdobju hlajenja.

Izgube in dobitki za sezono hlajenja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	50922	6226	13245	70393	61,0
Ventilacijske izgube	34163	5786	5047	44996	39,0
Skupne izgube	85085	12012	18292	115389	100
Notranji dobitki	31367	5886	4838	42091	50,1
Solarni dobitki	31813	1945	8076	41834	49,9
Skupni dobitki	63180	7832	12913	83925	100

7.1.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 1A. KOMBINACIJO UKREPOV

1A. kombinacija ukrepov prinese 65,8 % (258777 kWh) prihranka letne toplote za ogrevanje in 57,5 % (42478 kWh) prihranka letnega hladu za hlajenje proti izhodiščni situaciji. Kljub temu da so prihranki veliki pa ugotovimo, da je letna potrebna toplota za ogrevanje glede na zahteve PURES2010, še vedno prevelika. Omejitev največje potrebne toplote za ogrevanj, ki jo postavlja PURES2010 je 105155 kWh. Ob tem je potrebno izpostaviti, da sem upošteval mejne vrednosti učinkovite rabe energije, ki veljajo za prehodno obdobje do 31.12.2014 (21.člen PURES2010-a). Namreč s 1.1.2015 so začele veljati strožje zahteve, katere omejujejo potrebno toploto na največ 60665 kWh, kar je še 42,3 % manj.

Primerjava izgub in dobitkov iz preglednic 75 in 76 z izgubami in dobitki izhodiščne situacije nam razkrije, da ima 1. kombinacija ukrepov največji vpliv na zmanjšanje transmisijskih izgub (sezona ogrevanja). Te so manjše za 64,5 % (207103 kWh). Ventilacijske izgube so manjše za 53,4 % (108890 kWh) (sezona ogrevanja). Žal pa so se zmanjšali tudi solarni dobitki, ki so za sezono ogrevanja dobrodošli. Ti so sedaj manjši za 29,3 % (37049 kWh). V sezoni hlajenja pa je situacija obratna, saj nam glavni prihranek hladu predstavljajo manjši nezaželeni solarni dobitki. Ti so manjši za celih 66,4 % (82851 kWh). Poleg njih prinesejo prihranek hladu tudi manjše transmisijske izgube, ki so sedaj manjše za 39,4 % (45828 kWh).

7.2 1B. KOMBINACIJA UKREPOV (izvedba z rekuperacijo odpadne toplote iz prezračevanja)

S to kombinacijo ukrepov želim izpostaviti učinke prezračevanja z rekuperacijo odpadne toplote (10. in 11. ukrep). V večini energetskih prenov se namreč izvede samo izboljšanje toplotne izolativnosti stavbnega ovoja, sistem prezračevanja pa se zanemari. Izračunal sem energetske bilanco za enako kombinacijo ukrepov kot je bila predhodna 1A, vendar tokrat z izvedbo rekuperacije odpadne toplote namesto hibridnega prezračevanja (10. ukrep namesto 8. ukrepa).

7.2.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 1B. KOMBINACIJO UKREPOV

Preglednica 77: Energetska bilanca za 1B. KOMBINACIJO UKREPOV

Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	113508	105155
	kWh/m ² a	35,42	32,81
	kWh/m ³ a	7,14	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	38484	
	kWh/m ² a	12,00	
	kWh/m ³ a	2,42	
Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,31	0,44

Preglednica 78: Izgube in dobitki za 1B. KOMBINACIJO UKREPOV v obdobju ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	55110	29759	28689	113558	51,8
Ventilacijske izgube	30995	20680	18400	70074	48,2
Skupne izgube	86105	50439	47089	183632	100
Notranji dobitki	38716	23403	16611	78730	47,0
Solarni dobitki	53109	9767	25793	88669	53,0
Skupni dobitki	91826	33170	42403	167400	100

Preglednica 79: Izgube in dobitki za 1B. KOMBINACIJO UKREPOV v obdobju hlajenja.

Izgube in dobitki za sezono hlajenja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	58048	8502	17047	83597	67,5
Ventilacijske izgube	28219	5820	6202	40241	32,5
Skupne izgube	86267	14322	23249	123838	100
Notranji dobitki	35403	7795	7133	50332	52,1
Solarni dobitki	34349	2349	9496	46194	47,9
Skupni dobitki	69752	10144	16629	96526	100

7.2.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 1B. KOMBINACIJO UKREPOV

Kot sem že uvodoma napovedal, želim tokrat izpostaviti učinek režima prezračevanja z rekuperacijo odpadne toplote na energetske bilanco šole. Letna potrebna toplota za ogrevanje se je v primerjavi z izhodiščno situacijo zmanjšala za 71,1 % (279612 kWh), kar je še dodatnih 5,3 % manj kot v predhodni 1A. kombinaciji ukrepov. Iz preglednice 78 vidimo, da gredo dodatni prihranki na račun manjših ventilacijskih izgub, ki so tokrat manjše za 65,7 % (133961 kWh). Ti dodatni prihranki so posledica rekuperacije odpadne toplote iz prezračevanja. Poleg ugodnih učinkov na energetske bilanco, je prednost tega ukrepa v izpolnjevanju zahteve glede potrebne urne količine zamenjanega zraka na uporabnika iz Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Torej hkrati zagotovimo zadostno prezračevanje in zmanjšamo porabo letne potrebne toplote za ogrevanje.

V sezoni hlajenja (preglednica 79) je situacija podobna kot pri predhodni kombinaciji ukrepov, torej največji prihranki nastopijo zaradi manjših solarnih dobitkov in manjših transmisijskih izgub. V primerjavi z predhodno kombinacijo ukrepov pa ta kombinacija malenkost poveča transmisijske izgube in notranje ter solarne dobitke. Vzrok se spet skriva v metodi izračuna energetske bilance programa TOST.

7.3 2. KOMBINACIJA UKREPOV

V 2. kombinaciji ukrepov s katero želim izpolniti zahtevo EPBD-r [5] o skoraj nič energijski stavbi, sem upošteval izboljšane variante ukrepov iz 1A. kombinacije ter sistem prezračevanja z rekuperacijo odpadne toplote. Torej združil sem 2. in 4. ukrep, kjer je upoštevana 1-krat debelejša toplotna izolacija kot je minimalna zahtevana po TSG4. Troslojna okna iz 6. ukrepa sem združil z sistemom prezračevanja z rekuperacijo iz 10. ali 11. ukrepa. Optimiziral sem režim ogrevanja v podobodobnih zasedenosti in neuporabe iz 12. in 13. ukrepa. Dodal sem toplotno izolacijo tal iz 14. ukrepa. Zazidal sem okna na senčni severni strani telovadnice iz 15. ukrepa in namestil senčila od vključno aprila do oktobra iz 17. ukrepa.

7.3.1 Rezultati izračuna energetske bilance za 2. KOMBINACIJO UKREPOV

Preglednica 80: Energetska bilanca za 2. KOMBINACIJO UKREPOV.

Energetska bilanca:		izračunana	največja dovoljena
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH}	kWh	84363	105155
	kWh/m ² a	26,32	32,81
	kWh/m ³ a	5,31	6,61
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC}	kWh	45072	
	kWh/m ² a	14,06	
	kWh/m ³ a	2,83	
Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H'_T (W/m ² K)		0,20	0,44

Preglednica 81: Izgube in dobitki za 2. KOMBINACIJO UKREPOV v obdobju ogrevanja.

Izgube in dobitki za sezono ogrevanja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	37984	19875	17596	75455	52,1
Ventilacijske izgube	30378	20609	18389	69375	47,9
Skupne izgube	68361	40484	35985	144831	100
Notranji dobitki	37586	23274	16471	77331	52,1
Solarni dobitki	45733	8396	17039	71169	47,9
Skupni dobitki	83319	31671	33510	148500	100

Preglednica 82: Izgube in dobitki za 2. KOMBINACIJO UKREPOV v obdobju hlajenja.

Izgube in dobitki za sezono hlajenja	1.Ogrevana cona: Predmetna stopnja (kWh)	2.Ogrevana cona: Razredna stopnja (kWh)	3.Ogrevana cona: Telovadnica (kWh)	Celotna šola (kWh)	Razmerja izgub in dobitkov (%)
Transmisijske izgube	58312	10702	6857	75871	56,9
Ventilacijske izgube	42274	8780	6342	57398	43,1
Skupne izgube	100586	19482	13198	133266	100
Notranji dobitki	43200	11276	6181	60657	56,5
Solarni dobitki	40097	3816	2758	46671	43,5
Skupni dobitki	83298	15092	8939	107328	100

7.3.2 Komentar rezultatov izračuna energetske bilance za 2. KOMBINACIJO UKREPOV

Ta kombinacija ukrepov nam prinese 78,5 % (308757 kWh) prihranka letne potrebne toplote za ogrevanje in 39,0 % (28828 kWh) prihranka letnega hladu za hlajenje proti izhodiščni situaciji. Takšna poraba toplote sedaj zadovolji omejitev iz PURES2010-a za predhodno obdobje do 1.1.2015, saj je manjša kot 105155 kWh. Iz preglednic 81 in 82 lahko opazimo, da prinese 2. kombinacija ukrepov v sezoni ogrevanja 76,5 % (245526 kWh) manj transmisijskih izgub, 66,0 % (134660 kWh) manj ventilacijskih izgub in žal tudi 43,8 % (55402 kWh) manj solarnih dobitkov proti izhodiščni situaciji. V sezoni hlajenja pa prinašajo bistvene prihranke 34,7 % (40350 kWh) manjše transmisijske izgube in 62,6 % (78014 kWh) manjši solarni dobitki proti izhodiščni situaciji. Spet me presenečajo 74,4 %

(25878 kWh) večji notranji dobitki, za katere je potrebno vzrok iskati v metodi izračuna programa TOST.

7.4 PREGLED UČINKOV KOMBINACIJ UKREPOV

Enako kot sem to storil že s posameznimi ukrepi energetske prenove, bom sedaj ponovil še za kombinacije ukrepov energetske prenove. Torej, v preglednicah in grafikonih bom zaradi boljše preglednosti predstavil učinke posameznih kombinacij ukrepov na energetske bilanco šole. Tudi tokrat velja, da so z **zeleno** obarvane vrednosti negativne spremembe v absolutnem smislu, z **rdečo** pa pozitivne spremembe v absolutnem smislu.

Preglednica 83: Pregled učinkov kombinacij ukrepov na potrebno toploto in hlad, glede na izhodiščno situacijo.

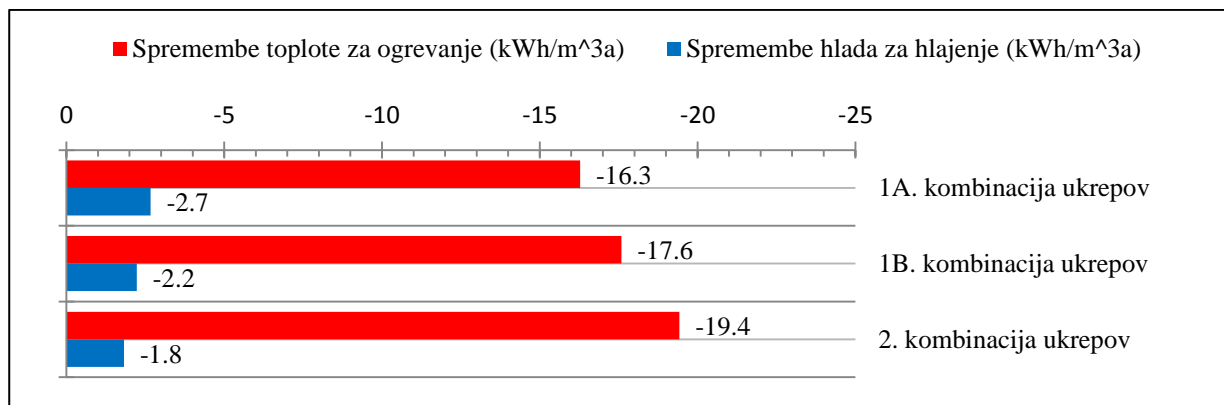
Kombinacija ukrepov	Letna potrebna toplota za ogrevanje (kWh/m ² a)	Sprememba glede na izhodiščno situacijo (%)	Letni potrebni hlad za hlajenje (kWh/m ² a)	Sprememba glede na izhodiščno situacijo (%)
izhodiščna situacija	24,73	0	4,65	0
1A. kombinacija ukrepov	8,45	-65,8	1,98	-57,5
1B. kombinacija ukrepov (izvedba z rekuperacijo odpadne toplote)	7,14	-71,1	2,42	-47,9
2. kombinacija ukrepov	5,31	-78,5	2,83	-39,0

Preglednica 84: Pregled učinkov posameznih ukrepov na izgube in dobitke, glede na izhodiščno situacijo za sezono ogrevanja.

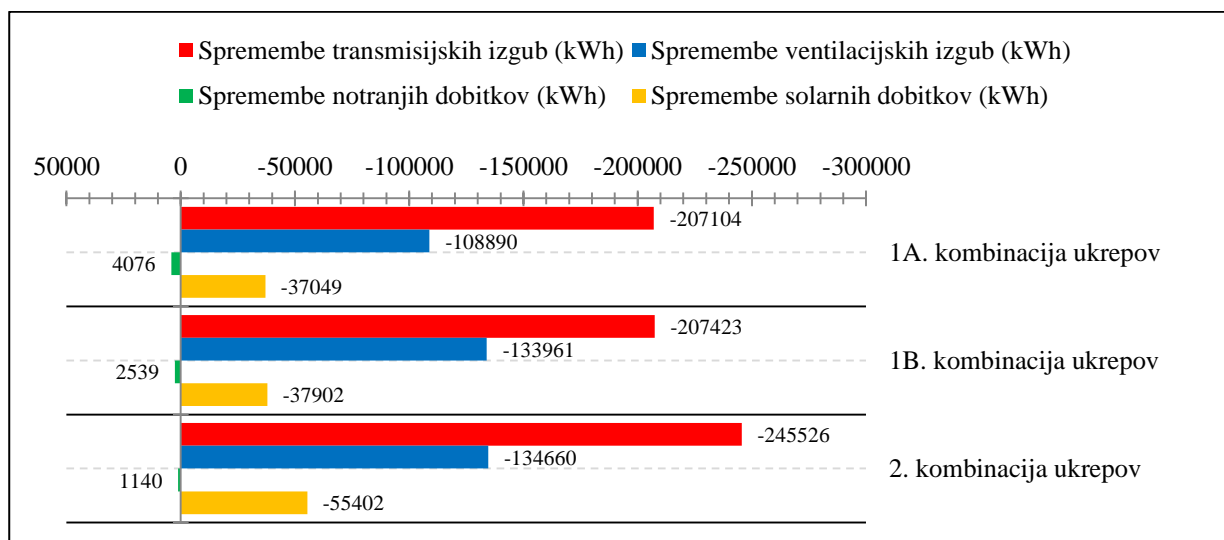
Kombinacija ukrepov	Sprememba transmisivskih izgub (%)	Sprememba ventilacijskih izgub (%)	Sprememba notranjih dobitkov (%)	Sprememba solarnih dobitkov (%)
1A. kombinacija ukrepov	-64,5	-53,4	5,3	-29,3
1B. kombinacija ukrepov (izvedba z rekuperacijo odpadne toplote)	-64,6	-65,7	3,3	-29,9
2. kombinacija ukrepov	-76,5	-66,0	1,5	-43,8

Preglednica 85: Pregled učinkov posameznih ukrepov na izgube in dobitke, glede na izhodiščno situacijo za sezono hlajenja.

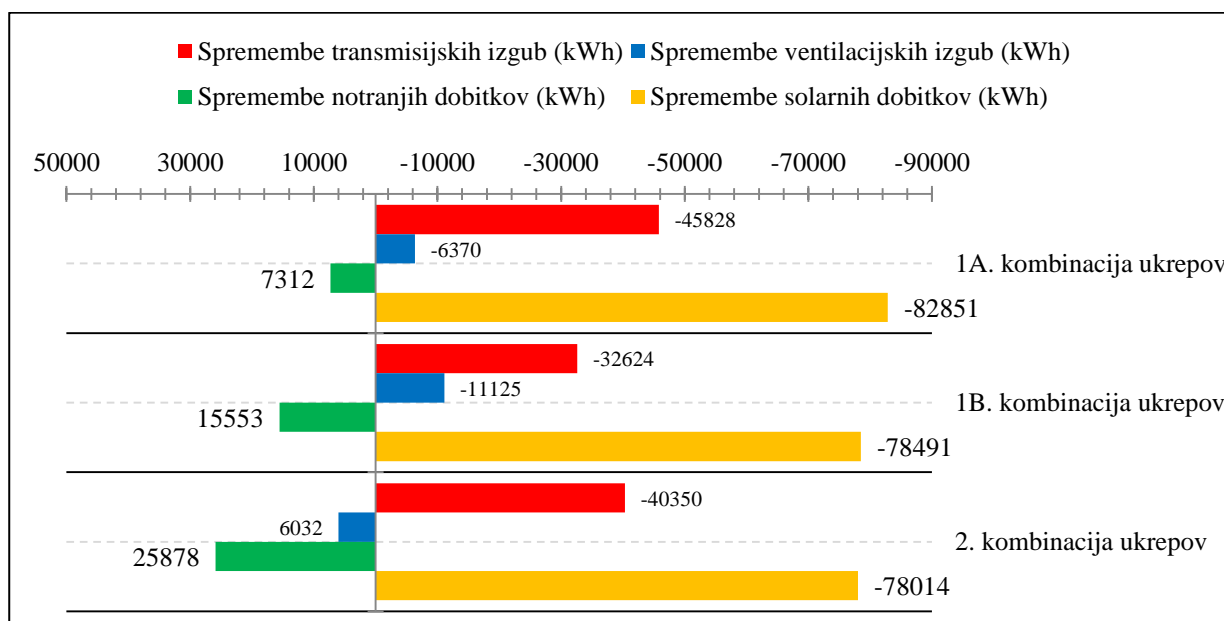
Kombinacija ukrepov	Sprememba transmisivskih izgub (%)	Sprememba ventilacijskih izgub (%)	Sprememba notranjih dobitkov (%)	Sprememba solarnih dobitkov (%)
1A. kombinacija ukrepov	-39,4	-12,4	21,0	-66,4
1B. kombinacija ukrepov (izvedba z rekuperacijo odpadne toplote)	-28,1	-21,7	44,7	-63,0
2. kombinacija ukrepov	-34,7	11,7	74,4	-62,6



Grafikon 38: Predstavitev kombinacij ukrepov glede na spremembe potrebne toplote in hlada v kWh/m³a.



Grafikon 39: Predstavitev kombinacij ukrepov glede na spremembe izgub in dobitkov v kWh za obdobje ogrevanja.



Grafikon 40: Predstavitev kombinacij ukrepov glede na spremembe izgub in dobitkov v kWh za obdobje hlajenja.

7.5 KOMENTAR UČINKOV KOMBINACIJ UKREPOV

Ko sem združil več ukrepov skupaj in tako oblikoval kombinacijo ukrepov, me je seveda najbolj zanimalo ali bom tako izpolnil zahtevo glede največje dovoljene letne potrebne toplote za ogrevanju po PURES2010. Kot je razvidno iz preglednice 80, sem to zahtevo izpolnil le v 2. kombinaciji ukrepov pa še to le za prehodno obdobje do 1.1.2015. Letna potrebna toplota za ogrevanje je pri tej kombinaciji ukrepov 5,31 kWh/m³a, kar je manj kot maksimalnih 6,61 kWh/m³a, ki jih za prehodno obdobje dovoljuje PURES2010. Iz tega lahko ugotovimo, da so zahteve PURES2010 v mojem primeru precej stroge. V primerjalni študiji maksimalne dovoljene energije za ogrevanje glede na lokacijo po PURES2010, avtorja Matjaža Skvarče [32] je bilo ugotovljeno, da PURES2010 favorizira gradnjo stavb z majhno površino stavbnega ovoja v območjih z visoko letno povprečno temperaturo. Hkrati PURES2010 spodbuja tudi gradnjo kompaktnih stavb, kar pomeni gradnjo stavb z visokim faktorjem oblike, kjer predstavlja faktor oblike f_o (m⁻¹) kvocient površine stavbnega ovoja (A) in volumna stavbe (V_e) (formula 2).

$$f_o = \frac{A}{V_e} \quad (2)$$

V mojem primeru, spada geografska lega Osnovne šole Prade med toplejše geografske lege (program TOST namreč upošteva letno povprečno temperaturo 13,5 °C). Oblikovni faktor šole pa je le 0,46. Torej skupno ti dve lastnosti šole precej zaostrijo zahteve PURES2010, kar se posledično pozna na nizki letni maksimalni dovoljeni toploti za ogrevanje.

Energetske bilance preverjenih kombinacij ukrepov se bistveno spremenijo, če upoštevamo elektriko ki bi jo proizvedla sončna elektrarna iz 18. ukrepa. Proizvedeno elektriko najlažje upoštevamo tako, da spremenimo energent za ogrevanje prostorov in sanitarne vode (v izhodiščni situaciji je to bilo kurilno olje) v elektriko (toplotna črpalka) (Slika 14). Električna toplotna črpalka bi namreč lahko kar na mestu proizvodnje porabila proizvedeno elektriko.

The screenshot shows the input interface for the TOST program, divided into three sections: Ogrevanje (Heating), Hlajenje (Cooling), and Topla voda (Hot water). Each section has a dropdown menu for 'Energent' (Energy source) set to 'Električna energija' (Electric energy). Below each dropdown is a box for 'Učinkovitost sistemov' (System efficiency) containing three input fields: 'Generacija' (Generation), 'Distribucija' (Distribution), and 'Emisija' (Emission).

Section	Energent	Generacija	Distribucija	Emisija
Ogrevanje	Električna energija	2,00	0,80	0,78
Hlajenje	Električna energija	2,50	0,80	0,77
Topla voda	Električna energija	2,00	0,80	0,78

Slika 14: Vhodni podatki programa TOST o karakteristikah ogrevanja, hlajenja in priprave tople vode.

Kot sem že navedel v komentarju učinkov 18. ukrepa, lahko program TOST izračuna končno letno energijo šole, ob tem pa upošteva parametre, ki mu jih podamo v zgoraj prikazanem okencu (Slika 14). Od izračunane končne letne energije nato odštejemo količino proizvedene energije s sončno elektrarno (104000 kWh iz 18. ukrepa) in tako dobimo novo končno letno energijo. Ker sem za vsak ukrep in kombinacijo ukrepov prvotno upošteval drugačne parametre (energente), sem zato končne letne energije ponovno izračunal. Nove vrednosti končne letne energije za vsako kombinacijo posebej in izhodiščno situacijo (**zeleno** obarvane vrednosti), zaradi drugega upoštevanega energenta za ogrevanje in pripravo tople vode (električna energija namesto kurilnega olja), so prikazane v preglednici 86.

Preglednica 86: Pregled skupne letne končne energije ob upoštevanju proizvedene energije iz sončne elektrarne.

Kombinacija ukrepov	Končna letna energija (kWh)	Proizvedena energija (kWh)	Nova končna letna energija (kWh)	Sprememba končne letne energije glede na izhodiščno situacijo (%)
izhodiščna situacija	491347	104000	387347	21,2
1A. kombinacija ukrepov	276843	104000	172843	37,6
1B. kombinacija ukrepov (izvedba z rekuperacijo odpadne toplote)	265762	104000	161762	39,1
2. kombinacija ukrepov	248317	104000	144317	41,9

Kot sem že omenil v uvodu, je meja za skoraj nič energijsko stavbo v Sloveniji še v fazi usklajevanja, zato sem si skoraj nič energijsko stavbo interpretiral kot stavbo, ki poleg pogojev iz 7. člena PURES2010, izpolnjuje tudi pogoj iz prvega odstavka 16. člena PURES2010. Ta pravi, da je energetska učinkovitost stavbe dosežena, če je 25 % končne letne energije za delovanje sistemov v stavbi zagotovljeno z uporabo obnovljivih virov energije v stavbi. Iz zadnjega stolpca preglednice 86, lahko ugotovim, da ta pogoj sedaj zadovoljimo v vseh treh kombinacijah ukrepov (sprememba je večja kot 25 %). Glede zadovoljitve pogojev iz 7. člena PURES2010 pa kot že rečeno ustreza le zadnja kombinacija ukrepov, vendar le za prehodno obdobje.

8 ZAKLJUČEK

Pogosto lahko zasledimo izjave ali ugotovitve nekoga ki se loti energetske prenove, da je najbolj učinkovit ukrep prenove, izboljšana toplotna izolacija fasade. Ta ukrep je tudi najbolj pogosto propagiran ukrep za zmanjšanje potrebne toplote za ogrevanje v stavbi. Mnogi si izboljšano toplotno izolativnost stavbe predstavljajo na isti način kot nošenje debelejših oblek. Po principu »bolje si oblečen bolj ti je toplo« si predstavljajo, da je debelejša toplotna izolacija fasade tudi edini smiselni ukrep energetske prenove. A vendar, ob podrobnejši analizi konkretnega primera ugotovimo, da to ni vedno res. Vsaka stavba ima namreč svoje karakteristike kot je površina zunanjih sten, površina odprtin, površina strehe, konstrukcijska zasnova, sestava konstrukcijskih sklopov, lokacija, podnebje, namen in seveda uporabnike. Vse te karakteristike naredijo vsak objekt edinstven, to pa vpliva tudi na različno učinkovitost ukrepov pri energetski prenovi. Navadno ugotovimo, da ne moremo kar na pamet oceniti kateri ukrep nam bo prinesel večje prihranke in kateri manjše. Do tega zaključka sem prišel tudi v svoji diplomski nalogi, v kateri sem podrobneje analiziral izvedbo energetske prenove Osnovne šole Prade. Po uvodni analizi izhodiščne situacije, sem se lotil preverjanja učinkovitosti nekaterih bolj ali manj pogostih ukrepov energetske prenove. Dokaj hitro sem ugotovil, da ima šola velik potencial za realizacijo pomembnih prihrankov toplote za ogrevanje in prihrankov hladu za hlajenje. To pomeni, da je izvedba energetske sanacije upravičena.

Uvodoma sem pričakoval, da bodo ukrepi glede izboljšane toplotne izolativnosti ovoja šole najbolj učinkovit ukrepi energetske prenove, vendar se je kasneje izkazalo drugače. Prvotno nameščena toplotna izolacija je namreč že precej doprinesla k nižji potrebi po letni toploti in hladu, zato učinkovitost teh ukrepov ni prišla najbolj do izraza. Seveda to še ne pomeni da so ukrepi glede izboljšane toplotne izolativnosti ovoja stavbe bili nesmiselni, saj njihov doprinos k zmanjšanju letne potrebne toplote in hladu vsekakor ni zanemarljiv. Med preverjenimi ukrepi za izboljšanje toplotne izolativnosti ovoja stavbe, bom izpostavil ukrep zamenjave starih oken z novimi okni s troslojno zasteklitvijo. Namreč, na moje presenečenje ta ukrep ni prinesel pričakovanih prihrankov glede na dvoslojna okna. Ob nižji toplotni prehodnosti troslojnih oken so se zmanjšali tudi, za sezono ogrevanja dobrodošli solarni dobitki, saj imajo obravnavana troslojna okna nižjo prepustnost sončnega sevanja. Posledično se zato poveča tudi potreba po umetni osvetlitvi prostorov. Prednosti, ki nam jih prinašajo troslojna okna proti dvoslojnim, se zato izničijo in zato ta ukrep ni več upravičen. Presenetila me je Na prvi pogled me je presenetila tudi velika količina prihranjene toplote za ogrevanje pri ukrepih kjer sem ob spremenjenem režimu prezračevanja upošteval sistem rekuperacije toplote iz odpadnega zraka. Ta ukrep je tudi najbolj učinkovit glede prihranjene toplote za ogrevanje v primerjavi z izhodiščno situacijo. Po ustreznem premisleku postane takšna ugotovitev logična, saj ima šola zelo velike toplotne izgube zaradi zamenjave velike količine zraka, ki ga je potrebno po vsaki zamenjavi ponovno segreti. Po učinkovitosti sta se precej izkazala tudi ukrepa, kjer sem optimiziral temperaturo ogrevanja. Ta dva ukrepa sta hkrati precej enostavna in učinkovita, a vseeno mnogokrat prezrta.

Kombinacije preverjenih ukrepov so prinesle ogromne prihranke toplote v primerjavi z izhodiščno situacijo, vendar v prvih dveh kombinacijah ti niso zadostili zahtevam po PURES2010. V tretji kombinaciji ukrepov pa so bili zadostni le za prehodno obdobje do 1.1.2015. Pričakoval sem, da bo njihov 65,8 -78,5 % prihranek letne potrebne toplote za ogrevanje več kot zadosten. Ob poglobitvi v zahteve in omejitve PURES2010 ugotovimo, da je največja dovoljena toplota za ogrevanje v veliki meri odvisna od povprečne letne zunanje temperature in oblikovnega faktorja. To pomeni, da je v mojem primeru zaradi primorske lege in stavbe z nizkim oblikovnim faktorjem (0,46), največja letna dovoljena toplota za ogrevane po PURES2010, precej nizka. Pravilnik je v mojem primeru zelo strog, celo prestrog glede na dosežene prihranke. Mislim, da bi zato bilo potrebno spremeniti način določanja največje dovoljene toplote za ogrevanje, saj nas sedaj PURES2010 prisili v gradnjo kompaktnih stavb z visokim faktorjem oblike. Zanimivo je tudi, da PURES2010 trenutno še ne določa definicije skoraj nič energijske stavbe. Zato sem glede na svojo interpretacijo skoraj nič energijske stavbe ugotovil, da lahko govorimo o skoraj nič energijski stavbi le v zadnji kombinaciji ukrepov, vendar le za prehodno obdobje do 1.1.2015. V končni fazi lahko za energetske prenove Osnovne šole Prade zaključimo, da bi bilo kljub doseženim prihrankom in uporabi obnovljivih virov, prag energetske učinkovitosti po PURES2010 zelo težko doseči.

VIRI

- [1] Uradna spletna stran Evropske unije: Kyoto protocol on climate changes.
http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_en.htm
(Pridobljeno 2. 4. 2014.)
- [2] Wikipedija - prosta enciklopedija: Globalno segrevanje.
http://sl.wikipedia.org/wiki/Globalno_segrevanje (Pridobljeno 2. 4. 2014.)
- [3] Povprečne letne in mesečne temperature zraka po meteoroloških postajah, Slovenija, letno.
Statistični urad Republike Slovenije.
http://pxweb.stat.si/pxweb/Database/Okolje/01_ozemlje_podnebje/10_01561_podnebni_kazalniki/10_01561_podnebni_kazalniki.asp (Pridobljeno 2. 4. 2014.)
- [4] Direktiva 2002/91/ES Evropskega parlamenta iz sveta z dne 16. december 2002 o energetsaki učinkovitosti stavb - EPBD. Uradni list Evropske unije, 4.1.2003: 7 str.
- [5] Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta iz sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (prenovitev) - EPBD-r. Uradni list Evropske unije, 18.6.2010: 23 str.
- [6] Cheong-Hoon, B., Sang-Hoon, P. 2011. Changes in renovation policies in the era of sustainability. *Energy and Buildings* 47 (2012): str. 485-496.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811006438> (Pridobljeno 11. 2. 2014.)
- [7] Voh Boštich, A., 2011. Energetska sanacija javnih stavb delno učinkovita. Delo.
<http://www.delo.si/gospodarstvo/makromonitor/energetska-sanacija-javnih-stavb-delno-ucinkovita.html> (Pridobljeno 11. 2. 2014.)
- [8] Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, 2010.
- [9] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010). Uradni list Republike Slovenije, št. 52/2010, Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor 2010.
- [10] Krainer, A., Predan, R. 2012. Računalniški program TEDI, Uporabniški priročnik. Ljubljana, UL FGG, KSKE: 47 str.
- [11] Krainer, A., Predan, R. 2012. Računalniški program TOST, Uporabniški priročnik. Ljubljana, UL FGG, KSKE: 45 str.

- [12] Kovačič, T. 2013. Učinki nepovratnih finančnih spodbud (subvencij) Eko sklada za naložbe URE in OVE v stavbah. (15.Dnevi energetikov, Portorož, 16. April 2013). Eko Sklad j.s.: 34 str.
<http://beta.finance-on.net/files/2013-11-29/3-4-Kovacic-Tadeja.pdf> (Pridobljeno 11. 2. 2014.)
- [13] Cakamanus, I. 2005. Renovation of existing office buildings in regard to energy economy: An example from Ancara, Turkey. Building and Environment 42 (2007): str. 1348-1357.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132305004762> (Pridobljeno 11. 2. 2014.)
- [14] Agis, M. Papadopoulos, Theodoros, G. Theodosiu, Kostas, D. Karatzas, 2001. Feasibility of energy saving renovation measures in urban buildings The impact of energy prices and the acceptable pay back time criterion. Energy and Buildings 34 (2002): str. 455-466.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778801001293> (Pridobljeno 11. 2. 2014.)
- [15] Kovčič, S., Praznik, M. Sanacija večstanovanjskih stavb v pasivnem in nizkoenergijskem standardu. Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.: 13 str.
<http://www.gi-zrmk.si/ZRMKinstitut/knjiznica.aspx> (Pridobljeno 11. 2. 2014.)
- [16] Valenčič, M., Malovrh, M., Glušič, A., Šijanec Zavrl, M., Repič, K. 2011. Priročnik za povečanje energijske učinkovitosti stavb. Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.: 64 str.
http://www.enforce-eeen.eu/wp/slo/wp-content/uploads/2012/03/Priro%C4%8Dnik-za-pove%C4%8Danje-energ_u%C4%8Dink_stavb_web.pdf (Pridobljeno 11. 2. 2014.)
- [17] Zakon o graditvi objektov (ZGO-1). Uradni list Republike Slovenije, št.110/2002, Ljubljana, 10.12.2002.
- [18] Energetski zakon (EZ-1). Uradni list Republike Slovenije, št. 17/2014, Ljubljana, 7.3.2014.
- [19] Zakon o varstvu okolja (ZVO-1). Uradni list Republike Slovenije, št. 41/2004, Ljubljana, 8.4.2004.
- [20] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Uradni list Republike Slovenije, št. 42/2002, Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, 15.4.2002.
- [21] Ahčin, M. 2013. Primerjava merjene in računске porabe toplote za ogrevanje v večstanovanjskih stavbah na Jesenicah. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Ahčin M.)

- [22] Šestan, P. 2012. Primerjava delovanja programskih orodij za izračun porabe energije v stavbah. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Šestan P.)
- [23] Košir, M., Krainer, A., Šestan, P., Kristl, Ž. 2013. Študija delovanja programske opreme za izračun porabe energije v stavbah. Gradbeni vestnik, ISSN 0017-2774, mar. 2013, letn. 62, str. 61-71.
- [24] Yezioro, A., Gutman, T., Shading II,
<http://ayezioro.technion.ac.il/Downloads/ShadingII/index.php>, (pridobljeno 10. 4. 2014.)
- [25] Trimble, SketchUp,
<http://www.sketchup.com/> (Pridobljeno 10. 4. 2014.)
- [26] Energetsko učinkovita sanacija osnovne šole Elvira Vatovec Prade (investicijski program). 2012. Vrtojba, Goriška lokalna energetska agencija: 66 str.
<http://www.koper.si/index.php?page=seje&item=2002355> (Pridobljeno 11. 2. 2014.)
- [27] SIST EN ISO 13790:2008. Energijske lastnosti stavb – Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov (ISO 13790:2008).
- [28] Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja OŠ Elvire Vatovec Prade. 1986. Koper, Investbiro Koper Capodistria.
- [29] Jürgen, Schnieders. 2009. Passive Houses in South West Europe.
http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/PH_MedClim.html (Pridobljeno 8. 7. 2014.)
- [30] Gantar, A. 2014. Izboljšava bivalnih in delovnih pogojev v večnamenski stavbi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Gantar, A.).
- [31] Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. 2014. European commission JRC.
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (Pridobljeno 27. 7. 2014.)
- [32] Skvarča, M. 2013. Primerjalna študija maksimalne dovoljene energije za ogrevanje glede na lokacijo po PURES 2010. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Skvarča, M.).
- [33] Satelitski posnetek OŠ Prade. Google maps 2014.
<https://www.google.si/maps>, (Pridobljeno 10. 4. 2014.)

- [34] Slika zračne reže na okvirju okna. Jelovica okna d.o.o.
<http://www.jelovica-okna.si/lesena-okna-/jelovision-wood-7800/leseno-okno-varcno-jelovision.html>, (Pridobljeno 10. 8. 2014.)