

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:

Osterman, M., 2015. Analiza toplotne bilance pred in po energetske obnovi OŠ Fara. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kunič, R., somentorica Dovjak, M.): 40 str.

Datum arhiviranja: 06-11-2015

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:

Osterman, M., 2015. Analiza toplotne bilance pred in po energetske obnovi OŠ Fara. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kunič, R., co-supervisor Dovjak, M.): 40 pp.

Archiving Date: 06-11-2015

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

VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
DIFERENCIALNI 3.L PO VŠ-
VSS

Kandidat:

MIRAN OSTERMAN

**ANALIZA TOPLOTNE BILANCE PRED IN PO
ENERGETSKI OBNOVI OŠ FARA**

Diplomska naloga št.: 518/SOG

**ANALYSIS OF ENERGY BALANCE BEFORE AND
AFTER ENERGY RENOVATION ELEMENTARY
SCHOOL FARA**

Graduation thesis No.: 518/SOG

Mentor:

doc. dr. Roman Kunič

Somentorica:

doc. dr. Mateja Dovjak

Ljubljana, 30. 10. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Miran Osterman izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom “**Analiza toplotne bilance pred in po energetske obnovi OŠ Fara**”.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Kočevje, oktober 2015

Miran Osterman

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	620.91:697(497.4Fara)(043.2)
Avtor:	Miran Osterman
Mentor:	doc. dr. Roman Kunič
Somentorica:	doc. dr. Mateja Dovjak
Naslov:	Analiza toplotne bilance pred in po energetske obnovi OŠ Fara
Tip dokumenta:	diplomska naloga visokošolskega študija
Obseg in oprema:	40 str., 19 pregl., 8 sl.,
Ključne besede:	PURES 2010, energetska učinkovitost stavb, potrebna letna toplota za ogrevanje, stroškovna učinkovitost energetskega ukrepa, obnovljivi viri energije, energetska obnova

Izvleček

Evropska energetska politika med drugim spodbuja energetske učinkovitost in varčevanje z energijo ter razvijanje novih in obnovljivih virov energije. Energetska obnova OŠ Fara je bila izvedena v skladu s cilji in s pomočjo finančnih instrumentov te energetske politike. V diplomski nalogi sem obravnaval objekt OŠ Fara, na katerem se je leta 2013 izvedla obnova fasade s povečanjem debeline toplotne izolacije, zamenjava oken ter rekonstrukcija kotlovnice z namestitvijo kotla na lesne sekance. Analiza je zajela primerjavo izračunanih rezultatov toplotne bilance z računalniškimi programi TEDI, TOST in Gradbena fizika URSA4 pred in po obnovi objekta. Izvedel se tudi primerjavo računskih rezultatov z dejanskimi podatki o porabi energije v letu 2014. Na koncu pa sem analiziral investicijo tudi iz stroškovnega vidika ter podal predloge stroškovno učinkovitih ukrepov s področja učinkovite rabe energije na obravnavanem objektu v bodočnosti. Rezultati analiz so pokazali, da se računski rezultati dobljeni z različnimi računalniškimi programi medsebojno razlikujejo zelo malo. Izračunani rezultati toplotne bilance in podatki o dejanski porabi toplotne energije v edinem razpoložljivem letu 2014, pa se medseboj razlikujejo znatneje. Zaključki diplomske naloge kažejo, da so učinki energetske obnove objekta upravičili pričakovanja, saj bodo prihranki pri porabi toplotne energije potrebne za delovanje stavbe znatni, finančni učinki pa zaradi manjše porabe energije in tudi zaradi cenejšega energenta zelo veliki.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

- UDC:** 620.91:697(497.4Fara)(043.2)
- Author:** Miran Osterman
- Supervisor:** Assist. Prof. Roman Kunič, Ph.D.
- Co-supervisor:** Assist. Prof. Mateja Dovjak, Ph.D.
- Title:** Analysis of energy balance before and after energy renovation
Elementary School Fara
- Document type:** Graduation Thesis –Higher professional studies
- Scope and tools:** 40 p., 19 tab., 8 fig.
- Keywords:** PURES 2010, energy efficiency of buildings, annual heating requirements, cost efficiency of energy measures, renewable energy sources, energy renovation

Abstract:

Promoting energy efficiency and saving as well as development of new and renewable energy sources are among the main goals of the EU energy policy. The energy renovation of Elementary School Fara in 2013 was done according to the principles and with the financial aid of this policy. The renovation comprised thickening of the heat insulation, replacing windows and a reconstruction of the boiler room including installation of a biomass boiler running on wood chips and pellets.

The analysis includes a comparison of energy efficiency calculations done with computer software programmes TEDI, TOST and Gradbena Fizika URSA 4 before and after the renovation as well as a comparison of the computer calculations with the actual data on the use of energy in 2014. The thesis also includes cost analysis of the investment and recommendations on cost-efficient actions that should be taken to further improve energy efficiency of the building in the future.

The results have shown that the computer data calculated with the use of different software programmes vary very little while the difference between the computer data and the actual data is more substantial. The analysis shows that the financial effects of the higher energy efficiency as well as the cheaper energy source will be quite large, which means that the energy renovation of the building has been successful.

Kazalo vsebine

STRAN ZA POPRAVKE	I
IZJAVA O AVTORSTVU	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
1 UVOD	1
1.1 Opredelitev problema.....	1
1.2 Namen in cilji	4
1.3 Metoda dela.....	5
2 ZAKONODAJNI OKVIRJI	6
2.1 Predpisi s področja toplotne zaščite stavb	6
2.2 Značilnosti pravilnika PURES-2: 2010	9
2.2.1 Zahteve PURES-2: 2010	10
2.2.2 Performančne zahteve PURES-a	11
3 OPIS OBRAVNAVANEGA OBJEKTA	13
3.1 Splošno	13
3.2 Konstrukcija.....	14
3.3 Stanje pred izvedbo obnove toplotnega ovoja.....	14
3.3.1 Konstrukcijski sklopi toplotnega ovoja.....	14
3.3.2 Ogrevalni sistem.....	16
3.4 Izvedeni ukrepi energetske sanacije	17
3.4.1 Toplotni ovoj stavbe.....	17
3.4.2 Ogrevalni sistem.....	17
4 IZRAČUN	19
4.1 Metodologija izračuna	20
4.1.1 Ovoj stavbe.....	20
4.1.2 Toplotne cone.....	20
4.1.3 Bruto kondicionirana prostornina stavbe (V_e).....	21
4.1.4 Neto ogrevana prostornina stavbe (V)	21
4.1.5 Kondicionirana površina stavbe (A_k)	21
4.1.6 Notranji viri.....	22
4.1.6 Izračun prezračevalnih izgub	22
4.2 Splošni podatki	22

4.3	Klimatski podatki.....	24
4.4	Seznam konstrukcij.....	25
4.4.1	Pred izvedbo obnove toplotnega ovoja	25
4.4.2	Po izvedbi obnove toplotnega ovoja.....	29
5	ANALIZA STANJA PRED IN PO OBNOVI TOPLOTNEGA OVOJA.....	30
5.1	Energetska bilanca stavbe	30
5.2	Metoda dela	30
5.3	Rezultati energetske bilance stavbe pred izvedbo sanacije toplotnega ovoja.....	31
5.4	Energetska bilanca stavbe po izvedbi sanacije toplotnega ovoja	32
5.5	Interpretacija rezultatov izračuna	32
5.6	Dejanska poraba toplotne energije v letu 2014	33
6	POTENCIAL MOREBITNIH BODOČIH UKREPOV S PODROČJA UČINKOVITE RABE ENERGIJE.....	36
6.1	Ukrepi za izboljšanje kakovosti ovoja stavbe.....	36
6.2	Ukrepi za izboljšanje energetske učinkovitosti sistemov klimatizacije, ogrevanja in hlajenja	37
6.3	Ukrepi za povečanje izrabe obnovljivih virov energije	38
6.4	Organizacijski ukrepi.....	38
7	ZAKLJUČEK	40
VIRI	41

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Lokacija, vrsta in namen stavbe	22
Preglednica 2: Geometrijske karakteristike stavbe	22
Preglednica 3: Cona 1 – šolski prostori, vrtec, CŠOD	23
Preglednica 4: Cona 2 – telovadnica	23
Preglednica 5: Klimatski podatki	24
Preglednica 6: Povprečne mesečne temperature (°C) in vlažnosti zraka (%)	24
Preglednica 7: Globalno sončno sevanje (Wh/m ²)	24
Preglednica 8: Sestava konstrukcijskega sklopa zunanje stene pred sanacijo	25
Preglednica 9: Sestava konstrukcijskega sklopa notranjih predelnih sten pred sanacijo	25
Preglednica 10: Sestava konstrukcijskega sklopa notranjih predelnih sten pred sanacijo ...	26
Preglednica 11: Sestava konstrukcijskega sklopa medetažne konstrukcije pred sanacijo ...	26
Preglednica 12: Sestava konstrukcijskega sklopa tla na terenu v šolskih prostorih pred sanacijo	27
Preglednica 13: Sestava konstrukcijskega sklopa tla na terenu v telovadnici pred sanacijo.	27
Preglednica 14: Sestava konstrukcijskega sklopa streha pred sanacijo	28
Preglednica 15: Sestava konstrukcijskega sklopa zunanja stena po obnovi	29
Preglednica 16: Rezultati energetske bilance pred sanacijo	31
Preglednica 17: Rezultati energetske bilance po obnovi	32
Preglednica 18: Nabava lesnih sekancev v letu 2014	33
Preglednica 19: Odčitki proizvedene toplotne energije za ogrevanje v letu 2014	35

Kazalo slik

Slika 1: Orto foto posnetek objekta [46]	13
Slika 2: Toplotni mostovi, termovizija [9]	15
Slika 3: Toplotni mostovi, termovizija [9]	15
Slika 4: Toplotni mostovi, termovizija [9]	16
Slika 5: Kotel na lesne sekance Fröling TX 250 [45]	18
Slika 6: Kalorimeter za merjenje proizvedene toplotne energije [45]	19
Slika 7: Tloris objekta, razdelitev po conah	24
Slika 9: Napis, ki je nameščen na vhodna vrata OŠ Fara in kotlovnico ter na kotlu	33

1 UVOD

1.1 Opredelitev problema

Evropske stavbe za svoje delovanje porabijo 40 % končne energije Evropske Unije in spustijo v zrak 35 % emisij CO₂, tako predstavljajo ogromen potencial za zmanjšanje rabe energije [44]. Evropska Unija in posledično tudi Slovenija sta sprejeli več dokumentov s področja učinkovite rabe energije, ki so posledica usmeritve Evropske Unije na podnebno - energetskega področju. Že v Lizbonski pogodbi [14] o delovanju EU, ki je na vrhu hierarhije evropske zakonodaje, je v 176.a členu določeno, da so cilji energetske politike Unije zagotoviti delovanje energetskega trga, zagotoviti zanesljivost oskrbe z energijo v Uniji, spodbujati energetske učinkovitost in varčevanje z energijo ter razvijanje novih in obnovljivih virov energije in spodbujati medsebojno povezovanje energetske omrežij.

Podnebna energetska politika Evropske Unije 20-20-20 do 2020 ima za strateške cilje zanesljivo oskrbo z energijo ob sprejemljivi ceni le-te, omogočanje kakovostnega bivalnega standarda, zmanjšanje negativnih okoljskih vplivov fosilnih goriv in zmanjšanje energetske odvisnosti od uvoza. Energija 2020 [1] je načrt, ki strateško usmerja k 20 % večji energetske učinkovitosti do leta 2020, zmanjšanju emisije CO₂ za 20 % glede na leto 1990 in za 20 % povečuje delež obnovljivih virov energije v energetske bilanci. Direktiva o energetske učinkovitosti stavb EPBD [29] določa cilje, ki jih morajo uresničiti države članice in se nanaša na novogradnje in celovite preнове obstoječih stavb, pri čemer ne velja za industrijske stavbe in druge stavbe s kratkim časom zasedenosti. Prenovljena direktiva EPBD 2010/31/EU [29] določa zahteve v zvezi s:

- splošnim okvirjem metodologije za izračun celovite energetske učinkovitosti stavb,
- uporabo minimalnih zahtev glede energetske učinkovitosti novih stavb,
- oblikovanjem nacionalnih načrtov za povečanje števila skoraj nič-energijskih stavb,
- energetske certifikiranjem stavb,
- rednimi pregledi ogrevalnih sistemov in klimatskih sistemov v stavbah,
- neodvisnimi sistemi nadzora nad energetske izkaznicami in poročili o rednih pregledih ogrevalnih in klimatskih sistemov.

Bistvo prenovljene direktive je, da Evropska Unija želi poleg skoraj nič-energijskih novogradenj tudi povečati obseg energetske preнове starejših stavb.

Pričakovani rezultati prenovljene direktive EPBD [29] so 5 % do 6 % zmanjšanje končne energije EU.

Direktiva EPBD se je v naš pravni red implementirala preko:

- Zakona o graditvi objektov ZGO-1, ki opredeljuje metodologijo računa in minimalne zahteve za novogradnje in večje prenove, s podzakonskimi akti:
 - Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES-2:2010 [7],
 - Tehnične smernice TSG-1-004 Učinkovita raba energije [16]
 - Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [42].
- Energetski zakon EZ-1, ki predpisuje energetske izkaznice, študije izvedljivosti za alternativne energetske sisteme (AES) in redne preglede klimatizacijskih sistemov, s podzakonskimi akti:
 - Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb [47],
 - Pravilnik o metodologiji izdelave in vsebini študije izvedljivosti alternativnih sistemov za oskrbo stavb z energijo. [48]
- Zakon o varstvu okolja [49], ki predpisuje redni pregled kotlov, ki govori o načinu in pogojih izvajanja obvezne državne gospodarske javne službe izvajanja meritev, pregledovanja in čiščenja kurilnih naprav, dimnih vodov in zračnikov zaradi varstva okolja in učinkovite rabe energije, varstva človekovega zdravja in varstva pred požarom.

Na podlagi Direktive 2006/32/ES [31] je morala vsaka država članica sprejeti Nacionalni akcijski načrt za učinkovito rabo energije (AN-URE) [2] ter na podlagi Direktive 2009/28/ES [32] o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov pa je morala vsaka država članica sprejeti Nacionalni akcijski načrt za obnovljive vire energije (AN-OVE) [33] in iz teh dokumentov izhaja, da naj bi lastniki in upravniki nepremičnin ter najemniki za prenovo in druge ukrepe za zmanjšanje porabe energije prejeli tudi finančne spodbude. Spodbujanje učinkovite rabe energije v javnem sektorju ima velike učinke pri spodbujanju ponudbe energetskih storitev in pri krepitvi povpraševanja po energetsko učinkovitih proizvodih in storitvah, saj ima ravnanje javnega sektorja velik demonstracijski učinek na druge porabnike. Skladno z Direktivo 2006/32/ES [31] morajo države članice javnemu sektorju posvetiti posebno pozornost. Vrednost Operativnega programa razvoja okoljske in prometne infrastrukture v programskem obdobju 2007-2013 [4] je znašala 1,577 milijarde evrov. Omenjeni program je bil podlaga za črpanje zlasti iz Kohezijskega sklada (KS) in v manjši

meri, in sicer v višini 165 milijonov evrov, iz Evropskega sklada za regionalni razvoj (ESRR). Iz teh virov se je napajal tudi javni razpis, ki ga je Ministrstvo za infrastrukturo in okolje RS leta 2012 objavilo, za financiranje energetskih sanacij na stavbah v lasti lokalnih skupnosti. Javni razpis za sofinanciranje operacij za energetske sanacije stavb v lasti lokalnih skupnosti (LS1) [5] je ponujal sredstva namenjena energetske obnovi stavb v lasti lokalnih skupnosti. Gre za projekte energetske učinkovite sanacije obstoječih stavb ali nadomestne gradnje v primeru nesmotrnosti investicije v obnovo obstoječih stavb (toplotna izolacija fasad, toplotna izolacija podstrešja, zamenjava oken in podobno). Poleg tega so lahko lokalne skupnosti v okviru omenjenega razpisa prijavile tudi projekte za sanacijo sistemov in uporabo ali vgradnjo sodobnih tehnologij za ogrevanje, prezračevanje in hlajenje stavb ter okolju prijaznih decentraliziranih sistemov za energetske oskrbo s poudarkom na kogeneraciji in rabi obnovljivih virov energije, kot tudi za samodejno spremljanje porabe (t.i. energetske monitoring), ki omogoča spremljanje kazalnikov projekta. Na podlagi podatkov Računskega sodišča in Ministrstva za finance o zadolženosti slovenskih občin se je Ministrstvo za infrastrukturo in prostor odločilo, da bo lokalnim skupnostim omogočilo najvišjo možno stopnjo sofinanciranja, to je 100 % upravičenih stroškov. Lokalne skupnosti, ki so pridobile sredstva iz tega javnega razpisa, so tako financirale zgolj davek na dodano vrednost (DDV), ki ne spada med upravičene stroške. Iz tega razloga se je Ministrstvo za infrastrukturo in prostor odločilo spremeniti Pravilnik o spodbujanju učinkovite rabe energije in rabe obnovljivih virov energije [6]. Investicije v učinkovito rabo energije imajo pomemben multiplikativen učinek, ker gre za delovno intenzivne investicije. To pomeni, da je na enoto investicije ustvarjenih največ delovnih mest in da gre za investicije z največjo domačo komponento (npr. gradbeni materiali, stavbno pohištvo). Zaradi rezultatov investicij bo tudi zmanjšana potreba po uvozu energentov, posredno pa se bodo zaradi tega kazali pozitivni učinki tudi pri doseganju ciljnega deleža rabe obnovljivih virov energije. Občina Kostel, ki ima v lasti več nepremičnin, se je prijavila na omenjeni razpis s projektom energetske sanacije objekta Osnovne šole Fara, v katerem se poleg osnovne šole nahajata vrtec in center šolskih in občolskih dejavnosti.

Objekt je bil v tej obliki, kot ga poznamo danes, zgrajen leta 1995, v skladu s takratnimi predpisi in standardi. Za ogrevanje, ki računsko traja letno 235 dni, so v povprečju porabili približno 276 MWh toplote. Tako je znašala specifična poraba energije za ogrevanje cca. 106 kWh/m² uporabne površine letno, brez priprave tople sanitarne vode. To pomeni, da objekt ni ustrezal zahtevam veljavnega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES-2: 2010 [7], ki je bistveno bolj strog, kot je to veljalo za takratne predpise, ko je bil objekt grajen. Zato je bila odločitev lastnika objekta, da pristopi k energetske obnovi razumljiva. Glavni razlog, da je lastnik pričel z aktivnostmi energetske obnove objekta, je bila

želja po znižanju visokih stroškov za ogrevanje in tudi uspeh na javnem razpisu za sofinanciranje.

Izdelan je bil Investicijski program za energetske sanacije občinskih objektov [8], za objekt OŠ Fara je bil izveden energetski pregled in izdelano Končno poročilo [9], v katerem je opisano stanje objekta z energetskega vidika in v katerem so bili predstavljeni tudi smiselni sanacijski ukrepi za zmanjšanje porabe energije za delovanje stavbe. Izdelan je bil tudi projekt za izvedbo (PZI) energetske sanacije OŠ Fara [10], ki je predvidel izvedbo dodatne plasti toplotne izolacije na fasadi, zamenjavo vseh oken na objektu z energetsko učinkovitejšimi in izvedbo rekonstrukcije kotlovnice z montažo kotla na lesne sekance ter dozidavo zalogovnika za gorivo. Poleti 2013 je bil izveden javni razpis za izbiro izvajalca teh del, na katerem je bil kot najugodnejši ponudnik izbran izvajalec del. Dela na objektu so se pričela v začetku septembra in zaključila konec novembra 2013. Saniran objekt tako deluje že več kot eno leto in so že znani konkretni rezultati prihrankov energije, kot posledica izvedene energetske sanacije.

V energetske obnove objekta OŠ Fara so bila vložena sredstva v višini 348.898,08 Eur [45], večji del zneska je bil subvencioniran iz predhodno omenjenega javnega razpisa, zato je na mestu vprašanje ali imajo visoka javna finančna sredstva, ki se namenjujejo za investicije v projekte energetske sanacije, ustrezen in pričakovan učinek.

1.2 Namen in cilji

Z namenom, ugotoviti ali so rezultati izračunov gradbene fizike z različnimi računalniškimi programi primerljivi med seboj, ali so izračunane vrednosti toplotne bilance objekta primerljive s podatki o dejanski porabi energije za ogrevanje in pripravo tople vode in ali izvedeni ukrepi energetske sanacije na objektu OŠ Fara dosežajo pričakovane cilje, bom analiziral toplotno bilanco objekta pred in po obnovi toplotnega ovoja ter zamenjavi kurilne naprave, računsko rezultate analize pa bom tudi primerjal z izmerjenimi rezultati dejanske porabe energije za ogrevanje po izvedeni obnovi za obdobje enega leta delovanja. Te rezultate želim tudi smiselno ovrednotiti iz vidika stroškovne učinkovitosti ukrepov in tudi predvideti možne stroškovno učinkovite ukrepe za zmanjšanje porabe energije za ogrevanje v prihodnosti.

1.3 Metoda dela

Analizo stanja pred energetske obnovo obravnavanega objekta sem izvedel s pomočjo računalniških programov TOST [11] in TEDI [12], ter Gradbena fizika URSA 4 [13]. Računske rezultate toplotne bilance objekta izračunane z omenjenimi računalniškimi programi sem primerjal med seboj.

Analizo stanja po energetske obnovi stavbe sem izvedel na enak način. V prvem letu delovanja objekta po izvedeni energetske obnovi, imamo na voljo dejanske podatke porabe energenta in toplotne energije za ogrevanje in pripravo sanitarne tople vode, to je za leto 2014. Glede na to, da je bilo to leto razmeroma toplo, sem te podatke normiral na povprečne vremenske pogoje po metodi temperaturnega primankljaja - stopinjski dnevi.

Računalniški program TEDI je bil razvit na FGG, avtorja sta prof.dr. Aleš Krainer in Rudi Perdan, uporablja se za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne konstrukcijske sklope po PURES-2:2010 [7], SIST EN ISO 6946 [17], SIST EN ISO 10211-1 [18] in SIST 1025:2002 [19]. S programom TEDI, sem izračunal toplotne prehodnosti posameznih konstrukcijskih sklopov stavbe U ($W/(m^2K)$).

Izračunane vrednosti toplotnih prehodnosti s programom TEDI sem skupaj z drugimi potrebnimi podatki vnesel v program TOST, katerega avtorji so isti kot avtorji programa TEDI. Z računalniškim programom TOST sem izračunal energetske bilanco stavbe po PURES-2: 2010, upoštevajoč SIST EN ISO 13790 [15] in Tehnično smernico (TSG-1-004:2010) [16].

Računalniški program Gradbena fizika URSA 4 deluje v skladu z istimi predpisi in standardi kot TEDI in TOST, vendar je zasnovan tako, da preračuna tako toplotne karakteristike za posamezne konstrukcijske sklope, kot tudi energijsko bilanco z enim računalniškim programom hkrati. Izdelovalec programa je RAISA računalniški inženiring, Metod Saje s.p. v sodelovanju z URSA Slovenija d.o.o.[13].

2 ZAKONODAJNI OKVIRJI

2.1 Predpisi s področja toplotne zaščite stavb

Kot predpise na področju toplotne zaščite zgradb na območju Slovenije lahko smatramo že Stavbni red za vojvodino Kranjsko [20] iz leta 1875, saj je bila predpisana debelina zunanje stene iz polne opeke 45 cm, kar v ekvivalentu pomeni približno $U_{\max} < 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Tudi po letu 1945 je bila toplotna zaščita le posredno zajeta v priporočilih in pravilnikih s področja zidanih stavb in stanovanjske gradnje.

Prvi predpisi o toplotni zaščiti v gradbeništvo v Sloveniji so bilo izdani v letu 1970. To je bil Pravilnik o tehničnih ukrepih in pogojih za zaščito stavb [21]. Pravilnik je predpisoval največje dovoljene toplotne prehodnosti 'k' vrednost v $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, elementov ovoja zgradbe za posamezno klimatsko cono; I., II. ali III. v kateri se zgradba nahaja. V III. klimatski coni, kamor je spadala tudi Kočevska, je bila predpisana za zunanjo steno toplotna prehodnost $k=1,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Sedaj toplotno prehodnost označujemo z oznako U. Oznaka 'k' za toplotno prehodnost je še vedno v uporabi, sicer ne za toplotno prehodnost, temveč za toplotno prevodnost, v mnogih angleško govorečih deželah, predvsem v ZDA. Pri nas in v Evropi toplotno prevodnost označujemo z grško črko lambda (λ).

Leta 1980 je stopil v veljavo standard JUS.U.J5.600, Tehnični pogoji za projektiranje in graditev stavb [22]. Ta standard z obvezno uporabo je predstavljal velik napredek na področju zmanjševanja toplotnih izgub v stavbah. Predpisoval je dovoljene toplotne prehodnosti za posamezne elemente stavbe, toplotno stabilnost v poletnem obdobju in zahteve za izračun difuzijskega prehoda vodne pare skozi zunanje stene. Za III. klimatsko cono je veljala najvišja toplotna prehodnost skozi zunanjo steno $k=0,83 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, to je za cca. 30 % bolje kot leta 1970.

Metode računa toplotne prehodnosti, difuzije vodne pare in toplotne stabilnosti zunanjih gradbenih konstrukcij so predpisali, prav tako leta 1980 izdani standardi z obvezno uporabo, JUS.U.J5.510 [23], JUS.U.J5.520 [24], JUS.U.J5.530 [25], ki s tem zaokrožujejo predpise s področja toplote v zgradbah.

Stopnja toplotne zaščite zgradb, ki je izhajala iz zahtev omenjenih standardov, je bila manjša v primerjavi s takratnimi trendi drugod v svetu. Na področju Slovenije je zato standard JUS.U.J5.600 dopolnjeval še Pravilnik o racionalni rabi energije pri gretju in prezračevanju objektov ter pripravi tople vode [26], ki je predpisoval tudi specifične toplotne izgube zaradi prehoda toplote skozi obodne konstrukcije in prezračevanja v odvisnosti od razčlenjenosti

zgradbe. Zahteve tega slovenskega pravilnika so bile ob zadnji dopolnitvi standardov v letu 1987 tudi vključene v standard. Poleg tega je bil v letu 1987 bistveno spremenjen tudi standard JUS U.J5.510 [23], ki je predpisal metodo računanja toplotne prehodnosti 'k' z upoštevanjem linijskih toplotnih izgub zgradbe. Te spremembe, skupaj z dodatnimi kriteriji za specifične toplotne izgube, praktično pomenijo poostreitev predpisov, kljub temu, da so predpisane največje toplotne prehodnosti gradbenih konstrukcij ostale tudi po letu 1987 skoraj nespremenjene.

Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah (PTZURES) [27] je postavil temelje sodobni toplotni zaščiti.

Pravilnik PTZURES postavlja zahteve glede:

- dovoljene potrebne toplote za ogrevanje stavbe izražene v kWh/(m²a) za stanovanjske stavbe, oziroma kWh/(m³a) za nestanovanjske stavbe,
- povprečne toplotne prehodnosti celotnega ovoja stavbe (neprosojni del + okna),
- toplotnih prehodnosti posameznih elementov ovoja stavbe,
- stopnje izmenjave zraka in rekuperacije,
- zahteve za vgradnjo energetske učinkovitih oken z zasteklitvijo z $U < 1.4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$,
- predvideva računske olajšave za majhne stavbe do 50 m²,
- podaja olajšave za upoštevanje vpliva toplotnih mostov,
- predvideva zahteve glede vgradnje termostatskih ventilov,
- predvideva bonus za stavbe, ki imajo vgrajene solarne sisteme za pripravo tople vode,
- podaja zahteve glede difuzije vodne pare,
- zračne prepustnosti in vodotesnosti oken,
- senčenja zastekljenih površin,
- definira vsebino projektne dokumentacije na področju gradbene fizike,
- uvaja izkaz toplotnih karakteristik stavbe, ki je podlaga za energetske izkaznice stavbe,
- navaja vir klimatskih podatkov, klimatske podlage so za vsako katastrsko občino dostopne preko spletnih strani Ministrstva za okolje in prostor.

Pravilnik o učinkoviti rabi energije je bil pripravljen leta 2008 (PURES 2008), prenovljen pa že leta 2010 (PURES-2:2010) [7],

Ključnega pomena ob pripravi prenovljenega pravilnika PURES-2: 2010 so bile usmeritve Evropske Unije in Slovenije na podnebno energetskem področju. Te zahteve v zvezi z graditvijo novih stavb in večjo prenovo stavb so bile natančneje določene v direktivi EPBD [28], oziroma njeni prenovljeni različici – prenovljeni EPBD [29], ki je nastajala sočasno s PURES-2: 2010 [7]. Prenovljena EPBD [29] upošteva cilje "3 x 20 % do leta 2020" evropske podnebno okoljske politike, ki tudi pri stavbah zahteva znaten prispevek k 20 % zmanjšanju emisij CO₂, k 20 % povečanju energijske učinkovitosti (URE) in k 20 % deležu obnovljivih virov energije (OVE) v primarni energijski bilanci. Bistvo prenovljene direktive EPBD je, da želi povečati učinke prvotne direktive iz leta 2002. Evropska komisija je namreč ugotovila, da je potekal prenos direktive EPBD z zamudo, da direktiva žal ni zajela vseh stavb s potenciali, da primerjava med stavbami ni mogoča, da se je pojavila vrsta različnih računskih metod za določanje rabe energije in da minimalne zahteve niso bile vedno stroškovno učinkovite. V stavbah je torej treba zmanjšati rabo energije, zmanjšati izpuste CO₂, povečati energijsko učinkovitost in povečati rabo obnovljivih virov, s tem prenovljena direktiva EPBD tudi prispeva k izboljšanju zanesljivosti oskrbe z energijo, spodbuja tehnološki razvoj, ustvarja nova delovna mesta in spodbuja regionalni razvoj. Evropska komisija je na podlagi izkušenj iz počasnega prenosa direktive EPBD pripravila predlog za prenovljeno direktivo o energetski učinkovitosti stavb, ki je bil predstavljen javnosti novembra 2008, malo pred iztekom roka za prenos prvotne direktive. Besedilo prenovljene direktive je bilo dokončno usklajeno novembra 2009 in formalno sprejeto 19. maja 2010 kot Direktiva 2010/31/EU [29].

Bistvo prenovljene direktive EPBD [29] pa je, da želi povečati obseg energijske prenove starejših stavb, zato ohranja vse dosedanje zahteve in jih mestoma celo zaostri, da bi dosegli cilje energijske okoljske politike. Težišče direktive je na stavbah stanovanjskega in storitvenega sektorja.

Prenovljena direktiva EPBD [29] daje poseben poudarek gradnji skoraj nič nizkoenergijskih hiš, še posebej v javnem sektorju:

- do leta 2020 morajo biti vse nove stavbe skoraj nič energijske,
- do leta 2018 je treba zagotoviti, da bodo vse nove javne stavbe (v lasti ali v najemu) skoraj nič energijske, biti morajo zgled preostalim.

Bolj ali manj neposredno na učinkovito rabo energije (URE) in večji delež obnovljivih virov (OVE) v stavbah vplivajo tudi drugi pravni instrumenti sekundarne zakonodaje EU, kot na primer:

- Uredba (EU) 305/2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov [30] s šesto bistveno zahtevo o varčevanju z energijo in ohranjanju toplote.
- Direktiva o učinkovitosti rabi končne energije in o energetskih storitvah 2006/32/ES – ESD [31], z zahtevo o ciljnem 9 % prihranku končne energije v obdobju 2008–2016, da sistemski operaterji distribucijskega omrežja in dobavitelji energije (D&T) končnim odjemalcem zagotovijo konkurenčno ponudbo energetskih storitev, energetskih pregledov in izvedbo ukrepov za izboljšanje energetske učinkovitosti, oziroma prispevajo v sklade za energetske učinkovitost, merjenje in obračun energije po dejanski rabi, zagotavljanje prispevka za učinkovito rabe energije za energijske prenove, na osnovi te directive je bil izdelan nacionalni akcijski načrt za energetske učinkovitost AN-URE za obdobje 2008-2016 [2],
- Direktiva EU o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov – Direktiva RES, 2009/28/EC [32], ki navaja nacionalni splošni delež obnovljivih virov energije v končni porabi bruto energije do leta 2020 – za Slovenijo velja povečanje s 16 % leta 2005 na 25% do leta 2020, na osnovi te directive je bil izdelan Akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010-2020 AN-OVE [33],
- Direktiva EU o vzpostavitvi okvira za določanje zahtev za okoljsko primerno zasnovo izdelkov, povezanih z energijo, (prenovitev) 2009/125/ES – Direktiva Eco-design [34], eko-načrtovanje teh izdelkov preko njihovega celotnega življenjskega kroga.
- Direktiva EU – EE, o energetske učinkovitosti, 2012/27/EU [35], kjer je predvidena energetska prenova 3 % skupne tlorisne površine stavb javnih organov letno, ki se ogrevajo in/ali ohlajajo, in se tako izpolnijo vsaj minimalne zahteve glede energetske učinkovitosti, ki se jih določi z uporabo člena 4, Direktive 2010/31/EU [29] o energetske učinkovitosti stavb.

2.2 Značilnosti pravilnika PURES-2: 2010

Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES-2: 2010 [7] je bil sprejet 30. junija 2010 in začel veljati 1. julija 2010. S tem dnem je prenehala veljavnost obeh prejšnjih pravilnikov, PTZURES 2002 in PURES 2008. Bistvena novost pravilnika v primerjavi z dosedanjimi je v

njegovi strukturi, saj je besedilo pravilnika v duhu performančne zakonodaje, predpisane so želene lastnosti stavbe. Ta navaja ključne, krovne zahteve, ki jih mora energijsko učinkovita stavba izpolnjevati, in predpisuje načela, ki jih je treba pri projektiranju upoštevati. K pravilniku sodi tudi tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije, ki določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za doseg minimalnih zahtev iz tega pravilnika in določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe. Uporaba tehnične smernice je obvezna.

2.2.1 Zahteve PURES-2: 2010

Pravilnik PURES-2: 2010 [7] in tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije [16] v naši gradbeni zakonodaji v duhu prenovljene direktive EPBD [29] na novo opredeljujeta minimalne zahteve za novogradnje in večje prenove. PURES-2: 2010 [7] predpisuje zasnovo stavbe in ovoja ob upoštevanju načel bioklimatskega načrtovanja stavbe, tako da je potreba po ogrevanju in po novem tudi hlajenju stavbe kar najmanjša. Obvezno je zagotavljanje 25 % celotne končne energije v stavbi z obnovljivimi viri energije (OVE), pri tem so predvideni tudi novi, poenostavljeni načini izpolnjevanja te zahteve, vezani na posamezne vire OVE. Za nove javne stavbe se ohranja zahteva, da morajo biti njihove energijske lastnosti za 10 % boljše od preostalih. Po novem grajene stavbe bodo v povprečju dosegale 'U' vrednosti (toplotna prehodnost) za zunanjo steno okoli $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, največja dovoljena vrednost U_{max} je $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, še vedno pa velja stroga omejitev tudi za koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub $H'T$. Potrebna toplota za ogrevanje je morala biti do konca leta 2014 manjša od okvirno 30 do $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (velja za oblikovne faktorje manjših blokov do kompaktnih družinskih hiš v osrednji Sloveniji; f_0 od 0,3 do 0,6), od leta 2015 pa je ta meja znižana na okvirno 20 do $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. V praksi lahko pričakujemo projektiranje celo nekoliko boljših vrednosti. Omejen je tudi potreben hlad za hlajenje stanovanjskih stavb in sicer na $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ po letu 2015, maksimalno $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ pa je veljalo do konca leta 2014. Največja dovoljena letna primarna energija za delovanje sistemov v stavbi se bo gibala med 170 in $200 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, kot pri gornjih zahtevah je tudi to odvisno od lokacije in oblike stavbe.

Pravilnik predpisuje tudi strožje zahteve za sisteme za ogrevanje, prezračevanje, hlajenje in klimatizacijo ter pripravo sanitarne tople vode. Po tem pravilniku je potrebno načrtovati nizkotemperaturne sisteme za ogrevanje in sanitarno toplo vodo praviloma pripravljati s sončno energijo.

2.2.2 Performančne zahteve PURES-a

Novost pravilnika [7] je ta, da v nasprotju z dosedanjimi pravilniki predpisuje vrsto performančnih zahtev, ki jih v podrobnostih dopolni pripadajoča tehnična smernica, katere uporaba je obvezna. Med performančnimi zahtevami novega pravilnika je treba omeniti naslednje:

- Robni pogoji: Pri zagotavljanju učinkovite rabe energije v stavbi je treba upoštevati njeno življenjsko dobo, namembnost, lastnosti zunanjega in notranjega okolja ter uporabljenih materialov, sistemov in virov energije (OVE),
- Arhitekturna zasnova: Pri arhitekturnem snovanju stavbe je treba upoštevati načela bioklimatskega načrtovanja stavbe,
- Toplotna zaščita: Toplotna zaščita stavbe mora biti gradbenofizikalno korektno izvedena, zlasti se je treba izogibati toplotnim mostovom v ovoju,
- Ogrevanje/hlajenje: Naprave in sistemi za ogrevanje in hlajenje morajo zagotoviti toplotno ugodje v najbolj neugodnih razmerah; pri čemer je treba projektirati energijsko učinkovite komponente sistemov,
- Hlajenje stavbe: Pregrevanje stavbe je treba preprečevati s pasivnimi gradbenimi elementi za senčenje, če to ne zadošča, se predvidijo nočno hlajenje, oziroma prezračevanje in druge alternativne rešitve. Šele, če ti ukrepi ne zadoščajo, se sme projektirati sistem za hlajenje stavbe v skladu z načeli energijske učinkovitosti sistema,
- Prezračevanje: Mehansko prezračevanje je potrebno, kadar naravno ne zadošča za doseganje kakovosti zraka v prostorih. Prezračevalni sistem mora izpolnjevati zahteve za energijsko učinkovitost sistema in njegovih komponent. Mehanski ali hibridni sistemi morajo zagotavljati učinkovito vračanje toplote zraka. Vgradnja mehanskega prezračevanja z vračanjem toplote zavrženega zraka načelno ni obvezna, lahko pa se izkaže kot potrebna zaradi izpolnjevanja zahtev o energijski učinkovitosti, še posebej na hladnejših območjih,
- Priprava tople vode: Zahtevan izbor energijsko učinkovitih hranilnikov tople vode in pripadajočih elementov. Topla voda se praviloma zagotavlja s sprejemniki sončne energije ali alternativnim sistemom z uporabo OVE,

- Razsvetljava: Osvetljevanje z dnevno svetlobo ima prednost pred umetno razsvetljavo, ki pa mora temeljiti na optimalni uporabi energijsko učinkovitih svetil in učinkovite regulacije. Upoštevati je treba velikost prostora in število uporabnikov.
- Osončenje: sončnemu sevanju izpostavljena površina zunanjega ovoja stavbe, ki opravlja toplotno energijsko funkcijo, mora biti osončena od povprečne višine 1 m nad terenom navzgor v času zimskega solsticija najmanj 2 uri, upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju $\pm 30^{\circ}$ odstopanja od smeri jug, v času ekvinokcija, najmanj 4 ure, upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju $\pm 60^{\circ}$ odstopanja od smeri jug, v času poletnega solsticija najmanj 6 ur, upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju $\pm 110^{\circ}$ odstopanja od smeri jug.

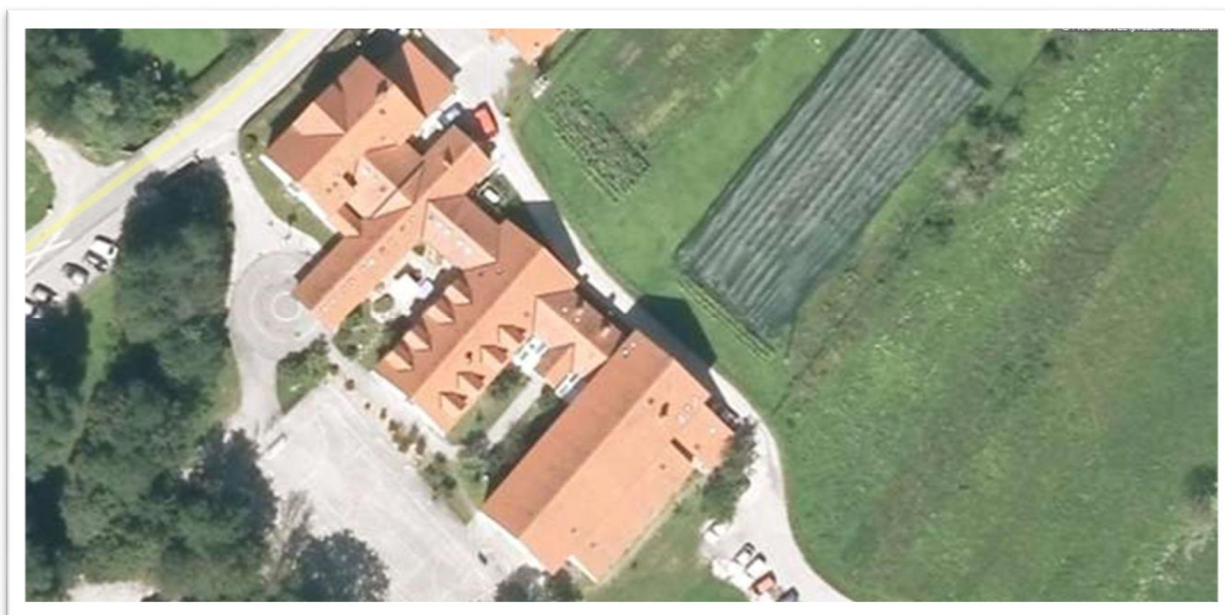
3 OPIS OBRAVNAVANEGA OBJEKTA

3.1 Splošno

Objekt OŠ Fara se nahaja v naselju Fara v občini Kostel, znotraj območja pozidave namenjenega za stanovanjske, upravne in centralne dejavnosti. V objektu delujejo Osnovna šola Fara skupaj z vrtcem in šolo v naravi, ki jo izvajata CŠOD - dom Fara, ki ima v najemu mansardne prostore. Dostop do objekta je z regionalne ceste RT-918 Grgelj- Fara. Objekt je bil izgrajen v dveh fazah.

I. faza je bila zgrajena leta 1995, ko je bil rekonstruiran obstoječi del objekta ob regionalni cesti,

II. faza pa je bila zgrajena leta 1996, ko so bili zgrajeni med seboj funkcionalno povezani objekti, locirani izza obstoječe stavbe osnovne šole vzdolž obstoječega elektro koridorja, z longitudinalno (vzdolžno) in členjeno tlorisno zasnovo.



Slika 1: Orto foto posnetek objekta [46]

Tlorisno zasnovo I. in II. faze izgradnje predstavljajo štiri objekti postavljeni v smeri severovzhod - jugozahod med seboj vzporedni in med seboj povezani s tremi veznimi objekti v smeri severozahod - jugovzhod. Sklop šolskih objektov ima poleg glavnega vhoda (šolarji, učitelji, itd.) in vhoda za obiskovalce rekreacije ter v stanovanje hišnika, še gospodarski vhod v kuhinjo z urejenim dovozom, vhod v kurilnico, hišniško delavnico in shrambo za telovadno orodje, zasilni izhod na prosto je predviden na koncu glavnega veznega hodnika.

Prvi, najstarejši del objekta ob regionalni cesti ima tri etaže, pritličje, nadstropje in mansardo, ostali pa so dvoetažni s pritličjem in mansardo, le del objekta ob telovadnici ima tudi tri etaže. Del objekta s telovadnico je pritličen s svetlo višino pritlične etaže 6,70 m.

Del objekta, v katerem se nahajajo šolski prostori, vrtec in prostori CŠOD, so ogrevani na temperaturo do 22 °C, medtem ko se prostori telovadnice in shrambe za telovadno orodje ogrevajo na temperaturo 18 °C. Razlika je 4 °C, delež uporabne površine z nižjo temperaturo je cca. 14 % od celotne uporabne površine stavbe, delež neto prostornine prostorov z nižjo temperaturo glede na celotno neto prostornino objekta pa je 24 %.

3.2 Konstrukcija

Rekonstruirani del obstoječega objekta je grajen na pasovne temelje, obodni zidovi so delno iz NF polne opeke, delno pa iz opečnega modularnega bloka, notranji nosilni in predelni zidovi so iz opečnih modularnih ali pregradnih blokov. Medetažne konstrukcije so armirano betonske plošče, ostrešje je leseno.

Niz objektov II.faze izgradnje ima pasovne temelje in je zidan z modularno opeko, zidana nosilna konstrukcija je ojačana z vertikalnimi in horizontalnimi armirano betonskimi vezmi, medetažne konstrukcije so armirano betonske plošče, ostrešje je leseno.

Nosilna konstrukcija telovadnice je montažni armiranobetonski skelet, temelji pod stebri so točkovni, pod obodnimi zidovi pa pasovni. Strop telovadnice je pohoden in zaključen z Akuterm stropom.

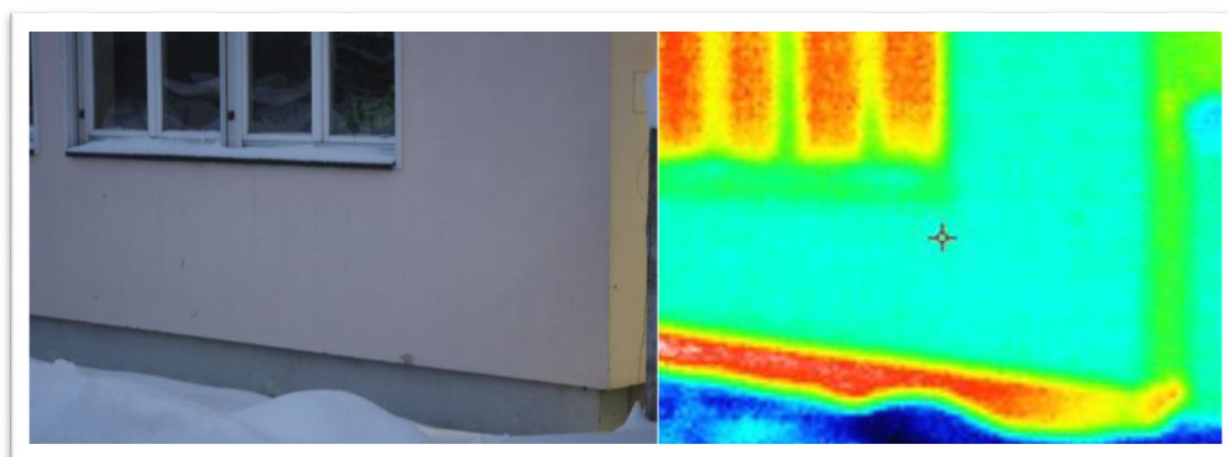
Streha na vseh objektih je simetrična dvokapnica, nakloni strešin so 33°, 35° in 42°. Strehe so krite z bobrovcem, dvojno pokrivanje. Slemena veznih objektov potekajo v smeri severozahod-jugovzhod, pravokotno nanje pa potekajo slemena štirih objektov. Prehod smeri strešin je izveden z uvalo (žloto) iz bakrene pločevine.

3.3 Stanje pred izvedbo obnove toplotnega ovoja

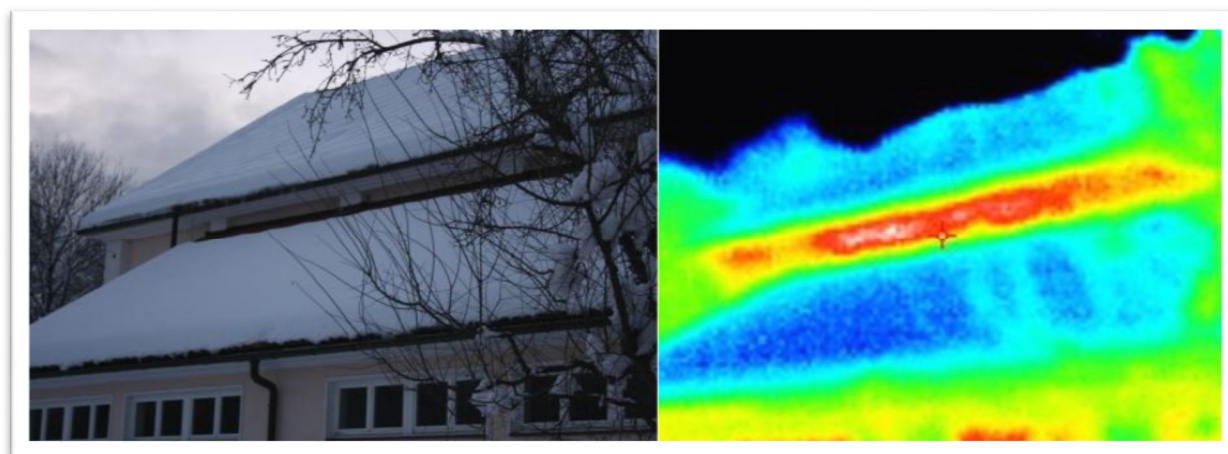
3.3.1 Konstrukcijski sklopi toplotnega ovoja

Obodne stene objekta so pozidane z votlo modularno opeko debeline 29 cm, z notranje strani je izveden grobi in fini omet debeline cca. 2 cm, z zunanje strani pa je bila na zid iz opečnega modularnega bloka izvedena toplotna izolacija iz steklene volne debeline 8 cm in klasični debeloslojni grobi in fini zariban omet debeline cca. 3 cm, armiran z pocinakano

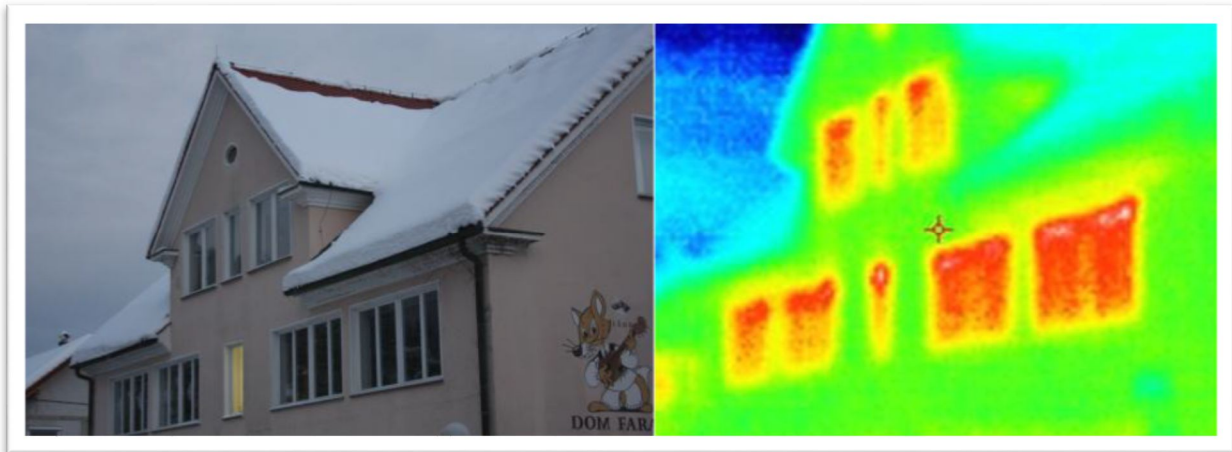
rabitz mrežico (fasadni sistem Novoterm, Fasolit D). Fasada je bila slikana s fasadno barvo v svetljšem rumenem odtenku. Zidni podstavek "cokl" ni bil toplotno izoliran in je bil armirano betonski nadtemeljni zid z zunanje strani le ometan z grobim in finim ometom ter slikan s fasadno bravo v sivi barvi. Kapni in tudi čelni napušči so na delu stika obodnih sten z ostrejšem izvedeni kot armirano betonski venec – sims. Tako so betonski napušči, kot tudi toplotno neizoliran fasadni podstavek, predstavljali konstrukcijske toplotne mostove. V obodnem fasadnem zidu so bila nameščena lesena okna z dvojno izolacijsko zasteklitvijo, stanje oken je bilo precej slabo, zlasti so bile izrazite težave z tesnenjem, kar predstavlja konvekcijske toplotne mostove.



Slika 2: Toplotni mostovi, termovizija [9]



Slika 3: Toplotni mostovi, termovizija [9]



Slika 4: Toplotni mostovi, termovizija [9]

Streha je izvedena kot klasična dvokapnica, krita z bobrovcem, toplotna zaščita stropa v mansardi proti strehi pa je izvedena pravilno z izolacijo debeline 20 – 25 cm.

Tla na terenu so izlirana z 8 cm debelo plastjo ekspandiranega polistirena EPS, finalna obloga tal v šolskih prostorih je iz linoleja prilepljenega na cementni estrih debeline cca. 6 cm, pod njim je PE folija, toplotna izolacija EPS 8 cm in bitumenska hidro izolacija privarjena na podložni beton, ki je debeline 10 cm. Pod podložnim betonom je več kot meter debela utrjena peščena blazina.

3.3.2 Ogrevalni sistem

Ogrevanje objekta je bilo zagotovljeno preko kotlovnice, ki se nahaja v pritličju objekta ob regionalni cesti. V kotlovnici sta bila nameščena dva kotla nazivne moči 250 kW in 80 kW na eksta lahko kurilno olje ELKO. Oprema v kotlovnici je bila zaradi starosti delno dotrajana, zlasti večji starejši kotel je imel nizek izkoristek. V kotlovnici je potekala tudi priprava sanitarne tople vode za potrebe celotnega objekta, kjer je vgrajen hranilnik s prostornino 1000 litrov, ki se je v kurilni sezoni ogreval s kotlom na ELKO, v letnem obdobju pa z elektro grelcem, ki je vgrajen v hranilniku. Za ogrevanje se uporablja klasični visokotemperaturni radiatorski dvocevni sistem. Vsi radiatorji so opremljeni s termostatskimi ventili.

3.4 Izvedeni ukrepi energetske sanacije

3.4.1 Toplotni ovoj stavbe

Obodne fasadne stene v stanju pred obnovo niso izpolnjevale zahtev iz PURES-2: 2010 [7], oziroma TSG-1-004:2010 [16], po maksimalni toplotni prehodnosti za zunanjo steno, zato je bilo odločeno, da se te stene dodatno izolirajo z 8 cm debelo plastjo kamene volne v ploščah Knauf insulation FKD-S (PTP-035). Te plošče se je prilepilo na obstoječo fasadno površino in sidralo z ustreznimi fasadnimi sidri skozi obstoječo plast toplotne izolacije v zid iz opečnega modularca. Na toplotno izolacijo je bila nanešena dvojna plast gradbenega lepila, armirana s PVC fasadno mrežico, zaključni sloj pa je silikatno silikonski Si-Si v podobnem barvnem odtenku kot obstoječa fasada. Poleg fasade se je toplotno izoliral tudi zidni podtavek – cokel ter tudi temelj z zunanje strani, do globine enega metra. Kot toplotna izolacija so bile uporabljene plošče iz ekstrudiranega polistirena XPS, debeline 16 cm. Izolacija v stiku z zemljo se je zaščitila s PVC gumbasto folijo, cokel nad terenom pa je izveden kot zaključni fasadni omet v sivi barvi.

Zamenjana so bila tudi vsa okna z novimi lesenimi, proizvajalca Okna in vrata Nagode d.o.o iz Logatca. Montaža oken je bila izvedena po sistemu RAL s tesnenjem fuge v treh ravneh. Notranja funkcijska raven ločuje klimatske razmere v prostoru od zunanjih, njena površinska temperatura mora biti višja od temperature rosišča. Druga – vmesna - funkcijska raven skrbi za zmanjšanje toplotnih izgub in za preprečevanje vdora hrupa v prostor. Naloga tretje – zunanje - funkcijske ravni pa je zaščita fuge in konstrukcije pred vremenskimi vplivi. Notranji stik mora biti zrakotesen in dobro parotesen, zunanji pa vodotesen in dobro odprt za prehod pare. Paroprepustnost zunaj mora biti višja za faktor približno 5 od paroprepustnosti na notranjem stiku. Vmesni del mora zagotavljati toplotno in zvočno zaščito.

Konstrukcija oken je lesena, zasteklitev oken je z dvojnimi izolacijskim steklom z ustreznim distančnikom, tako da je skupna prehodnost okna 'U' pod $1,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

3.4.2 Ogrevalni sistem

Ogrevalnje objekta je bilo zagotovljeno s kotloma na ekstra lahko kurilno olje ELKO, zlasti večji kotel je bil v slabem stanju in je imel nizke izkoristke, kar se je poznalo pri visoki porabi dovedene energije za ogrevanje in pripravo sanitarne tople vode. Poleg tega so zlasti visoke

cene ELKO - ta in cenovno najugodnejši vir toplotne energije iz lesnih sekancev, bile poglavitni motiv za zamenjavo kurilne naprave na lesne sekance. Gre za obnovljiv vir energije – biomasa in s tem smo zadostili tudi zahteve PURES – 2: 2010 [7], po predpisanem minimalnem deležu uporabe obnovljivih virov energije. V obstoječi prostor kotlovnice se je namestil kotel proizvajalca Fröling, TX 250 nazivne moči 250 kW. Manjši kotel moči 80 kW na ELKO pa je ostal kot rezerva, za primer okvare kotla na sekance.



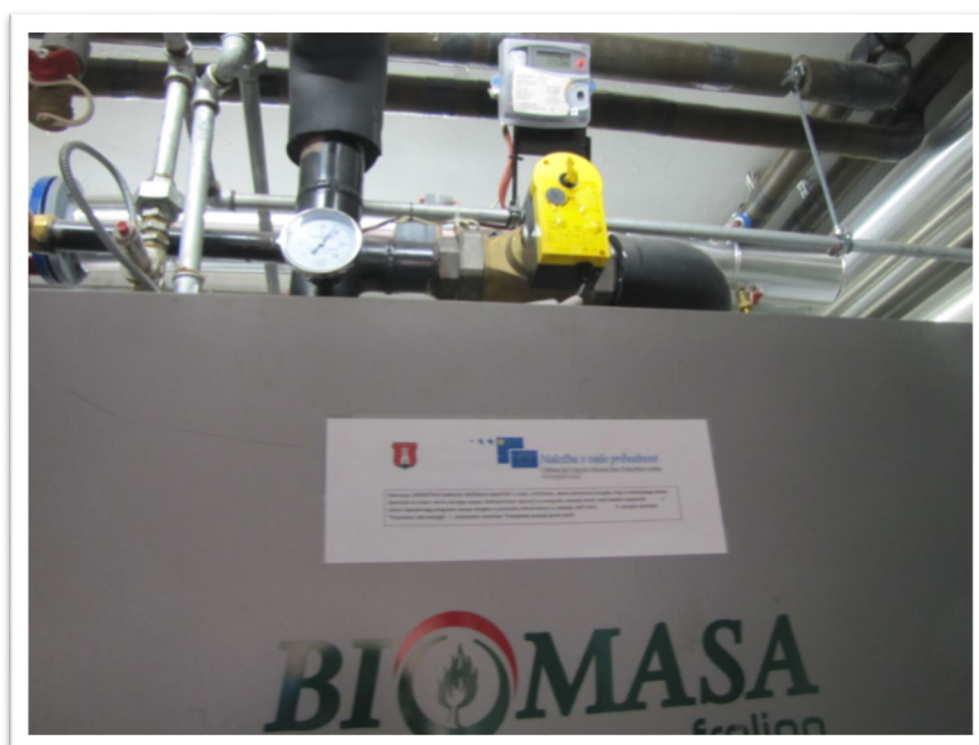
Slika 5: Kotel na lesne sekance Fröling TX 250[45]

Za potrebe skladiščenja lesnih sekancev se je ob kotlovnico prizidalo zalogovnik, tlorisnih dimenzij 6 x 6 m, uporabne višine cca. 4 m. Transport sekancev do kotla se vrši s standardno kotlovsko dozirno enoto, iz zalogovnika se sekanci transportirajo s členastim krožnim iznosnim sistemom premera 6 m in podajalnim polžem. Zalogovnik se polni s sekanci z elevatorjem BFSV- sistem za vnos lesnih sekancev na višino z vodoravnim koritom. Vsi ti sklopi so varovani z avtomatskim protipožarnim sistemom. Ob zalogovniku se nahaja v prizidku še en manjši prostor, v katerem se nahajajo akumulatorji toplote, volumna 2 x 2200 l in pa manjša cisterna za ELKO volumna 2000 l, za potrebe rezervnega kotla. V kurilnici se je poleg kotla obnovila tudi kompletna kotlovska oprema. Sanitarna topla voda pa se pripravlja v obstoječem 1000 l grelniku vode, ki se v kurilni sezoni segreva s toploto iz kotla na lesne sekance, izven kurilne sezone pa je možna priprava tople vode z vgrajenim električnim grelcem.

4 IZRAČUN

Izračun energijske bilance objekta OŠ Fara pred energetske sanacijo sem izvedel z dvema, oziroma s tremi računalniškimi programoma in sicer najprej s programoma TEDI [11] in TOST [12] ter nato še s programom Gradbena fizika Ursa 4 [13]. Vsi ti programi izvajajo izračun v skladu s Pravilnikom o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES-2:2010 [7] in s Tehnično smernico za graditev TSG-1-004: 2010 - Učinkovita raba energije [16]. Nato sem primerjal rezultate med seboj in ugotovil, da so odstopanja minimalna.

Izvedel sem tudi izračun toplotne bilance po energetske obnovi objekta OŠ Fara na oba načina, tako s TEDI[11] in TOST [12] ter s programom Gradbena fizika Ursa 4 [13], rezultate sem ponovno primerjal med seboj in s podatki o dejanski porabi lesnih sekancev za ogrevanje stavbe in pripravo sanitarne tople vode v letu 2014 ter s podatki o toplotni energiji porabljeni za ogrevanje, izmerjeni z merilcem toplotne energije nameščenim na ogrevalnem sistemu v kotlovnici .



Slika 6: Kalorimeter za merjenje proizvedene toplotne energije [45]

Ker je bila zima to leto nadpovprečno topla in tudi podatki o porabi toplotne energije so bili na voljo samo za eno koledarsko leto, je bilo potrebno rezultate normirati po metodi temperaturnega primankljaja.

Temperaturni primankljaj je definiran kot produkt časa ogrevanja z razliko temperatur med notranjostjo zgradbe (po dogovoru je to $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$) in zunanjim zrakom [36]. Po dogovoru omejimo trajanje na dni, ko je zunanja temperatura (prag) nižja od $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Za določen kraj torej vzamemo povprečno zunanjo temperaturo v času ogrevalne sezone in jo odštejemo od dogovorjenih $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ter jo pomnožimo s številom ogrevalnih dni. Izrazimo jih v enoti »stopinja dan«, zato se pogosto uporablja tudi izraz »stopinjski dnevi« namesto temperaturni primankljaj. Enota temperaturnega primankljaja je dan-kelvin (danK). Povprečen temperaturni primanjkljaj za obravnavano lokacijo stavbe lahko pridobimo na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje [36].

Letni temperaturni primanjkljaj pa pridobimo prav tako na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje [37].

Uporabimo vremensko postajo, ki je najbližja obravnavani stavbi, v našem primeru je to vremenska postaja št.257, Črnomelj Dobliče.

Vremenske postaje najdemo na zemljevidu Slovenije [38].

4.1 Metodologija izračuna

4.1.1 Ovoj stavbe

Toplotni ovoj stavbe sestavljajo vsi stavbni elementi, ki toplotno ščitijo kondicionirani prostor od zunanosti, sosednjih stavb in nekondicioniranih prostorov. [50]

Nekondicionirani prostori znotraj toplotnega ovoja stavbe (stopniščna jedra, shrambe, kleti ipd.) se upoštevajo kot kondicionirani prostori. [50]

4.1.2 Toplotne cone

Posamezna cona obsega prostore oziroma delež tlorisa stavbe. Če cona obsega 80 % ali več celotne stavbe, se celotna stavba šteje za enotno cono. Kadar prostornina neogrevanih in manj ogrevanih prostorov (na primer stopnišča, hodniki, avle) ne presega 20 % ogrevane prostornine stavbe V_e , se lahko, ne glede na določila standarda SIST EN ISO 13790 [39] o

določitvi toplotnih con, privzame ena toplotna cona, ki vključuje omenjene manj ogrevane in neogrevane prostore.

Kadar je treba v stavbi upoštevati več toplotnih con, se na stiku toplotnih con upoštevajo adiabatne razmere.

Kadar je za izračun potrebne energije za delovanje stavbe potrebna delitev stavbe na cone, se potrebna energija za delovanje stavbe določi kot vsota potrebnih energij vseh con v stavbi. [50]

4.1.3 Bruto kondicionirana prostornina stavbe (V_e)

Bruto kondicionirana prostornina stavbe (V_e) je tista prostornina, ki je določena z zunanjo površino stavbe (A). Zunanja površina stavbe je v tem primeru mišljena kot tista površina, ovoj, ki omejuje kondicioniran del (pozimi je to ogrevani del) ali notranjost od okolice (tudi talna konstrukcija). Upoštevati je potrebno zunanji sistem določanja mer. Zunanji sistem določanja mer, pomeni, da merimo zunanji ovoj stavbe na zunanji strani. Upoštevamo skrajne meje zadnjega sloja elementa na stiku z zunanjim zrakom. Na začetku se je potrebno odločiti kje poteka zunanja meja med notranjostjo in okolico. Prostornina znotraj te meje predstavlja bruto kondicionirano prostornino stavbe (V_e). [50]

4.1.4 Neto ogrevana prostornina stavbe (V)

Neto ogrevana prostornina stavbe V (m^3), potrebna za izračun toplotnih izgub zaradi prezračevanja oziroma potrebne stopnje pretoka zraka po standardu SIST EN ISO 13790, se določi z upoštevanjem zahteve standardov SIST EN ISO 13790 [39] in SIST ISO 9836 [40], točka 5.2.5 oziroma po poenostavljenem izrazu: $V = 0,8 V_e$. [50]

4.1.5 Kondicionirana površina stavbe (A_k)

Kondicionirana površina stavbe (A_k) pomeni neto ogrevano, oziroma hlajeno zaprto površino stavbe v skladu s standardoma SIST EN ISO 13789 [41] in SIST ISO 9836 [40]. Upoštevajo se tudi hodniki, stopnišča in podobno, ki so znotraj toplotnega ovoja stavbe. [50]

4.1.6 Notranji viri

Prispevek notranjih toplotnih virov se določi po standardu SIST EN ISO 13790 [39]. V stavbah z velikimi notranjimi viri (na primer bazeni, savne) se lahko povzame iz projektne naloge. Kot prispevek notranjih virov (poleti in pozimi) upoštevamo 4 W/m^2 . [50]

4.1.6 Izračun prezračevalnih izgub

Za izračun potrebne toplote za kondicioniranje stavbe se upošteva urna izmenjava notranjega zraka z zunanjim, računana na neto ogrevano prostornino stavbe, ki se določi v skladu s tehničnim predpisom, ki ureja prezračevanje in klimatizacijo stavb [42].

Določilo velja tudi v primeru naravnega prezračevanja stavbe, ki je v manjši meri kombinirano s posameznimi lokalnimi ventilatorji za odvod zraka, namenjenimi občasni uporabi (npr. WC, kopanica, kuhinjska niša...). [50]

4.2 Splošni podatki

Preglednica 1: Lokacija, vrsta in namen stavbe

Naselje, ulica, kraj	Fara, Fara 3, 1336 Kostel
Katastrska občina	1611 Fara
Parcelna številka	82/1, 82/2, 1807/3, 2/4
Koordinate lokacije stavbe	X (N) = 36878 Y (E) = 491111
Vrsta stavbe	12630 Stavbe za izobraževanje in znanstvenoraziskovalno delo
Namembnost stavbe	nestanovanjska stavba
Etažnost stavbe	Dve in tri etaže
Lastnik	Občina Kostel, Fara 30, 1336 Kostel

Preglednica 2: Geometrijske karakteristike stavbe

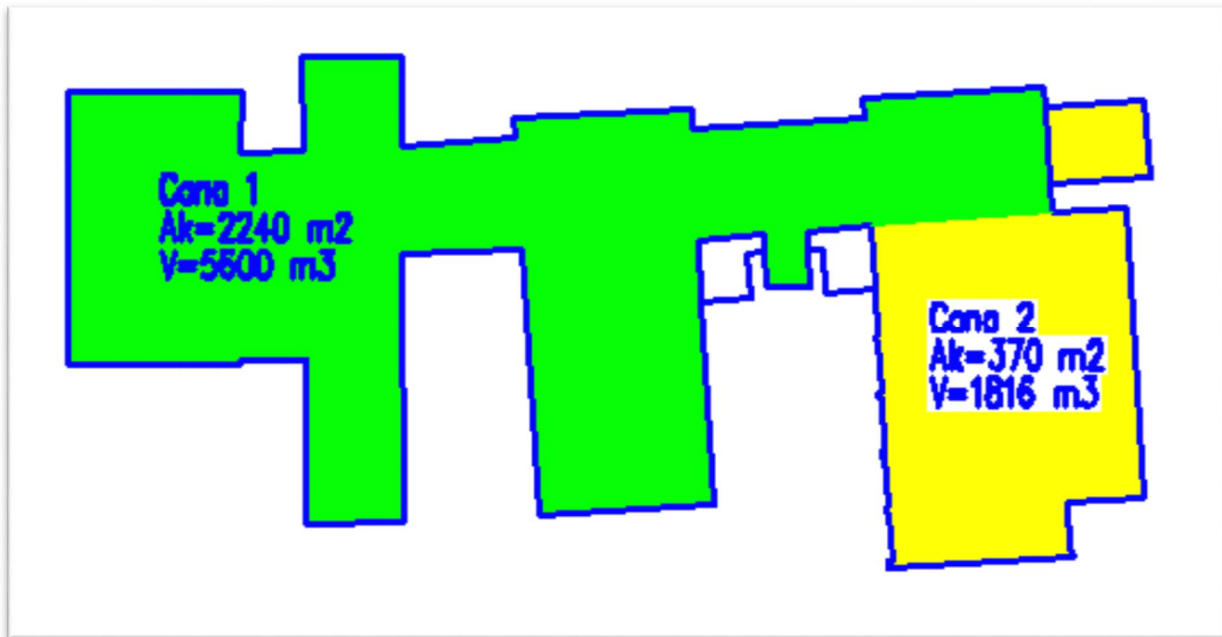
Površina toplotnega ovoja stavbe	$A = 5.508,50 \text{ m}^2$
Kondicionirana prostornina stavbe	$V_e = 9.270,00 \text{ m}^3$
Neto ogrevana prostornina stavbe	$V = 7.416,00 \text{ m}^3$
Oblikovni factor	$f_o = 0,594 \text{ m}^{-1}$
Razmerje med površino oken in površino toplotnega ovoja stavbe	$z = 0,073$
Kondicionirana površina stavbe	$A_k = 2.610,00 \text{ m}^2$
Vrsta zidu	Srednjetežka gradnja ($\geq 600 \text{ kg/m}^3$)
Način upoštevanja vpliva toplotnih mostov	na poenostavljen način
Metoda izračuna toplotne kapacitete stavbe	izračun po SIST EN ISO 13790

Preglednica 3: Cona 1 - ŠOLSKI PROSTORI, VRTEC, ČŠOD

Kondicionirana prostornina cone	$V_e = 7.000,00 \text{ m}^3$
Neto ogrevana prostornina cone	$V = 5.600,00 \text{ m}^3$
Uporabna površina cone:	$A_k = 2.240,00 \text{ m}^2$
Dolžina cone	$l_x = 70,00 \text{ m}$
Širina cone	$l_y = 100,00 \text{ m}$
Višina etaže	$h = 2,80 \text{ m}$
Število etaž	$n = 2, 3$
Ogrevanje	cona je ogrevana
Način delovanja	neprekinjeno delovanje
Notranja projektna temperatura ogrevanja	$22 \text{ }^\circ\text{C}$
Notranja projektna temperatura hlajenja	$26 \text{ }^\circ\text{C}$
Dnevno število ur z normalnim ogrevanjem	24 h
Način znižanja temperature ob koncu tedna	znižanje temperature ogrevanja
Mejna temperatura znižanja	$18 \text{ }^\circ\text{C}$
Urna izmenjava zraka	$0,80 \text{ h}^{-1}$
Površina toplotnega ovoja cone	$A = 4.050,90 \text{ m}^2$

Preglednica 4: Cona 2 - TELOVADNICA

Kondicionirana prostornina cone	$V_e = 2.270,00 \text{ m}^3$
Neto ogrevana prostornina cone	$V = 1.816,00 \text{ m}^3$
Uporabna površina cone:	$A_k = 370,00 \text{ m}^2$
Dolžina cone	$l_x = 32,00 \text{ m}$
Širina cone	$l_y = 18,00 \text{ m}$
Višina etaže	$h = 6,00 \text{ m}$
Število etaž	$n = 1$
Ogrevanje	cona je ogrevana
Način delovanja	neprekinjeno delovanje
Notranja projektna temperatura ogrevanja	$18 \text{ }^\circ\text{C}$
Notranja projektna temperatura hlajenja	$26 \text{ }^\circ\text{C}$
Dnevno število ur z normalnim ogrevanjem	24 h
Način znižanja temperature ob koncu tedna	znižanje temperature ogrevanja
Mejna temperatura znižanja	$15 \text{ }^\circ\text{C}$
Urna izmenjava zraka	$0,80 \text{ h}^{-1}$
Površina toplotnega ovoja cone	$A = 1.457,60 \text{ m}^2$



Slika 7: Tloris objekta, razdelitev po conah

4.3 Klimatski podatki

Klimatske podatke za obravnavano lokacijo stavbe lahko pridobimo na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje

Preglednica 5: Klimatski podatki [36]

Začetek kurilne sezone (dan)	Konec kurilne sezone (dan)	Temper.primanjkljaj (K dni)	Projektna Temperatura (°C)	Energija sončnega obsevanja (kWh/m²)
270	140	3300	-16	1160

Preglednica 6: Povprečne mesečne temperature (°C) in vlažnosti zraka (%) [36]

Jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0,0	2,0	6,0	10,0	14,0	17,0	20,0	19,0	15,0	10,0	5,0	1,0	10,0
86,0	81,0	75,0	73,0	72,0	73,0	73,0	75,0	79,0	82,0	86,0	87,0	78,5

Povprečna mesečna temperatura zunanega zraka najhladnejšega meseca $T_{z,m,min} = 0\text{ °C}$

Povprečna mesečna temperatura zunanega zraka najtoplejšega meseca $T_{z,m,max} = 20\text{ °C}$

Preglednica 7: Globalno sončno sevanje (Wh/m²) [36]

mesec	Horizontal.	Sever, 90°	Vzhod, 90°	Jug, 90°	Zahod, 90°	Ogrevanje (dnevi)
Jan	1.049	295	568	1.602	740	31
Feb	1.903	454	938	2.342	1.276	28
Mar	2.804	645	1.397	2.369	1.591	31
Apr	4.132	1.053	2.062	2.371	2.052	30

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 7

Maj	4.854	1.189	2.351	2.109	2.173	20
Jun	5.414	1.450	2.410	2.077	2.499	0
Jul	5.710	1.322	2.503	2.245	2.618	0
Avg	4.750	1.036	2.184	2.415	2.296	0
Sep	3.426	809	1.618	2.446	1.722	3
Okt	2.053	572	1.025	1.951	1.096	31
Nov	1.114	369	625	1.275	600	30
Dec	836	273	495	1200	509	31
Ogr.sezona	1160.000	289.000	554.000	742.000	584.000	

4.4 Seznam konstrukcij

4.4.1 Pred izvedbo obnove toplotnega ovoja

Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom , $U_{max} = 0,280 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) > \text{PURES-2}$

• zunanji zid, $U = 0,328 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}), T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Preglednica 8: Sestava konstrukcijskega sklopa zunanje stene pred sanacijo

Sloj	Material	Debelina cm	Gostota kg/m ³	Spec. topl. J/kgK	Topl.pr. W/mK	Dif. odpor	Topl. odpor. m ² K/W
1	PODALJŠANA APNENA MALTA	2,000	1.700	1.050	0,850	15	0,024
2	MREŽASTA IN VOTLA OPEKA 1400	29,000	1.400	920	0,610	6	0,475
3	STEKLENA VOLNA	8,000	80	840	0,034	1	2,353
4	PIGMENTIRANA FASADNA MALTA	2,000	1.850	1.050	0,700	15	0,029

Stene med stanovanji in stene proti stopniščem, hodnikom in manj ogrevanim prostorom,
 $U_{max} = 0,700 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) > \text{PURES-2}$

• predelne stene, $U = 1,829 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}), T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Preglednica 9: Sestava konstrukcijskega sklopa notranjih predelnih sten pred sanacijo

Sloj	Material	Debelina cm	Gostota kg/m ³	Spec. topl. J/kgK	Topl.pr. W/mK	Dif. odpor	Topl. odpor. m ² K/W
1	PODALJŠANA APNENA MALTA	2,000	1.700	1.050	0,850	15	0,024
2	MREŽASTA IN VOTLA OPEKA 1400	19,000	1.400	920	0,610	6	0,311
3	PODALJŠANA APNENA MALTA	2,000	1.700	1.050	0,850	15	0,024

Notranje stene med ogrevanimi prostori različnih enot, različnih uporabnikov ali lastnikov v nestanovanjskih stavbah , $U_{\max} = 0,900 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) > \text{PURES-2}$

• predelne stene, $U = 1,829 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Preglednica 10: Sestava konstrukcijskega sklopa notranjih predelnih sten pred sanacijo

Sloj	Material	Debelina cm	Gostota kg/m ³	Spec. topl. J/kgK	Topl.pr. W/mK	Dif. odpor	Topl. odpor. m ² K/W
1	PODALJŠANA APNENA MALTA	2,000	1.700	1.050	0,850	15	0,024
2	MREŽASTA IN VOTLA OPEKA 1400	19,000	1.400	920	0,610	6	0,311
3	PODALJŠANA APNENA MALTA	2,000	1.700	1.050	0,850	15	0,024

Medetažne konstrukcije med ogrevanimi prostori različnih enot, različnih uporabnikov ali lastnikov v nestanovanjskih stavbah , $U_{\max} = 0,900 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) > \text{PURES-2}$

• medetažna konstrukcija, $U = 0,705 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Preglednica 11: Sestava konstrukcijskega sklopa medetažne konstrukcije pred sanacijo

Sloj	Material	Debelina cm	Gostota kg/m ³	Spec. topl. J/kgK	Topl.pr. W/mK	Dif. odpor	Topl. odpor. m ² K/W
1	PODALJŠANA APNENA MALTA	2,000	1.700	1.050	0,850	15	0,024
2	BETON 2500	18,000	2.500	960	2,330	90	0,077
3	EPS 100	4,000	20	1.260	0,037	35	1,081
4	POLIETILENSKA FOLIJA 1000	0,020	1.000	1.250	0,190	80.000	0,001
5	CEMENTNI ESTRIH 2200	6,000	2.200	1.050	1,400	30	0,043
6	LINOLEJ	1,000	1.200	1.880	0,190	500	0,053

Tla na terenu , $U_{max} = 0,350 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) > \text{PURES-2}$

- Tla na terenu šolski prostori, $U = 0,395 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Preglednica 12: Sestava konstrukcijskega sklopa tla na terenu v šolskih prostorih pred sanacijo

Sloj	Material	Debelina cm	Gostota kg/m ³	Spec. topl. J/kgK	Topl.pr. W/mK	Dif. odpor	Topl. odpor. m ² K/W
1	LINOLEJ	1,000	1.200	1.880	0,190	500	0,053
2	CEMENTNI ESTRIH 2200	6,000	2.200	1.050	1,400	30	0,043
3	POLIETILENSKA FOLIJA 1000	0,020	1.000	1.250	0,190	80.000	0,001
4	EPS 100	4,000	20	1.260	0,037	35	1,081
5	VEČSLOJNA HIDROIZOLACIJA	2,000	1.100	1.460	0,190	2.000	0,105

- Tla na terenu telovadnica, $U = 0,450 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Preglednica 13: Sestava konstrukcijskega sklopa tla na terenu v telovadnici pred sanacijo

Sloj	Material	Debelina cm	Gostota kg/m ³	Spec. topl. J/kgK	Topl.pr. W/mK	Dif.odpor	Topl. odpor. m ² K/W
1	PARKET	2,000	700	1.670	0,210	15	0,095
2	GUMA	3,000	1.000	1.470	0,160	10.000	0,188
3	CEMENTNI ESTRIH 2200	6,000	2.200	1.050	1,400	30	0,043
4	POLIETILENSKA FOLIJA 1000	0,020	1.000	1.250	0,190	80.000	0,001
5	EPS 100	4,000	20	1.260	0,037	35	1,081
6	VEČSLOJNA HIDROIZOLACIJA	2,000	1.100	1.460	0,190	2.000	0,105

Strop v sestavi ravne ali poševne strehe, $U_{\max} = 0,200 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) > \text{PURES-2}$

• Streha, $U = 0,155 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Preglednica 14: Sestava konstrukcijskega sklopa streha pred sanacijo

Sloj	Material	Debelina cm	Gostota kg/m ³	Spec. topl. J/kgK	Topl.pr. W/mK	Dif.odpor	Topl. odpor. m ² K/W
1	MAVČNO-KARTONSKA PLOŠČA	1,250	900	840	0,210	12	0,060
2	POLIETILENSKA FOLIJA 1000	0,020	1.000	1.250	0,190	80.000	0,001
3	STEKLENA VOLNA	20,000	30	840	0,032	1	6,250

Vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi z okvirji iz lesa, $U_{\max} = 1,300 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) > \text{PURES-2}$

• okna stara, $U = 2,400 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $F_{fr}=0,30$

Vhodna vrata , $U_{\max} = 1,600 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

• vrata vhodna, $U = 2,000 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $T_i = 0 \text{ }^\circ\text{C}$

4.4.2 Po izvedbi obnove toplotnega ovoja

Vsi konstrukcijski sklopi, razen zunanjih sten in oken v zunanjih stenah objekta, so nespremenjeni, torej energetska obnova se je omejila le na fasadni ovoj stavbe.

Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom , $U_{max}= 0,280 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) > \text{PURES-2}$

• zunanj zid, $U = 0,188 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Preglednica 15: Sestava konstrukcijskega sklopa zunanja stena po obnovi

Sloj	Material	Debelina cm	Gostota kg/m ³	Spec. topl. J/kgK	Topl.pr. W/mK	Dif.odpor	Topl. odpor. m ² K/W
1	PODALJŠANA APNENA MALTA	2,000	1.700	1.050	0,850	15	0,024
2	MREŽASTA IN VOTLA OPEKA 1400	29,000	1.400	920	0,610	6	0,475
3	STEKLENA VOLNA	8,000	80	840	0,034	1	2,353
4	PIGMENTIRANA FASADNA MALTA	2,000	1.850	1.050	0,700	15	0,029
5	KAMENA VOLNA	8,000	80	840	0,034	1	2,353
6	TANKOSLOJNI FASADNI OMET	1,000	1.800	1.050	0,700	37	0,014

Vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi z okvirji iz lesa, $U_{max}= 1,300 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) > \text{PURES-2}$

• okna nova, $U = 1,160 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $F_{fr}=0,30$

5 ANALIZA STANJA PRED IN PO OBNOVI TOPLOTNEGA OVOJA

5.1 Energetska bilanca stavbe

Energetska bilanca stavbe je sestavljena iz toplotnih izgub in toplotnih dobitkov. Med toplotne izgube spadajo transmisijske in prezračevalne izgube, medtem ko med toplotne dobitke sodijo dobitki zaradi sončnega sevanja, dobitki notranjih virov, slednji so posledica delovanja raznih naprav v stavbi in oddajanje metabolne toplote.

Transmisijske toplotne izgube so toplotne izgube zaradi prehoda toplote skozi konstrukcijske elemente zaradi toplotne prevodnosti materialov (W/mK), ki nam pove kolikšen toplotni tok steče pravokotno skozi konstrukcijski sklop. Prezračevalne toplotne izgube pa so izgube, ki nastanejo zaradi izmenjave zraka v kondicioniranih prostorih v stavbi in okolico. Te izgube lahko nastajajo zaradi mehanskega, naravnega ali hibridnega prezračevanja.

Dobitki toplote zaradi sončnega sevanja pa se realizirajo preko ovoja stavbe, zlasti skozi transparentne dele ovoja (zastekljeno stavbno pohištvo) in so največji na južni strani stavbe. Dobitki s strani notranjih virov so posledica sproščanja toplote pri delovanju električnih naprav in strojev v stavbi, toploto pa oddajajo tudi telesa ljudi, ki uporabljajo stavbo, vsled višje telesne temperature od okolice.

5.2 Metoda dela

Z računalniškima programoma TOST [12] in Gradbena fizika URSA 4 [13] sem izračunal energetsko bilanco obravnavanega objekta za stanje pred izvedeno obnovo toplotnega ovoja stavbe. Izračunane rezultate oba programa primerjata z maksimalno dovoljenimi vrednostmi različnih energijskih kazalnikov skladno s PURES-2: 2010 [7] in s Tehnično smernico za graditev TSG-1-004: 2010 [16], Učinkovita raba energije ter poda generalno oceno ustreznosti objekta glede na zahteve PURES-2 [7]. Izračunala sta letne specifične izgube, toplotne dobitke in izgube ter potrebno toploto za ogrevanje po toplotnih conah in skupno za celoten objekt.

Postopek izračunov sem ponovil za stanje po obnovi toplotnega ovoja.

5.3 Rezultati energetske bilance stavbe pred izvedbo sanacije toplotnega ovoja

Dobljeni rezultati, izračunani s pomočjo programa TOST [12], izkazujejo nekoliko višje vrednosti, kot so izračunani rezultati s pomočjo programa Gradbena fizika URSA 4 [13], vendar so te razlike zelo majhne, velikostnega reda do 5 %.

Preglednica 16: Rezultati energetske bilance pred sanacijo

Izračunani kazalniki	TEDI, TOST	URSA GF4	razlika	Dovoljene vrednosti po PURES-2 in TSG-1-004
Koeficient specifičnih transmisivskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe	$H'T = 0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$	$H'T = 0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$	4,3 % ne ustreza	$H'T_{\text{max}} = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
Letna potrebna toplota za ogrevanje	$Q_{\text{NH}} = 284.201 \text{ kWh}$	$Q_{\text{NH}} = 277.676 \text{ kWh}$	2,3 % ne ustreza	$Q_{\text{NHmax}} = 98.536,20 \text{ kWh}$
Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto neto uporabne površine	$Q_{\text{NH}}/A_u = 108,89 \text{ kWh/m}^2\text{a}$	$Q_{\text{NH}}/A_u = 106,39 \text{ kWh/m}^2\text{a}$	2,3 %	
Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto kondicionirane prostornine	$Q_{\text{NH}}/V_e = 30,66 \text{ kWh/m}^3\text{a}$	$Q_{\text{NH}}/V_e = 29,95 \text{ kWh/m}^3\text{a}$	2,3 % ne ustreza	$Q_{\text{NH}}/V_{e,\text{max}} = 10,63 \text{ kWh/m}^3\text{a}$

5.4 Energetska bilanca stavbe po izvedbi sanacije toplotnega ovoja

Dobljeni rezultati izračunov, izračunani s pomočjo programa TOST [12], tudi tokrat izkazujejo nekoliko višje vrednosti, kot so izračunani rezultati s pomočjo programa Gradbena fizika URSA 4 [13], vendar so te razlike zelo majhne, velikostnega reda manj kot 6 %.

Preglednica 17: Rezultati energetske bilance po obnovi

Izračunani kazalniki	TEDI, TOST	URSA GF4	razlika	Dovoljene vrednosti po PURES-2 in TSG-1-004
Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe	$H'T = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$	$H'T = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$	5,9 % ustreza	$H'T_{\max} = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
Letna potrebna toplota za ogrevanje	$Q_{NH} = 215.468 \text{ kWh}$	$Q_{NH} = 213.590 \text{ kWh}$	0,9 % ne ustreza	$Q_{NH\max} = 98.268 \text{ kWh}$
Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto neto uporabne površine	$Q_{NH}/A_u = 82,55 \text{ kWh/m}^2\text{a}$	$Q_{NH}/A_u = 81,84 \text{ kWh/m}^2\text{a}$		
Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto kondicionirane prostornine	$Q_{NH}/V_e = 23,24 \text{ kWh/m}^3\text{a}$	$Q_{NH}/V_e = 23,04 \text{ kWh/m}^3\text{a}$	0,9 % ne ustreza	$Q_{NH}/V_{e,\max} = 10,60 \text{ kWh/m}^3\text{a}$

5.5 Interpretacija rezultatov izračuna

Izračunani rezultati toplotne bilance pred (Preglednica 16) in po izvedeni obnovi (Preglednica 17) toplotnega ovoja pokažejo, da je prihranek potrebne toplote za ogrevanje stavbe na letnem nivoju za 68.733 kWh, to je za cca. 30 %. Prihranek toplotne energije je na prvi pogled relativno skromen, vendar je ob upoštevanju nižje cene toplotne energije na račun cenejšega energenta, znatno.

Cena potrebne toplotne energije za ogrevanje stavbe pred izvedbo obnove toplotnega ovoja pridobljena v kotlih na ELKO v količini 284.201 kWh, znese 29.585 EUR na leto, saj je bila cena 1 kWh toplote pridobljene iz ELKO oktobra 2014 znašala 0,1041 EUR/kWh. Cena

potrebne toplotne energije za ogrevanje stavbe po izvedeni energetske obnovi toplotnega ovoja v količini 215.468 kWh, pridobljene v kotlu na lesne sekance, pa znaša 4.589 EUR, saj je bila oktobra 2014 cena za 1 kWh toplotne energije pridobljene z lesnimi sekanci 0,0213 EUR/kWh. Finančni prihranek predstavlja kar 84 % nižje stroške, oziroma vrednostno letno kar 24.996 EUR.

Ob upoštevanju stroškov za izvedena dela v višini 339.186 EUR, se bo investicija v obnovo toplotnega ovoja in v zamenjavo kotla ter kompletne kotlovske opreme, vključno tudi z izvedbo zalogovnika za lesne sekance, povrnila v 13,6 letih, računano po nominalnih vrednostih brez diskontiranja.

Ob upoštevanju, da je znaten del investicije upravičeni strošek iz razpisa Ministrstva za infrastrukturo in okolje iz leta 2012, za financiranje energetskih sanacij na stavbah v lasti lokalnih skupnosti, je rezultat za Občino Kostel izjemen.



Slika 8: Napis, ki je nameščen na vhodna vrata OŠ Fara in kotlovnico ter na koteč [45]

5.6 Dejanska poraba toplotne energije v letu 2014

Pridobljene podatke o nabavljenih količinah lesnih sekancev v letu 2014 sem pomnožil s kurilno vrednostjo, ki znaša za sekance vlažnosti 35 % cca. 3,165 kWh/kg [43]. Dobljeni rezultat nam pove, da se je v prvem letu obratovanja kotla na lesne sekance in po izvedeni obnovi toplotnega ovoja, proizvedlo 295.105 kWh toplotne energije, ki se je uporabila za ogrevanje objekta in pripravo sanitarne tople vode (dovedena energija).

Preglednica 18: Nabava lesnih sekancev v letu 2014 [51]

Datum nabave	Količina nabave lesnih sekancev (kg)	Toplotna energije (kWh)
5.2.2014	11.580	36.651
12.3.2014	9.820	31.080

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 18

22.4.2014	11.960	37.853
23.6.2014	10.260	32.473
12.9.2014	10.860	34.372
10.11.2014	13.780	43.614
9.12.2014	12.840	40.639
5.1.2015	12.140	38.423
Skupaj:	93.240	295.105

Rezultat iz izračuna gradbene fizike za dovedeno energijo za ogrevanje in pripravo sanitarne tople vode pa znaša 359.198 kWh in sicer 230.653 kWh za ogrevanje in 128.544 kWh za pripravo sanitarne tople vode. Kurilna sezona v letu 2014 je bila v primerjavi s povprečnimi preteklimi sezonami nadpovprečno topla. Temperaturni primankljaj v letu 2014 za predmetno lokacijo, oziroma za vremensko postajo najbližjo obravnavani stavbi, znaša 2331 dan K [37]. Vremenske postaje so označene na zemljevidu Slovenije [38], v našem primeru gre za vremensko postajo št. 257 Čmomelj-Dobliče. Povprečni dnevni primankljaj za lokacijo OŠ Fara pa znaša 3300 dan K [36]. Če izračunano dovedeno energijo za ogrevanje zmanjšamo po metodi dnevnega primankljaja dobimo:

$$Q_{f,h} = \frac{2.331 \text{ danK}}{3.300 \text{ danK}} 230.653 \text{ kWh} = 162.925 \text{ kWh}$$

Izračunani in normirani dovedeni energiji za ogrevanje v količini 162.925 kWh, prištejemo še izračunano dovedeno energijo za pripravo sanitarne tople vode 128.544 kWh, dobimo seštevek 291.469 kWh izračunane dovedene energije za ogrevanje in pripravo sanitarne tople vode. Izračunana količina dovedene toplotne energije je skoraj enaka dejansko proizvedeni energiji v kotlu na lesne sekance, izračunana na podlagi podatkov o porabi lesnih sekancev, ki znaša 295.105 kWh za leto 2014, tako je razlika med izračunano ter normirano dovedeno energijo po metodi dnevnega temperaturnega primankljaja in dejansko proizvedeno energijo zgolj 1,2 %.

V kotlovnici se nahaja tudi merilec toplotne energije, ki je nameščen na razvodnem sistemu ogrevalnega sistema in meri toplotno energijo porabljeno za ogrevanje stavbe.

Preglednica 19: Odčitki proizvedene toplotne energije za ogrevanje v letu 2014 [52]

Mesec	Odčitek na števcu na začetku meseca (MWh)	Poraba toplote na mesec (MWh)
Januar 2014	40,5	26,5
Februar 2014	67,0	21,6
Marec 2014	88,6	26,9
April 2014	115,5	19,5
Maj 2014	135,0	13,5
Junij 2014	148,5	8,1
Julij 2014	156,6	7,1
Avgust 2014	163,7	7,2
September 2014	170,9	8,8
Oktober 2014	179,7	10,3
November 2014	190,0	24,0
December 2014	214,0	27,4
Januar 2015	241,4	
SKUPAJ TOPLOTNA ENERGIJE ZA OGREVANJE 2014		200,9

Normirana izmerjena poraba toplotne energije v letu 2014 za ogrevanje znaša:

$$Q_{f, h} = \frac{3.300 \text{ danK}}{2.331 \text{ danK}} 200.900 \text{ kWh} = 284.414 \text{ kWh}$$

Izračunana vrednost dovedene energije za ogrevanje pa znaša 230.653 kWh, kar je za cca. 19 % manj od normirane izmerjene količine toplotne energije.

Ti podatki kažejo, da se je proizvedlo za potrebe ogrevanja cca. 19 % več toplotne energije, kot je pokazal izračun, kar gre najverjetneje pripisati začetniškim težavam z upravljanjem nove opreme v kotlovnici in spremenljivi kvaliteti nabavljenega goriva in s tem tudi slabši izkoristek kurilne naprave, večje izgube v distribuciji toplote po zelo razvejani stavbi, morebitni malomarnosti uporabnikov pri kondicioniranju prostorov zaradi morebitno višje temperature v prostorih in večjih prezračevalnih izgub, medtem ko se je za potrebe priprave tople vode porabilo manj toplotne energije, kot je pokazal izračun gradbene fizike.

6 POTENCIAL MOREBITNIH BODOČIH UKREPOV S PODROČJA UČINKOVITE RABE ENERGIJE

Stroškovno učinkovite ukrepe za izboljšanje stanja na področju učinkovite rabe energije na posameznem objektu delimo:

6.1 Ukrepi za izboljšanje kakovosti ovoja stavbe

V to skupino ukrepov spadajo naslednji ukrepi:

- Toplotna zaščita zunanjih sten
- Toplotna zaščita stropa proti podstrešju
- Toplotna zaščita strehe-stropa v mansardi
- Menjava oken
- Menjava zasteklitve
- Toplotna zaščita stropa nad kletjo
- Odprava transmisijskih toplotnih mostov
- Odprava konvekcijskih toplotnih mostov in izboljšanje zrakotesnosti

Od vseh naštetih ukrepov so aktualni še menjava posameznih energetsko slabše učinkovitih vhodnih vrat z novimi skladno z določili PURES-2 [7] in TSG-1-004: 2010 [16] ter odprava transmisijskih toplotnih mostov pri vzdolžnih in tudi čelnih napuščih. Linijski toplotni mostovi vzdolž kapnih in čelnih napuščev so konstrukcijske narave, saj je izveden detajl z današnjega zornega kota neustrezen. Neizolirani armirano betonski simsi so mesta v zunanjem ovoju, kjer je toplotni upor bistveno manjši od toplotnega upora na fasadni steni in tudi na strehi. Tako je na teh mestih v zimskem času toplotni tok iz notranjosti proti zunanjemu oklju močno povečan. Poleg povečanih transmisijskih izgub obstaja tudi nevarnost kondenzacije vodne pare iz zraka na hladni površini v območju tako izrazitih toplotnih mostov.

Za sanacijo teh toplotnih mostov bi bilo potrebno izvesti toplotno izolacijo armirano betonskih simsov z ustreznimi toplotnoizolacijskimi materiali. Sam ukrep sicer ne predstavlja visokih investicijskih stroškov, vendar pa se pojavijo težave s streho v predelu napušča, saj je potrebno zaradi izolacije simsov dvigniti ravnino strehe in jo tudi podaljšati v predelu kapa.

To pa predstavlja velik investicijski zalogaj za lastnika in bo smoterno pristopiti k temu ukrepu skupaj z zamenjavo kritine, ko bo potrebna obnove.

6.2 Ukrepi za izboljšanje energetske učinkovitosti sistemov klimatizacije, ogrevanja in hlajenja

- Toplotna zaščita razvoda v nekondicioniranih prostorih
- Vgradnja nadzornega sistema za upravljanje s toplotnimi pritoki
- Prilagoditev moči sistema za pripravo toplote dejanskim potrebam po toploti
- Vgradnja črpalk z zvezno regulacijo
- Hidravlično uravnoteženje ogrevalnega sistema
- Rekuperacija toplote
- Prilagoditev kapacitete prezračevalnega sistema dejanskim potrebam
- Optimiranje časa obratovanja
- Prilagoditev hladilne moči z izgradnjo hladilnika ledu
- Priklop na daljinsko ogrevanje ali hlajenje
- Optimiranje zagotavljanja dnevne svetlobe

Od naštetih ukrepov bi bilo smiselno razmišljati o izvedbi sistema prezračevanja z rekuperacijo. Prezračevanje prostorov v OŠ Fara se vrši z naravnim prezračevanjem z odpiranjem oken, kar prispeva k lokalnemu neugodju v prostoru ter večje toplotne izgube pozimi, poleti pa večje toplotne dobitke in s tem možnost pregrevanja. Ventilacijske izgube so pri sodobnih oknih, z učinkovitim tesnenjem majhne, zato je izmenjava zraka v prostorih nezadostna. Učinkovit sistem ogrevanja, hlajenja in prezračevanja mora biti načrtovan tako, da se doseže celovito udobje, vključno z kvaliteto zraka in toplotnim udobjem. Pomembno je tudi redno vzdrževanje in čiščenje. Odvajanje onesnaženega zraka iz prostorov in dovod svežega zraka je zelo pomembno, saj onesnažen zrak v prostorih povzroča pri uporabnikih utrujenost, poslabšanje koncentracije, glavobole, alergije ter nastajanje vlage in plesni [53] [54]. S centralnim prezračevalnim sistemom z rekuperatorjem odpadne toplote lahko prezračujemo in zmanjšujemo ventilacijske izgube z kontroliranim mehanskim

prezračevanjem. Izračun energetske bilance z računalniškim programom Gradbena fizika URSA 4 [13] za obravnavani objekt ob upoštevanju prezračevalnega sistema z 80 % rekuperacijo pokaže, da je potrebna toplota za ogrevanje $Q_{NH} = 108.954$ kWh, kar predstavlja prihranek toplotne energije v količini 106.514 kWh na leto. Tako se zmanjša tudi letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto kondicionirane površine za objekt iz $Q_{NH}/A_u = 82,55$ kWh/(m²a) na 41,75 kWh/(m²a), kar predstavlja prihranek v velikosti cca. 50 %. V stroškovnem smislu pa govorimo o prihranku velikosti 2.268 EUR na leto, kar pomeni da bi bila vračilna doba investicije, ki je ocenjena na 25.000 EUR, dolga cca. 11 let po nominalnih vrednostih brez upoštevanja diskontiranih vrednosti stroškov in prihrankov.

6.3 Ukrepi za povečanje izrabe obnovljivih virov energije

- Vgradnja sistema SSE za pripravo tople vode
- Vgradnja fotovoltaičnih celic
- Ogrevanje na biomaso
- Prehod na geotermalne energije

Od naštetih ukrepov v segmentu ukrepov povečanja izrabe OVE, bi bilo smiselno razmišljati o vgradnji sistema SSE za pripravo sanitarne tople vode in vgradnja fotovoltaičnih celic na streho.

Glede na ugodno orientacijo strehe, bi bilo smiselno namestiti termalni solarni sistem za pripravo sanitarne tople vode. Z manjšim sistemom bi privarčevali približno 20 % toplotne energije potrebne za pripravo sanitarne tople vode, predvsem pa bi bilo mogoče ustaviti kotlovnico izven kurilne sezone.

6.4 Organizacijski ukrepi

- Ugašanje luči, ko so prostori nezasedeni
- Analiza tarifnega sistema
- Energetski pregled stavbe
- Energetsko knjigovodstvo

Na področju organizacijskih ukrepov je bilo v preteklosti storjeno zelo veliko, tako da dodatni tovrstni ukrepi niso smiselni.

7 ZAKLJUČEK

Objekt OŠ Fara spremljam od same izgradnje naprej, saj sem že kot mlad inženir sodeloval pri projektiranju in izvedbi v letih 1994 do 1996. Tako, da mi je znano, kako se je razmišljalo v tistem obdobju o učinkoviti rabi energije v stavbah, poznam tudi takratne predpise in razvoj le-teh. Predpisi s tega področja so vse bolj strogi in tudi osveščenost projektantov in investitorjev mora biti posledično iz leta v leto na višjem nivoju.

Sodeloval sem tudi pri pripravi projektne dokumentacije za energetske sanacije objekta leta 2013 in izvajal nadzor nad izvedbo del. V tej diplomski nalogi pa sem analiziral stanje v prvem letu delovanja po energetske obnovi in ugotovil, da so zlasti finančni prihranki za stroške energije za ogrevanje in pripravo tople vode znatni, kar dokazuje, da so bili izvedeni ukrepi energetske sanacije objekta stroškovno učinkoviti.

Izvedene analize stanja pred in po obnovi objekta kažejo, da se bodo prihranki pri porabi energije za ogrevanje stavbe gibali okoli 30 %, stroški za toplotno energijo pa se bodo zaradi prihrankov, predvsem pa zaradi bistveno nižje cene novega energenta, znižali za kar 84 %. Stroški investicije so znašali 339.186 EUR in se bodo skozi občutno nižje stroške za energijo vrnili v cca. 13,6 letih, računano po nominalnih vrednostih brez diskontiranja.

Na koncu lahko zaključim, da je strategija Evropske unije in Republike Slovenije na področju energetske politike ustrezna in da so ukrepi, ki jih izvajamo na podlagi naših predpisov sprejetih zaradi Evropskih direktiv in tudi z evropskim denarjem, dobrodošli, tako zaradi dolgoročnega zmanjšanja stroškov za energijo potrebne za delovanje zgradb v prihodnjih desetletjih, povečanju deleža obnovljivih virov energije in tudi zaradi oživljanja gradbeništva in ohranjanja delovnih mest, saj so tovrstne investicije delovno intenzivne, večino gradbenega materiala in naprav pa je tudi domačega porekla, s čimer se doseže tudi multiplikativen gospodarski učinek.

VIRI

- [1] Energija 2020 Strategija za konkurenčno, trajnostno in zanesljivo oskrbo z energijo. 2010. Sporočilo komisije Evropskemu parlamentu, Svetu, Evropskemu ekonomsko-socialnemu odboru in Odbori regij, SEC(2010) 1346.
- [2] Nacionalni akcijski načrt za energetske učinkovitost za obdobje 2008-2016 (AN- URE). 2008. Vlada Republike Slovenije, št.: 36000-1/2008/13.
- [3] Energetski zakonodajni paket 20/20/20, Svet Evrope.
- [4] Operativni program razvoja okoljske in prometne infrastrukture 2007-2013 (OP ROPI) http://www.mgrt.gov.si/fileadmin/mgrt.gov.si/pageuploads/svlr/KOHEZIJA/Operativni_programi/OP_ROPI_Usklajeno-1.pdf (Pridobljeno 20.6.2015)
- [5] Javni razpis za sofinanciranje operacij za energetske sanacijo stavb v lasti lokalnih skupnosti (LS1), 2012. Ministrstvo za infrastrukturo in prostor http://www.energetika-portal.si/javne-objave/objava/?tx_t3javnirazpis_pi1%5Bshow_single%5D=937 (Pridobljeno 23.6.2015)
- [6] Pravilnik o spodbujanju učinkovite rabe energije in rabe obnovljivih virov energije, Uradni list RS, št. 89/08, 25/09 in 58/2012.
- [7] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES-2: 2010, Uradni list RS, št. 52/2010. 7 str.
- [8] Investicijski program za energetske sanacijo občinskih objektov, 1.faza. 2012., št. OB 165-10-005, Občina Kostel. 52 str.
- [9] Končno poročilo energetskega pregleda OŠ Fara. 2012. Termaconsult, Ljubljana. 45 str.
- [10] Energetske sanacije OŠ Fara. 2012. PZI projektna dokumentacija št.24/2014, Most inženiring, Kočevje. 55 str.
- [11] Krainer A., Predan R. 2012. Računalniški program TEDI, Uporabniški priročnik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 47 str.
- [12] Krainer A., Predan R. 2012. Računalniški program TOST, Uporabniški priročnik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 45 str.
- [13] Saje, M. 2010. Računalniški program Ursa Gradbena fizika 4, Ursa Slovenija, RAISA računalniški inženiring.
- [14] Lizbonska pogodba o delovanju Evropske unije. 2007. Uradni list Evropske unije. C 306
- [15] SIST EN ISO 13790:2008. Energijske lastnosti stavb – Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov (ISO 13790:2008).

- [16] Tehnična smernica TSG-1-004:2010. Učinkovita raba energije. Ministrstvo za okolje in proctor RS.
- [17] SIST EN ISO 6946:2008. Gradbene komponente in gradbeni elementi - Toplotna upornost in toplotna prehodnost - Računska metoda (ISO 6946:2007).
- [18] SIST EN ISO 10211-1:1997/AC:2002. Toplotni mostovi v stavbah - Izračun toplotnih tokov in površinske temperature - 1. del: Splošne metode (ISO 10211-1:1995).
- [19] SIST 1025:2002 - Toplotna tehnika v gradbeništvu - Metoda izračuna difuzije vodne pare v stavbah.
- [20] Šijanc Zavrl M. 2009. Energijske in okoljske prednosti lesenih hiš. Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK.
<http://www.sloles.com/MOS09-Sijanec.pdf> (Pridobljeno 28.6.2015) .
- [21] Pravilnik o tehničnih ukrepih in pogojih za zaščito stavb, Uradni list SFRJ 35/70.
- [22] JUS.U.J5.600, Tehnični pogoji za projektiranje in graditev stavb.
- [23] JUS.U.J5.510, Metoda računanja toplotne prehodnosti.
- [24] JUS.U.J5.520, Metoda računanja difuzije vodne pare.
- [25] JUS.U.J5.530, Metoda računanja karakteristik toplotne stabilnosti v poletnem obdobju.
- [26] Pravilnik o racionalni rabi energije pri gretju in prezračevanju objektov ter pripravi tople vode, Uradni list SRS 31/84 in 35/84.
- [27] Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah (PTZURES), Uradni list RS 42/2002.
- [28] Direktiva 2002/91/ES Evropskega parlamenta in Sveta o energetske učinkovitosti stavb. 2002. EPBD.
- [29] Prenovljena direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta o energetske učinkovitosti stavb. 2010. EPBD (recast).
- [30] Uredba (EU) št. 305/2011 Evropskega parlamenta in Sveta o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS. 2011.
- [31] Direktiva 2006/32/ES Evropskega parlamenta in Sveta o činkovitosti rabe končne energije in o energetske storitvah. 2006.
- [32] Direktiva 2009/28/ES Evropskega parlamenta in Sveta o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov. 2009.

- [33] Nacionalni akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010-2020 (AN OVE). 2010. Ministrstvo za gospodarstvo republike Slovenije.
http://www.mg.gov.si/fileadmin/mg.gov.si/pageuploads/Energetika/Porocila/AN_OVE_2010-2020_final.pdf (Pridobljeno 1.7.2015)
- [34] Direktiva 2009/125/ES Evropskega parlamenta in Sveta o vzpostavitvi okvira za določanje zahtev za okoljsko primerno zasnovane izdelke, povezanih z energijo. 2009.
- [35] Direktiva 2012/27/EU Evropskega parlamenta in Sveta o energetske učinkovitosti. 2012.
- [36] Podatki za Pravilnik o učinkoviti rabi energije
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/pravilnik-ucinkoviti-rabi-energije/> (Pridobljeno 1.7.2015)
- [37] Temperaturni primankljaj in presežek ter kurilna sezona 1961-2015
http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/cooling-heating-degree-days.txt (Pridobljeno 1.7.2015)
- [38] Zemljevid vremenskih postaj
<http://goo.gl/maps/unAQh> (Pridobljeno 1.7.2015)
- [39] SIST EN ISO 13790:2008, Energijske lastnosti stavb - Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov (ISO 13790:2008).
- [40] SIST ISO 9836:2011, Standardi za lastnosti stavb - Definicija in računanje indikatorjev površine in prostornine.
- [41] SIST EN ISO 13789:2008, Toplotne značilnosti stavb - Toplotni koeficienti pri prenosu toplote in prezračevanja - Računska metoda (ISO 13789:2007).
- [42] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Uradni list RS, št. 42/2002, 105/2002.
- [43] Kranjc, N., Piškur, M., Klun, J., Premrl, T., Piškur, B., Robek, R., Mihelič, M., Sinjur, I., 2009. Lesna goriva, drva in lesni sekanci, proizvodnja, standardi kakovosti in trgovanje, Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica, str.23
http://www.gozdis.si/data/publikacije/10_lesna_goriva_prirocnik.pdf (Pridobljeno 5.7.2015)
- [44] Prenova javnih stavb, Ministrstvo za infrastrukturo RS.
<http://www.energetika-portal.si/podrocja/energetika/prenova-javnih-stavb/> (Pridobljeno 3.7.2015)
- [45] Končno poročilo o izvedeni operaciji .2015. Občina Kostel: 11 str.
- [46] PISO-prostorsko informacijski sistem občin,
<http://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=KOSTEL>. (Pridobljeno 5.7.2015)

- [47] Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb. 2014. Uradni list RS, št. 92/2014
- [48] Pravilnik o metodologiji izdelave in vsebini študije izvedljivosti alternativnih sistemov za oskrbo stavb z energijo, Uradni list RS, št. 35/2008 in 17/2014
- [49] Zakon o varstvu okolja. 2006. Uradni list RS, št. 39/06
- [50] Priročnik za izdelovalce energetskih izkaznic. 2015. Podporno gradivo k PEI, PURES-2 in TSG, Center za bivalno okolje, gradbeno fiziko in energijo, GI-ZRMK. 32 str.
- [51] Podatki o porabi sekancev za leto 2014 . 2015. Fara. 8 str.
- [52] Odčitki kalorimetra za leto 2014. 2015. Fara. 4 str
- [53] Kuček, A., Dovjak, M. 2014. Prevention and control of sick building syndrome (SBS) : part 1 - Identification of risk factors. Sanitarno inženirstvo. 8,1:16-40.
- [54] Dovjak, M., Kuček, A. 2014. Prevention and control of sick building syndrome (SBS) : part 2 - Design of a preventive and control strategy to lower the occurrence of SBS. Sanitarno inženirstvo. 8,1:41-55.