

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:

Avguštin, N., 2015. Primerjava energetskih bilanc javnih stavb. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kunič, R., somentor Košir, M.): 116 str.

Datum arhiviranja: 30-11-2015

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:

Avguštin, N., 2015. Primerjava energetskih bilanc javnih stavb.. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kunič, R., co-supervisor Košir, M.): 116 pp.

Archiving Date: 30-11-2015

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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
ORGANIZACIJSKO
TEHNOLOŠKA SMER

Kandidat:

NEJC AVGUŠTIN

**PRIMERJAVA ENERGETSKIH BILANC JAVNIH
STAVB**

Diplomska naloga št.: 3450/OTS

**COMPARISON OF ENERGY BALANCES IN PUBLIC
BUILDINGS**

Graduation thesis No.: 3450/OTS

Mentor:

doc. dr. Roman Kunič

Somentor:

doc. dr. Mitja Košir

Ljubljana, 24. 11. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **NEJC AVGUŠTIN** izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom:

»PRIMERJAVA ENERGETSKIH BILANC JAVNIH STAVB«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Dolenjske Toplice, 11. 11. 2015

Nejc Avguštin

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	620.9:721(497.4)(043.2)
Avtor:	Nejc Avguštin
Mentor:	doc. dr. Roman Kunič
Somentor:	doc. dr. Mitja Košir
Naslov:	Primerjava energetskih bilanc javnih stavb
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	116 str., 16 pregl., 34 graf., 21 sl., 10 en., 4 pril.
Ključne besede:	toplota, ogrevanje, prihranek, energetska bilanca stavbe, javna stavba, direktiva, učinkovitost

IZVLEČEK

Diplomsko delo obravnava primerjalno analizo energetskih bilanc javnih stavb pred in po energetski prenovi. V obdobju med leti 2010 in 2015 se je večina energetskih prenov javnih stavb v Sloveniji sofinancirala iz Kohezijskega sklada Evropske unije. Primerjava temelji na izračunih energetskih bilanc stavb pred in po prenovi, ki so jih izvedli projektanti pred prijavo projektov na razpis za pridobitev nepovratnih sredstev. Na voljo sta nam bili prijavna in projektna dokumentacija za 33 javnih stavb, namenjenih vzgojno-izobraževalnim dejavnostim. Vsi izračuni energetskih bilanc stavb, izvedeni s strani projektantov, so bili narejeni s komercialnima programoma ARCHIMAID in Gradbena fizika URSA 4.0. Pri pregledu teh izračunov smo prišli do ugotovitev, da večina robnih pogojev, ki so jih projektanti uporabili pri izračunu energetskih bilanc, ne izraža dejanskega stanja stavb. Izračune energetskih bilanc projektantov smo primerjali z izračuni programa TOST, pri tem pa smo uporabili enake parametre kot projektanti pri izdelavi svojih izračunov. Primerjava je pokazala velika odstopanja. Zanimala nas je tudi učinkovitost izvedbe energetskih prenov, kjer smo preverili, ali stavbe dosegajo zastavljene energetske prihranke v kWh. Več kot polovica stavb je dosegla zastavljen prihranek, medtem ko ga ostale stavbe niso. Predvidevamo, da imajo velik vpliv na nedoseganje zastavljenih prihrankov tudi slabo izvedene simulacije energetskih bilanc stavb. Med seboj smo primerjali še stroške izvedenih energetskih prenov in izračunali vračilne dobe. Na koncu diplomske naloge je predstavljen tudi način energetskega upravljanja stavbe s pomočjo energetskega monitoringa.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 620.9:721(497.4)(043.2)

Author: Nejc Avguštin

Supervisor: assist. prof. Roman Kunič, Ph. D.

Cosupervisor: assist. prof. Mitja Košir, Ph. D.

Title: Comparison of the energy balance of buildings

Document type: Graduation Thesis – University studies

Scope and tools: 116 p., 16 tab., 34 graph., 21 fig., 10 eq., 4 ann.

Key words: heat, heating, saving, energy balance of buildings, public buildings, directive, efficiency

ABSTRACT

The thesis deals with a comparative analysis of energy balance of public buildings before and after energy renovation. Most of the energy renovations of public buildings in Slovenia between 2010 and 2015 was co-financed by the Cohesion Fund of the European Union. The analysis is based on the calculations of energy balances of the buildings before and after renovation. The calculations were carried out by designers prior to submitting the project application for subsidy. We had at our disposal all application forms and project documentation for 33 public buildings, all of which are intended for educational activities. All calculations of energy balance of buildings carried out by the designers were performed with commercial software ARCHIMAID or Gradbena fizika URSA 4.0. The review of these calculations of energy balance shows that most of the boundary conditions used by designers in their calculations do not reflect the actual state of the buildings. The calculations carried out by designers were compared with calculations conducted with program TOST. In our calculations we used the same parameters the designers used in their calculations. The comparison shows significant discrepancies. We also analyzed the effectiveness of energy renovations of the buildings. In this analysis we reviewed whether the buildings achieve planned energy savings in kWh. More than half of the buildings achieve planned savings while the other buildings do not. It is assumed that badly conducted simulations of energy balances are a major factor why the buildings do not reach planned energy savings. A comparison of the cost of energy renovations of buildings to planned savings was made and the payback period was calculated. The end of the thesis includes a presentation of energy monitoring – a way of energy management of the building.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Za pomoč, potrpežljivost in usmerjanje pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Romanu Kuniču in somentorju doc. dr. Mitji Koširju.

Posebna zahvala gre staršema in sestri, ki so mi omogočili študij, mi stali ob stran in me podpirali.

Velika zahvala gre tudi puncu Urški, ki me je tekom študija neprestano motivirala in spodbujala.

Hvala tudi vsem sošolcem, predvsem Mihi Oblaku in prijateljem, ki so pripomogli k temu, da bodo moja študentska leta ostala nepozabna.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	V
BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VII
KAZALO VSEBINE	XI
KAZALO PREGLEDNIC	XIV
KAZALO SLIK.....	XV
KAZALO GRAFIKONOV.....	XVI
SEZNAM UPORABLJENIH OKRAJŠAV	XVII
DEFINICIJE UPORABLJENIH POJMOV	XIX
1 UVOD	1
1.1 Namen.....	2
1.2 Cilji	3
2 PREGLED LITERATURE IN STANJA	5
2.1 Zakonodajni okviri na področju energetskih prenov javnih stavb.....	5
2.1.1 Evropska zakonodaja	5
2.1.2 Slovenska zakonodaja na področju javnih stavb.....	11
2.2 Pregled študij na področju primerjav energetskih bilanc stavb	14
2.3 Energetske prenove javnih stavb v Sloveniji	15
2.3.1 Obstoječe stanje javnih stavb v Sloveniji	16
2.3.2 Poraba energije javnih stavb v Sloveniji.....	18
2.3.3 Primer izvedbe energetske prenove javne stavbe v Sloveniji.....	20
3 ORODJA IN METODOLOGIJA ZA IZRAČUN PRIHRANKOV IN Q_{NH}.....	24
3.1 Metodologija izračuna energetskih lastnosti po Standardu SIST EN ISO 13790	25
3.1.1 Postopek izračuna po Standardu SIST EN ISO 13790	26
3.1.2 Uporabljeni programi za izračun gradbene fizike stavbe	29
3.2 Predpostavke in omejitve pri izračunu Q_{NH}	32
3.2.1 Dileme pri določitvi nekaterih robnih pogojev in parametrov	32
3.2.2 Določitev karakteristik vgrajenih materialov	34

3.2.3	Prezračevanje oziroma urna izmenjava zraka.....	35
3.2.4	Temperature ogrevanih prostorov.....	35
3.2.5	Število obratovalnih ur oziroma intenziteta uporabe stavbe	36
4	OBRAVNAVANE STAVBE.....	37
4.1	Predstavitev obravnavanih stavb pred energetsko prenovu	37
4.2	Dejanska poraba toplotne energije stavb pred prenovu	45
4.2.1	Določitev deleža porabe toplotne energije za ogrevanje in pripravo TSV	46
4.2.2	Poraba toplotne energije za ogrevanje stavb pred prenovu (Q_{NH})	48
5	LETNA POTREBNA TOPLOTA ZA OGREVANJE – Q_{NH}	51
5.1	Vhodni podatki za izračun energetskih bilanc stavb	51
5.1.1	Komentar na izbrane robne pogoje in predpostavke projektantov	52
5.2	Dejanska in izračunana Q_{NH} – pred prenovu	56
5.3	Analiza odstopanj med dejansko in izračunano Q_{NH} – pred prenovu	64
5.4	Primerjava kazalnikov z zahtevami posameznih pravilnikov.....	66
5.4.1	Primerjava s Pravilnikom iz časa gradnje stavb JUS U.J5.600.....	66
5.4.2	Primerjava s PURES 2010.....	67
5.5	Izvedeni ukrepi na obravnavanih stavbah	68
5.5.1	SWOT analiza posameznih ukrepov	70
5.6	Dejanska in izračunana Q_{NH} po prenovi	72
5.6.1	Dejanska letna in sezonska poraba toplotne energije	73
5.7	Energijski razredi stavb pred in po energetski prenovi	75
6	ANALIZA UČINKOVITOSTI ENERGETSKIH PRENOV	77
6.1	Metodologija primerjave.....	77
6.2	Prihranki energetskih prenov za posamezne obravnavane stavbe.....	78
6.3	Rezultati analize učinkovitosti energetskih prenov	82
7	EKONOMSKO VREDNOTENJE ENERGETSKIH PRENOV	86
7.1	Analiza vračilnih dob.....	88
8	DOSEGANJE PRIHRANKOV S POMOČJO ENERGETSKEGA MONITORINGA	93
8.1	Energetski monitoring	94

8.2	Delovanje energetskega monitoringa, vzpostavljenega v obravnavanih stavbah ...	95
8.3	Spremljanje in doseganje zastavljenih kazalnikov	97
9	UGOTOVITVE	103
10	ZAKLJUČEK	106
VIRI	108

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Pregled zadnjih nekaj evropskih dokumentov na področju energetske učinkovitosti stavb.....	6
Preglednica 2: Poraba končne energije v javnem sektorju (Raba energije v javnem sektorju, stroški zanjo in vplivi na okolje).....	19
Preglednica 3: Prikaz različnih definicij in opisov površin stavbe.....	33
Preglednica 4: Karakteristike analiziranih javnih stavb.....	37
Preglednica 5: Opis zunanjega ovoja obravnavanih stavb pred prenovo.....	39
Preglednica 6: Toplotna energije za pripravo TSV v stavbah.....	47
Preglednica 7: Vhodni podatki za izračun energetskih bilanc javnih stavb.....	51
Preglednica 8: Izbrani robni pogoji in predpostavke projektantov.....	53
Preglednica 9: Primerjava Q_{NH} glede na namembnost obravnavanih stavb.....	57
Preglednica 10: Izvedeni ukrepi URE na obravnavanih stavbah.....	69
Preglednica 11: Matrika prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti (SWOT matrika) za izvedbo ukrepov na zunanjem toplotnem ovoju stavbe.....	70
Preglednica 12: Matrika prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti (SWOT matrika) za izvedbo ukrepov na strojnem ali elektroenergetskem sistemu.....	71
Preglednica 13: Povprečno izboljšanje energijskega razreda stavb po namembnosti glede na obstoječe stanje.....	76
Preglednica 14: Stroškovna vrednost izvedbe energetske prenove javnih stavb.....	86
Preglednica 15: Vračilne dobe investicij v energetske prenove javnih stavb.....	92
Preglednica 16: Prednosti in slabosti različnih načinov spremljanja rabe energije.....	93

KAZALO SLIK

Slika 1: Pregled preračunane dovoljene Q_{NH} po letih za energetske učinkovitost stavb v Sloveniji	11
Slika 2: Frekvenca števila javnih stavb glede na leto izgradnje	17
Slika 3: Primer poteka izvedbe energetske prenove stavbe v lasti javnih subjektov	23
Slika 4: Energetska bilanca stavbe po Standardu SIST EN ISO 13790.....	26
Slika 5: Prikaz glavnih rezultatov znotraj uporabniškega vmesnika programa ARCHIMAID .	30
Slika 6: Prikaz glavnih rezultatov znotraj uporabniškega vmesnika programa URSA 4.0	31
Slika 7: Prikaz glavnih rezultatov znotraj uporabniškega vmesnika programa TOST	32
Slika 8: Prikaz napačno definirane kondicionirane prostornine v programu za izračun gradbene fizike	33
Slika 9: Shematski prikaz razlike med neto površino in neto uporabno površino etaže	34
Slika 10: Prikaz toplotne prevodnosti dveh na pogled enakih materialov.....	34
Slika 11: Lokacije obravnavanih stavb	45
Slika 12: Izmerjena temperatura v stavbi O1 v učilnici 13 dne 27. 1. 2013 ob 14. uri	54
Slika 13: Primer poteka energetskega monitoringa	94
Slika 14: Primer strukture sistema energetskega monitoringa, vzpostavljenega v stavbah ..	96
Slika 15: Poraba toplotne energije med vikendom po spremembi nastavitve ogrevanja v tednu od 12. 2. 2015 do 18. 2. 2015	98
Slika 16: Prikaz proizvodnje toplotne energije s pomočjo TČ po urah za dan 2. 3. 2015	99
Slika 17: Prikaz temperature v učilnici osnovne šole za obdobje 17. 2. 2015 do 5. 3. 2015 .	99
Slika 18: Prikaz večje porabe električne energije zaradi prižganih računalnikov (levi del slike) in zmanjšanja rabe energije (desni del slike).....	100
Slika 19: Prikaz znižanja temperature v prostoru zaradi odprtega okna na ventus	101
Slika 20: Prikaz izboljšanja COP zaradi novih nastavitvev TČ (slika pred nastavitvijo).....	101
Slika 21: Prikaz izboljšanja COP zaradi novih nastavitvev TČ (slika po nastavitvi)	102

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Delež tipov stavb glede na uporabno površino v odstotkih (%)	17
Grafikon 2: Površina različnih vrst stavb v javnem sektorju za leto 2008	18
Grafikon 3: Delež stavb po kondicioniranih površinah (levo) in številu (desno).....	46
Grafikon 4: Način ogrevanja obravnavanih stavb	48
Grafikon 5: Dejanska letna poraba toplotne energije za ogrevanje stavb glede na kondicionirani površino in prostornino	49
Grafikon 6: Primerjava Q_{NH} obravnavanih stavb na m^3 kondicionirane prostornine	56
Grafikon 7: Primerjava Q_{NH} glede na različna obdobja izgradnje stavb	58
Grafikon 8: Dejanska Q_{NH} glede na temperaturni primanjkljaj.....	59
Grafikon 9: Primerjava Q_{NH} obravnavanih stavb glede na m^2 kondicionirane površine	60
Grafikon 10: Primerjava dejanske Q_{NH} in f_0	61
Grafikon 11: Primerjava dejanske Q_{NH} in H'_T	61
Grafikon 12: Primerjava med dejansko in izračunano Q_{NH} – pred prenovo.....	62
Grafikon 13: Primerjava med dejansko in izračunano Q_{NH} (različni programi)	63
Grafikon 14: Primerjava Q_{NH} in f_0 glede na namembnost stavb	63
Grafikon 15: Primerjava Q_{NH} in H'_T glede na namembnost stavb.....	64
Grafikon 16: Odstopanje izračunane Q_{NH} od dejanske Q_{NH}	64
Grafikon 17: Doseganje zahtev predpisov iz časa gradnje stavb.....	67
Grafikon 18: Primerjava koeficienta H'_T pred prenovo	68
Grafikon 19: Primerjava letne potrebne toplote za ogrevanje po prenovi.....	72
Grafikon 20: Primerjava koeficienta H'_T po prenovi.....	73
Grafikon 21: Primerjava letne in sezonske porabe toplote pred prenovo stavb	74
Grafikon 22: Primerjava letne in sezonske porabe toplote po prenovi stavb.....	74
Grafikon 23: Energijski razredi stavb po A_k pred in po energetski prenovi.....	75
Grafikon 24: Energijski razredi stavb glede po številu stavb pred in po energetski prenovi ..	76
Grafikon 25: Primerjava med dejansko in predvideno porabo toplotne energije po prenovi..	78
Grafikon 26: Ocenjeni in dejanski prihranki pri porabi toplotne energije v stavbah	79
Grafikon 27: Odstopanje ocenjenega in dejanskega prihranka obravnavanih stavb	80
Grafikon 28: Primerjava predvidene in dejanske toplotne energije po energetski prenovi	81
Grafikon 29: Vpliv tipa stavbe glede na dejanske energetske prihranke.....	82
Grafikon 30: Vpliv projektanta na doseganje energetskih prihrankov	83
Grafikon 31: Vpliv leta izgradnje stavbe na doseganje energetskih prihrankov	84
Grafikon 32: Enostavna in diskontirana vračilna doba projektov energetskih prenov.....	85
Grafikon 33: Enostavna in diskontirana vračilna doba projektov energetskih prenov.....	89
Grafikon 34: Diskontirane vračilne dobe investicij energetskih prenov (3 % disk. stopnja) ...	91

SEZNAM UPORABLJENIH OKRAJŠAV

λ – toplotna prevodnost [W/mK]

AB – armirani beton

A_k – kondicionirana površina [m²]

BIM – ang. Building Information Modeling – informacijski model zgradbe

COP – koeficient energetske učinkovitosti (npr. toplotnih črpalk, hladilnih sistemov itd.)[-]

D – dijaški dom

EED – ang. Energy Efficiency Directive – Direktiva o energetske učinkovitosti

EK – Evropska komisija

ELKO – ekstra lahko kurilno olje

EPBD – ang. Energy Performance of Buildings Directive – Direktiva o energetske učinkovitosti stavb

EU – Evropska unija

f₀ – oblikovni faktor

g – faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja

GPRS – ang. General Packet Radio Service – mobilna podatkovna storitev v okviru standarda ang. Global System for Mobile communications (GSM)

HI – hidroizolacija

H^{*}_T – koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub [W/(m² K)]

H_T – koeficient transmisijskih toplotnih izgub [W/K]

M-BUS – bus meter – optimizirana naprava za prenos raznih podatkov (npr. o porabi energije)

MIZS – Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport

MKP – mavčno-kartonske plošče

O – osnovna šola

OVE – obnovljivi viri energije

PURES 2010 – Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (Ur. list RS, št. 93/2008; spremembe: št. 47/2009, 52/2010)

Q_{NH} – letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe [kWh/leto]

S – srednja šola

SPTE – soproizvodnja toplote in električne energije

TČ – toplotna črpalka

TI – toplotna izolacija

Tprim 12 – temperaturni primanjkljaj TP12/20 [Kdni/leto]

U – toplotna prehodnost [W/m^2K]

UNP – utekočinjen naftni plin

URE – učinkovita raba energije

V – vrtec

DEFINICIJE UPORABLJENIH POJMOV

Adiabatne razmere (AR) so razmere stanja termodinamskega sistema, v katerih si sistem z okolico ne izmenjuje toplote. Izgube in dobitki toplote med dvema različnima conama so enaki nič.

Energetska bilanca stavbe nam pove rabo energije v stavbi in se izraža v enoti kilovatne ure na letnem nivoju (kWh/letno).

Energetski pregled (EP) zajema celovito energetsko analizo energetskih sistemov v določenem objektu. Vključuje pripravo izhodiščne vrednosti za merjenje porabe energije v času, oceno potencialnih prihrankov energije in stroškovno učinkovitost ustrezno izbranih ukrepov za povečanje energetske učinkovitosti stavbe (Metodologija izvedbe energetskega pregleda) [1].

Faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja (g) je razmerje vpadle in prepuščene gostote energijskega toka sončnega obsevanja [2].

Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub (H'_T) je razmerje med koeficientom transmisijskih toplotnih izgub stavbe (H_T) in celotno zunanjo površino stavbe (A) [2].

Koeficient učinkovitosti toplotne črpalke (COP) je razmerje med pridobljeno energijo – toploto (pri hlajenju pa odvzeto toploto) – in vloženo pogonsko energijo (po navadi električno energijo), potrebno za delovanje toplotne črpalke. Višje kot je to razmerje oziroma število, bolj učinkovito oziroma ekonomično je delovanje naprav [2].

Koeficient transmisijskih toplotnih izgub stavbe (H_T) je koeficient, določen po Standardu SIST EN ISO 13790 [2, 3].

Kondicionirana površina A_k je ogrevana oziroma hlajena zaprta neto površina stavbe, določena v skladu s Standardom SIST EN ISO 13789 in Pravilnikom, ki ureja metodologijo učinkovite rabe energije v stavbah [4].

Letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe (Q_{NH}) je potreba po toploti, ki jo je treba v enem letu dovesti v stavbo za doseganje projektnih notranjih temperatur zraka v obdobju ogrevanja, in je določena po Standardu SIST EN ISO 13790 [2, 3].

Oblikovni faktor (f_0) je razmerje med celotno zunanjo površino stavbe A (m^2) in neto ogrevano prostornino stavbe V_e (m^3), kar izrazimo z enačbo $f_0 = A / V_e$ (m^{-1}).

Temperaturni primanjkljaj ($T_{\text{prim 12}}$) – TP12/20 – je definiran kot produkt časa ogrevanja in razlike temperatur med notranjostjo zgradbe (20 °C) in zunanjim zrakom. Trajanje je po dogovoru omejeno na dni, ko je zunanja temperatura nižja od 12 °C.

Toplotna prehodnost (U) je celotna toplotna prehodnost, ki upošteva prehod toplote skozi element ovoja stavbe in vključuje prevajanje, konvekcijo in sevanje, označuje toplotni tok skozi konstrukcijo pravokotno na ploskev, ki pri doseženem stacionarnem stanju prehaja skozi ploščinsko enoto, če je temperaturna razlika zraka na obeh straneh konstrukcije enaka enoti temperature ena (1) stopinja Kelvina (K) [5]. V nadaljevanju diplomske naloge toplotna prehodnost konstrukcijskih sklopov predstavlja samo prevajanje in konvekcijo na poenostavljen način v območju mejnih zračnih plasti, izračunana pa je s pomočjo računalniških programov na podlagi standardov SIST EN ISO 6946 in SIST ISO 10211.

Toplotna prevodnost (λ) je snovna lastnost materiala, določena pri srednji delovni temperaturi in vlažnosti materiala. Pove nam, kolikšen toplotni tok preteče pri stacionarnih pogojih v 1 uri skozi material z debelino 1 m in površino 1 m² pri temperaturni razliki ene (1) stopinje Kelvina (K) v smeri pravokotno na mejno ploskev [5].

1 UVOD

Zmanjšanje rabe energije in energetska učinkovitost stavb sta zelo pomembni temi že od začetka prve energetske krize v novejši zgodovini leta 1970. Poraba energije v stavbah Evropske unije (EU) predstavlja 41 % celotne končne porabljene energije, sledita transport z 32 % in industrija z 25 %. Povprečna letna poraba energije je v letu 2009 za stavbe v EU znašala 220 kWh/m², pri čemer so bile zelo velike razlike med stanovanjskimi (okrog 200 kWh/m² letno) in nestanovanjskimi stavbami (okrog 300 kWh/m² letno). Energetska učinkovitost stavb je tako eden izmed ključnih ciljev evropske politike za reševanje izzivov varne oskrbe z energijo in boja proti klimatskim spremembam [6]. V ta namen je bilo razvitih veliko različnih predpisov, orodij, metod, standardov in poslovnih modelov.

Od prve energetske krize pa do danes je bilo sprejetih kar nekaj dokumentov in predpisov za zmanjšanje rabe energije v stavbah. Kot prvi dokument oziroma direktiva, ki je imela večji vpliv na tem področju, je leta 2003 v veljavo stopila Direktiva o energetske učinkovitosti stavb (EPBD), Evropska direktiva 2002/91/EC Evropskega parlamenta in Sveta. Ta direktiva je podlaga za večino predpisov, ki so jih sprejele države članice EU za izboljšanje energetske učinkovitosti stavb v zadnjem desetletju. Zaradi počasnega prenosa Direktive v pravne rede držav članic in sprejema različnih metodologij za izračun energetske učinkovitosti je bila maja 2010 sprejeta prenovljena Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2010/31/EU (EPBD-r), 2 leti kasneje pa še Direktiva 2012/27/EU o energetske učinkovitosti (EED). Skupaj direktivi EED in EPBD-r predstavljata bistvene smernice za vse države članice EU. Predpisujeta predvsem ukrepe za zmanjšanje rabe energije v stavbah in tako skupaj z ostalimi direktivami dajeta številne pozitivne učinke tudi na gospodarstvo, okolje, družbo in energetske varnost [7].

V zadnjem času je tema energetskih prenov stavb zelo aktualna. V zadnjih nekaj letih se je s pomočjo nepovratnih evropskih sredstev in sredstev EKO sklada energetske prenovilo veliko stavb tudi v Sloveniji. Prav tako je bil v letošnjem letu objavljen predlog Dolgoročne strategije za spodbujanje naložb v energetske prenovne stavb. Medtem ko praktično vse novozgrajene stavbe sodijo v visok razred energetske učinkovitosti, pa so obstoječe stavbe v večini energetske zelo potratne in tako nujno potrebujejo prenovu s ciljem večje energetske učinkovitosti. Obstoječe stavbe lahko s svojim potencialom za zmanjšanje rabe energije igrajo ključno vlogo pri trajnostni, nizkoogljični družbi. Hkrati pa njihova prenova ponuja številne druge družbene koristi, kot so zmanjšanje energetske revščine, večja energetske varnost, bolj zdrava in kakovostna okolje in ozračje, zmanjšana brezposelnost, višje cene najemnin in višja vrednost nepremičnin [8].

Pri doseganju energetsko učinkovitih ukrepov in prihrankov pri energetskih prenovah, se pojavlja kar nekaj težav in ovir, kot so na primer visoki vnaprejšnji stroški za vlagatelje, težave z natančno napovedjo prihrankov energije [9], nekvalitetna priprava projektne dokumentacije, slaba izvedba prenove in velik poudarek na obnovljivih virih energije (OVE), ki zmanjšujejo ekonomsko upravičenost posameznih ukrepov [10][11]. Različna mnenja in ovire pri izvajanju energetskih prenov na stavbah bi lahko pripisali pomanjkanju meritev in spremljanja rabe energije po izvedenih ukrepih ter pomanjkanju študij na dejanskih praktičnih primerih po prenovah. Eden izmed sklepov Ma in sod. [12] je, da je bila večina dosedanjih študij izvedena s pomočjo numeričnih simulacij in da se dejanski prihranki energije na stavbah razlikujejo od ocenjenih. Potrebni bi bilo več raziskav, podprtih s praktičnimi primeri, da bi povečali zaupanje v učinkovitost energetskih prenov [12].

Mednarodna agencija za energijo v World Energy Outlook 2012 [6] poudarja, da so spremljanje, preverjanje in upravljanje stavb bistvenega pomena za uresničitev pričakovanih prihrankov energije po izvedenih ukrepih na stavbah [13].

V diplomski nalogi bomo na kratko predstavili evropsko in slovensko zakonodajo na področju energetske učinkovitosti stavb. Sledila bo kratka predstavitev postopka izvedbe energetske prenove javne stavbe na konkretnem primeru oziroma projektu, ki je bil upravičen do nepovratnih sredstev Kohezijskega sklada. V nadaljevanju bo sledila predstavitev metodologij in orodji, ki se lahko uporabljajo za izračun energetskih bilanc stavb ali prihrankov energije. Po teoretičnem delu in predstavitvi obravnavanih stavb sledijo analize primerjav energetskih bilanc stavb pred in po energetski prenovi. Na koncu še na kratko predstavimo način energetskega upravljanja stavbe in spremljanje rabe energije s pomočjo energetskega monitoringa.

1.1 Namen

V diplomskem delu bomo obravnavali 33 javnih stavb, ki so jih energetsko prenovili v letih od 2012 do 2014 s pomočjo Kohezijskih sredstev. Potrebne podatke za analize smo pridobili iz končnih poročil energetskih pregledov, prijavnih dokumentacij, investicijske in projektne dokumentacije ter energetskega monitoringa, ki je bil vzpostavljen po energetski prenovi na obravnavanih javnih stavbah.

Namen diplomske naloge je na podlagi izbranih obravnavanih stavb prikazati odstopanja med računskimi in dejanskimi kazalniki stavb pred in po energetski prenovi. Analizirali in primerjali bomo potrebno toploto za ogrevanje stavb, prihranke in ostale posamezne

kazalnike stavb, ki jih bomo primerjali tudi s posameznimi predpisi. Glede na dobljene rezultate diplomskega dela si bomo postavili vprašanja, ali je možno realno dosegati in pričakovati prihranke toplotne energije na podlagi izračunov po predpisani metodologiji in kako to vpliva na doseganje nacionalnih ciljev.

Ocenjeni energetski prihranki, podani v diplomski nalogi, so bili izračunani s strani strokovnjakov oziroma projektantov posameznih področij, ki so sodelovali pri izvedbi energetskih prenov stavb. Dejanski prihranki so bili pridobljeni na podlagi spremljanja porabe energije s pomočjo energetskega monitoringa. Poraba toplotne energije stavb po sanaciji je bila pridobljena za obdobje po prvem in drugem letu obratovanja stavb po energetskih prenovah.

Preverili bomo, katere stavbe so bile celovito energetsko prenovljene, kar pomeni, da se je raba energije po energetski prenovi zmanjšala za več kot 75 %, in katere stavbe so bile prenovljene za faktor 10, kar pomeni več kot 90 % prihranka pri rabi energije. To nas zanima predvsem zaradi ugotovitev avtorjev Bettgenhäuser in sod. [14], ki navajajo, da je le s celovito energetsko prenovno možno doseči prihranke, ki si jih je zadala EU do leta 2050. Analizirali bomo tudi, v kolikšni meri je celovita energetska prenova stavbe ekonomsko bolj upravičljiva od prenove z manj izvedenimi ukrepi.

1.2 Cilji

Eden izmed ciljev diplomske naloge je analizirati dejavnike, ki lahko prispevajo k lažjemu doseganju načrtovanih prihrankov energije. V mislih imamo predvsem pravilno načrtovanje prihrankov, upoštevanje navad uporabnikov, uporabe stavbe itd. Cilj diplomskega dela je tudi ovreči ali potrditi naslednje hipoteze.

- H1. Dejanska letna potrebna toplota za ogrevanje (Q_{NH}) bo v obravnavanih stavbah pred prenovno višja od izračunane Q_{NH} .
- H2. Pozitivno odstopanje (izračunana Q_{NH} je večja od dejanske) med dejansko in izračunano Q_{NH} bo večje pri stavbah, ki so energetsko bolj potratne oziroma imajo večjo specifično dejansko Q_{NH} .
- H3. Starejše stavbe imajo večjo specifično Q_{NH} pred prenovno (obstoječe stanje), kot novejša stavbe.
- H4. Stavbe, katere se nahajajo v krajih z bolj hladnim podnebjem (večji T_{prim}) imajo večjo specifično Q_{NH} , kot stavbe, ki se nahajajo v krajih s toplejšim podnebjem.

- H5. Posledično tudi pričakujemo, da bodo stavbe, ki se nahajajo v hladnejših krajih imele v večje absolutne prihranke kot stavbe, ki se nahajajo v toplejših krajih.
- H6. Stavbe z daljšim obratovalnim oziroma delovnim časom (vrtci ali dijaški domovi) imajo večjo specifično Q_{NH} , kot stavbe s krajšim obratovalnim časom (osnovne šole).

Cilj diplomske naloge je odgovoriti na naslednja raziskovalna vprašanja:

- Vprašanje 1.: V kolikšni meri vplivajo robni pogoji (ogrevana temperatura prostorov, izmenjava zraka v ogrevanih prostorih, faktor propustnosti ...) na izračun energetske bilance stavbe?
- Vprašanje 2.: Kakšna je povezava med različnimi tipi stavb (vrtec, osnovna šola, srednja šola, dijaški dom) in Q_{NH} ?
- Vprašanje 3.: Kakšna je povezava med izbrano projektno temperaturo ogrevanja in odstopanjem Q_{NH} pri izračunih energetskih bilanc?
- Vprašanje 4.: Kakšna je povezava med izmenjavo zraka in odstopanjem Q_{NH} pri izračunih energetskih bilanc?
- Vprašanje 5.: Kakšen je dejanski vpliv izmenjave zraka na izračun Q_{NH} , raziskan na podlagi preteklih izvedenih študij in dejanskih izračunov?
- Vprašanje 6.: Kakšno je odstopanje obravnavanih stavb med izračunano in dejansko Q_{NH} pred in po energetske prenovi?
- Vprašanje 7.: Kakšni so dejanski prihranki obravnavanih stavb in za koliko odstopajo od predvidenih?
- Vprašanje 8.: Kako uspešno so bile izvedene energetske preнове obravnavanih javnih stavb oziroma ali dosegajo zastavljene prihranke?
- Vprašanje 9.: Koliko znaša specifična investicija v energetske prenovi obravnavanih javnih stavb?
- Vprašanje 10.: Kakšne so vračilne dobe posameznih projektov v energetske prenovi obravnavanih javnih stavb?

2 PREGLED LITERATURE IN STANJA

2.1 Zakonodajni okviri na področju energetskih prenov javnih stavb

V večini primerov lastniki in upravljavci javnih stavb ne poznajo zakonov in predpisov na področju energetske prenove stavb, zato jih velika večina najame zunanje svetovalce oziroma projektante. Tudi g. Primož Praper, ki je sodeloval in še vedno sodeluje pri izvedbah številnih energetskih prenov javnih stavb, je na konferenci ZEO dejal, da so ob spremljanju postopkov izvedbe energetskih prenov v Sloveniji zaznali kar nekaj problemov. Večina jih izvira iz nepoznavanja zakonodaje (Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah – PURES 2010), iz nepoznavanja zahtev javnih razpisov in tehničnih možnosti ter rešitev z arhitekturno-gradbenega, strojnega, elektro področja in drugih sorodnih področij [15].

Veliko težav se pojavlja tudi pri spremljanju oziroma dokazovanju zastavljenih kazalnikov energetskih prenov, zato je smiselno po energetske prenovi vzpostaviti energetske upravljanje stavbe oziroma vsaj sistem za spremljanje rabe energije. Dobro energetske upravljanje stavb lahko doprinese tudi 10 % prihrankov [16]. O sistemih upravljanja z energijo je nekaj napisanega tudi v novi Direktivi EED [17]. Osnovne naloge inteligentnega merilnega sistema v stavbah so zajemanje, obdelava in analiza podatkov porabljene energije, energentov, sanitarne vode in klimatskih pogojev, kot je npr. temperatura v stavbi in izven nje. Dobre lastnosti in prednosti energetskega upravljanja so bile upoštevane tudi v prejšnjem energetskega zakonu (EZ), ki je v 66.c členu zahteval, da morajo vse javne stavbe s površino nad 500 m² voditi energetske knjigovodstvo, ki zajema podatke o vrstah, cenah in količini porabljene energije [18]. Energetske knjigovodstvo je sicer prva stopnja energetskega upravljanja stavbe.

Večina zakonov in predpisov, ki trenutno veljajo v Sloveniji, je posledica prenosa najrazličnejših zahtev evropskih direktiv. V nadaljevanju bomo na kratko predstavili zgodovino sprejemanja in nastajanja predpisov na evropskem in nacionalnem nivoju na področju energetske učinkovitosti stavb. Na kratko bomo predstavili zakone, predpise in ostale dokumente, ki jih je potrebno upoštevati pri energetske prenovi – predvsem javnih – stavb, kjer se, kot zapovedujejo EZ-1 in spremljajoči predpisi, sanira več kot 25 % površine objekta.

2.1.1 Evropska zakonodaja

Sodelovanje na področju energetike je v državah članicah EU sprožila energetska kriza v letih 1973/74, ki je dvignila zaskrbljenost vseh vlad glede energetske varnosti. Odvisnost

evropskih držav od uvoženih energetskih virov in velika poraba uvožene energije v stavbnem fondu so jih spodbudile, da nekaj spremenijo na področju energetike. Tako je leta 1974 nastal prvi dokument Resolucija Sveta v zvezi z novo strategijo energetske politike, ki je bil kmalu podkrepjen z energetskimi cilji za leto 1985. S tem Svet ni le poudaril dodane vrednosti zaradi medsebojnega delovanja držav članic za boj proti energetskim problemom, ampak je tudi sprejel smernice o energetski oskrbi in energetskem povpraševanju (racionalna raba energije). V naslednjih letih je zavedanje za zaščito okolja postalo vse bolj izrazito, vendar pa se kljub temu ni preneslo v evropsko zakonodajo. Tudi s kasneje sprejetimi dokumenti, kot so Direktiva o skupnem električnem in plinskem notranjem trgu (1996 in 1988), Amsterdamska pogodba (1999) in pogodba iz Nice (2003), ni bilo narejenih veliko korakov proti boljši skupni energetski politiki. Šele objava poročila medvladnega foruma o podnebnih spremembah (IPCC), objavljenega leta 1990, in izvedba konference Earth Summit v Riu leta 1992 sta pripeljali do podpisa Kjotskega sporazuma leta 1997 ter s tem doprinesli k večjemu napredku zmanjšanja emisij in posledično povečanju energetske učinkovitosti. Marca 2007 so voditelji držav EU potrdili prvi odmevnejši dokument, tj. evropski akcijski načrt. V njem so bili določeni trije izzivi, in sicer trajnost, varnost oskrbe in konkurenčnost, ki še danes tvorijo jedro evropske politike. Da bi lahko dosegli merljive cilje, je dva meseca kasneje Komisija objavila dogovor v obliki sklepov, med katerimi je bil tudi cilj 20/20/20, ki se opredeljuje v evropski politiki v zadnjih letih [19]. V nadaljevanju je prikazana razpredelnica sprejetih evropskih dokumentov na področju energetske učinkovitosti stavb [20, 21].

Preglednica 1: Pregled zadnjih nekaj evropskih dokumentov na področju energetske učinkovitosti stavb

Leto	Dokument
1992	Direktiva Sveta 92/42/EGS o zahtevanih izkoristkih novih toplovodnih kotlov na tekoča ali plinasta goriva
1997	KOM (1997) 599 Energija za prihodnost: Obnovljivi viri energije (bela knjiga za strategijo skupnosti in akcijski plan)
1998	Resolucija Evropskega sveta – Energetsko učinkovita evropska skupnost
2000	KOM (2000) 247 Akcijski načrt za izboljšanje energetske učinkovitosti v EU
2001	Direktiva 2001/77/ES Evropskega parlamenta in Sveta o spodbujanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije na notranjem trgu z električno energijo
	Direktiva 2001/8/ES Evropskega parlamenta in Sveta o omejevanju emisij nekaterih onesnaževal v zrak iz velikih kurilnih naprav
2002	Direktiva 2002/91/ES Evropskega parlamenta in Sveta o energetske učinkovitosti stavb
2003	Sklep št. 1230/2003/ES "Inteligentna energija za Evropo" – sprejetje večletnega programa za ukrepanje na področju energetike
2004	Direktiva 2004/8 / ES o spodbujanju soproizvodnje, ki temelji na rabi koristne toplote, na notranjem trgu z energijo in o spremembi Direktive 92/42/EGS
	KOM (2004) 366 Delež obnovljive energije v EU

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 1.

Leto	Dokument
2005	KOM (2005) 265 o energetski učinkovitosti ali „Narediti več z manj” – zelena knjiga
2006	Direktiva 2006/32/ES Evropskega parlamenta in Sveta o učinkovitosti rabe končne energije in o energetskih storitvah ter o razveljavitvi Direktive Sveta 93/76/EGS
	KOM (2006) 849 Poročilo o napredku na področju energije iz obnovljivih virov
	KOM (2006) 545 Akcijski načrt za energetsko učinkovitost: uresničitev možnosti
	KOM (2006) 583 o aktiviranju javnega in zasebnega financiranja za svetovni dostop do podnebju prijaznih, dostopnih in varnih energetskih storitev: Svetovni sklad za energetsko učinkovitost in obnovljive vire energije
2007	KOM (2007) 848 Časovni načrt obnovljive energije – Obnovljiva energija v 21. stoletju: izgradnja trajnejše prihodnosti
2008	KOM (2008) 772 Sporočilo komisije: Energetska učinkovitost: doseganje cilja 20-odstotnega deleža
	2008/952/ES Odločba Komisije o določitvi podrobnih smernic za izvajanje in uporabo Priloge II k Direktivi 2004/8/ES
2009	Direktiva 2009/28/EC o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, spremembi in poznejši razveljavitvi direktiv 2001/77/ES in 2003/30/ES
2010	Direktiva 2010/31/EU o energetski učinkovitosti stavb (prenovitev)
2011	Plan energetske učinkovitosti 2011 – cilji so spodbujanje gospodarstva, ki spoštuje vire planeta, izvajanje nizkoogljičnih sistemov, izboljšanje energetske neodvisnosti EU, krepitev varne oskrbe z energijo
2012	Delegirana uredba Komisije (EU) št. 626/2011 o dopolnitvi Direktive 2010/30/EU Evropskega parlamenta in Sveta v zvezi z energijskim označevanjem klimatskih naprav
	Direktiva 2012/27/EU o energetski učinkovitosti, spremembi direktiv 2009/125/ES in 2010/30/EU ter razveljavitvi direktiv 2004/8/ES in 2006/32/ES
	Uredba Komisije (EU) št. 206/2012 o izvajanju Direktive 2009/125/ES Evropskega parlamenta in Sveta glede zahtev za okoljsko primerno zasnovano klimatskih naprav in komfortnih ventilatorjev
	Delegirana uredba Komisije (EU) št. 244/2012 o dopolnitvi Direktive 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta o energetski učinkovitosti stavb z določitvijo primerjalnega metodološkega okvira za izračunavanje stroškovno optimalnih ravni za minimalne zahteve glede energetske učinkovitosti stavb in elementov stavb
2013	2013/242/EU: Izvedbeni sklep Komisije o določitvi predloge za nacionalne akcijske načrte za energetsko učinkovitost v skladu z Direktivo 2012/27/EU

Primarna zakonodaja EU:

- Pogodba o delovanju EU (PDEU – Lizbonska pogodba, sprejeta leta 2007, veljavnost od 1. 12. 2009):
 - o gre za pogodbo o delovanju EU,
 - o spremembe pogodbe o EU in pogodbe o ustanovitvi Evropske skupnosti, iz katerih izhajajo skupni cilji energetske politike:
 - zagotoviti delovanje energetskega trga;
 - zagotoviti zanesljivost oskrbe z energijo v Uniji;

- spodbujati energetsko učinkovitost in varčevanje z energijo ter razvijanje novih in OVE;
- spodbujati medsebojno povezovanje energetskih omrežji.

Sekundarna zakonodaja EU:

- **UREDBA:** Uredba je pravno zavezujoč akt, ki se v celoti uporablja v vseh državah EU. Uredba je splošen in v celoti zavezujoč pravni predpis, ki ga sprejmejo bodisi Evropski parlament in Svet skupaj bodisi Evropska komisija.
- **DIREKTIVA:** Direktiva je zakonodajni akt z določenimi cilji, ki ga morajo doseči države EU, ki pa državam pušča izbiro pri načinu uresničevanja.
- **SKLEPI:** Sklep je zavezujoč za tistega, na katerega je naslovljen (denimo državo EU ali posamezno podjetje), in se uporablja neposredno.
- **PRIPOROČILA:** Priporočilo ni zavezujoče. Institucije lahko s priporočilom izrazijo mnenje in predlagajo določene ukrepe, ne da bi naslovnikom vsiljevale zakonsko obveznost.
- **MNENJA:** Mnenje je nezavezujoča izjava, ki naslovnikom ne nalaga nikakršnih obveznosti. Mnenje lahko izdajo vse glavne institucije EU: Evropska komisija, Svet EU, Evropski parlament, Odbor regij in Evropski socialni odbor.

2.1.1.1 Direktiva 2002/91/ES (EPBD)

Direktiva je bila sprejeta z dnem 16. december 2002 in je bila prva direktiva na področju energetske učinkovitosti stavb.

Države članice, ki so bile del Evropske skupnosti, so morale izpolniti zahteve omenjene direktive. Najpomembnejši zahtevi Direktive sta bili, da morajo države članice določiti metodologijo za izračun energetske učinkovitosti stavb in zagotoviti predpise, ki omogočajo izdajanje energetskih izkaznic za stavbe pod zahtevami, ki jih navaja Direktiva. Poleg teh dveh zahtev so države članice morale določiti še minimalne zahteve glede energetske učinkovitosti novih in obstoječih stavb, na katerih potekajo večja prenovitvena dela. Sprejeti so morale tudi ukrepe, s katerimi so zagotovile redne neodvisne preglede kotlov, klimatskih sistemov (z nazivno močjo nad 12 kW) in potrebne ukrepe za izboljšanje učinkovitosti kotlov, zamenjavo vira ali za prehod na alternativne vire. V nacionalno zakonodajo so morale prenesti tudi zahtevo, da je za vse nove stavbe s celotno uporabno površino nad 1.000 m² potrebno pred začetkom gradnje narediti študijo izvedljivosti energijske oskrbe objektov z alternativnimi viri energije [22].

Ker je potekal prenos te direktive z zamudo in ker Direktiva ni zajela celotnega potenciala učinkovite rabe energije (URE), je Evropska komisija (EK) objavila novo prenovljeno Direktivo EPBD-r, ki je bila sprejeta z dnem 19. maj 2010 [23].

2.1.1.2 Direktiva 2010/31/EU (EPBD-r)

Bistvo prenovljene Direktive je povečati učinek Direktive iz leta 2002. EK je namreč ugotovila, da je potekal prenos Direktive EPBD-r z zamudo, da Direktiva, žal, ni zajela vseh stavb s potenciali, da primerjava med stavbami ni mogoča, da se pojavlja vrsta različnih računskih metod za določanje rabe energije in da minimalne zahteve niso bile vedno stroškovno učinkovite. Prenovljena Direktiva upošteva tudi cilje podnebno-energetske politike 20/20/20 do leta 2020 in tudi pri stavbah zahteva znaten prispevek k 20-odstotnemu zmanjšanju emisij CO₂, k 20-odstotnemu povečanju energetske učinkovitosti in k 20-odstotnemu deležu OVE v primarni energetski bilanci [24].

S prenovitvijo EPBD-r sta želela Evropski parlament in Svet razširiti področje uporabe prvotne direktive, in sicer z znižanjem pragov uporabe Direktive za nove in obstoječe stavbe. Prav tako je Direktiva pooblastila države članice EU, da določijo minimalne stroškovno optimalne zahteve glede energetske učinkovitosti, ki morajo zagotavljati pravo razmerje med investicijo in prihranjenimi stroški energije v celotnem življenjskem ciklu stavbe. Obenem je bilo v Direktivi podano, da morajo države članice pripraviti nacionalne načrte za povečanje števila skoraj ničenergijskih stavb. Skoraj ničenergijske oziroma zelo nizkoenergijske stavbe je mogoče izvesti s kombinacijo izboljšanja energetske učinkovitosti stavbe in uporabo OVE, ki so proizvedeni na kraju samem ali v bližini. Poleg tega je bil v posodobljeni Direktivi podan večji poudarek na točnosti in robustnosti ocen energetske učinkovitosti [25].

Države članice morajo za izračunavanje energetske učinkovitosti stavb uporabiti metodologijo skladno s skupnim splošnim okvirom, določenim v Prilogi 1 te direktive. Prav tako morajo spodbujati uvajanje pametnih merilnih in aktivnih nadzornih sistemov pri gradnji ali večji prenovi stavb. Direktiva zaostrojuje pogoje izdaje energetskih izkaznic. Le-te se izdajajo za stavbe, kjer skupno uporabno tlorisno površino nad 250 m² uporabljajo javni organi in se v njih pogosto zadržuje javnost. Države članice morajo sprejeti nacionalne predpise, s katerimi bo mogoče zagotoviti, da se od 31. decembra 2020 naprej gradi nove skoraj ničenergijske stavbe; za javne stavbe, ki naj bi bile vzor ostalim, pa ta zahteva velja 2 leti prej (31. december 2018). Da bi bil učinek zahteve Direktive po skoraj ničenergijskih stavbah najučinkovitejši, morajo države članice pripraviti akcijski načrt za skoraj

ničenergijske hiše in periodično poročati EK o stanju na tem področju (po letu 2012 na vsaka 3 leta) [23].

2.1.1.3 Direktiva o energetski učinkovitosti 2012/27/EU (EED)

Direktiva o energetski učinkovitosti [17] je bila objavljena v uradnem listu EU 14. novembra 2012 in nadomešča direktivi 2006/32/ES o energetskih storitvah in 2004/8/ES o sproizvodnji toplote in električne energije ter spreminja direktivi 2009/125/ES o okoljsko primerni zasnovi izdelkov, povezanih z energijo, in 2010/30/EU o navajanju porabe energije in drugih virov izdelkov, povezanih z energijo. Posredno vpliva tudi na izvajanje Direktive EPBD-r.

Direktiva ponuja splošni okvir za spodbujanje energetske učinkovitosti v EU ter predvideva številne ukrepe, ki podpirajo in narekujejo upoštevanje meril energetske učinkovitosti v javnih naročilih, prenovo javnih zgradb, pogodbeno zagotavljanje prihrankov energije, deljene pobude za nadgradnjo energetske učinkovitosti, podjetja za energetske storitve, učinkovitost proizvodnje energije, dostop električne energije iz sproizvodnje toplote in električne energije do omrežja, obveznosti glede prihranka energije, obvezno izvajanje energetskih pregledov v velikih podjetjih, informacijske storitve za porabnike energije in energetska učinkovitost v ureditvi omrežij.

Direktiva se navezuje na izhodišča in obveznosti, ki so jih vpeljale obstoječe direktive na področju energetske učinkovitosti stavb in okoljsko primerne zasnove izdelkov, povezanih z energijo in obveznimi energijskimi nalepkami izdelkov.

Predlog nove Direktive narekuje, da mora prenova zgradb v javni lasti potekati hitreje, in predvideva, da morajo biti od 1. 1. 2014 letno obnovljeni in nadgrajeni (s stališča energetske učinkovitosti) 3 % zgradb (glede na njihovo površino). Delež 3 % se preračuna glede na uporabno stavbno površino, ki je v javni lasti in ki presega 250 m².

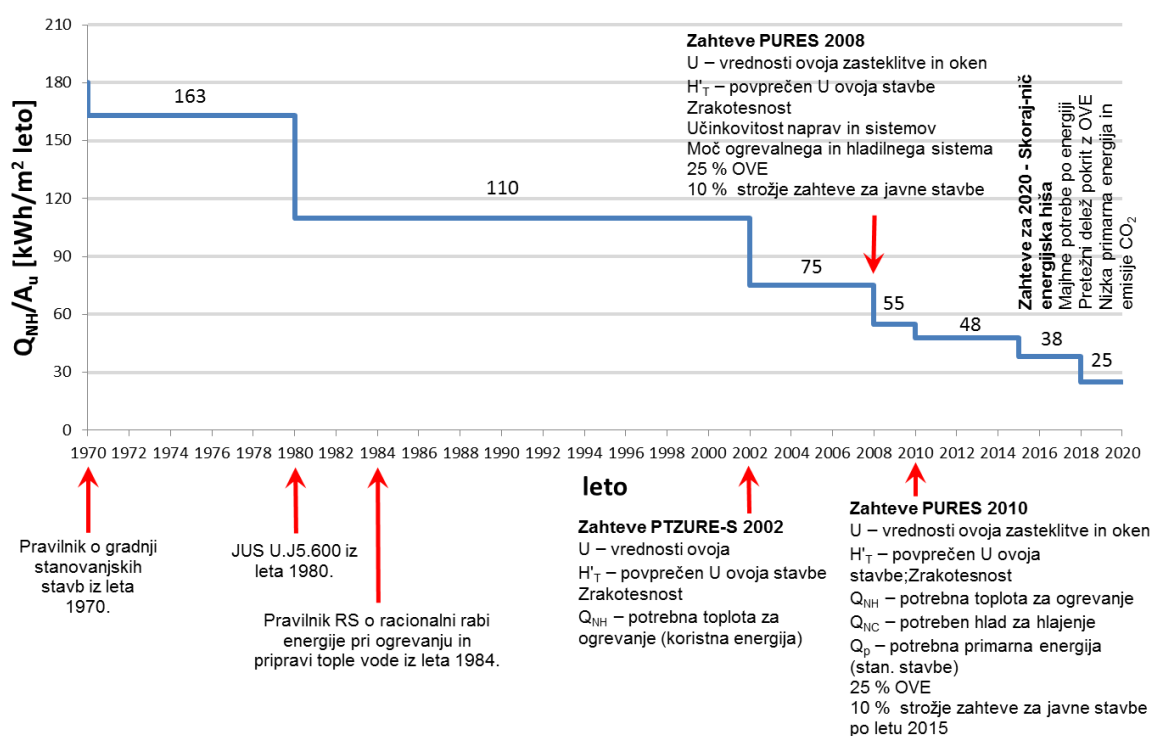
Merila energetske učinkovitosti naj bi se upoštevala pri javnem naročanju in to ne le ob nakupu stavb, ampak tudi ob nakupu izdelkov in storitev. Javni sektor naj bi služil kot zgled tako na nivoju države in regije kot tudi na lokalnem nivoju. Osnovne zahteve so povzete v prilogi III Direktive.

Do 1. 1. 2014 so morale države članice vzpostaviti javno dostopen popis stavb v javni lasti. Popis mora vključevati površino stavbe v m² in njeno energetska učinkovitost. Javne ustanove naj bi določile specifične cilje na področju energetskih prihrankov in pripravile samostojen ali skupen načrt energetske učinkovitosti ter uvedle sistem ravnanja z energijo.

2.1.2 Slovenska zakonodaja na področju javnih stavb

Prve konkretne predpise za energetska učinkovitost stavb na območju današnje Slovenije zasledimo leta 1970, ko je bil izdan Pravilnik o tehničnih ukrepih in pogojih za toplotno zaščito stavb. Predpisoval je največje dovoljene toplotne prehodnosti konstrukcijskih elementov stavb glede na klimatsko cono. Naslednji predpisi, ki so zvišali kriterije za URE in so bili obvezni pri projektiranju, so bili leta 1980 sprejeti standardi JUS U.J5.510, 520, 530, 600 [26], ki so med drugim vključevali metode izračuna toplotne prehodnosti, difuzije vodne pare in toplotne stabilnosti zunanjih gradbenih konstrukcij. Na področju Slovenije je leta 1984 v veljavo stopil še Pravilnik RS o racionalni rabi energije pri ogrevanju in pripravi tople vode (Uradni list SRS 31/84), ki je dopolnjeval obvezne standarde skupine JUS U.J5. Pravilnik je med drugim tudi predpisoval specifične toplotne izgube zaradi prehoda toplote skozi obodne konstrukcije in prezračevanja v odvisnosti od razčlenjenosti zgradbe [26].

Ključnega pomena za razvoj energetske učinkovitosti stavb v Sloveniji je bilo sprejetje slovenskega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, ki predpisuje računsko metodo in potrebne vhodne podatke za določitev toplotnih karakteristik stavb. Pravilnik je nastal na osnovi analize stanja in zastavljenih ciljev glede graditve trajnostnih stavb, URE in zmanjšanja emisij v tem sektorju. Pri tem so bili upoštevani tudi zahteve s področja prevzema pravnega reda EU in relevantni standardi SIST, kot to zahtevata direktivi EPBD oziroma EPBD-r [27].



Slika 1: Pregled preračunane dovoljene Q_{NH} po letih za energetska učinkovitost stavb v Sloveniji

Slika 1 [28] prikazuje veljavnost posameznih predpisov, kratke opise zahtev in na osnovi teh zahtev preračunane največje dovoljene vrednosti potrebne toplote za ogrevanje (Q_{NH}). Največji skok – 63 kWh/m² letno – za dovoljeno Q_{NH} so prinesle zahteve skupine standardov JUS U.J5.600 iz leta 1980, ki so na področju URE v stavbah veljali tudi največ časa. Prav tako vidimo, da je bilo v zadnjih 13 letih sprejetih največ predpisov in da imajo ti vedno več vse strožjih zahtev. Glede na predstavljeno sliko pričakujemo, da bodo starejše stavbe imele večjo Q_{NH} kot novejše stavbe.

Večina zakonskih podlag oziroma predpisov je posledica prenosov direktiv in uredb, ki nam jih veleva EU. Osnova za pripravo pravilnikov o URE so bile usmeritve EU in Slovenije.

2.1.2.1 PURES 2010

Ministrstvo za okolje in prostor je 30. 6. 2010 v Uradnem listu Republike Slovenije objavilo nov prenovljen Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah – PURES 2010 [29], ki je stopil v veljavo 1. 7. istega leta in velja še danes. Prenovljen Pravilnik je nastal predvsem zaradi prenovljene evropske Direktive 2010/31/EU in z namenom poenotenja metodologije izračuna energetske učinkovitosti za energetske izkaznice in novo zgrajene stavbe. PURES 2010 prav tako podaljšuje sobivanje do sedaj uporabljenih predpisov – PURES 2008 in Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah.

Bistvena sprememba Pravilnika glede na predhodno sprejete pravilnike je prenovljena struktura. Zahteve Pravilnika so ločene od tehničnih določil, slednje pa so zajete posebej v Tehnični smernici. Minimalne zahteve za gradbeni del ohranjajo približno enako raven zahtevnosti kot Pravilnik iz leta 2008. Novost Pravilnika je obvezno pokrivanje 25 % celotne končne energije v stavbi z OVE (PURES 2008 je predvideval pokritje 25 % potrebne moči z OVE). Za nove javne stavbe se ohranja zahteva, da morajo biti njihove energijske lastnosti za 10 % boljše od preostalih. Merilo za energetska učinkovitost stavb po prenovljenem Pravilniku PURES 2010 predstavlja izključno celotna raba energije (ne le za ogrevanje, ampak tudi za hlajenje, pripravo tople vode in vgrajeno razsvetljavo – predvsem pri nestanovanjskih stavbah), in sicer na ravni primarne energije in s tem povezanih emisij CO₂ [27].

Pravilnik predpisuje tudi strožje zahteve za sisteme ogrevanja, prezračevanja, hlajenja in klimatizacije ter pripravo tople vode. Po novem je treba načrtovati nizkotemperaturne sisteme za ogrevanje, sanitarno toplo vodo pa praviloma pridobivati s sončno energijo.

Doseganje URE in uporabo OVE za delovanje stavbe oziroma izpolnjevanje zahtev iz Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah se dokazuje v elaboratu gradbene fizike za področje URE v stavbah (elaborat URE) in v izkazu energijskih lastnosti stavbe, ki na kratko povzema bistvene podatke iz elaborata URE [29].

2.1.2.2 Zakon o javnem naročanju (ZJN-2) in Uredba o zelenem javnem naročanju

Zakon o javnem naročanju [30] določa obveznosti ravnanja naročnikov, ponudnikov in podizvajalcev pri javnem naročanju blaga, storitev in gradenj. Vsi organi Republike Slovenije in samoupravnih lokalnih skupnosti, javni skladi, javne agencije, javni zavodi, javni gospodarski zavodi in druge osebe javnega prava morajo pri izvedbi kakršnega koli naročila upoštevati ta zakon. V kolikor želi javni subjekt izvesti energetsko prenovo, mora naročilo gradnje izvesti skladno s tem zakonom. Pri izvedbi javnega naročila mora javni subjekt upoštevati temeljna načela, kot so načelo gospodarnosti, učinkovitosti, uspešnosti, zagotavljanja konkurence, transparentnosti in enakopravne obravnave ponudnikov [30].

Zaradi Direktive 2009/33/ES [31] in EED [17] Evropskega parlamenta in Sveta je bila leta 2011 v pravni red Republike Slovenije sprejeta Uredba o zelenem javnem naročanju (Uredba ZeJN), v kateri so zajeti zahteve, kriteriji in merila za izbor proizvodov. Področja naročanja, ki zadevajo rabo energije, so [32]:

- električna energija – nakup električne energije, proizvedene iz OVE ter iz sproizvodnje toplote in električne energije (SPTe) z visokim izkoristkom, ki razpolaga z ustreznim certifikatom (ni deležna podpore po veljavnih shemah za nove naprave);
- elektronska pisarniška oprema – uporaba oznake ENERGY STAR;
- načrtovanje gradnje in prenova stavb in prostorov – pri pripravi razpisa (naročila) za izvedbo investicij se mora upoštevati zahteve PURES 2010. Pri investicijskem in rednem vzdrževanju, torej pri posegih, ki niso predmet PURES 2010, Uredba ZeJN zahteva upoštevanje zahtev PURES 2010 za naslednjo opremo: hladilne naprave in sistemi, naprave za prezračevanje in klimatizacijske naprave, razsvetljava notranjih prostorov, termostatski ventili in centralna regulacija ogrevalnega sistema za centralni sistem ogrevanja, cevi s toplotno izolacijo, naprave za pripravo pitne vode;
- električni aparati (hladilniki, zamrzovalniki in njune kombinacije, pralni stroji, pomivalni stroji, televizorji, klimatske naprave) morajo biti uvrščeni v najboljši razred energetske učinkovitosti;
- cestna vozila in pnevmatike.

V skladu z določbami te uredbe morajo javni naročniki pri naročanju proizvodov, ki so vezani na rabo energije, ob upoštevanju tehnične ustreznosti, ponudbe na trgu, stroškovne učinkovitosti, ekonomske izvedljivosti in širše trajnosti naročati proizvode najboljše energetske učinkovitosti. Z manjšo porabo energije na podlagi ukrepov za izboljšanje energetske učinkovitosti lahko javni naročniki v celotni življenjski dobi proizvoda dosegajo prihranke. Posredno pa se z zelenim javnim naročanjem spodbuja trg k preusmeritvi v proizvodnjo in prodajo energetsko učinkovitejših izdelkov, stavb in storitev, državljane in zasebne gospodarske subjekte pa k spreminjanju vedenjskih vzorcev pri porabi energije, kar je namen Direktive EED [33].

2.2 Pregled študij na področju primerjav energetskih bilanc stavb

Študija, izvedena na 28 novozgrajenih stavbah [25] v Veliki Britaniji, je pokazala, da kar pri 75 % stavb niso bili izpolnjeni načrtovani kazalniki. Teoretični izračuni in kazalniki so bili zastavljeni na podlagi programov, ki so upoštevali Direktivo EPBD-r. Vzorec 28 stavb so predstavljale trgovine, izobraževalne stavbe, pisarne in stanovanjske stavbe. Ugotovljeni vzroki za odstopanja so bili: energetska učinkovitost oziroma kazalniki so bili upoštevani pod standardiziranimi in ne pod dejanskimi pogoji, slabo načrtovanje pri predvideni porabi energije, kompleksnost strategije kontrole, slaba gradbena praksa, slabo upravljanje stavbe in naprav v njej, premalo sredstev za upravljanje stavbe ter premajhna vpletenost načrtovalcev in izvajalcev pri finih nastavitvah sistemov v stavbah. V kombinaciji vseh naštetih dejavnikov je lahko stavba za obratovanje porabila kar 5-krat več energije od načrtovane [25].

V študiji, izvedeni na primeru stanovanjskih stavb na Nizozemskem [34], kjer so izvajali primerjavo s pomočjo t. i. faktorja ogrevanja (dejanska potrebna toplota za ogrevanje deljena z izračunano). Povprečen faktor ogrevanja, izračunan na podlagi vzorca 4.700 stanovanjskih stavb, je znašal manj kot ena, kar pomeni, da je bila izračunana vrednost večja od dejanske [34]. Do enakih ugotovitev so prišli tudi Cayer in sod. [35], ki so proučevali dejansko in teoretično porabo na 923 stanovanjskih stavbah v Franciji. Hens in sod. so pri analizi 20 neizoliranih stanovanj za družine z nizkimi dohodki v Belgiji prav tako prišli do podobnih ugotovitev, saj se je izkazalo, da je bila dejanska poraba energije le del (v povprečju približno 50 %) izračunane porabe. Te ugotovitve so bile ekstrapolirane v širši vzorec, ki pa je pokazal, da je razlika med dejansko in izračunano porabo v neizoliranih stanovanjskih stavbah še večja kot v dobro izoliranih [36]. Loga in sod. [37] so v svoji raziskavi celo predstavili enačbo krivulje, ki prikazuje odstopanje (med dejansko in

izračunano) v primerjavi z izračunano energetske učinkovitostjo stavbe. Glede na to krivuljo lahko pričakujemo, da stavba, ki je imela izračunano energetske učinkovitost okrog 500 kWh/m² letno, dejansko porabi približno 215 kWh/m² letno, medtem ko ima stavba z izračunano energetske učinkovitostjo okrog 200 kWh/m² letno dejansko porabo približno 145 kWh/m² letno. Krivulja je bila zasnovana na podlagi analiz stanovanjskih stavb, kar pa ne pomeni, da to velja tudi za javne stavbe, saj se obratovanje javnih razlikuje od stanovanjskih stavb.

Po drugi strani pa sta Haas in Biermayr [38] ugotovila, da je bila pri 12 večstanovanjskih energetske prenovljenih stavbah v Avstriji dejanska poraba večja od izračunane. Do podobnih rezultatov in ugotovitev so prišli tudi Branco in sod., in sicer za večstanovanjske stavbe v Švici [39], ter Marchio in Rabl za stavbe v Franciji [40]. Na podlagi teh rezultatov so Majcen in sod. [41] sklepali, da je računski poraba na enoto površine stanovanjskih stavb večja pri energetske manj učinkovitih stavbah in relativno manjša pri energetske bolj učinkovitih stavbah. Kot navajajo Guerra Santin in sod. v svoji raziskavi, je lahko eden izmed vzrokov za večjo dejansko porabo od računski povečanje energetske bolj učinkovite tehnologije v stavbah. Prišli so namreč do ugotovitve, da so stavbe, ki so imele nameščene termostatske ventile, porabile več energije za ogrevanje kot stavbe, ki so imele navadne ventile [42].

2.3 Energetske preнове javnih stavb v Sloveniji

Pod javne objekte spadajo vsi objekti, ki so v lasti države ali lokalne skupnosti oziroma se v njih opravljajo upravna dejavnost, dejavnost obrambe, socialna varnost, izobraževanje, zdravstvo ali socialno varstvo ter kulturne, razvedrilne in rekreacijske dejavnosti. Med te objekte spadajo bolnišnice, zdravstveni domovi, objekti osnovnih in srednjih šol, domovi za ostarele, občinske stavbe, vrtci, kulturne dvorane in drugo. Po CC-SI [43] klasifikaciji jih delimo na:

- 1130 Stanovanjske stavbe za posebne namene;
- 1220 Upravne in pisarniške stavbe (12201 Pisarne javne uprave);
- 1261 Stavbe za kulturo in razvedrilo;
- 1262 Muzeji in knjižnice;
- 1263 Stavbe za izobraževanje in znanstvenoraziskovalno delo;
- 1264 Stavbe za zdravstvo;
- 1265 Športne dvorane.

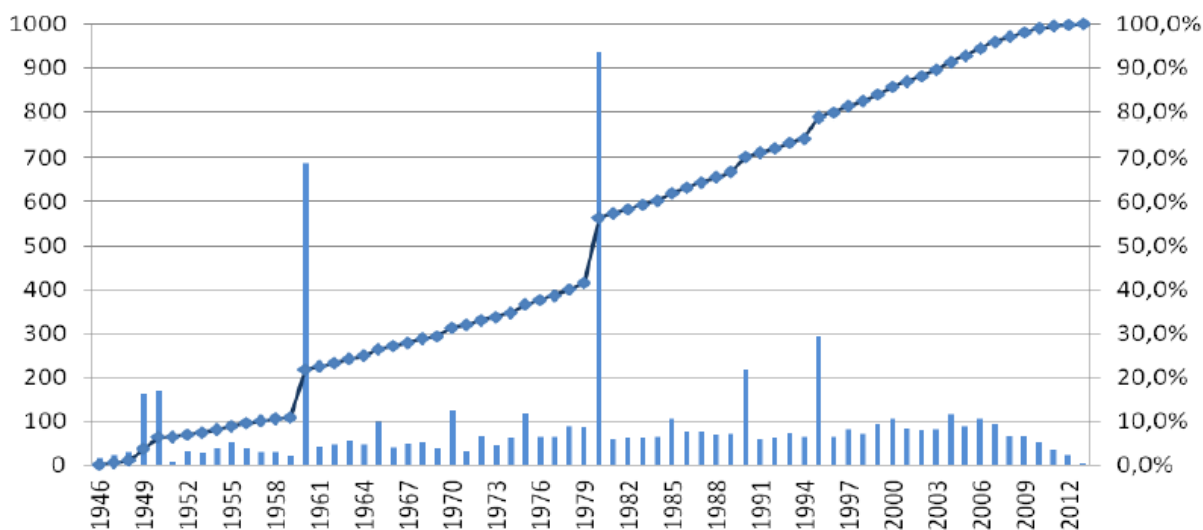
Energetska učinkovitost javnih stavbe je zaradi njihovih specifičnih načinov uporabe še toliko pomembnejša. Za razliko od stanovanjskih stavb delajo s posebnim režimom in večjo obremenitvijo. V večini javnih stavb lastniki niso uporabniki oziroma plačniki stroškov energije, kar lahko v mnogih primerih pomeni, da nimajo motivacije za izboljšanje energetske učinkovitosti stavbe [25].

Energetska prenova obstoječih javnih stavb se lahko po novem energetsko saniranem stanju izkaže za zelo učinkovito, saj se lahko poraba energije zmanjša tudi za faktor 10, kar pomeni, da se poraba energije po prenovi zmanjša za več kot 90 % [44]. Energetska prenova prav tako ni omejena samo na energetski vidik, saj lahko pri gradbeni obnovi ovoja stavb z uporabo ekoloških materialov pogosto pristopamo tudi k trajnejši in ekološki gradnji. Prenova stavb je v teh primerih celovitejša, saj načrtovalci v prenovi vključijo širše ekološke vidike nadaljnjega obratovanja stavbe v okolju. S projektom celostne energetske prenove se uvaja ukrepe URE in rešitve za uporabo OVE s približevanjem skoraj ničenergijskemu nivoju, ki posledično zaradi veliko nižje potrebe po energiji celovito spreminja tudi obstoječ sistem za energetsko oskrbo stavbe. Z uporabo novih tehnologij URE in OVE in z upoštevanjem načel trajnostne gradnje lahko energetsko sanirani objekti dosegajo boljše ekonomska, socialna in ekološka izhodišča za svoje obratovanje [45]. Po Direktivi EPBD-r pa bo vsaka nova ali prenovljena stavba v javnem sektorju od leta 2018 naprej morala biti skoraj ničenergijska [45].

Medtem ko projektiranje in gradnja novih stavb zagotavljata možnosti za izvedbo novih inovativnih tehničnih rešitev, pa je prenova obstoječih stavb, ki sestavljajo največji segment grajenega okolja, še posebej zahtevna. K izbiri in določitvi (najrazličnejših) ustreznih sanacijskih ukrepov, ob upoštevanju njihovih medsebojnih kombinacij glede na vzajemni učinek, je potrebno pristopiti celostno in multidisciplinarno, pri tem pa je potrebno paziti, da so ti ukrepi izvedljivi glede na obstoječe stanje stavbe [46].

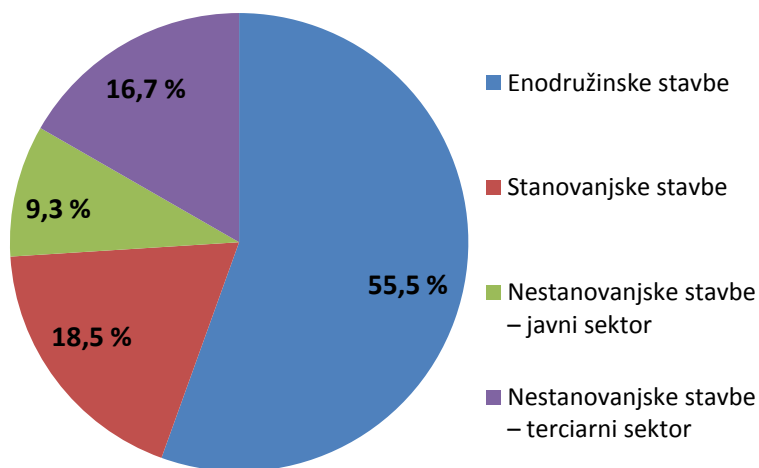
2.3.1 Obstoječe stanje javnih stavb v Sloveniji

Iz spodnje Slike 2 [47] je razvidno, da se je največje število novo zgrajenih javnih stavb pojavilo v letih 1960 in 1980. Oba skoka v porastu števila gradenj nista povsem zanesljiva, saj sta lahko posledica načina pridobivanja podatkov s strani Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS). Podatke o letu izgradnje starejših stavb so namreč pridobivali s pomočjo popisa nepremičnin z anketami, kjer pa se pojavlja možnost zaokroževanja pri navajanju tovrstnih podatkov [47].

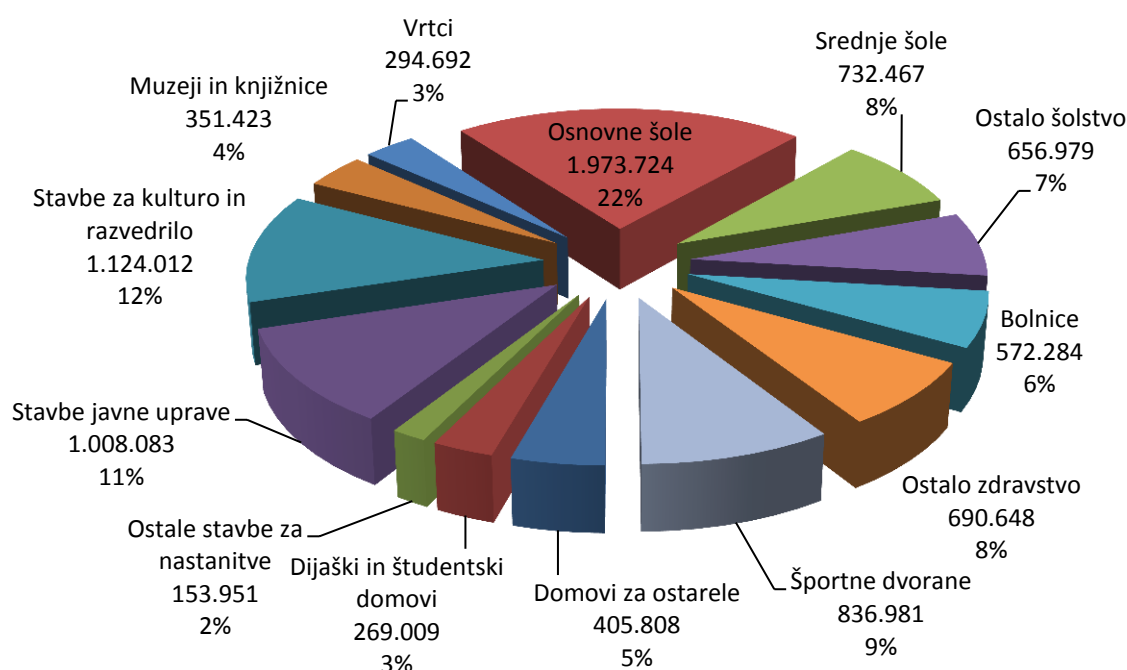


Slika 2: Frekvenca števila javnih stavb glede na leto izgradnje

Stanovanjske stavbe v Sloveniji predstavljajo 74 % vseh stavbnih površin, medtem ko nestanovanjske stavbe obsegajo preostalih 26 %. Med nestanovanjskimi stavbami so najbolj zastopane pisarniške stavbe, ki predstavljajo kar 30,4 % vseh nestanovanjskih stavb (med njimi je 4,5 % javnih upravnih stavb in 25,9% preostalih pisarniških stavb). Navedeno razmerje prikazuje Grafikon 1 [47].



Grafikon 1: Delež tipov stavb glede na uporabno površino v odstotkih (%)



Grafikon 2: Površina različnih vrst stavb v javnem sektorju za leto 2008

Po oceni članka Raba energije v javnem sektorju, stroški zanjo in vplivi na okolje [48] skupna površina stavb javnega sektorja za leto 2008 znaša 9.070.060 m². Največji delež z 22 % so predstavljale površine osnovnih šol, sledile so površine stavb za kulturo in razvedrilo z 12 % in površine stavb javne uprave z 11 %. Površine športnih dvoran so predstavljale 9 %, srednje šole in stavbe v ostalem zdravstvu po 8 %, stavbe v ostalem šolstvu 7 % in bolnišnice 6 %. Deleži ostalih vrst stavb so bili manjši od 5 % (Grafikon 2 [48]).

2.3.2 Poraba energije javnih stavb v Sloveniji

Energija se v javnem sektorju porablja za različne namene. Največji del se je porabi za ogrevanje stavb, poleg tega se porablja za pripravo tople vode, razsvetljava, pogon električnih naprav (predvsem pisarniške opreme), za hlajenje in prezračevanje ter za ostale posebne namene, ki so specifični za posamezne dejavnosti (npr. bolnišnice, zdravstveni domovi, raziskovalne inštitucije).

Poraba energije v javnem sektorju je bila za leto 2008 modelsko ocenjena na 7.241 TJ. Največji delež v rabi je imelo ekstra lahko kurilno olje (ELKO), ki je predstavljalo 55 %, sledila je električna energija z 32 %. Daljinska toplota in UNP sta predstavljala vsak po 5 %, zemeljski plin pa 3 %.

Preglednica 2: Poraba končne energije v javnem sektorju (Raba energije v javnem sektorju, stroški zanjo in vplivi na okolje)

	Poraba električne energije za razsvetljavo in pogon naprav	Poraba energije za ogrevanje in pripravo tople vode	Poraba končne energije	Delež	Specifična poraba končne energije
Vrsta stavb/Dejavnost	[TJ]	[TJ]	[TJ]	[%]	[kWh/m ²]
Domovi za ostarele	126	364	490	7	336
Študentski in dijaški domovi	34	130	164	2	169
Ostalo	34	74	108	2	195
Stavbe javne uprave	218	520	738	11	203
Stavbe za kulturo in razvedrilo	202	448	650	10	165
Muzeji in knjižnice	96	166	262	4	206
Vrtci	36	219	255	4	241
Osnovne šole	155	853	1.008	15	142
Srednje šole	54	340	394	6	150
Ostalo šolstvo	207	368	575	9	243
Bolnišnice	326	813	1.139	17	553
Ostalo zdravstvo	89	433	522	8	210
Športne dvorane	121	303	424	6	141
SKUPAJ (brez javne razsvetljave)	1.698	5.031	6.729	100	227
Javna razsvetljava			512		
SKUPAJ (z javno razsvetljavo)			7.241		

Razdelitev rabe končne energije po vrstah stavb pokaže (Preglednica 2 [48]), da se je največ energije porabilo v bolnišnicah, in sicer 15 % celotne rabe končne energije javnega sektorja (brez javne razsvetljave). Delež bolnišnic predstavlja glede na površino le 6 %, kar pomeni, da so bolnišnice zelo intenziven porabnik energije. Poraba energije za bolnišnice znaša 553 kWh/m², kar je več kot 160 % nad povprečno porabo glede na uporabno površino javnih stavb. Po deležu v rabi končne energije brez javne razsvetljave bolnišnicam sledijo osnovne šole s 15 %, stavbe javne uprave z 11 % ter stavbe za kulturo in razvedrilo z 10 %. Deleži ostalih vrst stavb so nižji od 10 %. Pri specifični rabi končne energije so nad povprečjem poleg bolnišnic tudi domovi za ostarele, vrtci in ostalo šolstvo. Najnižja je specifična raba energije v športnih dvoranah in šolah. Pri primerjanju specifične rabe energije se je potrebno zavedati, da se porabniki energije glede na vrste stavb in dejavnost lahko zelo razlikujejo. Raba energije je tako odvisna predvsem od zasedenosti stavb in dejavnosti oziroma storitve,

ki se opravlja v stavbah. Pri primerjavi rabe energije v javnih stavbah moramo biti zato zelo previdni [48].

Za leto 2008 so bili modelsko ocenjeni tudi stroški rabe energije v javnem sektorju. Ocenjuje se, da je strošek znašal 144 milijonov EUR. Največji delež predstavljajo stroški za ELKO, in sicer 72 milijonov EUR, sledi strošek za električno energijo s 55 milijoni EUR, 16 milijonov EUR pa predstavlja skupen strošek za UNP, zemeljski plin, daljinsko toploto in lesno biomaso.

Neposredne emisije toplogrednih plinov, ki so nastale pri zgorevanju goriv v javnem sektorju, so leta 2008 znašale 328 kt CO₂-ekv., pri čemer je daleč največ emisij nastalo pri zgorevanju energenta ELKO, in sicer 89 %. V ostali rabi (skupaj z ostalimi storitvenimi sektorji ter kmetijstvom) so emisije javnega sektorja predstavljale 47 % emisij toplogrednih plinov, v široki rabi (skupaj z ostalo rabo in gospodinjstvi) pa 17 % [48].

2.3.3 Primer izvedbe energetske prenove javne stavbe v Sloveniji

V Sloveniji se je do zdaj v prenovu javnih stavb vlagalo zelo malo. Šele po prenosu evropskih direktiv v slovensko zakonodajo so se na tem področju začeli dogajati premiki. Velik vpliv so imela tudi evropska kohezijska sredstva, ki so sofinancirala projekte energetske prenove.

V obdobju med leti 2009 in 2015 so se projekti energetskih obnov javnih stavb financirali večinoma s sredstvi Kohezijskega sklada. Republika Slovenija je v letih 2007–2013 spodbujala energetske prenove javnih stavb širšega javnega sektorja (zdravstvo, šolstvo, socialno varstvo, stavbe v lasti lokalnih skupnosti). V tem obdobju so se dodeljevala nepovratna sredstva za izvajanje projektov URE in izrabe OVE v javnem sektorju v okviru programa izvajanja kohezijske politike v Sloveniji (OP ROPI za obdobje 2007–2013). Do konca leta 2013 je bilo izvedenih šest razpisov za energetske sanacije stavb s področij zdravstva, šolstva, socialnega varstva in stavb v lasti lokalnih skupnosti ter za sanacijo javne razsvetljave [49].

V obdobju 2009–2013 se je na javne razpise za pridobitev nepovratnih sredstev iz evropskih skladov za energetske sanacije javnih stavb v Sloveniji prijavilo oziroma uspešno kandidiralo 373 upravičencev, ki so skupno pridobili več kot 146.738.556,17 EUR evropskih sredstev Kohezijskega sklada. Med upravičenci je bilo 15 bolnišnic, 17 srednjih šol, 20 domov za starejše občane, 8 visokošolskih zavodov in 313 stavb v lasti občin. Skupaj naj bi upravičenci prihranili 150.083 MWh letno in zmanjšali emisije CO₂ za 40 kt CO₂-ekv. na leto. Glede na povprečno rabo končne energije v javnem sektorju, ki v Sloveniji znaša približno 1.850 GWh

na leto [50], naj bi z izvedenimi ukrepi letno prihranili okoli 8,11 % končne energije. Gre za 398 sklenjenih pogodb s skupno 232 milijoni EUR predvidenih naložb, kar 72 % te vrednosti oziroma 184,2 milijona EUR pa je bilo zagotovljenih s kohezijskimi sredstvi OP ROPI, pri čemer so 85 % nepovratnih sredstev predstavljala sredstva EU. Po realizaciji vseh navedenih pogodb naj bi bilo saniranih 1.253.883 m² površin stavb v širšem javnem sektorju [32].

Skupni doseženi prihranki energije v Sloveniji so v letu 2012 znašali 2.727 GWh končne energije (ocenjeno po metodologiji Direktive 2006/32/ES) [49], kar je 15 % več od vmesnega cilja za leto 2012. Do leta 2020 pa se napoveduje, da bi lahko prihranki glede na leto 2012 znašali tudi 4.564 GWh in več, kar je tudi cilj, zapisan v novem Akcijskem načrtu za energetska učinkovitost za obdobje 2014–2020 (AN URE 2020) [32].

Načrtovanje energetskih prenov zahteva preplet znanja več udeleženih strok (arhitektura, gradbeni del, strojni del in energetika) in hkratno iskanje optimalnih tehničnih rešitev. Te temeljijo na osnovi poznavanja vzrokov in posledic in s tem na medsebojnem učinkovanju posameznih sprejetih ukrepov.

Pred pričetkom priprave projekta se je najprej potrebno dogovoriti o ciljih, ki olajšajo odločitve obsega projekta. V tej fazi ni potrebno, da se opredeli vse podrobnosti, pomembno je le, da udeleženci pri pripravi soglašajo s splošnimi smernicami, ki bi jim projekt naj sledil. V nadaljnjih fazah razvoja projekta se cilji postopno bolj definirajo. Primeri za definiranje ciljev so lahko na primer izbira stavb za zmanjšanje stroškov za energijo, optimizacija naprav, 100 % izkoriščenost naprav in sistemov, zamenjava energetskega vira, zmanjšanje rabe energije in emisij CO₂. Obvezen spremljevalni del projekta je tudi koordinacija, pri kateri zraven ostalih sodelujejo strokovnjaki s področij, ki se jih projekt dotika. Le na tak način je mogoče doseči optimalne rešitve z optimalnimi stroški.

Osnova za izvedbo projekta energetske prenove stavbe je seveda izbira najprimernejše stavbe. Ker ekonomska upravičenost ukrepov običajno temelji na predpostavkah za njihovo izvedbo, morajo biti letni podatki za energijo v razumnem razmerju s stroški priprave projekta in dosegljivimi prihranki. Podatki o rabi energije morajo izražati dejansko stanje stavbe, saj lahko vsaka napaka pri osnovnih podatkih privede projekt do nedoseganja zastavljenih ciljev in do finančne izgube. Ob tem je potrebno tudi upoštevati vse spremembe na stavbi, ki so se zgodile v zadnjih letih, in način njene uporabe. Merila za izbiro stavbe so lahko na primer nadpovprečna absolutna in specifična raba energije, nadpovprečni absolutni in specifični stroški za energijo, dolgoročni koncept uporabe oziroma namembnosti obravnavane stavbe.

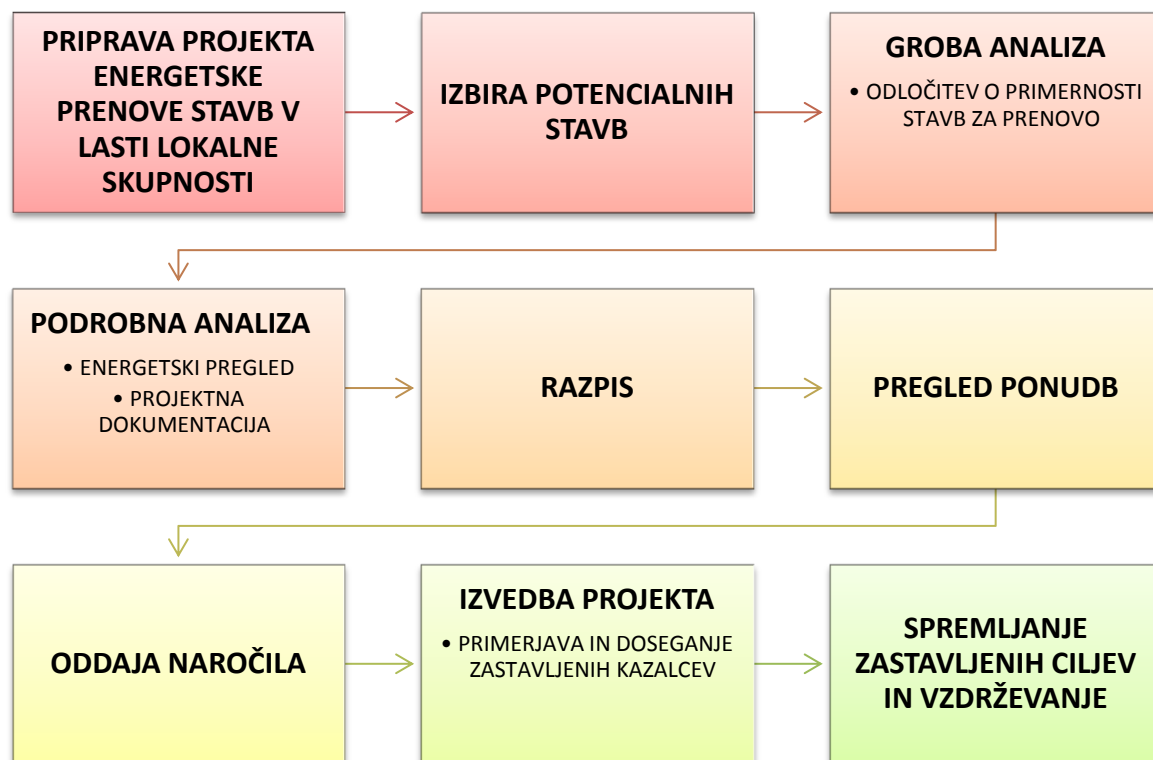
Groba analiza je prvi korak za oceno možnih energetskih in drugih prihrankov pri obratovanju stavbe ter za preverbo finančnih zmožnosti in izvedljivosti projekta. Grobo analizo izvedemo na podlagi določitve in primerjave energetskih kazalcev. Letno porabljeno energijo določimo (na podlagi računov) ločeno za elektriko in toploto. Tudi s hitrim ogledom obstoječega stanja stavbe lahko na podlagi izkušenj ocenimo, ali je objekt primeren za prenovo. Na podlagi grobe ocene se oceni sposobnost uspešne izvedbe projekta in se izberejo stavbe, ki so za projekt najprimernejše.

Dejanski varčevalni potencial posamezne stavbe se določi s pomočjo podrobnejše analize. Podrobno analizo oziroma energetski pregled izvedejo strokovnjaki posameznih področji, ki so najpogosteje zunanji izvajalci. Z analizo se pridobijo vsi potrebni podatki o stavbi in obstoječem stanju, prav tako se opredeli natančne stroške, možne prihranke in vračilne dobe za posamezne ukrepe. Na podlagi vseh natančnih zbranih informacij se izdelata zasnova ukrepov za učinkovitejšo rabo energije. Po predstavljenih in izbranih ukrepih se izdelata projektna dokumentacija, ki je v pomoč pri pripravi razpisne dokumentacije za izbiro izvajalca za gradbeno-obrtniška dela. Prav tako projektna dokumentacija nudi pomoč izvajalcu za dobro izvedbo del. Dobra projektna dokumentacija lahko bistveno pripomore k dobri izvedbi del in posledično k doseganju zastavljenih kazalcev.

Po zaključku podrobne analize in pripravljene projektne dokumentacije se oblikuje razpisna dokumentacija. Zasnova pogodbe je poglobljen del razpisnih podlog. Razpis vsebuje podroben opis storitev, ki temeljijo na načrtovanih izbranih ukrepih za večjo energetsko učinkovitost stavbe. Podroben opis vsebine razpisne dokumentacije nam pove, kaj je namen naročila, kaj se pričakuje od izvajalca in kakšni so kriteriji, ki jih mora izvajalec izpolnjevati. Najpogostejši kriterij izbire je najugodnejša cena ponudnika.

Po določenem obdobju oziroma prispetju ponudb se le-te pregleda, če izpolnjujejo vse zahteve iz razpisne dokumentacije. V primeru, da je ponudnik naredil nebitveno napako, se ga pozove k dopolnitvi, da popravi manjše pomanjkljivosti. Ko so vse ponudbe popolne oziroma ko se izloči nepopolne ponudbe, komisija izbere izvajalca na podlagi kriterijev, ki so bili podani v razpisni dokumentaciji. Vse ponudnike se nato obvesti o izbiri izvajalca naročila. Ko je izvajalec pravnomočno izbran, lahko začne z izvedbo naročenih del. Pri izvedbi del je potrebno paziti, da se le-ta izvajajo skladno s projektno dokumentacijo. Po končanih delih pa se spremljajo kazalci, ki so bili zastavljeni na začetku projekta.

V nadaljevanju predstavljamo shemo, ki povzema postopek izvedbe energetske prenove javne stavbe.



Slika 3: Primer poteka izvedbe energetske preнове stavbe v lasti javnih subjektov

3 ORODJA IN METODOLOGIJA ZA IZRAČUN PRIHRANKOV IN Q_{NH}

Za izračun prihrankov in energetskih bilanc pred in po energetskih prenovah stavb se lahko uporablja več različnih metod, in sicer:

1. Izračun po Pravilniku o metodah za določevanje prihrankov energije – Pravilnik MDPE [52]:
 - a. izračun prihrankov celovite prenove stavbe;
 - b. izračun prihrankov delne prenove stavbe (zunanji ovoj).
2. Izračun s pomočjo programov BIM in z dodatki za izračun energetskih bilanc stavb [53].
3. Izračun s pomočjo programov za 3D modeliranje in z dodatki za izračun energetskih bilanc stavb [53].
4. Izračun s pomočjo namenskih računalniških programov za izračun energetskih bilanc, ki so skladni s Standardom SIST EN ISO 13790 in posledično z EPBD-r [54–57].

Pravilnik MDPE obravnava metode za določanje prihrankov energije, doseženih s posameznimi ukrepi za izboljšanje URE, ki se uporabljajo pri pripravi, izvajanju in vrednotenju programov za izboljšanje energetske učinkovitosti. Izračun prihranka energije pri celoviti prenovi stavbe se določa kot razlika med potrebno toploto [kWh/m^2 leto] za ogrevanje stavbe pred prenovno in po njej. Medtem ko se prihranek delne prenove stavbe (zunanji ovoj) določi kot razliko med letno porabo energije stavbe, izračunano na podlagi razlike med toplotnimi prehodnostmi posameznih konstrukcijskih elementov stavbe pred prenovno in po njej. Pri tem se vrednosti za nove materiale določijo na podlagi znanih tehničnih lastnosti, vrednosti za stare materiale pa so določene na podlagi starih tehničnih zahtev in določenih izkustvenih vrednosti.

Programi BIM, kot so ArchiCAD, Allplan, Revit Architecture itd. [53], omogočajo inteligentno 3D modeliranje, z dodatki in uvozi datotek BIM v najrazličnejše programe pa tudi izračune celovite energetske analize, gradbenofizikalnih karakteristik in energetskih bilanc stavb. Najbolj izpopolnjeni in priljubljeni programi oziroma dodatki za izračun energetskih karakteristik stavb, ki sodelujejo z BIM, so IDA Indoor Climate and Energy, Energy Plus, ESP-r (Energy Simulation Software tool), IES VE (Integrated Environmental Solutions – Virtual Environment), TRNSYS itd. [58]. Programi BIM z dodatki oziroma samostojnimi programi omogočajo hitro in celovito izdelavo ocene energetske učinkovitosti stavbe. Vsi dodatki za izračun gradbene fizike stavbe sicer niso združljivi z vsemi programi BIM, zato je potrebno za posamezen program BIM najti ustrezen dodatek. Dodatki za izračun gradbene fizike uporabljajo različne metode za izračun energetskih karakteristik in različne načine za

prikaz rezultatov. Preden se odločimo in pričnemo z analizo energetskih karakteristik stavb s pomočjo dodatkov BIM, je zelo pomembno, da najprej pogledamo, kaj nam program omogoča in katere metode uporablja za izračun [53].

Za izračun energetskih kazalnikov oziroma izračun toplotne bilance stavbe si lahko pomagamo tudi z enostavnimi programi, kot je Google SketchUp, in dodatki, saj sam program ne omogoča izračuna. Možno je uporabiti enega izmed naslednjih dodatkov, in sicer IES VE SketchUp, EnergyPlus OpenStudio ali GreenspaceLive gModeller [53].

3.1 Metodologija izračuna energetskih lastnosti po Standardu SIST EN ISO 13790

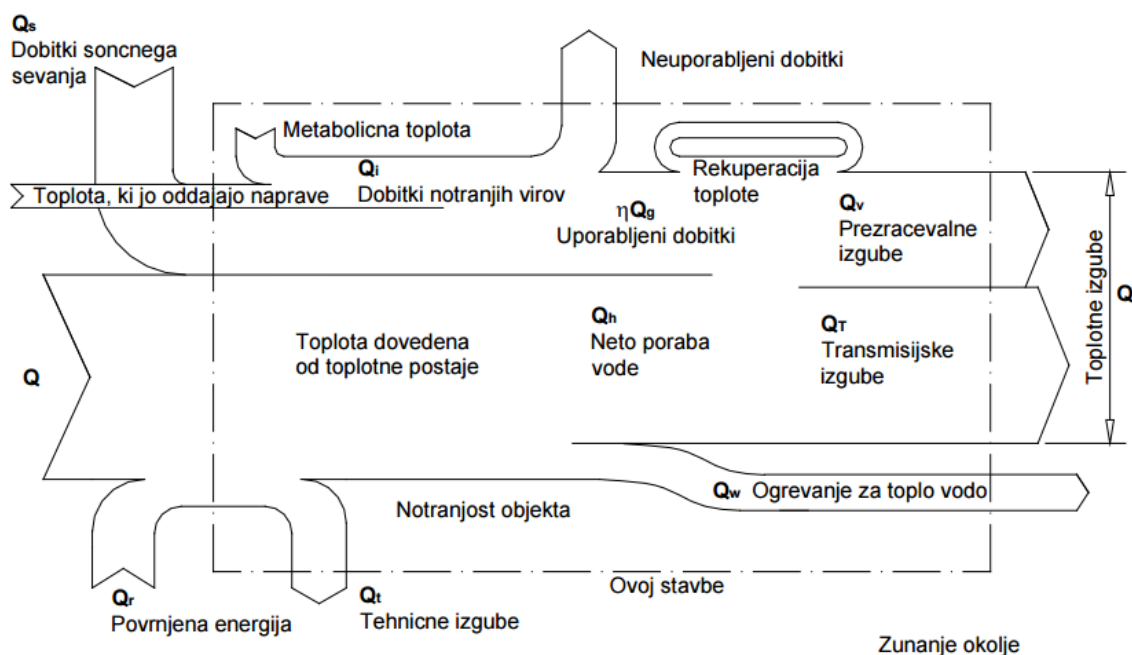
Pogoj za nastanek metodologije za izračun energetskih bilanc stavbe je bil 3. člen Direktive EPBD, ki je zahteval, da so vse države članice EU sprejele metodologijo za izračun energetske učinkovitosti stavb [22]. Za izvajanje 3. člena omenjene direktive so najprej članice EU razvile različne metodologije, ki pa niso omogočale direktne medsebojne primerjave med stavbami. Zato je prenovljena Direktiva EPBD-r v 3. členu zahtevala sprejetje enotne metodologije za izračun energetske učinkovitosti stavb v skladu s skupnim splošnim okvirom, določenim v Prilogi I [23].

Nova metodologija za izračun energetske učinkovitosti stavb je tako morala upoštevati evropske standarde in vsebovati vsaj porabo toplote za ogrevanje stavbe, pripravo tople vode, hlajenje, prezračevanje in razsvetljavo pod standardiziranimi pogoji, določenimi s strani nacionalnih predpisov. Ta metodologija je podlaga za izdelavo in izračun energetskih izkaznic, ki so jih morale implementirati vse države članice. Energetske izkaznice izkazujejo energetske učinkovitost posamezne stavbe [12].

V Sloveniji je bila prevzeta metodologija za izračun energetske učinkovitosti po Standardu SIST EN ISO 13790 z nacionalnimi posebnostmi, določenimi v Tehnični smernici TSG-1-004:2010. V nadaljevanju bomo na kratko povzeli metodologijo (po TSG-1-004:2010 [2]) in robne pogoje, ki jih mora na podlagi izkušenj in znanja določiti projektant.

Standard SIST EN ISO 13790 modelira izmenjavo toplote med okoljem in objektom. Skupaj s PURES 2010 podaja omejitve letne potrebne toplote za ogrevanje stavbe in količine transmisijskih izgub skozi ovoj stavbe. S Standardom lahko izračunamo toplotno bilanco za tri različne tipe objektov, in sicer za stanovanjske, nestanovanjske ogrevane in nestanovanjske, ki so občasno ogrevani (npr. dvorane, kulturni domovi itd.). Izračun po Standardu SIST EN ISO 13790 zajema toplotne izgube stavbe (ogrevane na konstantno

temperaturo), letno porabo toplote za ogrevanje in letno porabo energije za hlajenje stavbe. Energetsko učinkovitost stavb je mogoče izračunati po mesečni ali sezonski računski metodi. Slika 4 [59] v nadaljevanju prikazuje energetsko bilanco stavbe, kjer so upoštevani toplotni ovoj stavbe, zunanje okolje in sistemi v stavbi.



Slika 4: Energetska bilanca stavbe po Standardu SIST EN ISO 13790

3.1.1 Postopek izračuna po Standardu SIST EN ISO 13790

Potrebno energijo za ogrevanje izbrane stavbe se določi na osnovi toplotne bilance na nivoju posameznih con. Izračun po metodologiji upošteva senzibilno toploto oziroma:

- transmisijske toplotne tokove med cono in zunanjim okoljem stavbe;
- ventilacijske toplotne tokove med cono in zunanjim okoljem stavbe;
- transmisijske in ventilacijske toplotne tokove med posameznimi conami;
- notranje toplotne dobitke/izgube;
- toplotne dobitke zaradi sončnega sevanja skozi zastekljene površine;
- akumulacijo toplote zaradi mase stavbe;
- potrebno energijo za ogrevanje – dovedena toplota za vzdrževanje minimalne temperature ogrevanja v coni.

Vhodni podatki, ki se jih vnaša v izračune, ki so v večini primerih podprti z različnimi računalniškimi orodji, so:

- transmisijske (konstrukcijska sestava zunanje ovoja stavbe) in ventilacijske (prezračevanje) lastnosti izbranih con;
- toplotni dobitki notranjih virov (naprave, ljudje itd.) in lastnosti, vezane na sončno sevanje;
- meteorološki podatki;
- opis stavbe in koriščenja (uporaba);
- zahteva za toploto ugodje (temperatura, izmenjava zraka);
- podatki o conah;
- izgube energije, vrnjene in nevrnjene izgube;
- pretok zraka, temperatura zraka.

Računska metoda

Letno potrebno toploto za ogrevanje stavbe Q_{NH} se določi skladno s Standardom SIST EN ISO 13790 in z nacionalno določenimi posebnostmi, zapisanimi v Tehnični smernici.

Za izračun Q_{NH} računalniški programi uporabijo iterativni postopek (skladno s Standardom), pri katerem se upošteva vrnjena energija sistemov. Izvede se najmanj ena iteracija. Iteracijski postopek se zaključi, ko se rezultati posameznega iteracijskega koraka med seboj razlikujejo za manj kot 10 %. Q_{NH} , ki je podlaga za ugotavljanje skladnosti stavbe z zahtevami Pravilnika in možno primerjavo z ostalimi stavbami, se izračuna pri standardnih pogojih koriščenja stavbe (skladno s tipom posamezne stavbe).

Toplotne cone

Toplotne cone se določi po Standardu SIST EN ISO 13790. Posamezna cona obsega prostore oziroma delež tlorisa stavbe z različnimi pogoji uporabe ali temperaturnim udobjem. Če cona obsega 80 % ali več celotne stavbe, se upošteva celotna stavba kot enotna cona. Kadar prostornina neogrevanih in manj ogrevanih prostorov (npr. stopnišča, hodniki, avle) ne presega 20 % neto ogrevane prostornine stavbe (V_e), se lahko ne glede na določila Standarda SIST EN ISO 13790 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 adiabatske 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 [2].

Toplotni mostovi

Vpliv toplotnih mostov se lahko v izračunih potrebne toplote za ogrevanje upošteva na več načinov, in sicer po standardih SIST EN ISO 13789, SIST EN ISO 14683 in SIST EN ISO 10211, skladno s katalogi oziroma računalniškimi simulacijami in na poenostavljen način, v kolikor imajo vsi toplotni mostovi v stavbi linijsko toplotno prevodnost $\Psi_e < 0,2 \text{ W/(m K)}$ (Standard SIST EN ISO 14683, Tabela 2). V kolikor se uporabi poenostavljen način, ki je tudi največkrat uporabljen v praksi, se to upošteva tako, da se poveča toplotno prehodnost celotnega ovoja stavbe za $0,06 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$.

Karakteristične površine in prostornine stavbe

Zunanja površina stavbe $A \text{ (m}^2\text{)}$, ki omejuje bruto ogrevano prostornino stavbe V in skozi katero prehaja toplota v okolico, se določi z upoštevanjem zahteve Standarda SIST EN ISO 13790 za stavbe z eno toplotno cono, ki zajema najmanj vse ogrevane prostore. Pri določanju površine je treba upoštevati Standard SIST EN ISO 13789, Dodatek B, Zunanji sistem določanja mer.

Uporabna površina stavbe $A_u \text{ (m}^2\text{)}$, ki predstavlja notranjo tlorisno površino ogrevanih prostorov po projektu, se določi po Standardu SIST ISO 9836.

Neto ogrevana prostornina stavbe $V_e \text{ (m}^3\text{)}$, potrebna za izračun toplotnih izgub zaradi prezračevanja oziroma potrebne stopnje pretoka zraka po Standardu SIST EN ISO 13790 (poglavje 9), se določi z upoštevanjem zahteve standardov SIST EN ISO 13790 in SIST EN ISO 9836, točka 5.2.5.

Toplotne izgube in pritoki skozi okna

Pri izračunu toplotnih izgub in pritokov skozi okna se upošteva tudi vpliva prosojnosti zasteklitve in senčenja. Prav tako se upošteva, v kolikor imajo stavbe vgrajene sisteme za avtomatsko vodenje elementov za nočno toplotno zaščito, vpliv nočne toplotne zaščite na oknih.

Notranji toplotni viri

Prispevek notranjih toplotnih virov pri potrebni toploti za ogrevanje stavbe se lahko določi na poenostavljen način ali z vpisom posameznih prispevkov notranjih virov oziroma notranjih toplotnih virov, ki so posledica ljudi, naprav, procesov, materialnih tokov in razsvetljave v stavbi.

Toplotna kapaciteta stavbe

Sodelujoča toplotna kapaciteta stavbe za izračun izkoristka toplotnih dobitkov v stavbi se določa po naslednjih postopkih:

- na poenostavljen način, kjer je:

$$C = 15 \cdot V_e \text{ [Wh/K] za lahke stavbe,} \quad (1)$$

$$C = 50 \cdot V_e \text{ [Wh/K] za težke stavbe;} \quad (2)$$

- po Standardu SIST EN ISO 13790, kjer upoštevamo kapacitivnost notranjih stavbnih konstrukcij.

Prezračevanje

Za izračun potrebne toplote za ogrevanje stavbe se upošteva urna izmenjava notranjega zraka z zunanjim, računana glede na neto ogrevano prostornino stavbe. Sama urna izmenjava notranjega zraka je odvisna od stanja stavbe (tesnjenje oken, kvaliteta materialov itd.) in namembnosti stavbe in se jo določa izkustveno, pri tem pa je potrebno zadostiti minimalnim zahtevam glede prezračevanja.

3.1.2 Uporabljeni programi za izračun gradbene fizike stavbe

Pri izračunu energetskih bilanc obravnavnih stavb so si projektanti pomagali z dvema komercialnima programoma, in sicer Gradbena fizika URSA 4.0 [54] (v nadaljevanju URSA 4.0) in ARCHIMAID [55], katerih rezultate smo primerjali z nekomercialnim programom TOST [56], ki je bil razvit na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente. TOST sta razvila prof. dr. Aleš Krainer in Rudi Perdan. Vsi uporabljeni programi podajajo izračune v skladu s PURES 2010 in Tehnično smernico TSG-1-004:2010. Prav tako vsi programi na podlagi koordinat stavbe ali katastrske občine, v kateri se stavba nahaja, avtomatsko izberejo primerne klimatske podatke, ki jih nato uporabijo za nadaljnji izračun energetske bilance stavbe.

3.1.2.1 Program za izračun gradbene fizike stavbe – ARCHIMAID

Podjetje FIBRAN NORD, d.o.o., ki proizvaja toplotne izolacije, je za inženirje na področju energetske učinkovitosti pripravilo računalniški program ARCHIMAID [55], ki omogoča izračun gradbene fizike stavbe. Program je zasnoval mag. Matjaž Zupan, univ. dipl. fiz., skupaj z ostalimi strokovnjaki iz posameznih področij. S programom ARCHIMAID se lahko

dokazuje ustreznost stavbe skladno s Pravilnikom o učinkoviti rabi energije. Primeren je tudi za izdelavo energetskih izkaznic in za izračun energetskega razreda stavbe [60]. Program je v osnovi razdeljen na dva dela, in sicer na arhitekturno-gradbeni in strojniški del. Rezultate energetske bilance stavbe in dovedene energije nam program lahko izpiše v obliki elaborata gradbene fizike, izkaza energetskih karakteristik stavbe in izkaza v obliki energetske izkaznice – v skladu s slovensko zakonodajo. V nadaljevanju je prikazana Slika 5 [55], ki predstavlja izračunane energijske in ostale lastnosti stavbe znotraj uporabniškega vmesnika.

Letni rezultati	Rezultati SIST EN ISO 13790	Rezultati energetske izkaznice (1)	Rezultati energetske izkaznice (2)	Mesečni rezultati	Energenti																																																																																																																																				
Vrednost	Izračunana	Dovoljena																																																																																																																																							
Koeficient specifičnih transmisivskih toplotnih...	0,807	0,530	>																																																																																																																																						
Dovoljena letna potrebna toplota preračuna...	17,061	8,632	>																																																																																																																																						
<table border="1"> <tr> <td colspan="6">Letna raba primarne energije</td> </tr> <tr> <td>Letna raba primarne energije (Qp) [kWh]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>52.500,00</td> </tr> <tr> <td>Na enoto uporabne površine stavbe (Qp,Au) [kWh/m²a]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>9,38</td> </tr> <tr> <td>Na enoto ogrevane prostornine stavbe (Qp,Ve) [kWh/m³a]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,87</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Letne emisije CO2</td> </tr> <tr> <td>Letne emisije CO2 [kg/leto]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>11.130,00</td> </tr> <tr> <td>Na enoto uporabne površine stavbe [kg/m²a]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,99</td> </tr> <tr> <td>Na enoto ogrevane prostornine stavbe [kg/m³a]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Letna dovedena energija</td> </tr> <tr> <td>Energija sistema za ogrevanje (Qf,h,skupni) [kWh]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Energija sistema za hlajenje (Qf,c,skupni) [kWh]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Energija sistema za prezračevanje (Qf,V) [kWh]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Energija za ovlaževanje (Qf,st) [kWh]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Energija sistema za pripravo tople vode (Qf,w) [kWh]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Energija za razsvetljavo (Qf,l) [kWh]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>21.000,00</td> </tr> <tr> <td>Energija PV sistema (Qf,PV) [kWh]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Energija solarnega toplotnega sistema [kWh]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Energija toplotnih črpalk [kWh]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Pomožna energija za delovanje sistemov (Qf,aux) [kWh]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Energija za delovanje stavbe (Qf) [kWh]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>21.000,00</td> </tr> <tr> <td>Energija na enoto ogrevane površine stavbe [kWh/m²a]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>3,75</td> </tr> <tr> <td>Energija na enoto ogrevane prostornine stavbe [kWh/m³a]:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,75</td> </tr> </table>						Letna raba primarne energije						Letna raba primarne energije (Qp) [kWh]:					52.500,00	Na enoto uporabne površine stavbe (Qp,Au) [kWh/m²a]:					9,38	Na enoto ogrevane prostornine stavbe (Qp,Ve) [kWh/m³a]:					1,87	Letne emisije CO2						Letne emisije CO2 [kg/leto]:					11.130,00	Na enoto uporabne površine stavbe [kg/m²a]:					1,99	Na enoto ogrevane prostornine stavbe [kg/m³a]:					0,40	Letna dovedena energija						Energija sistema za ogrevanje (Qf,h,skupni) [kWh]:					0,00	Energija sistema za hlajenje (Qf,c,skupni) [kWh]:					0,00	Energija sistema za prezračevanje (Qf,V) [kWh]:					0,00	Energija za ovlaževanje (Qf,st) [kWh]:					0,00	Energija sistema za pripravo tople vode (Qf,w) [kWh]:					0,00	Energija za razsvetljavo (Qf,l) [kWh]:					21.000,00	Energija PV sistema (Qf,PV) [kWh]:					0,00	Energija solarnega toplotnega sistema [kWh]:					0,00	Energija toplotnih črpalk [kWh]:					0,00	Pomožna energija za delovanje sistemov (Qf,aux) [kWh]:					0,00	Energija za delovanje stavbe (Qf) [kWh]:					21.000,00	Energija na enoto ogrevane površine stavbe [kWh/m²a]:					3,75	Energija na enoto ogrevane prostornine stavbe [kWh/m³a]:					0,75
Letna raba primarne energije																																																																																																																																									
Letna raba primarne energije (Qp) [kWh]:					52.500,00																																																																																																																																				
Na enoto uporabne površine stavbe (Qp,Au) [kWh/m²a]:					9,38																																																																																																																																				
Na enoto ogrevane prostornine stavbe (Qp,Ve) [kWh/m³a]:					1,87																																																																																																																																				
Letne emisije CO2																																																																																																																																									
Letne emisije CO2 [kg/leto]:					11.130,00																																																																																																																																				
Na enoto uporabne površine stavbe [kg/m²a]:					1,99																																																																																																																																				
Na enoto ogrevane prostornine stavbe [kg/m³a]:					0,40																																																																																																																																				
Letna dovedena energija																																																																																																																																									
Energija sistema za ogrevanje (Qf,h,skupni) [kWh]:					0,00																																																																																																																																				
Energija sistema za hlajenje (Qf,c,skupni) [kWh]:					0,00																																																																																																																																				
Energija sistema za prezračevanje (Qf,V) [kWh]:					0,00																																																																																																																																				
Energija za ovlaževanje (Qf,st) [kWh]:					0,00																																																																																																																																				
Energija sistema za pripravo tople vode (Qf,w) [kWh]:					0,00																																																																																																																																				
Energija za razsvetljavo (Qf,l) [kWh]:					21.000,00																																																																																																																																				
Energija PV sistema (Qf,PV) [kWh]:					0,00																																																																																																																																				
Energija solarnega toplotnega sistema [kWh]:					0,00																																																																																																																																				
Energija toplotnih črpalk [kWh]:					0,00																																																																																																																																				
Pomožna energija za delovanje sistemov (Qf,aux) [kWh]:					0,00																																																																																																																																				
Energija za delovanje stavbe (Qf) [kWh]:					21.000,00																																																																																																																																				
Energija na enoto ogrevane površine stavbe [kWh/m²a]:					3,75																																																																																																																																				
Energija na enoto ogrevane prostornine stavbe [kWh/m³a]:					0,75																																																																																																																																				
<table border="1"> <tr> <td colspan="6">Osnovni podatki</td> </tr> <tr> <td>Neto uporabna površina stavbe Au [m²]:</td> <td></td> <td>5.600,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bruto ogrevana prostornina stavbe [m³]:</td> <td></td> <td>28.080,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Neto ogrevana prostornina stavbe [m³]:</td> <td></td> <td>23.868,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Celotna zunanja površina stavbe A [m²]:</td> <td></td> <td>7.300,90</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Oblikovni faktor f0 = A/Ve [m-1]:</td> <td></td> <td>0,26</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temperaturami primanjkljaj (za ogrevanje DD20/12) [K dni]:</td> <td></td> <td>3.300,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Povprečna letna temperatura TI [°C]:</td> <td></td> <td>9,92</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Razmerje med površino oken in površino toplotnega ovoja stavbe z [-]:</td> <td></td> <td>0,25</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Strošek energentov [€]:</td> <td></td> <td>0,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6">Letne potrebe po toploti/hladu</td> </tr> <tr> <td>Toplota za ogrevanje (QH,nd) [kWh]:</td> <td></td> <td>479.072,33</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hlad za hlajenje (QC,nd) [kWh]:</td> <td></td> <td>69.879,84</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Toplota za ogrevanje na neto uporabno površino (QH,nd,Au) [kWh/m²a]:</td> <td></td> <td>85,55</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Toplota za ogrevanje na enoto ogrevane prostornine (QH,nd,Ve) [kWh/m³a]:</td> <td></td> <td>17,06</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Osnovni podatki						Neto uporabna površina stavbe Au [m²]:		5.600,00				Bruto ogrevana prostornina stavbe [m³]:		28.080,00				Neto ogrevana prostornina stavbe [m³]:		23.868,00				Celotna zunanja površina stavbe A [m²]:		7.300,90				Oblikovni faktor f0 = A/Ve [m-1]:		0,26				Temperaturami primanjkljaj (za ogrevanje DD20/12) [K dni]:		3.300,00				Povprečna letna temperatura TI [°C]:		9,92				Razmerje med površino oken in površino toplotnega ovoja stavbe z [-]:		0,25				Strošek energentov [€]:		0,00				Letne potrebe po toploti/hladu						Toplota za ogrevanje (QH,nd) [kWh]:		479.072,33				Hlad za hlajenje (QC,nd) [kWh]:		69.879,84				Toplota za ogrevanje na neto uporabno površino (QH,nd,Au) [kWh/m²a]:		85,55				Toplota za ogrevanje na enoto ogrevane prostornine (QH,nd,Ve) [kWh/m³a]:		17,06																																													
Osnovni podatki																																																																																																																																									
Neto uporabna površina stavbe Au [m²]:		5.600,00																																																																																																																																							
Bruto ogrevana prostornina stavbe [m³]:		28.080,00																																																																																																																																							
Neto ogrevana prostornina stavbe [m³]:		23.868,00																																																																																																																																							
Celotna zunanja površina stavbe A [m²]:		7.300,90																																																																																																																																							
Oblikovni faktor f0 = A/Ve [m-1]:		0,26																																																																																																																																							
Temperaturami primanjkljaj (za ogrevanje DD20/12) [K dni]:		3.300,00																																																																																																																																							
Povprečna letna temperatura TI [°C]:		9,92																																																																																																																																							
Razmerje med površino oken in površino toplotnega ovoja stavbe z [-]:		0,25																																																																																																																																							
Strošek energentov [€]:		0,00																																																																																																																																							
Letne potrebe po toploti/hladu																																																																																																																																									
Toplota za ogrevanje (QH,nd) [kWh]:		479.072,33																																																																																																																																							
Hlad za hlajenje (QC,nd) [kWh]:		69.879,84																																																																																																																																							
Toplota za ogrevanje na neto uporabno površino (QH,nd,Au) [kWh/m²a]:		85,55																																																																																																																																							
Toplota za ogrevanje na enoto ogrevane prostornine (QH,nd,Ve) [kWh/m³a]:		17,06																																																																																																																																							
Vse zahteve o toplotni zaščiti po Pravilniku niso izpolnjene																																																																																																																																									

Slika 5: Prikaz glavnih rezultatov znotraj uporabniškega vmesnika programa ARCHIMAID

3.1.2.2 Program za izračun gradbene fizike stavbe –URSA 4.0

Računalniški program Gradbena fizika URSA 4.0 [54] je razvilo podjetje URSA Slovenija in je prosto dostopen na spletni strani proizvajalca izolacijskih materialov URSA. Program URSA 4.0 je prav tako razdeljen na arhitekturno-gradbeni del, ki omogoča izračun potrebne toplotne energije za ogrevanje, in strojni del, ki omogoča izračun dovedene energije v stavbo. Za razliko od programa ARCHIMAID URSA 4.0 omogoča dodajanje lastnih materialov, ki jih uporabimo za analizo konstrukcijskih sklopov. Oba komercialna programa imata preprost in pregleden uporabniški vmesnik, v katerega se vpisuje zahtevane podatke za izračun energetske bilance stavbe. Omenjeni program prav tako omogoča izpis vseh relevantnih podatkov v obliki elaborata gradbene fizike, izkaza energetskih karakteristik stavbe in izkaza

nadaljevanju je prikazana Slika 7 [56], ki predstavlja izračunane energijske in ostale lastnosti stavbe znotraj uporabniškega vmesnika.

The screenshot shows the TOST software interface with the following data:

Projekt		Stavba in projektant		Splošni podatki		Klimatski podatki		Računska podobdobja		NI, senčenje		Podatki o conah		Rezultati		Obnovljivi viri		Beležka	
Stavba	stavba																		
Vrsta stavbe	Nestanovanjska stavba																		
Neto uporabna površina stavbe A_u (m ²)	2.489,56	(obvezno za stanovanjske stavbe)																	
Kondicionirana prostornina stavbe V_e (m ³)	7.620,21	(obvezno za nestanovanjske in javne stavbe)																	
Površina toplotnega ovoja stavbe A (m ²)	3.789,76																		
Oblikovni faktor $f_o = A/V_e$ (m ⁻¹)	0,50																		
Koefficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H_L (W/m ² K)		Izračunan	0,89	Največji dovoljen	0,42														
Letna raba primarne energije Q_p (kWh)		Izračunana	373.630	Največja dovoljena	-														
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH} (kWh)			254.065		102.878														
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC} (kWh)			9.037		-														
Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto neto uporabne površine in kondicionirane prostornine		Q_{NH}/A_u (kWh/m ² a)	102,05		-														
		Q_{NH}/V_e (kWh/m ³ a)	33,34		13,50														
Kazalniki letne rabe primarne energije in letnih izpustov CO ₂ za delovanje sistemov stavbe																			
Letna raba primarne energije na enoto kondicionirane prostornine Q_p/V_e (kWh/m ³ a)																			
Letni izpusti CO ₂ (kg)																			
Letni izpusti CO ₂ na enoto kondicionirane prostornine (kg/m ³ a)																			
NI IZPOLNJENO																			
Spremeni tiskalnik		Trenutno izbrani tiskalnik: HP Officejet Pro 8610 na Ne05:																Natisni obrazec	

UL FGG Katedra za Stavbe in Konstrukcijske Elemente

TOST

Diploma Nejc Avguštin

Shrani Končaj

Slika 7: Prikaz glavnih rezultatov znotraj uporabniškega vmesnika programa TOST

3.2 Predpostavke in omejitve pri izračunu Q_{NH}

Projektanti so se pri izračunih energetskih bilanc posameznih stavb soočali z določenimi dilemami in omejitvami. Pri tem so morali upoštevati nekatere poenostavitve in robne pogoje, ki so jih sami določili na podlagi izkušenj in znanja. V nadaljevanju bomo na kratko predstavili dileme, s katerimi so se soočali.

3.2.1 Dileme pri določitvi nekaterih robnih pogojev in parametrov

Za izračun oblikovnega faktorja stavbe se pri nekaterih komercialnih programih gradbene fizike uporablja bruto ogrevana prostornina stavbe. Slovenska zakonodaja pa za izračun oblikovnega faktorja predpisuje rezultat deljenja površine zunanjega ovoja in

kondicioniranega volumna, ki je definiran kot neto prostornina stavbe, ki jo obdaja površina toplotnega ovoja stavbe ($V(e)$, (m^3)).

Slika 8: Prikaz napačno definirane kondicionirane prostornine v programu za izračun gradbene fizike

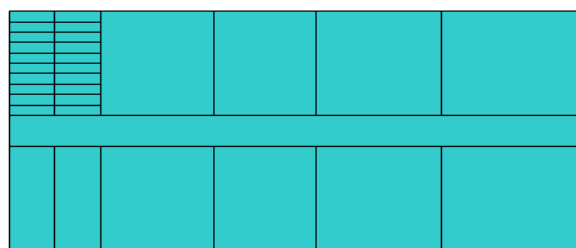
Problem se pojavlja tudi pri poimenovanju različnih vrst površin stavbe v različnih programih, standardi, zakonodajo, itd. Npr. standard za izračun površin SIST ISO 9836 loči oz. omogoča izračun samo naslednjih površin: bruto tlorisna površina, površina intra muros, neto tlorisna površina (uporabna, tehnična, komunikacijska površina). Medtem ko standard SIST EN ISO 13790 pozna samo izraz, notranja površina stavbe. V slovenski zakonodaji pa se uporablja kondicionirana površina stavbe, ki je definirana kot tlorisna površina prostorov z uravnavanimi pogoji brez nebivalnih kleti ali drugih nebivalnih prostorov, vključuje tlorisno površino vseh nadstropij, če jih je več kot eno.

Preglednica 3: Prikaz različnih definicij in opisov površin stavbe

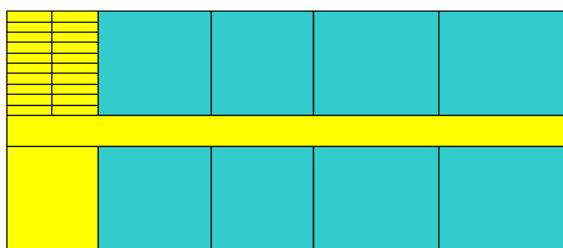
Prijavni obrazec za energetske sanacije	Pravilnik MDPE	SIST ISO 9836	PURES 2010
Ogrevana površina stavbe	Ogrevana površina stavbe	Neto tlorisna površina, ki se deli na uporabno, tehnično in komunikacijsko površino.	Kondicionirana površina je tlorisna površina prostorov z uravnavanimi pogoji.
		Uporabna površina stavbe (A_u) je kondicionirana zaprta uporabna površina stavbe – skladno s standardoma SIST ISO 13789 in 9836.	

V nadaljevanju je prikazana Slika 9, ki grafično ponazarja razliko med neto površino in neto uporabno površino. Ta razlika lahko znaša tudi do 20 %, kar je zelo veliko, sploh glede na dejstvo, da energetsko učinkovite kazalnike primerjamo glede na površino stavbe.

Neto površina



Neto uporabna površina



Razlika je lahko do 20 %.

Slika 9: Shematski prikaz razlike med neto površino in neto uporabno površino etaže

3.2.2 Določitev karakteristik vgrajenih materialov

V nekaterih primerih je na objektih zelo težko razbrati prave karakteristike obstoječih materialov. Programi za izračun gradbene fizike in Tehnična smernica TSG-1-004:2010 sicer ponujajo veliko različnih materialov s pripadajočimi karakteristikami, problem pa se pojavi, ko imamo na voljo na pogled enak material z različnimi karakteristikami – na primer beton 1800 in beton 2500 (glej Sliko 10). Pri obstoječi stavbi bomo na pogled zelo težko ocenili, za kakšen beton gre, medtem ko sta njuni toplotni prevodnosti zelo različni. Razlika med njima je 150 %, kar lahko bistveno vpliva na toplotno bilanco stavbe.

BETON 2500	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Specifična toplota c (J/kgK)</td> <td>960</td> </tr> <tr> <td>Toplotna prevodnost λ (W/mK)</td> <td>0,930</td> </tr> </tbody> </table>	Specifična toplota c (J/kgK)	960	Toplotna prevodnost λ (W/mK)	0,930
Specifična toplota c (J/kgK)		960			
Toplotna prevodnost λ (W/mK)		0,930			
BETON 2400					
BETON 2200					
BETON 2000					
BETON 1800					
BETON 2500	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Specifična toplota c (J/kgK)</td> <td>960</td> </tr> <tr> <td>Toplotna prevodnost λ (W/mK)</td> <td>2,330</td> </tr> </tbody> </table>	Specifična toplota c (J/kgK)	960	Toplotna prevodnost λ (W/mK)	2,330
Specifična toplota c (J/kgK)		960			
Toplotna prevodnost λ (W/mK)		2,330			
BETON 2400					
BETON 2200					
BETON 2000					
BETON 1800					

Slika 10: Prikaz toplotne prevodnosti dveh na pogled enakih materialov

3.2.3 Prezračevanje oziroma urna izmenjava zraka

Za izračun potrebne toplote za ogrevanje po Standardu SIST EN ISO 13790 se pri kondicioniranju stavbe upošteva urna izmenjava notranjega zraka z zunanjim, računana glede na neto ogrevano prostornino stavbe. Za stanovanjske stavbe znaša izmenjava zraka z zunanjim okoljem najmanj $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ oziroma se določi v skladu s Pravilnikom o prezračevanju in klimatizaciji stavb [63]. V praksi projektanti zelo težko ocenijo dejansko izmenjavo zraka, saj je le-ta odvisna od veliko dejavnikov, kot so navade uporabnikov pri odpiranju oken in vrat, tesnost stikov različnih konstrukcijskih sklopov stavbe, delovanje prezračevalnih naprav itd.

Temu problemu se je v študiji posvetil tudi Krawczyk, ki je analiziral vpliv faktorja izmenjave zraka na razliko med izračunano in dejansko letno potrebno energijo za ogrevanje osnovne šole na Poljskem [41]. Pred samo študijo je bila izvedena dejanska meritev faktorja izmenjave zraka v obdobju od maja 2008 pred prenovo in do oktobra 2008 po prenovi. Rezultati meritev pred prenovo so znašali od 0,62 do 3,75 h^{-1} , po prenovi pa od 0,32 do 2,51 h^{-1} . Analiza je zajemala izračuna energetske bilance stavbe za faktorja prezračevanja 1,0 h^{-1} in 2,0 h^{-1} . Rezultati študije so pokazali, da je bila teoretična poraba, izračunana s faktorjem 2,0 h^{-1} , bližja dejanski (v primerjavi s porabo, izračunano s faktorjem 1,0 h^{-1}) in je odstopala le za 3 % glede na dejansko porabo pred prenovo [41].

Študija, izvedena na izobraževalni stavbi na Poljskem [64], je pokazala, da je koeficient izmenjave zraka odvisen tudi od zunanje temperature in hitrosti vetra. V isti stavbi pa se lahko izmenjava zraka močno razlikuje – v obravnavanem primeru je namreč izmenjava znašala od 0,42 do 4,35 h^{-1} [64].

3.2.4 Temperature ogrevanih prostorov

Notranja projektna temperatura ima prav tako velik vpliv na energetsko bilanco stavbe. Za stanovanjske stavbe je notranja temperatura po PURES 2010 določena na 20 °C za ogrevanje in 26 °C za hlajenje stavb. Za ostale stavbe ni predpisane notranje projektne temperature, medtem ko so zunanje temperature odvisne od klimatskih podatkov in pogojev, zapisanih v nacionalnih predpisih. Pri izračunu Q_{NH} po Standardu SIST EN ISO 13790 z upoštevanjem Tehnične smernice TSG-01-004:2010 je projektna temperatura ogrevanja določena samo za stanovanjske stavbe, medtem ko za ostale stavbe – v našem primeru za javne stavbe – z izjemo vrtcev, ni določenih projektnih temperatur ogrevanja [65]. Posamezne vrednosti se lahko povzamejo po priporočilih Standarda SIST EN 15251:2007

(merila notranjega okolja za načrtovanje in ocenjevanje lastnosti stavb z upoštevanjem notranje kakovosti zraka, toplotnega okolja, svetlobe in hrupa), ki priporočajo vplivne parametre in kriterije za notranje okolje in način upoštevanja le-teh v smislu zahtev Direktive EPBD-r.

Drugi problem nastane pri komercialnih programih za izračun energetskih lastnosti stavb, saj nekateri v izračunih ne upoštevajo vnesenih temperatur prostorov. V programu ARCHIMAID na primer lahko vnašamo temperaturo prostorov za posamezne cone, vendar pa program pri izračunu vedno upošteva standardno temperaturo 20 °C.

3.2.5 Število obratovalnih ur oziroma intenziteta uporabe stavbe

Število obratovalnih ur oziroma intenziteta uporabe stavbe lahko bistveno vpliva na izračun energetske bilance stavbe [37], [25]. Zato je nujno, da pridobimo točne podatke o uporabi stavbe. V PURES 2010 je za stanovanjske stavbe predpisano, da se upošteva 24-urno dnevno uporabo stavbe. Za ostale stavbe, tudi javne, pa ni predpisane oziroma standardizirane uporabe, zato je pomembno, da za čim boljši rezultat energetske bilance pridobimo točne podatke od upravljavca stavbe. Intenzitete uporabe javnih stavb glede na dejavnosti, ki se izvajajo v stavbah močno nihajo (prazniki, različni delavniki ...), kar projektantom dodatno oteži izbiro pravih robnih pogojev uporabe stavb.

Tudi tukaj nastane problem pri komercialnih programih, saj ne omogočajo upoštevanja znižanja oziroma zmanjšanja ogrevanja med vikendom ali prazniki. Oba uporabljena komercialna programa smo testirali tako, da smo izbrali možnost prekinjenega delovanja, vendar pa sta nam programa še vedno izračunavala isto vrednost Q_{NH} , kot če bi upoštevali neprekinjeno delovanje oziroma ogrevanje stavbe.

4 OBRAVNAVANE STAVBE

V tem poglavju so predstavljene stavbe, obravnavane v diplomskem delu. V prvem delu so zgolj predstavljene in opisane, v nadaljevanju pa sledi primerjava različnih karakteristik stavb in letne potrebne toplote za ogrevanje stavb pred energetsko prenovo in po njej. Za lažjo analizo smo obravnavane stavbe razvrstili v naslednje štiri kategorije: vrtci (V), osnovne šole (O), srednje šole (S) in dijaški domovi (D).

4.1 Predstavitev obravnavanih stavb pred energetsko prenovo

Obravnavali bomo 33 stavb različnih namembnosti. Vzorec obravnavanih stavb je vzet iz regij osrednje Slovenije, Štajerske in Koroške. Vse stavbe so javne oziroma v lasti javnih ustanov, od tega je 31 stavb nestanovanjskih in dve stanovanjski (dijaška domova). Največ obravnavanih stavb je bilo zgrajenih v obdobju od 1965 do 1981, v okviru katerega je izstopalo leto 1980, ko je bilo zgrajenih kar 8 obravnavanih stavb. V nadaljevanju prilagamo Preglednico 4 [66] s podatki o stavbah.

Preglednica 4: Karakteristike analiziranih javnih stavb

Oznaka stavbe	Leto izgradnje	Način ogrevanja pred prenovo	Kondicionirana površina [m ²]	Specifična poraba energije pred prenovo [kWh/m ² letno]
S1	1947	ELKO	4.828,00	136,97
D1	1983	ELKO	2.489,56	189,01
S2	1965	ELKO	2.779,00	158,02
S3	1973	ELKO	2.111,12	96,95
S4	1981	zemeljski plin	10.035,98	98,49
D2	1985	ELKO	5.641,75	165,93
S5	1945	daljinska toplota	4.679,76	87,53
S6	1946	daljinska toplota	988,02	207,53
O1	1965	daljinska toplota	2.459,56	138,33
O2	1963	zemeljski plin	5.118,32	157,97
O3	1977	ELKO	342,00	132,87
O4	1984	ELKO	529,76	111,47
O5	1982	ELKO	251,68	208,84
O6	1908	ELKO	2.279,48	131,27
V1	1980	sekanci	815,36	135,54
O7	1846	ELKO	230,00	235,48
O8	1980	ELKO	230,00	268,16
V2	1977	daljinska toplota	1.355,90	183,20

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 4.




Oznaka	Leto izgradnje	Način ogrevanja pred prenovo	Kondicionirana površina [m ²]	Specifična poraba energije pred prenovo [kWh/m ² letno]
V3	1981	daljinska toplota	1.346,13	151,12
V4	1990	daljinska toplota	1.587,44	148,71
V5	1980	daljinska toplota	228,00	151,12
V6	1977	daljinska toplota	904,42	148,71
V7	1980	zemeljski plin	1.247,75	185,98
O9	1980	zemeljski plin	2.552,43	234,37
V8	1976	daljinska toplota	1.219,00	224,21
V9	1930	ELKO	466,65	155,04
V10	1980	ELKO	1.390,00	106,99
V11	1980	zemeljski plin	719,19	206,39
V12	1984	zemeljski plin	741,15	190,81
V13	1973	ELKO	843,00	323,31
V14	1978	daljinska toplota	370,60	235,93
V15	1978	zemeljski plin	1.184,48	318,13
O10	1980	zemeljski plin	3.860,95	237,56

Glede na podatke iz projektnih in investicijskih dokumentacij in elaboratov URE lahko obravnavane stavbe v večini opišemo kot masivne stavbe, zgrajene iz armiranega betona ali opeke, ki je normalnega formata (NF) ali modularni votlak. V kolikor gre za polno opeko, so zidovi debelejši izvedbe (tudi do debeline 60 cm). Nekaj obravnavanih stavb, ki so zgrajene iz skeletnih ali montažnih armiranobetonskih elementov, vsebuje tudi opečnata ali penjenobetonska polnila. Večina obravnavanih stavb nima na fasadi nameščene toplotne izolacije in so zunanji zidovi le ometani s klasičnim zunanjim cementnim ometom. Nekatere delno prenovljene ali novejšje stavbe imajo nameščeno toplotno izolacijo, ampak le do debeline 8 cm.

Obstoječa okna, ki še nikdar niso bila zamenjana, so bila na večini stavb iz lesenih vezanih škatlastih, navadnih in aluminijastih profilov, ki so imeli visoko toplotno prehodnost. Zasteklitve oken na obravnavanih stavbah so bile pred prenovo večinoma iz dvojnih stekel debeline 4 mm, pri čemer je bil vmesni prostor zapolnjen s plinom ali zrakom. Gre za t. i. termopan zasteklitve, ki ima toplotno prehodnost 3 W/m²K [67]. Projektanti so v svojih izračunih termopan okna opisovali s toplotno prehodnostjo med 2,4 in 3,0 W/m²K. Pri nekaterih stavbah je bil del stavbnega pohištva že zamenjan v sklopu investicijskih vzdrževanj, in sicer z novejšimi okni iz PVC profilov (v večini 5-komornimi) in zasteklitvijo toplotne prehodnosti vsaj 1,1 W/(m²K).







Stavbe so imele večinoma ravne ali poševne, dvo- ali štirikapne strehe. Ravne strehe so bile večinoma zgrajene iz armiranobetonskih (AB) ali rebričastih AB »monta« plošč. Spet poševne strehe so bile zgrajene kot klasično ostrešje iz lesenih tramov ali lepljenih nosilcev. Stropi proti hladnemu podstrešju oziroma strehi so v večini obravnavanih stavb pred prenovo že imeli nameščeno toplotno izolacijo. Debelina toplotne izolacije pa se je od stavbe do stavbe zelo razlikovala. Večina stavb je imela nameščenih vsaj 5 cm toplotne izolacije. Nekatere stavbe so že pred prenovo imele nameščeno toplotno izolacijo v debelini 30 cm, kar zadostuje zahtevam v Tehnični smernici TSG-1-004:2010. V nadaljevanju so v Preglednici 5 [66] na kratko predstavljene posamezne obravnavane stavbe pred izvedbo energetske prenove. Na koncu je predstavljena Slika 11, ki na zemljevidu Slovenije prikazuje lokacije posameznih stavb.

Preglednica 5: Opis zunanjega ovoja obravnavanih stavb pred prenovo

Oznaka	S1	D1	S2
Fotografija stavbe (pred prenovo)			
Nosilna konstrukcija	Armiran beton (AB), beton, NF opeka, rebričaste armiranobetonske plošče.	AB stene, nosilci in stropi (deloma montažni).	Opečni zidovi (elektrofiltrska opeka), »monta« AB rebričaste plošče.
Fasada	Klasični omet iz podaljšane malte brez toplotne izolacije (TI).	Sendvič element iz armiranega betona s 3 cm TI in polna opeka z ometom na zunanji strani.	Klasični omet iz podaljšane malte brez TI.
Okna	Stara okna – termopan zasteklitev, $U_w = 2,64$ W/m ² K. Nova okna iz PVC profilov in $U_w = 1,23$ W/m ² K.	Lesena in aluminijasta okna, termopan zasteklitev, $U_w = 2,4-3$ W/m ² K. Kupole z $U_w = 4$ W/m ² K	Stara okna lesene škatlaste izvedbe, $U_w = 3,5$ W/m ² K. Nova okna z $U_w = 1,1-1,23$ W/m ² K
Podstrešje/streha	Leseni strop proti podstrešju, do 10 cm TI, kritina iz pločevine.	Ravna streha, AB plošča, do 6 cm TI.	Ravna streha, AB plošča, do 8 cm TI.







Se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 5.

Oznaka	S3	S4	D2
Fotografija stavbe (pred prenavo)			
Nosilna konstrukcija	Stari del opečnati zidovi, novi del AB konstrukcija.	AB konstrukcija (stene, nosilci, plošče).	AB konstrukcija (stene, nosilci, plošče).
Fasada	Klasični omet iz podaljšane malte brez TI. Del zidu iz opeke z 8 cm TI in fasadnim ometom.	Sendvič konstrukcija (AB s 5 cm TI). Južni del stavbe iz betonskih zidov in 5 cm TI.	AB stena s 5 cm TI in fasadnim ometom.
Okna	Večina oken iz lesenih profilov. Nova okna z $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, starejša z $U_w = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Večina oken in vrat že zamenjanih. Nova okna iz PVC in ALU profilov. U_w od 1,3 do 1,6 $\text{W/m}^2\text{K}$.	Stara okna – leseni okvir, $U_w = 2,5\text{--}2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nova okna, PVC profili in $U_w = 1,3\text{--}1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
Podstrešje/streha	Stropna konstrukcija delno AB in delno »monta« plošča, obe z 10 cm TI.	Nepohodna armiranobetonska ravna streha s 5 cm TI.	Lesena strešna konstrukcija z 8 cm TI in zaključnimi oblogami iz notranje strani.
Oznaka	S5	S6	O1
Fotografija stavbe (pred prenavo)			
Nosilna konstrukcija	NF opeka debeline do 50 cm (stari del) in AB konstrukcija (prizidek).	Masivna nosilna konstrukcija iz opeke. Zidovi različne debeline – od 35 do 45 cm.	Nosilna konstrukcija iz votle opeke. Nosilci in preklade iz armiranega betona.
Fasada	Klasični omet iz podaljšane malte brez TI (stari opečnat del). Novejši del – prezračevana fasada s 4 cm TI.	Klasični omet iz podaljšane malte brez TI.	Klasični omet iz podaljšane malte brez TI.
Okna	Nova okna s PVC okvirji in dvoslojno zasteklitvijo, $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Stara okna – lesena s termopan zasteklitvijo, $U_w = 2,52 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nova okna iz PVC profilov in $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	Lesena vezana okna z dvojno zasteklitvijo, $U_w = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.
Podstrešje/streha	Stari del – AB plošča s perlitnim nasutjem debeline 5 cm. Novi del – spuščeni strop s 30 cm TI.	Poševna streha nizkega naklona s klasičnim starim lesenim ostrešjem in TI debeline 4 cm.	Ravna streha iz »monta« rebričaste AB plošče. TI v debelini do 10 cm.


Se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 5.

Oznaka	O2	O3	O4
Fotografija stavbe (pred prenovo)			
Nosilna konstrukcija	Opečnata stavba iz votle opeke debeline 25 cm. Kletne stene iz AB.	Montažna lesena konstrukcija obložena z lahkimi lesenimi stenami na AB temeljni plošči.	Nosilna konstrukcija stavbe – modularna opeka debeline 30 cm ter AB plošče in preklade.
Fasada	»Demit« fasada s TI debeline 6 cm in zaključnim fasadnim slojem.	Toplotna izolacija v montažnem panelu med lesenima oblogama. TI debeline 6 cm.	Tankoslojna fasada s 3 cm TI in zaključnim fasadnim ometom – perlitna malta.
Okna	Starejša okna – lesena z $U_w = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejša iz PVC profilov in U_w med 1,23 in $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Starejša okna – lesena z $U_w = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejša iz PVC profilov in $U_w = 1,23 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Starejša okna – lesena z $U_w = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejša iz PVC profilov in $U_w = 1,23 \text{ W/m}^2\text{K}$.
Podstrešje/streha	Ravna streha s TI iz perlitnega nasutja debeline 4 cm in dodatno TI debeline 15 cm.	Strop proti hladnemu podstrešju toplotno izoliran s TI debeline 8 cm.	Strop proti hladnemu podstrešju izveden kot lahka lesena konstrukcija z 12 cm debelo TI.
Oznaka	O5	O6	V1
Fotografija stavbe (pred prenovo)			
Nosilna konstrukcija	Stavba iz montažne lesene konstrukcije. Postavljena na AB ploščo nad kletnimi zidovi iz modularne opeke.	Zidana stavba iz betonskih zidakov debeline 30 cm.	Stavba iz montažne lesene konstrukcije. Postavljena na AB ploščo nad kletnimi zidovi iz modularne opeke.
Fasada	Montažne stene obložene s TI po sistemu heraklit in Terranova izolacijsko malto. TI debeline 8 cm.	Zidane stene oblečene s TI debeline 8 cm in ometane z zaključnim fasadnim ometom.	Fasadni montažni leseni paneli s TI med oblogama debeline 6 cm.
Okna	Okna – lesena, vezana s dvojno zasteklitvijo, $U_w = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Starejša okna – lesena z $U_w = 2,0\text{--}2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejša iz PVC profilov in $U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Lesena, vezana okna z dvojno zasteklitvijo in z $U_w = 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.
Podstrešje/streha	Streha izvedena s klasičnim ostrešjem s TI debeline 8 cm in oblogo iz notranje strani iz mavčno-kartonskih plošč (MKP).	Spuščen strop z lesenimi notranjimi oblogami in TI debeline 15 cm. Strop telovadnice izoliran s TI debeline 10 cm.	Lahki leseni strop proti podstrešju z notranjo oblogo iz MKP in TI debeline 8 cm.







Se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 5.

Oznaka	O7	O8	V2
Fotografija stavbe (pred prenovo)			
Nosilna konstrukcija	AB kletne stene, AB plošča in montažni leseni paneli s prečniki in vertikalami.	AB kletne stene, AB plošča in montažni leseni paneli s prečniki in vertikalami.	Nosilna konstrukcija stavbe iz AB sten debeline 16 cm ter AB nosilci in AB ploščami.
Fasada	TI med konstrukcijo in oblogami montažnih panelov debeline 6 cm. Kletne stene brez TI, samo klasični omet.	TI med konstrukcijo in oblogami montažnih panelov debeline 6 cm. Kletne stene brez TI, samo klasični omet.	AB fasadne stene obzidane s porobetonskimi zidaki debeline 15 cm in ometane z zaključnim ometom.
Okna	Lesena in vezana okna z dvojno zasteklitvijo in z $U_w = 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Lesena in vezana okna z dvojno zasteklitvijo in z $U_w = 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Lesena in vezana okna z dvojno zasteklitvijo in z $U_w = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.
Podstrešje/streha	Lahki leseni strop proti podstrešju z notranjo oblogo iz MKP in TI debeline 8 cm.	Lahki leseni strop proti podstrešju z notranjo oblogo iz MKP in TI debeline 8 cm.	Strešna konstrukcija izvedena kot »superstrop« iz porobetona in brez TI.
Oznaka	V3	V4	V5
Fotografija stavbe (pred prenovo)			
Nosilna konstrukcija	Nosilna konstrukcija iz AB sten, stebrov, nosilcev in plošč.	AB stene, stebri in nosilci. Parapeti pozidani iz polne opeke.	Nosilna konstrukcija iz opečnatega zidu debeline 40 cm.
Fasada	Na fasadnih stenah izvedena 5 cm debela TI z zaključnim fasadnim ometom (Demit fasada).	Fasadne stene brez TI. Vidna betonska in opečna konstrukcija, del zunanjih sten tudi ometan.	Klasični omet iz podaljšane malte brez TI.
Okna	Starejša okna – lesena z $U_w = 2,59 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejša pa iz lesenih profilov in $U_w = 1,07 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Starejša okna – lesena z $U_w = 2,60 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejša iz PVC profilov in $U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Nova okna na stavbi – energetsko učinkovita z $U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.
Podstrešje/streha	Ravna AB plošča s 6 cm TI in poševna AB plošča z 20 cm TI.	AB strešna plošča in spuščeni strop iz MKP izolirana s TI debeline 15 cm.	AB strešna plošča proti podstrešju izolirana s TI debeline 15 cm.







Se nadaljuje ...

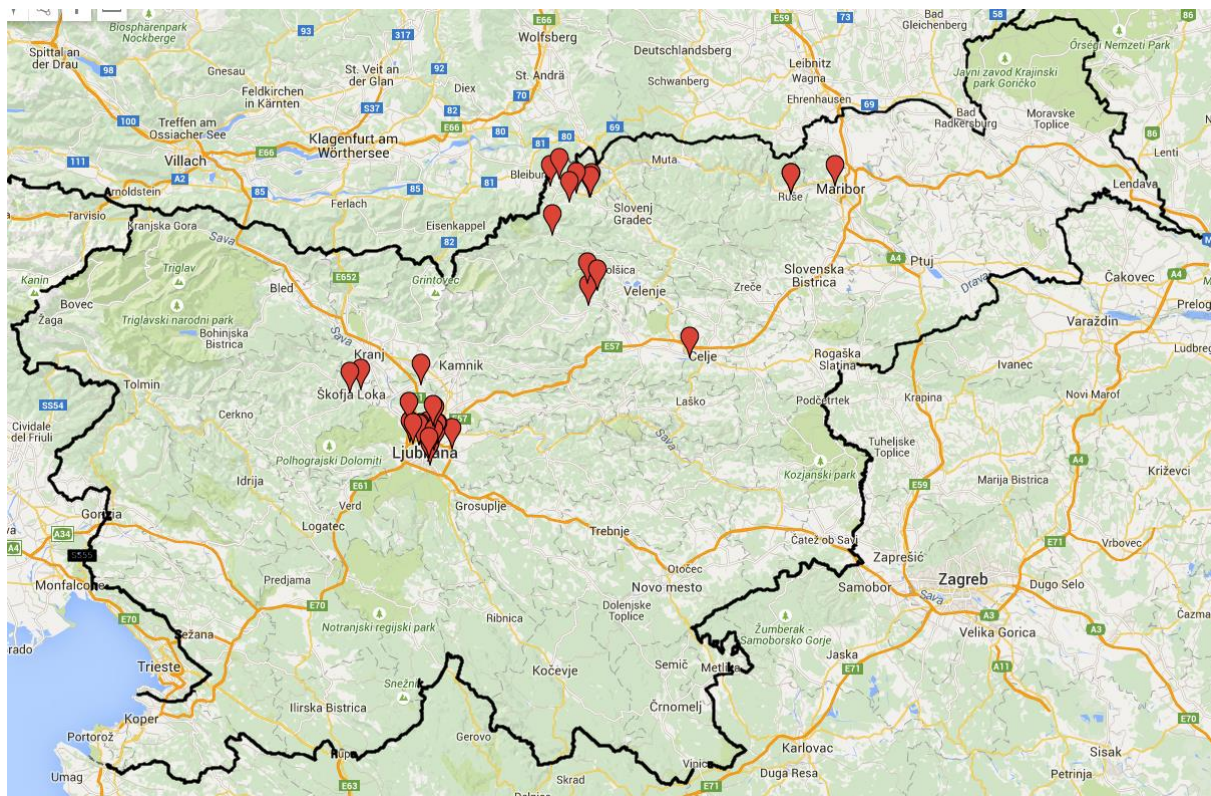
... nadaljevanje Preglednice 5.

Oznaka	V6	V7	O9
Fotografija stavbe (pred prenovo)			
Nosilna konstrukcija	AB stene in nosilci. Strešna konstrukcija iz »superstropa« iz porobetona.	AB stene, nosilci ter medetažne in strešne AB plošče.	AB stene debeline 20 cm in zidani opečni parapeti. Strešne plošče iz AB debeline 20 do 30 cm.
Fasada	Lesne parapete stene izolirane s 5 cm TI. AB fasadne stene brez TI in ometane s podaljšano cementno malto.	Na del fasade nameščenih 5 cm TI s fasadnim ometom, na preostali del 16 cm TI.	Fasadne stene izolirane s TI debeline od 8 do 17 cm in ometane z zaključnim ometom.
Okna	Starejša okna – lesena z $U_w = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejša iz lesenih profilov in z $U_w = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ in PVC profilov z $U_w = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Starejša okna – lesena in z $U_w = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejša iz ALU profilov in z $U_w = 1,01 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Starejša okna – lesena in z $U_w = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejša iz ALU profilov in $U_w = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.
Podstrešje/streha	Ravna in poševna strešna rebričasta plošča izvedena iz 20 cm debelega porobetona in TI debeline 10 cm.	Strešne AB plošče toplotno izolirane s 15 do 20 cm TI.	Nad AB ploščami proti podstrešju izvedena TI debeline od 5,5 do 25 cm.
Oznaka	V8	V9	V10
Fotografija stavbe (pred prenovo)			
Nosilna konstrukcija	Nosilna konstrukcija iz lahkih, lesenih montažnih elementov. Strešna konstrukcija iz lesenih žebeljanih nosilcev.	Vse nosilne stene zidane iz polne opeke debeline 45 cm.	Večina sten zidanih iz zidakov debeline 20 cm, povezanost z AB nosilci. Čelne stene in plošče iz AB debeline 20 cm.
Fasada	Zunanji fasadni elementi toplotno izolirani z mineralno volno debeline 6 cm.	Klasični omet iz podaljšane malte brez TI.	Fasadne stene obložene s porobetonom debeline 5 cm ali s TI debeline 10 cm in ometane z zaključnim fasadnim ometom.
Okna	Starejša okna – lesena z $U_w = 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejša iz lesenih profilov in $U_w = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Lesena, vezana okna z dvojno zasteklitvijo in z $U_w = 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Starejša okna – lesena z $U_w = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejša iz PVC profilov in $U_w = 1,50 \text{ W/m}^2\text{K}$.
Podstrešje/streha	Dvokapna streha manjšega naklona. Lahki strop proti podstrešju izoliran s 15 cm TI.	Stropna AB plošča proti podstrešju izvedena iz AB in izolirana s TI debeline 10 cm.	Stropna AB plošča proti podstrešju izolirana s TI debeline 5 cm in 12 cm.

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 5.

Oznaka	V11	V12	V13
Fotografija stavbe (pred prenovo)			
Nosilna konstrukcija	Nosilna konstrukcija iz AB elementov (stene, nosilci in plošče).	AB stene v razponih od 3 do 6 m. Vmesni parapeti zapolnjeni z opečnimi votlaki.	AB temeljna plošča in nanjo postavljena montažna lesena nosilna konstrukcija.
Fasada	AB fasadne stene obložene s porobetonom debeline 15 cm in ometane. Leseni montažni parapeti izolirani s 5 cm TI.	Na AB in opečno fasadno steno nameščena TI debeline 5 cm in ometana s klasičnim ometom (Demit fasada).	Lesni fasadni paneli debeline 12 cm s TI debeline 10 cm.
Okna	Lesena, vezana okna z dvojno zasteklitvijo in $U_w = 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Okna in vrata lesene izvedbe, zasteklitev z dvoslojnim steklom, $U_w = 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Starejša okna – lesena z $U_w = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejša iz PVC profilov in $U_w = 1,60 \text{ W/m}^2\text{K}$.
Podstrešje/streha	AB strešna plošča toplotno izolirana s TI debeline 14 cm.	AB plošča proti podstrešju izolirana s TI debeline 20 cm.	Lahki leseni strop proti podstrešju izoliran s 5 cm TI.
Oznaka	V14	V15	O10
Fotografija stavbe (pred prenovo)			
Nosilna konstrukcija	AB polnostenski nosilci na razdalji 6,05 m, AB stene debeline 20 cm in AB plošča debeline 14 cm.	AB stene debeline 20 cm in plošče debeline 16 cm	Starejši del stavbe zidan iz polne NF opeke, novejši iz votle opeke, oba zidana v debelini 40 cm.
Fasada	Klasični omet iz podaljšane malte brez TI.	AB stena obložena s porobetonskimi zidaki debeline 10 cm in ometana z zaključnim fasadnim slojem.	Klasični omet iz podaljšane malte brez TI.
Okna	Starejša okna – lesena z $U_w = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejša iz PVC profilov in $U_w = 1,60 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Okna iz časa gradnje, lesena z dvoslojnim steklom, $U_w = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.	Vrata in okna iz časa gradnje. Lesena okna z $U_w = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. V telovadnici zasteklitev iz steklenih prizem, $U_w = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$
Podstrešje/streha	Ravna streha iz AB plošče izolirana s TI debeline 10 cm.	AB plošča proti podstrešju izolirana s TI debeline 14 cm.	AB strop proti podstrešju ali spuščeni strop – izolirana s TI debeline od 8 do 15 cm.

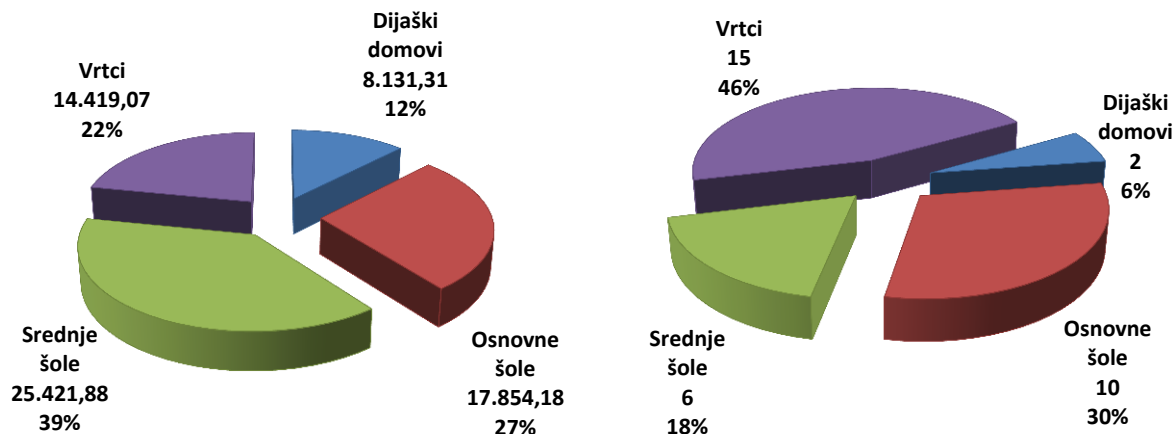


Slika 11: Lokacije obravnavanih stavb

4.2 Dejanska poraba toplotne energije stavb pred prenovo

Vsota kondicioniranih površin obravnavanih stavb, sicer zgrajenih med leti 1846 in 1990, znaša 65.852,44 m². Po podatkih GURS-a je bilo med leti 1960 in 1980 zgrajenih največ javnih stavb v Sloveniji [47]. V našem obravnavanem vzorcu stavb je bilo v tem času zgrajenih 19 stavb, kar predstavlja 57,57 %. V tem obdobju je veljal Pravilnik o gradnji stanovanjskih stavb iz leta 1970, ki pa je predpisoval samo maksimalno vrednost toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov (U). Za to obdobje je po podatkih iz gradiva za usposabljanje neodvisnih izvajalcev energetskih izkaznic povprečna potrebna energija za ogrevanje znašala 163 kWh/m² letno na enoto uporabne ogrevane površine [68].

V vzorcu analiziranih stavb je 15 vrtcev, 10 osnovnih šol, 6 srednjih šol in 2 dijaška domova. Pri uporabnih ogrevanih površinah predstavljajo največji delež z 39 % srednje šole, sledijo jim osnovne šole s 27 %, vrtci z 22 % in dijaški domovi z 12 % kondicioniranih površin obravnavanega vzorca. Obe primerjavi sta tudi prikazani na Grafikonu 3.



Grafikon 3: Delež stavb po kondicioniranih površinah (levo) in številu (desno)

4.2.1 Določitev deleža porabe toplotne energije za ogrevanje in pripravo TSV

Podatke o dejanski porabi toplotne energije smo pridobili iz dokumentacije, ki je bila narejena za potrebe prijave projektov na javni razpis za energetske sanacije. Dejanska porabljen toplotna energija posameznih stavb je bila pridobljena iz računov dobaviteljev, posredovanih s strani zaposlenih v javnih ustanovah. Za stavbe, ki so uporabljale energent ELKO, ni bilo možno natančno določiti oziroma pridobiti podatkov o dejanski porabi energenta za pripravo toplotne energije, saj so bili rezervoarji polnjeni po potrebi. Raba energije se je tako ocenila glede na polnjenje rezervoarja na letnem nivoju, posledično pa je lahko odstopala glede na pretekla leta tudi za več kot 40 %. Za analizo dejanske porabe toplotne energije smo tako vzeli povprečno porabo toplotne energije za zadnja tri leta pred prenovo (za stavbe S1, D1, S2, S3, S4, D2, S5 in S6 je bilo to obdobje od 2007 do 2009, za ostale stavbe pa obdobje od 2009 do 2011). Z upoštevanjem povprečne rabe toplotne energije za zadnja tri leta smo tako poskusili priti do najboljšega približka ocenjene dejanske porabe toplotne energije posamezne stavbe.

Za nekatere obravnavane stavbe, predvsem za stavbe, ki so kot energent za pripravo toplotne energije uporabljale ELKO, prav tako ni bilo možno pridobiti ločenega podatka o porabi toplotne energije za ogrevanje in pripravo tople sanitarne vode (TSV). Ker se v diplomski nalogi posvečamo primerjavi letne potrebne toplote za ogrevanje, bomo letno rabo toplotne energije razdelili na energijo za ogrevanje in energijo za pripravo TSV.

Dejansko porabo toplotne energije za pripravo TSV smo za nekatere obravnavane stavbe pridobili iz merilnikov toplotne energije, ki so bili nameščeni na ogrevalni sistem po energetskih prenovah. S pridobljenimi podatki smo ocenili letno potrebno toploto za pripravo TSV. Ker ni bilo na voljo podatkov za vse obravnavane stavbe, smo na podlagi podatkov

ostalnih stavb o porabi energije za pripravo TSV ocenili podatke tudi za stavbe D1, O1, O2, O6, V4 in V9.

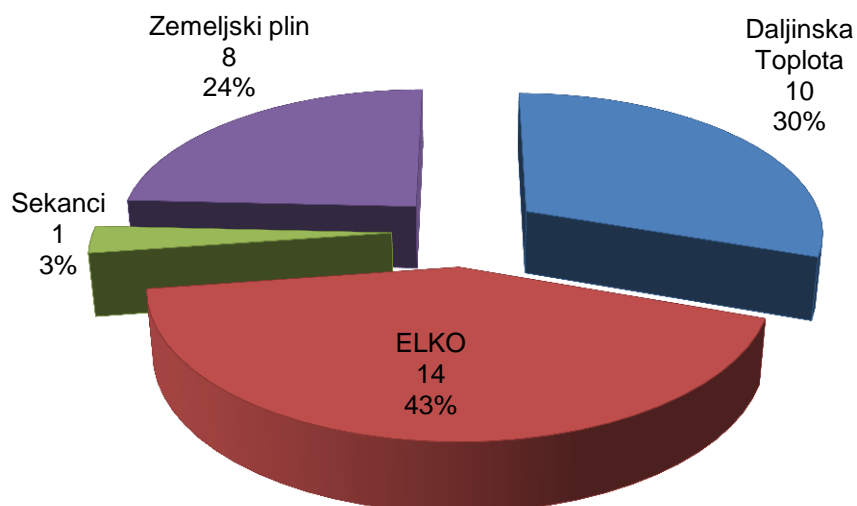
Preglednica 6: Toplotna energije za pripravo TSV v stavbah

Ozn.	Dejavnost	Toplotna energija [kWh/leto]	TSV [kWh/leto]	Delež TSV [%]	Opomba
S1	srednja šola	661.299,60	-	0,0	TSV se pripravlja ločeno.
D1	dijaški dom	470.555,73	ni podatka	19,3	Privzamemo povprečno vrednost 19,3 %.
S2	srednja šola	439.140,00	-	0,0	TSV se pripravlja ločeno.
S3	srednja šola	204.680,00	-	0,0	TSV se pripravlja ločeno.
S4	srednja šola	988.423,33	110.618,40	11,2	
D2	dijaški dom	936.130,67	235.920,00	25,2	
S5	srednja šola	409.600,00	-	0,0	TSV se pripravlja ločeno.
S6	srednja šola	205.040,33	-	0,0	TSV se pripravlja ločeno.
O1	osnovna šola	340.226,85	ni podatka	19,3	Privzamemo povprečno vrednost 19,3 %.
O2	osnovna šola	808.517,33	ni podatka	19,3	Privzamemo povprečno vrednost 19,3 %.
O3	osnovna šola	45.440,00	-	0,0	TSV se pripravlja ločeno.
O4	osnovna šola	59.050,00	-	0,0	TSV se pripravlja ločeno.
O5	osnovna šola	52.560,00	-	0,0	TSV se pripravlja ločeno.
O6	osnovna šola	299.229,00	ni podatka	19,3	Privzamemo povprečno vrednost 19,3 %.
V1	vrtec	110.510,00	29.784,00	27,0	
O7	osnovna šola	54.160,00	-	0,0	TSV se pripravlja ločeno.
O8	osnovna šola	61.676,67	-	0,0	TSV se pripravlja ločeno.
V2	vrtec	248.398,67	114.000,00	45,9	
V3	vrtec	203.420,67	52.836,00	26,0	
V4	vrtec	236.062,67	ni podatka	19,3	Privzamemo povprečno vrednost 19,3 %.
V5	vrtec	42.404,33	6.717,00	15,8	
V6	vrtec	211.968,67	53.728,80	25,3	
V7	vrtec	279.756,00	48.120,00	17,2	
O9	osnovna šola	395.732,73	49.248,00	12,4	
V8	vrtec	130.423,67	5.300,67	4,1	
V9	vrtec	96.309,67	ni podatka	19,3	Privzamemo povprečno vrednost 19,3 %.
V10	vrtec	265.230,00	49.848,00	18,8	
V11	vrtec	232.523,33	23.959,20	10,3	
V12	vrtec	174.860,00	29.745,60	17,0	
V13	vrtec	268.187,67	55.027,20	20,5	
V14	vrtec	88.040,33	21.986,88	25,0	
V15	vrtec	308.873,67	57.270,00	18,5	
O10	osnovna šola	458.341,67	32.208,00	7,0	

Dobljeni podatki za posamezne stavbe so zelo zanimivi, saj se delež toplotne energije za pripravo TSV od stavbe do stavbe zelo razlikuje. Tako pri stavbi V2 priprava TSV predstavlja kar 45,9 % celotne potrebne toplotne energije, medtem ko pri stavbi V8 predstavlja le 4,1 %, in to ne glede na dejstvo, da gre za stavbi z isto namembnostjo. Za vse obravnavane stavbe, za katere smo imeli na razpolago podatke o porabi toplotne energije za pripravo TSV, smo izračunali povprečje. Le-to znaša 19,3 %. Podatek o povprečni porabi toplotne energije za pripravo TSV smo uporabili za stavbe, za katere podatek o toplotni energiji za pripravo TSV ni bil poznan.

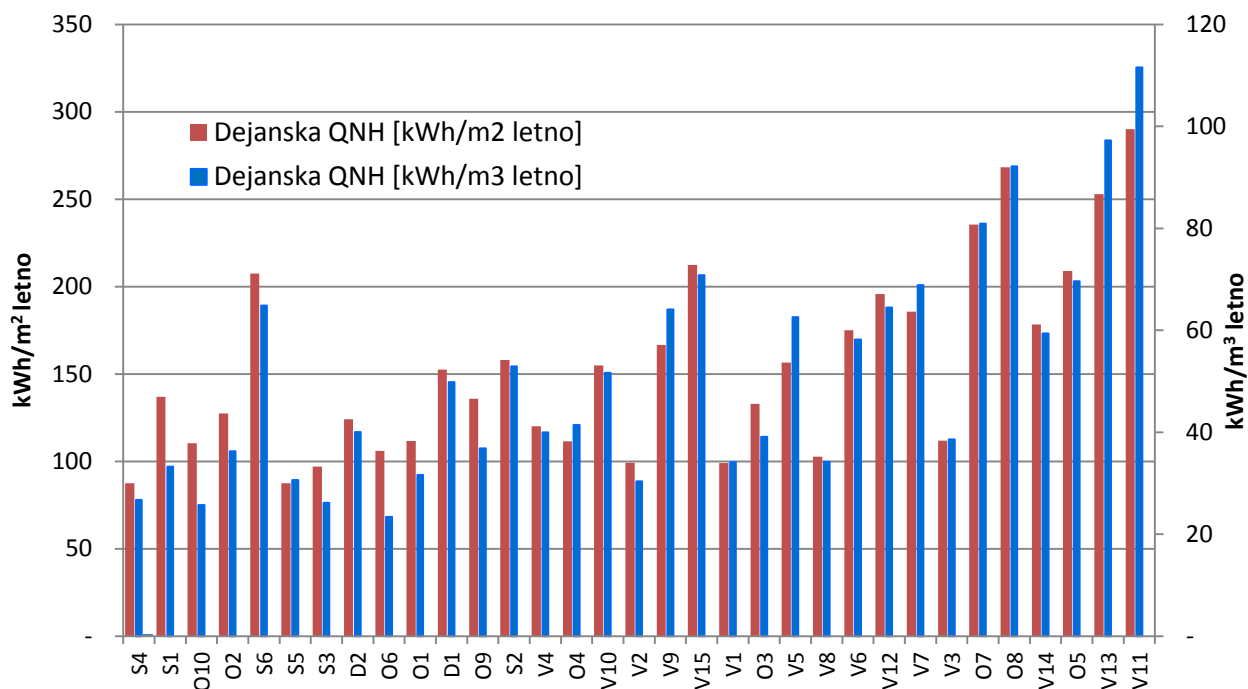
4.2.2 Poraba toplotne energije za ogrevanje stavb pred prenovo (Q_{NH})

V javnem sektorju je po podatkih iz raziskave Instituta Jožef Stefan (IJS) [48] v letu 2008 kar 55 % stavb za pridobitev toplotne energije uporabljalo neobnovljiv vir energije ELKO. V našem obravnavanem izboru stavb se je pred energetske prenovo z ELKO oskrbovalo 14 stavb, kar predstavlja 43 %, z daljinsko toploto 10 stavb oziroma 30 % obravnavanih stavb, z zemeljskim plinom 8 stavb, kar predstavlja 24 %, in samo ena stavba z obnovljivim virom energije – s sekanci. Daljinska toplota se večinoma uporablja v mestih, zato ni presenetljivo, da se vse obravnavane stavbe, ki se oskrbujejo z daljinsko toploto, nahajajo v Ljubljani ali na Ravnah na Koroškem. Deleži uporabe različnih energentov (pred energetske prenovo) za oskrbo obravnavanih stavb s toplotno energijo so predstavljeni v Grafikonu 4.



Grafikon 4: Način ogrevanja obravnavanih stavb

Grafikon 5 v nadaljevanju prikazuje porabo toplotne energije za ogrevanje posamezne stavbe glede na kondicionirano površino (rdeči stolpiči) in kondicionirano prostornino (modri stolpiči). Stavbe so razvrščene od najmanjšega f_0 , ki je 0,34 za stavbo S4 in do največjega f_0 , ki je 1,39 za stavbo V11.



Grafikon 5: Dejanska letna poraba toplotne energije za ogrevanje stavb glede na kondicionirani površino in prostornino

Iz Grafikona 5 vidimo, da ima največjo specifično porabo na m^2 in m^3 vrtec V11. Sledijo mu osnovna šola O8, vrtec V13 in osnovna šola O7. To delno spodbija našo hipotezo, da naj bi vrtci in dijaški domovi imeli zaradi daljšega obratovalnega časa večjo specifično porabo toplotne energije. Glede na dobljene rezultate pa lahko sklepamo, da to ne drži vedno, saj dijaška domova spadata med manj potratni stavbi, prav tako tudi nekaj vrtcev (predvsem vrtec V2). Preverili smo tudi zasedenost dijaških domov, saj bi lahko prav ta faktor najbolj vplival na majhno porabo toplotne energije za ogrevanje. Iz podatkov na spletni strani Ministrstva za izobraževanje, znanost in šport (MIZS) smo prišli do ugotovitve, da je bila zasedenost v referenčnem obdobju od 2007 do 2009 za dijaški dom D1 več kot 57 %, za dijaški dom D2 pa več kot 80 % [69]. Glede na to, da ima dijaški dom D1 v primerjavi z dijaškim domom D2 večjo specifično Q_{NH} in manjšo zasedenost, lahko sklepamo, da zasedenost stavbe pred prenovo ni imela velikega vpliva na porabo toplotne energije za ogrevanje.

V povprečju vseh stavb – glede na njihovo namembnost – imajo največjo specifično Q_{NH} prav vrtci, kar delno potrjuje našo hipotezo, da stavbe z daljšim obratovalnim časom porabijo več toplotne energije. Zelo očitno izstopa specifična Q_{NH} za stavbe osnovnih šol O5, O7 in O8. Omenjenim stavbam je skupno, da so podružnične šole matičnih osnovnih šol in da gre za stavbe montažnih lesenih izvedb, na katerih ukrepi za večjo energetsko učinkovitost še niso bili izvedeni.

5 LETNA POTREBNA TOPLOTA ZA OGREVANJE – Q_{NH}

5.1 Vhodni podatki za izračun energetskih bilanc stavb

Vhodne podatke in izračune gradbenih fizik oziroma elaborate URE (izpise iz programov za izračun gradbene fizike) posameznih stavb smo pridobili iz projektnih dokumentacij, ki so bile pripravljene za potrebe prijave projektov na javni razpis za sofinanciranje ukrepov za izboljšanje energetske učinkovitosti stavb v lasti lokalne skupnosti. Vhodni podatki so predstavljeni v Preglednici 7 [66].

Preglednica 7: Vhodni podatki za izračun energetskih bilanc javnih stavb

Ozn.	Kondicionirana prostornina [m ³]	Oblikovni faktor f_0 [-]	Tprim 12 [Kdni]	Št. etaž	Uporabljen program	Leto izvedenega izračuna oziroma simulacije
S1	19.891,00	0,40	3300	3	ARCHIMAID	2010
D1	7.620,21	0,56	3300	5	ARCHIMAID	2010
S2	8.303,02	0,59	3300	4	ARCHIMAID	2010
S3	7.818,44	0,47	3300	2	ARCHIMAID	2010
S4	32.847,37	0,34	3300	5	ARCHIMAID	2010
D2	17.495,00	0,47	3300	6	ARCHIMAID	2010
S5	13.363,14	0,46	3700	4	ARCHIMAID	2010
S6	3.161,66	0,46	3700	3	ARCHIMAID	2010
O1	8.678,42	0,50	3700	3	ARCHIMAID	2012
O2	17.978,73	0,46	3900	4	ARCHIMAID	2012
O3	1.162,80	0,93	3700	1	ARCHIMAID	2012
O4	1.425,25	0,73	3900	3	ARCHIMAID	2012
O5	755,04	1,00	3900	2	ARCHIMAID	2012
O6	10.323,04	0,48	4300	3	ARCHIMAID	2012
V1	2.364,54	0,92	3500	1	ARCHIMAID	2012
O7	669,30	1,00	3700	1	ARCHIMAID	2012
O8	669,30	1,00	3700	1	ARCHIMAID	2012
V2	4.424,70	0,84	3300	2	URSA 4.0.	2013
V3	3.903,80	1,00	3300	1	URSA 4.0.	2013
V4	4.762,32	0,60	3300	2	ARCHIMAID	2013
V5	570,00	0,95	3300	3	ARCHIMAID	2013
V6	2.719,26	1,00	3300	2	ARCHIMAID	2013
V7	3.364,40	1,00	3300	2	URSA 4.0.	2013
O9	9.412,76	0,58	3300	2	ARCHIMAID	2013
V8	3.657,00	0,95	3300	1	URSA 4.0.	2013
V9	1.213,29	0,85	3300	2	ARCHIMAID	2013
V10	4.170,00	0,75	3300	2	ARCHIMAID	2013

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 7.

Ozn.	Kondicionirana prostornina [m ³]	Oblikovni faktor f ₀	Tprim 12 [Kdni]	Št. etaž	Uporabljen program in leto izračuna	Leto izvedenega izračuna oziroma simulacije
V11	1.869,66	1,00	3300	1	ARCHIMAID	2013
V12	2.251,80	1,00	3300	1	URSA 4.0.	2013
V13	2.191,90	1,00	3300	1	ARCHIMAID	2013
V14	1.111,80	1,00	3300	1	ARCHIMAID	2013
V15	3.553,44	0,90	3300	2	ARCHIMAID	2013
O10	16.563,12	0,43	3500	4	ARCHIMAID	2012

Iz vhodnih podatkov je razvidno, da ima večina obravnavanih lokacij stavb temperaturni primanjkljaj 3300 Kdni, kar jih v Sloveniji uvršča med stavbe s povprečnimi klimatskimi podatki. Za večino obravnavanih stavb so projektanti pri izračunih gradbene fizike za notranje toplotne dobitke izbrali vrednost 4 W/m² (Preglednica 8). Za stopnjo izmenjave zunanjega zraka z notranjim je bila največkrat uporabljena vrednost 0,5 n⁻¹, kar pomeni, da se v eni uri izmenja polovica notranjega zraka v stavbi, ki je posledica infiltracije zunanjega zraka in prezračevanja prostorov v stavbi. Pri nekaterih stavbah je bila izbrana večja stopnja izmenjave zraka, vendar ne večja od 0,8 n⁻¹. Pri stavbah S1, S3 in O6 nas je zmotila izbrana nižja stopnja izmenjave zraka, kot je predpisana za stanovanjske stavbe [2]. To se nam zdi problematično predvsem zato, ker je potreba po svežem zraku v tovrstnih stavbah zaradi večje koncentracije ljudi večja kot v stanovanjskih stavbah. Pridobljene izračune gradbene fizike smo, da bi lahko preverili odstopanja med različnimi programi, primerjali tudi z nekomercialnim programom TOST (Grafikon 6).

5.1.1 Komentar na izbrane robne pogoje in predpostavke projektantov

Pri analizi izbranih robnih pogojev in predpostavk s strani projektantov (predstavljenih v Preglednici 8 [66]) se bomo posvetili naslednjim parametrom, ki vpliva na izračun Q_{NH}:

- notranja projektna temperatura prostorov,
- izmenjava zunanjega zraka z notranjim,
- notranji dobitki,
- kapaciteta stavbe,
- toplotni mostovi,
- karakteristike transparentnih površin, faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja (g), faktor osenčenosti in faktor senčil/zaves,
- intenziteta uporabe stavbe – dnevna uporaba stavbe.

Preglednica 8: Izbrani robni pogoji in predpostavke projektantov

Ozn.	Ozn. proj. ¹	Izbrana notranja projekt. temp. [°C]	Izbrana izmenjava zraka [h ⁻¹]	Izbrani notranji dobitki [W/m ²]	Način upošt. toplotnih mostov ²	Način upošt. kapacitete stavbe ²	Faktor g [-]	Število ur norm. ogreva. [ure]
S1	A	20	0,40	4	poenos.	13790	0,73	24
D1	A	21	0,5	5	10211	13790	0,73	24 in 16
S2	B	20	0,5	4	poenos.	13790	0,51 in 0,60	24
S3	A	13 in 20	0,4 in 0,5	4	poenos.	13790	0,20 in 0,73	24
S4	A	20	0,5	4	10211	13790	0,51 in 0,60	24
D2	A	20	0,5 in 0,8	4 in 5	poenos.	13790	0,50–0,73	24
S5	A	20 in 22	0,5	4	poenos.	13790	0,58	24
S6	A	20	0,5	4	poenos.	13790	0,58 in 0,73	24
O1	C	20	0,5	4	poenos.	13790	0,70	24
O2	A	20	0,6 in 0,7	4	poenos.	13790	0,73	24
O3	A	20	0,5	4	poenos.	ni upošt.	0,51 in 0,73	24
O4	A	20	0,5	4	poenos.	13790	0,51–0,73	24
O5	A	20	0,5 in 0,6	2	poenos.	ni upošt.	0,73	24
O6	D	20	0,2 in 0,5	4	poenos.	ni upošt.	0,60	24
V1	D	20	0,5	4	poenos.	ni upošt.	0,60	24
O7	D	20	0,5	4	poenos.	ni upošt.	0,60	24
O8	D	20	0,5	4	poenos.	ni upošt.	0,60	24
V2	E	20	0,5	4	poenos.	ni upošt.	0,55 in 0,58	12
V3	E	20	0,5	4	poenos.	ni upošt.	0,63 in 0,55	24
V4	F	20	0,5	4	poenos.	13790	0,60	24
V5	F	20	0,5	4	poenos.	ni upošt.	0,60	24
V6	G	20	0,6	4	poenos.	ni upošt.	0,60	24
V7	E	23	0,5	4	poenos.	ni upošt.	0,58	12
O9	D	20	0,5	4	poenos.	13790	0,60	24
V8	G	20	0,5	4	ni upošt.	poenos.	0,675	24
V9	A	20	0,7	4	poenos.	13790	0,00	24
V10	D	23	0,5	4	poenos.	13790	0,60	24
V11	A	24	0,5	4	poenos.	13790	0,00	24
V12	G	25	0,5	4	ni upošt.	poenos.	0,675	24
V13	A	25	0,5	4	poenos.	13790	0,00	24
V14	A	25	0,5	4	poenos.	13790	0,00	24
V15	D	20	0,5	4	poenos.	13790	0,60	24
O10	A	20	0,5	4	poenos.	ni upošt.	0,58–0,73	24

Opombe k Preglednici 8:

¹ »Ozn. proj.« pomeni oznaka projektanta, ki je pripravil izračun gradbene fizike.

² Pri načinu upoštevanja toplotnih mostov in kapacitete stavbe številke pomenijo, kateri standard je bil upoštevan pri izračunu (EN ISO 10211, SIST EN ISO 13790).

»Poenos.« pomeni poenostavljen način upoštevanja toplotnih mostov pri izračunu Q_{NH} .

»Ni upošt.« pomeni, da ni upoštevana kapaciteta stavbe pri izračunu Q_{NH} .

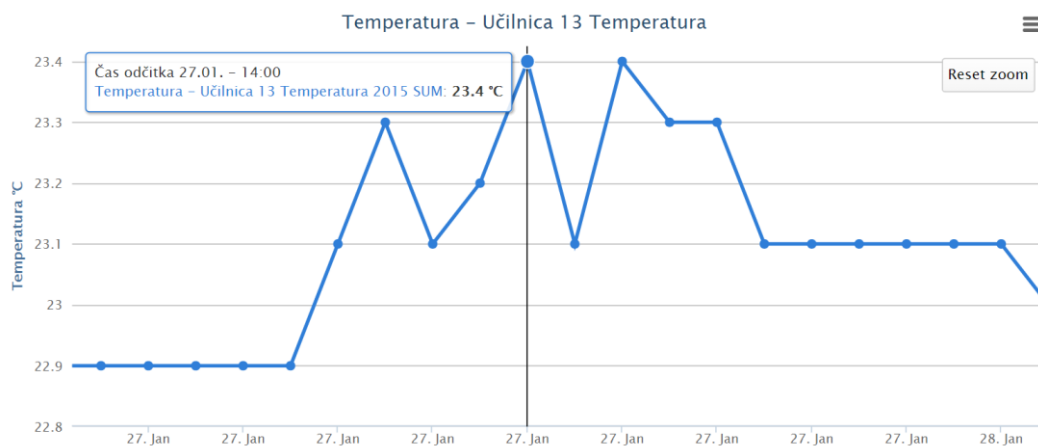
»Število ur norm. ogreva.« pomeni število ur (v enem dnevu) normalnega ogrevanja stavbe pri projektni temperaturi ogrevanja.

Iz Preglednice 8 je razbrati, da so projektanti za robne pogoje največkrat izbrali:

- notranjo temperaturo: 20 °C,
- izmenjavo zraka: 0,5 h⁻¹,
- notranje dobitke: 4 W/m²,
- poenostavljen izračun toplotnih mostov: pribitek 0,06 W/m²K k toplotni prehodnosti celotnega ovoja stavbe (s 6 % pomnožimo celotno površino toplotnega ovoja stavbe),
- način upoštevanja kapacitete stavbe: po Standardu SIST EN ISO 13790,
- faktor g: 0,6,
- število ur z normalnim ogrevanjem: 24 ur, 7 dni v tednu.

S strani projektantov izbrani robni pogoji po vsej verjetnosti ne opisujejo natančnega delovanja stavb. Prvi izbran robni pogoj, ki verjetno najbolj izstopa od dejanskega stanja, je število ur z normalnim ogrevanjem stavbe. Večina javnih stavb, predvsem izobraževalnih, deluje samo med delovnim tednom med 6. in 16. uro. V izračunih pa so največkrat projektanti upoštevali 24-urno delovanje oziroma ogrevanje stavbe.

Notranja temperatura prav tako lahko bistveno vpliva na izračun toplotne bilance stavbe, saj lahko zvišanje temperature za 1 °C pomeni tudi 5–6 % višjo porabo energije za ogrevanje [70]. Projektanti so največkrat izbrali temperaturo ogrevanja 20 °C, ki pa ne odraža dejanske temperature v stavbah. Optimalna notranja temperatura zraka za bivalno ugodje v prostoru se giba med 21 in 23 °C, dejanska, izmerjena s pomočjo energetskega monitoringa, pa je na primer za osnovno šolo O1 dne 27. 1. 2013 znašala 23,4 °C (Slika 12 [71]).



Slika 12: Izmerjena temperatura v stavbi O1 v učilnici 13 dne 27. 1. 2013 ob 14. uri

Naslednji izbran robni pogoj, ki ima lahko velik vpliv na Q_{NH} , je izračun toplotnih mostov. V obravnavanih izračunih je bil največkrat izbran poenostavljen izračun. V dveh primerih

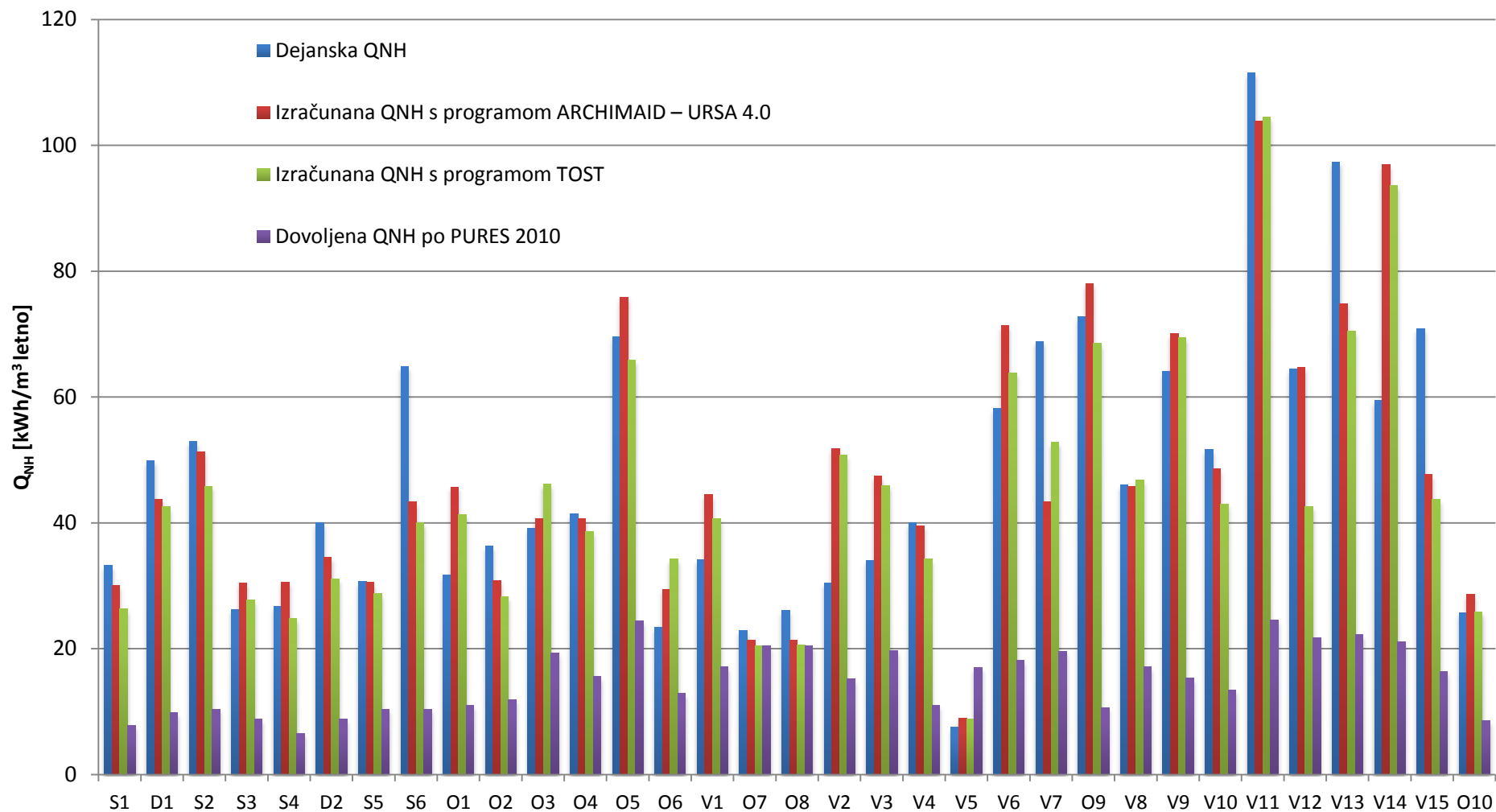
izračunov gradbenih fizik pa toplotnih mostov sploh niso upoštevali. Toplotni mostovi lahko pri neizoliranih stavbah predstavljajo tudi do 35 % [72] izračunane Q_{NH} , pri izoliranih pa od 10 do 20 % [73–76]. Na točnost določitev Ψ (linearna toplotna prevodnost toplotnega mostu – W/mK) vpliva tudi izbira metode za izračun linijskih toplotnih mostov. Izračun Ψ po metodi poenostavljenega načina je sorazmerno natančen (± 50 %), natančnost izračuna po katalogu toplotnih mostov znaša ± 20 %, medtem ko izračun s pomočjo numeričnih simulacij omogoča natančnost ± 5 % [77]. Iz tega sledi, da bi morali za točnost izračuna energetske bilance stavbe upoštevati tudi toplotne mostove, in sicer po metodi numeričnih simulacij in ne na poenostavljen način.

Prispevek notranjih virov zajema notranje toplotne vire v smislu ljudi, naprav, procesov, materialnih tokov in razsvetljave. Projektanti so v večini primerov upoštevali 4 W/m^2 , kar je skladno s priporočili Standarda SIST EN ISO 13970, Priloge G [3], ki za izobraževalne stavbe priporoča upoštevanje dobitkov 1 W/m^2 zaradi naprav in 4 W/m^2 zaradi toplotnih virov ljudi.

Za stopnjo izmenjave zunanje zraka z notranjim se je največkrat uporabila minimalna vrednost $0,5 \text{ h}^{-1}$, kar pomeni, da se v eni uri izmenja polovica notranjega zraka v stavbi z zunanjim, in sicer zaradi infiltracije in mehanskega ali naravnega prezračevanja. Tudi ta predpostavka je bila v večini primerov napačna. Na primer v stavbi O1 je bilo v šolskem letu 2009/2010 vpisanih 464 učencev [78] in zaposlenih 45 delavcev (ocenjena vrednost). V stavbi je tako hkrati lahko bilo do 509 ljudi, kar pomeni, da je bilo potrebno zagotoviti $17.815\text{--}22.905 \text{ m}^3/\text{h}$ svežega zraka ($35\text{--}45 \text{ m}^3/\text{h}$ na osebo [63]), posledično pa zagotoviti tudi stopnjo izmenjave v stavbi O1 ($V_e = 8.678,42 \text{ m}^3$) v vrednosti vsaj 2 h^{-1} . Tudi študija, ki primerja dejansko in izračunano Q_{NH} izobraževalne stavbe, navaja, da je dejanska izmenjava zraka v izobraževalni stavbi na Poljskem med $0,6$ in $3,75 \text{ h}^{-1}$ in da so bil izračuni energetske učinkovitosti stavbe točnejši v primeru, ko se je upoštevala izmenjava zraka $2,0 \text{ h}^{-1}$ [41].

Projektanti so za faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja (g) izbirali vrednosti med $0,6$ in $0,73$, kar pomeni, da so opisovali okna z dvojno zasteklitvijo brez nizkoemisijskega nanosa ($0,75$) in okna s trojno zasteklitvijo z nizkoemisijskim nanosom ($0,50$) [3]. V izračunih energetskih bilanc pri stavbah V8, V11, V13 in V14 so za faktor g vstavili število 0, kar pomeni, da omenjene stavbe nimajo solarnih dobitkov. Takšne nedopustne napake se v izračunih energetskih bilanc ne bi smele dogajati. Iz tega lahko sklepamo, da izdelovalci izračunov ne poznajo pomena vseh parametrov, ki jih vnašajo v posamezne izračune.

5.2 Dejanska in izračunana Q_{NH} – pred prenovo



Grafikon 6: Primerjava Q_{NH} obravnavanih stavb na m³ kondicionirane prostornine

Grafikon 6 prikazuje specifično dejansko in izračunano Q_{NH} (s strani projektantov in s pomočjo programa TOST) za posamezno obravnavano stavbo. Letno potrebno toploto za ogrevanje stavbe smo normirali z neto ogrevano prostornino, saj velja, da se po PURES 2010 za javne stavbe preverja mejne vrednosti URE na kondicionirano prostornino in ne na kondicionirano površino, kot to velja za stanovanjske stavbe. Dejanska Q_{NH} pred prenovo se giblje od 7 do 112 kWh/m³ letno. Najbolj izstopa stavba V11, saj njena dejanska Q_{NH} dosega vrednost 111,55 kWh/m³ letno. Najmanjšo dejansko Q_{NH} (7,49 kWh/m³a) ima stavba V5.

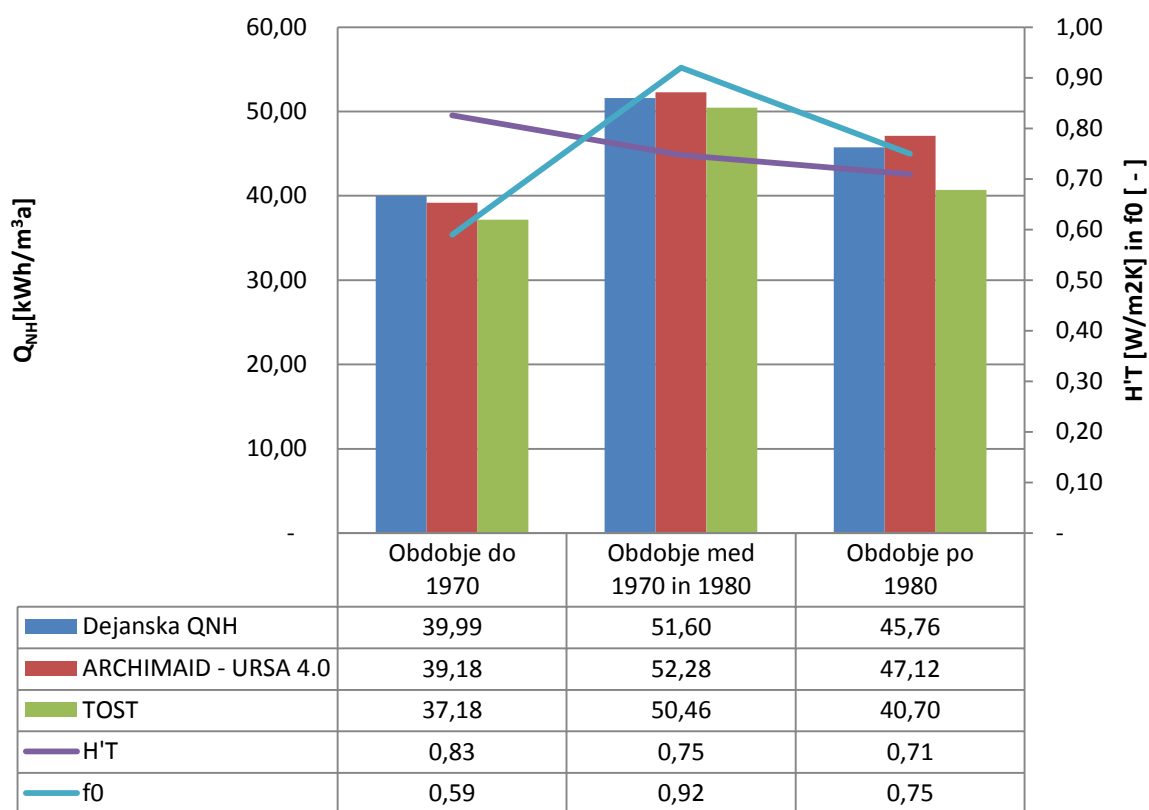
Dejansko Q_{NH} smo primerjali tudi glede na namembnost stavb (glej Preglednico 9) in ugotovili, da najbolj izstopajo vrtci z 55,88 kWh/m³ letno, dijaški domovi s 44,93 kWh/m³ letno in srednje šole s 39,09 kWh/m³ letno. Najmanj potratne so osnovne šole z 38,89 kWh/m³ letno. Za vrtce velja, da morajo upoštevati Pravilnik o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrtca, ki predpisuje, da morajo biti prostori, kjer se nahajajo otroci, stari do 3 leta, ogrevani na temperaturo 23 °C [65]. Iz zahtev Pravilnika lahko sklepamo, da je dejanska letna potrebna energija za ogrevanje v vrtcih večja prav zaradi strožjih predpisov, saj je bila sicer v izračunih upoštevana privzeta vrednost za stanovanjske stavbe, tj. 20 °C. Na podlagi analize dejanske Q_{NH} po namembnosti (Preglednica 9) lahko sklepamo, da so stavbe z daljšim obratovalnim časom energetsko bolj potratne.

Preglednica 9: Primerjava Q_{NH} glede na namembnost obravnavanih stavb

Primerjava	Povprečje dejanska Q_{NH}	Povprečje ARCHIMAID – URSA 4.0	Povprečje TOST	Povprečje f_0	Povprečje izračunan H'_T
Enota	[kWh/m ³ letno]	[kWh/m ³ letno]	[kWh/m ³ letno]	-	[W/(m ² K)]
Dijaški domovi	44,93	39,16	36,81	0,50	0,79
Osnovne šole	38,89	41,23	38,97	0,75	0,70
Srednje šole	39,09	36,06	32,24	0,46	0,84
Vrtci	55,88	57,27	54,06	0,98	0,76
Skupno povprečje	47,02	47,46	44,47	0,79	0,76

Analizirali smo tudi Q_{NH} stavb glede na leto oziroma obdobje njihove izgradnje. Pri tem smo določili tri obdobja, v katerih so veljali oziroma niso veljali posamezni predpisi, in sicer obdobje pred letom 1970 (ni bilo predpisov), obdobje med letoma 1970 in 1980 (Pravilnik o tehničnih ukrepih in pogojih za toplotno zaščito stavb) in obdobje po letu 1980 (prvi strožji predpis – skupina standardov JUS U.J5.600). Povprečna dejanska Q_{NH} stavb, zgrajenih pred letom 1970, je znašala 39,99 kWh/m³ letno. Za stavbe, zgrajene med letoma 1970 in 1980, je

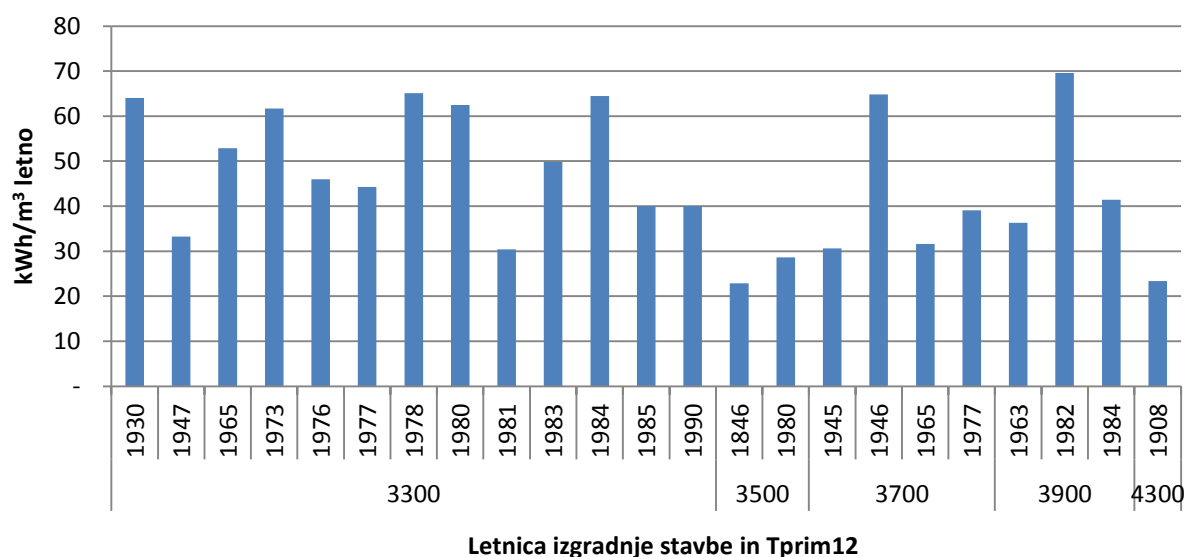
znašala 51,60 kWh/m³ letno, medtem ko je za stavbe, zgrajene po letu 1980, znašala 45,76 kWh/m³ letno. Primerjava glede na posamezna obdobja izgradnje stavb je pokazala, da so stavbe, zgrajene pred veljavo kakršnih koli predpisov, energetsko bolj učinkovite od stavb, ki so grajene v času veljavnosti Pravilnika o gradnji stanovanjskih stavb (za obdobje od 1970 do 1980) in v obdobju veljavnosti predpisov JUS U.J5.600 (za obdobje po letu 1980). Večja energetska učinkovitost starih stavb je verjetno posledica načina gradnje in arhitekturne zasnove. Starejše stavbe so zgrajene iz masivnih zidov, polne opeke velikih dimenzij (glej Preglednico 4), uporabljenih pa je tudi manj transparentnih delov. Prav tako so starejše stavbe manj členjene in imajo posledično bolj ugoden faktor oblike (glej Grafikon 7), ki zelo pozitivno vpliva na potrebno toplotno energijo za ogrevanje.



Grafikon 7: Primerjava Q_{NH} glede na različna obdobja izgradnje stavb

Iz Grafikona 7 lahko ugotovimo, da pravilniki na področju URE, ki so bili sprejeti pred letom 1990, niso bistveno vplivali na porabo energije v javnih stavbah – glede na to, da so že bile podane omejitve glede toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov. Poraba energije je bila v večini obravnavanih stavb zelo raznolika in, kot vidimo na Grafikonu 7, ni bilo izrazitih nihanj med posameznimi obdobji. Iz tega lahko sklepamo, da so v nasprotju z našimi pričakovanji (hipoteza – H3), v povprečju so starejše stavbe energetsko manj potratne od novejših.

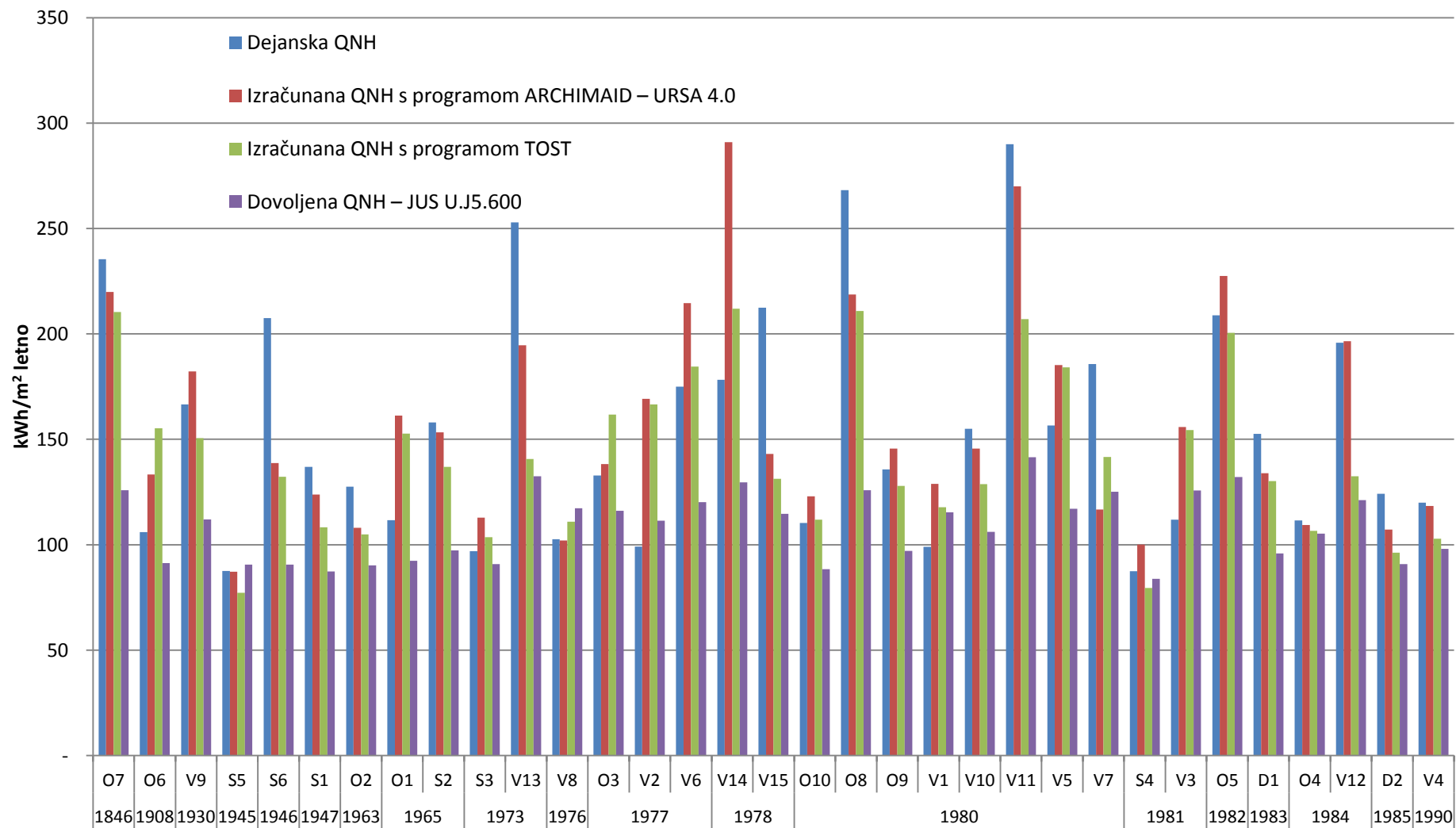
Pričakovano je bilo, da bodo stavbe, ki so v manj ugodnem, bolj mrzlem klimatskem okolju (Tprim 12 je večji od 3300 Kdni), porabile več toplotne energije za ogrevanje kot stavbe v bolj toplim klimatskem okolju (hipoteza – H4). Iz analize primerjave temperaturnih primanjkljajev (Grafikon 8) lahko ugotovimo, da le-ti nimajo velikega vpliva na porabo toplotne energije, saj se dejanska Q_{NH} ne povečuje z višanjem temperaturnega primanjkljaja. Večji učinek na porabo energije imajo predvidoma drugi dejavniki, kot so na primer uporabnikove navade in zasnova stavbe.



Grafikon 8: Dejanska Q_{NH} glede na temperaturni primanjkljaj

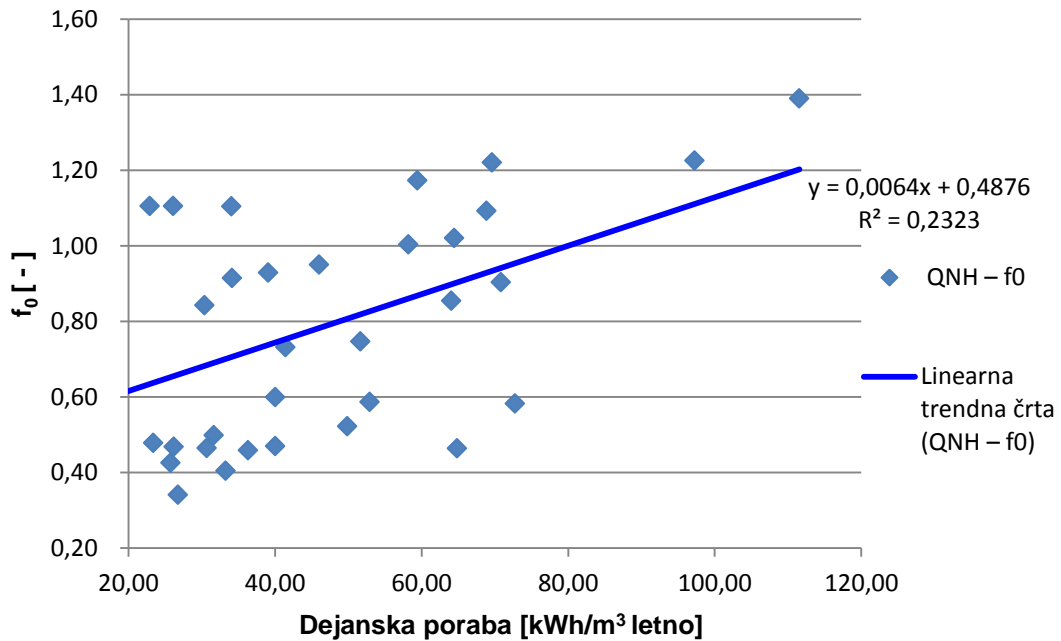
Prav tako lahko iz Grafikona 9 (primerjava Q_{NH} glede na kondicionirano površino) vidimo, da sama starost stavb ne vpliva na specifično rabo energije, česar pred izvedbo analiz nismo pričakovali. Pričakovali smo namreč, da bo ob razvrstitvi stavb po starosti izgradnje viden trend porabe. Raznolika dejanska Q_{NH} je tako, kot smo že omenili, verjetno posledica zasnove stavbe in navad njenih uporabnikov.

Povprečna dejanska Q_{NH} je glede na kondicionirano površino stavbe znašala $154,54 \text{ kWh/m}^2$ letno. Specifična poraba toplotne energije za ogrevanje posamezne stavbe pa se je gibala med $87,47 \text{ kWh/m}^2$ letno (stavba S4) in $290,03 \text{ kWh/m}^2$ letno (stavba V11). V Grafikonu je prikazana specifična raba toplote glede na kondicionirano površino, pri čemer so stavbe razporejene glede na letnico izgradnje (od najstarejše do najnovejše).

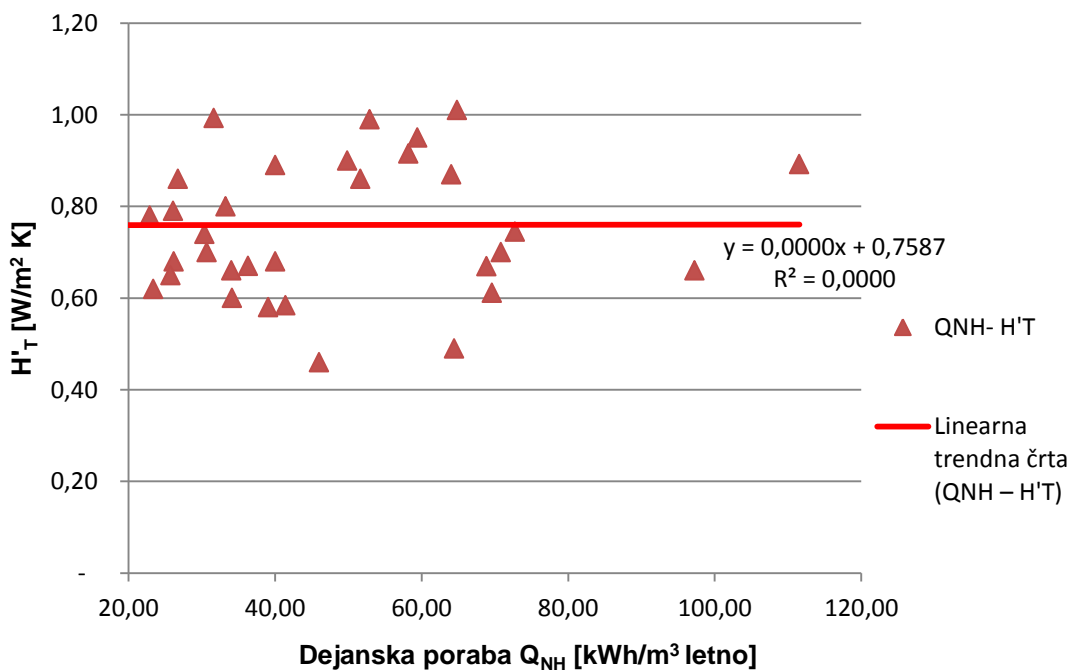


Grafikon 9: Primerjava Q_{NH} obravnavanih stavb glede na m² kondicionirane površine

Iz Grafikona 10 je razvidno, da se z večanjem f_0 (večja površina stavbnega ovoja glede na kondicioniran volumen – bolj razčlenjena stavba) povečuje tudi dejanska Q_{NH} . Grafikon 11 pa kaže, da H'_T (koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub) nima takšnega vpliva, saj je njegova linearna trendna linija skoraj horizontalna. Iz tega lahko sklepamo, da ima faktor f_0 večji vpliv na Q_{NH} kot koeficient H'_T .



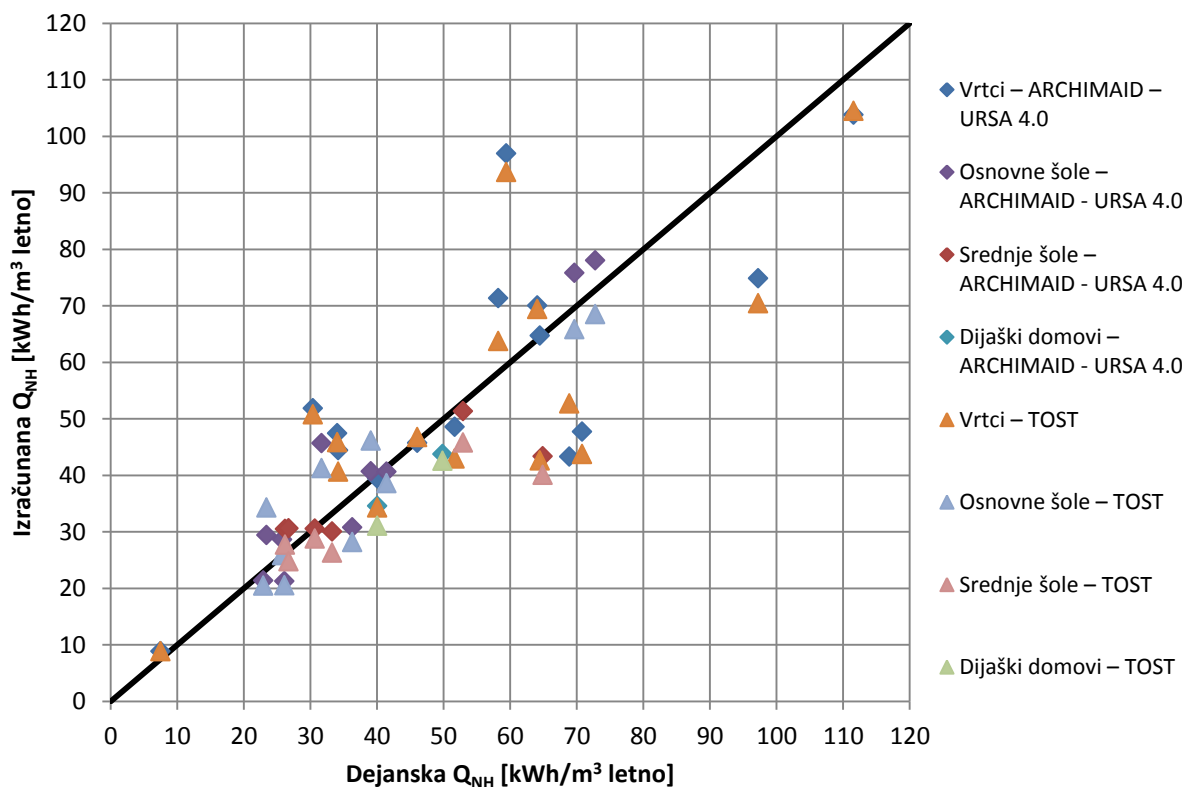
Grafikon 10: Primerjava dejanske Q_{NH} in f_0



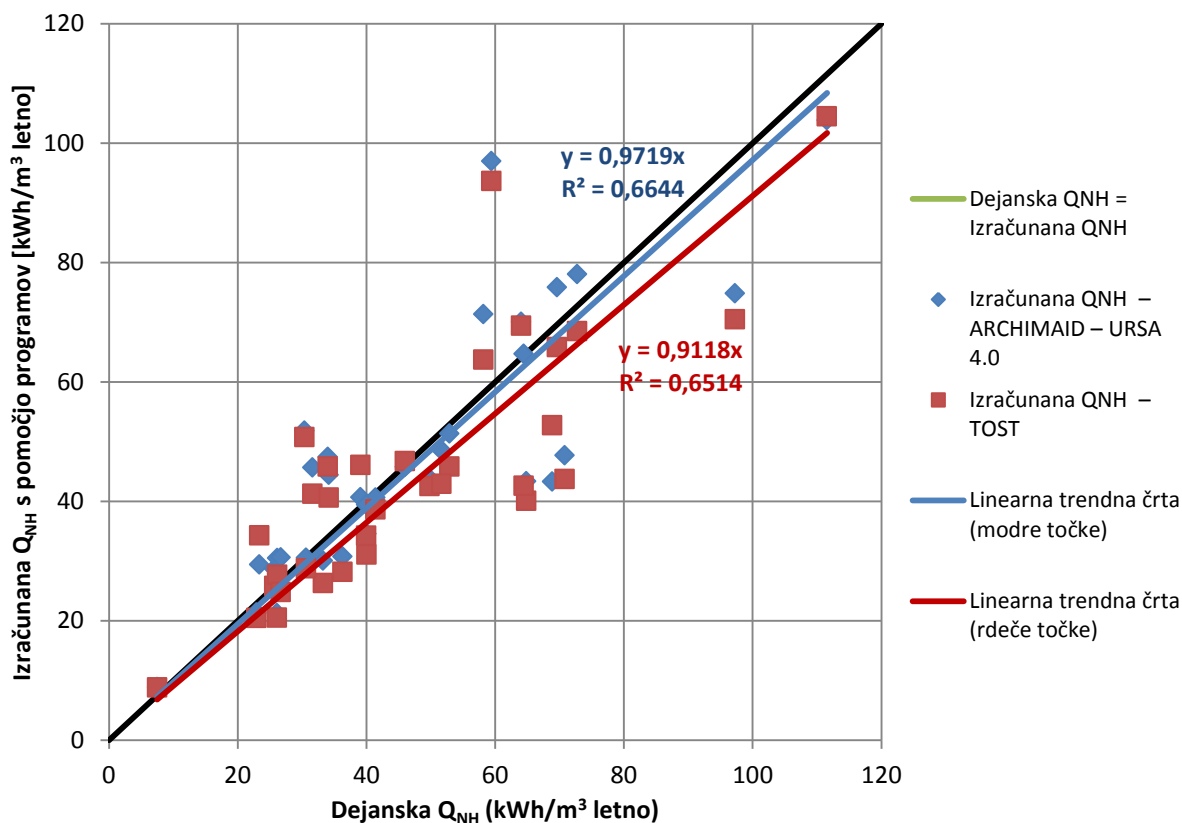
Grafikon 11: Primerjava dejanske Q_{NH} in H'_T

V nadaljevanju je prikazanih še nekaj grafikonov (Grafikon 12, Grafikon 13, Grafikon 14 in Grafikon 15), iz katerih lahko povzamemo:

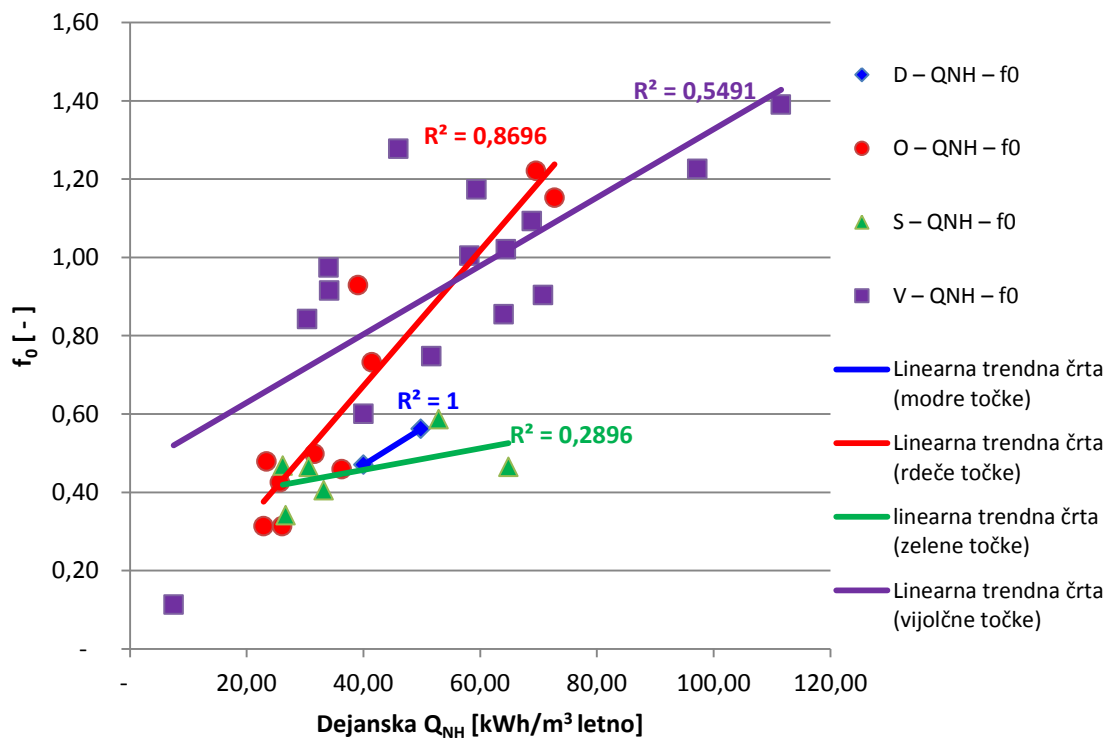
- da je odstopanje med dejansko in izračunano Q_{NH} večje pri izračunih, narejenih s pomočjo programa TOST (Grafikon 13),
- da ima kar nekaj stavb podobno računsko Q_{NH} , medtem ko se dejanska Q_{NH} razlikuje (Grafikona 12),
- da je odstopanje med dejansko in računsko Q_{NH} večje pri stavbah, ki so energetsko bolj potratne (Grafikon 12) – delno potrdi hipotezo H1,
- da je vpliv faktorja f_0 na dejansko Q_{NH} največji pri osnovnih šolah (Grafikon 14),
- da koeficient H'_T ne vpliva na dejansko Q_{NH} tako močno kot faktor f_0 ; koeficient H'_T vpliva v nekaterih primerih celo negativno (manjši ko je H'_T , večja je poraba).



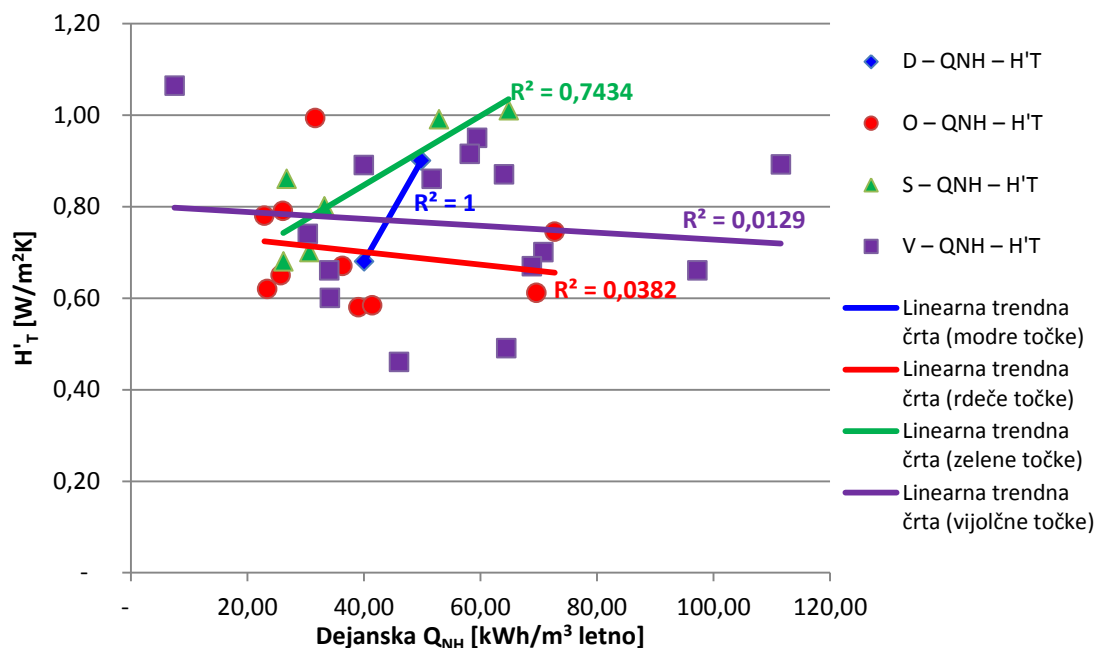
Grafikon 12: Primerjava med dejansko in izračunano Q_{NH} – pred prenovno



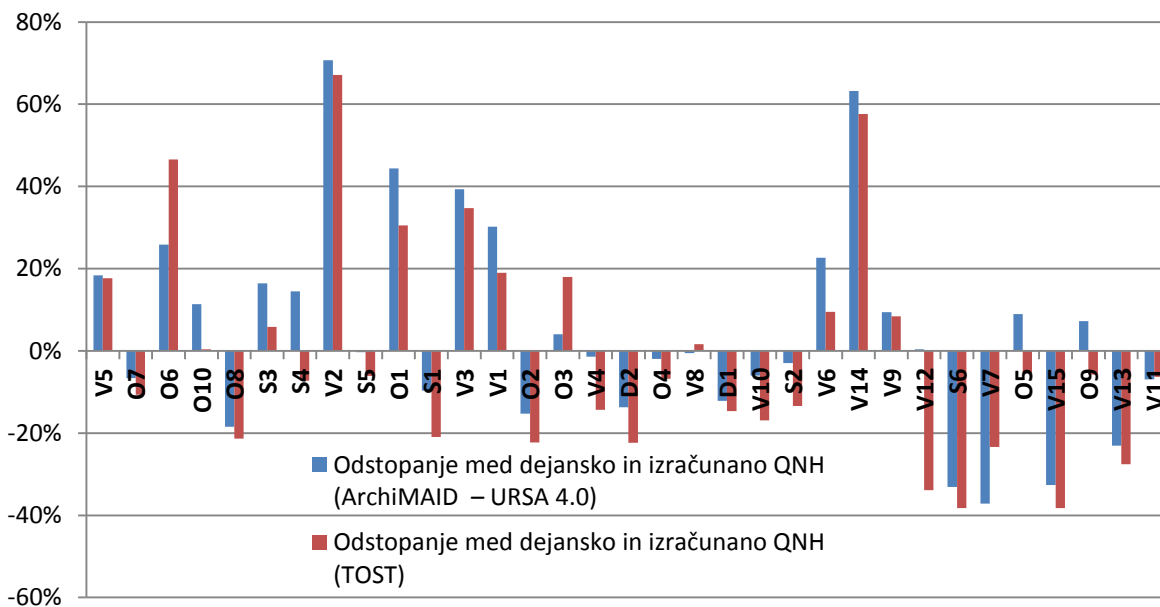
Grafikon 13: Primerjava med dejansko in izračunano Q_{NH} (različni programi)



Grafikon 14: Primerjava Q_{NH} in f_0 glede na namembnost stavb

Grafikon 15: Primerjava Q_{NH} in H'_T glede na namembnost stavb

5.3 Analiza odstopanj med dejansko in izračunano Q_{NH} – pred prenovo

Grafikon 16: Odstopanje izračunane Q_{NH} od dejanske Q_{NH}

Iz Grafikona 16 je razvidno, da je ponekod odstopanje med dejansko in izračunano Q_{NH} zelo veliko. Oznake oziroma stavbe so razporejene od stavbe z najmanjšo dejansko Q_{NH} (V5) do

stavbe z največjo dejansko Q_{NH} (V11). Negativne vrednosti na diagramu povedo, da je izračunana Q_{NH} manjša od dejanske. Na podlagi dobljenih rezultatov analize in Grafikona 16 lahko ovržemo hipotezo – H1, da je dejanska Q_{NH} nižja glede na izračunano s pomočjo računalniških programov, ki pri izračunu upoštevajo Standard SIST EN ISO 13790, saj se v naših primerih odstopanja zelo razlikujejo.

V izvedeni analizi je pri izračunih, narejenih s pomočjo programov ARCHIMAID ali URSA 4.0, povprečno odstopanje med dejansko in izračunano Q_{NH} vseh obravnavanih stavb znašalo 5,00 %, pri izračunih s pomočjo programskega orodja TOST pa - 1,18 %. Povprečno odstopanje je zanemarljivo in nam pove, da so programi med seboj lahko primerljivi oziroma da so metode izračunov podobne. Je pa zelo zaskrbljujoče, da smo pri stavbah S4, V12, O5 in O9 dobili nasprotni si vrednosti. Zaradi zelo dobrega povprečnega ujemanja in raztresenosti odstopanj med posameznimi stavbami smo izračunali tudi standardni odklon in mediano. Standardni odklon je bil skoraj enak za oba vzorca rezultatov in je za odstopanja med dejansko in izračunano Q_{NH} (ARCHIMAID – URSA 4.0) znašal 0,25 ter za odstopanja med dejansko in izračunano Q_{NH} (TOST) 0,26. Izračunana mediana se je bistveno bolj razlikovala. Za odstopanje med dejansko in izračunano Q_{NH} (ARCHIMAID – URSA 4.0) je znašala 0,0032, za odstopanje med dejansko in izračunano Q_{NH} (TOST) pa 0,0632.

Zanimiva je tudi stavba V2, pri kateri je odstopanje med programoma podobno, a še vedno sorazmerno veliko. Ta odstopanja bi lahko po vsej verjetnosti pripisali projektantom, ki so napačno izbrali predpostavke oziroma vhodne podatke za izvedbo izračunov oziroma simulacij. Nekateri izbrani robni pogoji (Preglednica 8) oziroma parametri so optimistični in ne podajajo dejanskega stanja in delovanja stavb. Dejstvo pri vseh izračunih je, da so rezultati le toliko dobri, kot so dobri vhodni podatki. To pomeni, da so v primeru slabih vhodnih podatkov napačni tudi rezultati. Na podlagi opisanih – s strani projektantov izbranih – podatkov (glej poglavje 5.1.1) za posamezne izračune lahko predvidevamo, da so določene predpostavke (stopnja prezračevanja, notranja temperatura, obratovalni čas stavb, količina notranjih virov, faktor g in faktor osenčenja) glavni vzroki za odstopanja.

Za stavbe S4, O5, O9 in V12 nam dva različna računalniška programa izračunata odstopanje Q_{NH} z različnima predznakoma. S programom ArchiMAID izračunana Q_{NH} je večja od dejanske Q_{NH} , s programom TOST izračunana Q_{NH} pa manjša od dejanske.

Glede na to, da po vsej verjetnosti vhodni podatki oziroma robni pogoji, izbrani s strani projektantov, ne izražajo dejanskega stanja, ni smiselno nadalje ugotavljati, zakaj je prišlo do razlike med dejansko in izračunano Q_{NH} . Glede odločitev projektantov pri izračunih energetskih bilanc se pojavljajo dvomi, če so bile simulacije sploh pravilno izvedene, saj je

prišlo med programoma TOST in ARCHIMAID do odstopanj v različne smeri. Mogoče lahko celo špekuliramo, da gre za večje napake pri izvedbi simulacij. In glede na to, kako so bili izbrani vhodni podatki, to niti ne bi bilo nenavadno.

Do nekaj možnih razlag, ki lahko vplivajo na odstopanje med samimi programi za izračun gradbene fizike, je v diplomskem delu prišel tudi Primož Šestan [79]. Ugotovil je, da programi za izračun gradbene fizike, ki so na voljo v slovenskem prostoru, med seboj ne delujejo skladno, kar lahko pripelje do velikih odstopanj. Pri svojem raziskovanju je prišel do ugotovitve, da so dokaj velika odstopanja med posameznimi programi. Pri izračunu letne potrebne toplote za ogrevanje je bilo odstopanje programov ARCHIMAID in URSA 4.0 glede na TOST večje kot 46 % [79]. Iz naših izračunov, izvedenih na 33 objektih, znaša odstopanje med programi 8,24 %. V našem primeru torej dobimo manjše odstopanje, ki pa je najverjetneje posledica posodobitev v novih verzijah programov, ki so nastale po raziskavi Primoža Šestana.

Na vprašanje, zakaj prihaja do razlik med dejansko in računsko porabo toplotne energije pri večstanovanjskih stavbah, ki lahko predstavljajo razlog tudi za odstopanje pri naši nalogi, je v svoji diplomski nalogi odgovarjal Marko Ahčin. Prišel je do ugotovitev, da so vhodni klimatski podatki za izračun Q_{NH} predimenzionirani [80]. Za izračun temperaturnega primanjkljaja v Sloveniji se uporablja dolgoročno 25-letno povprečje (1986–2010) [81], medtem ko so temperaturni primanjkljaji ($T_{prim 12}$) po različnih krajih v Sloveniji v zadnjih letih nižji. Do razlik med posameznimi programi prihaja tudi zaradi neusklajenih in neenakih vhodnih klimatskih podatkov, ki se uporabljajo za izračun Q_{NH} . Ena od napak zaradi neenakih vhodnih klimatskih podatkov je tako na primer posledica zaokroževanj koordinat stavb oziroma katastrskih občin, v katerih se stavbe nahajajo [80].

Marko Ahčin je povzel, da na porabo toplotne energije za ogrevanje stanovanjskih stavb močno vplivajo tudi uporabniki stavb [80]. Glede na to, da v javnih stavbah uporabniki oziroma upravljavci niso lastniki stavbe in nimajo motivacije za URE, je lahko ta učinek še nekoliko večji.

5.4 Primerjava kazalnikov z zahtevami posameznih pravilnikov

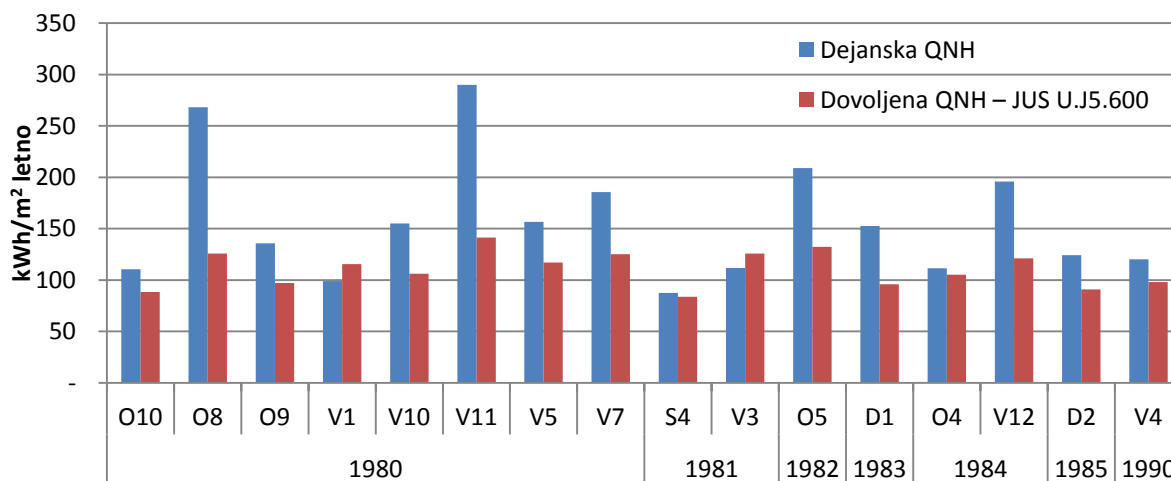
5.4.1 Primerjava s Pravilnikom iz časa gradnje stavb JUS U.J5.600

Leta 1980 je v veljavo stopil jugoslovanski Standard JUS U.J5.600, ki je določeval maksimalno toplotno prehodnost za konstrukcijske sklope po posameznih conah Jugoslavije. Po letu 1984 je bila dodana zahteva, ki je bila zapisna v točki 3.1.1. Predpisovala je največje

dovoljene specifične toplotne izgube Φ_{VT} [W/m³] za poslovne in upravne stavbe, šole, bolnišnice, domove za ostarele, vrtce, hotele, restavracije itd. Največji dovoljen Φ_{VT} se je izračunal po sledeči formuli [82]:

$$\Phi_{VT} = 7 + 14 * f_0 \text{ [W/m}^3\text{]}; f_0 = \text{faktor oblike stavbe [m}^{-1}\text{]} \quad (3)$$

$$\text{oziroma v praksi je to pomenilo: } Q_{NH} < 65 + 55 * f_0 \text{ [kWh/m}^2 \text{ letno]} \quad (4)$$



Grafikon 17: Doseganje zahtev predpisov iz časa gradnje stavb

Grafikon 17 prikazuje primerjavo med letno in maksimalno potrebno toploto za ogrevanje, ki jo je še dopuščal jugoslovanski standard. Kot je razvidno iz Grafikona 16, samo dve stavbi izpolnjujeta takratne zahteve Standarda JUS U.J5.600. Večja poraba toplote pri ostalih stavbah je verjetno posledica neozaveščenosti in nezadostnega posvečanja energetski učinkovitosti stavb s strani projektantov. Odstopanje od dovoljene vrednosti je pri stavbi V11 večje celo za 142 %.

5.4.2 Primerjava s PURES 2010

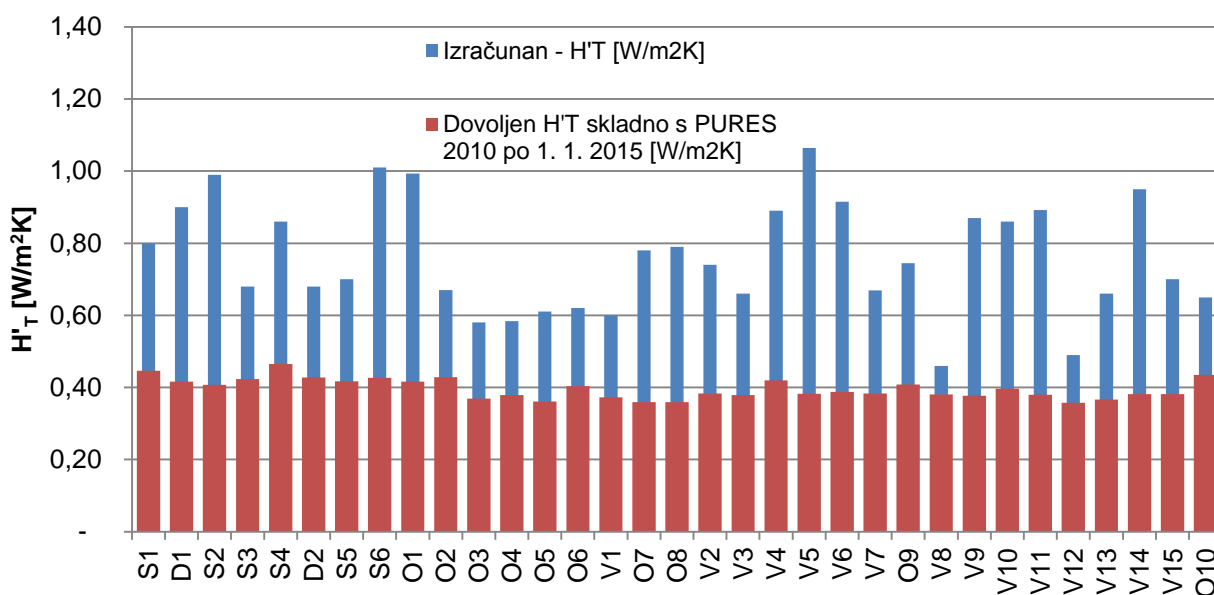
Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010) v 7. členu navaja mejne vrednosti URE. Javna stavba je energetsko učinkovita, ko so izpolnjeni naslednji pogoji:

1. $H'_T \leq 0,28 + T_L/300 + 0,04/f_0 + z/4;$ (5)

2. $Q_{NH} / V_e \leq 0,29 (45 + 60 * f_0 - 4,4 T_L)$ [kWh/m³ letno], ki velja od 1. 1. 2015; (6)

3. mejne vrednosti toplotne prehodnosti, ki so navedene v tabeli 1 točke 3.1.1 Tehnične smernice, ne smejo biti presežene.

V nadaljevanju prilagamo Grafikon 18, ki prikazuje odstopanje prvega, zgoraj navedena, pogoja od zahtev po PURES 2010.



Grafikon 18: Primerjava koeficienta H'_T pred prenovi

Iz Grafikona 18 vidimo, da niti ena obravnavana stavba pred prenovi ne izpolnjuje zahtevanega koeficienta H'_T , kar je razumljivo, saj so bile te stavbe zgrajene v času, ko še niso veljale tako ostre zahteve glede energetske učinkovitosti stavb. Še najbolj sta se zahtevam približali stavbi V8 in V12. Omenjeni stavbi sta že bili delno energetske sanirani, zato je tudi pričakovano nižji koeficient H'_T . Primerjava koeficienta H'_T z dovoljenimi bi bila še bolj zanimiva pri obravnavanih stavbah po prenovi, saj bi nekatere sanirane stavbe že morale izpolnjevati nekatere zahteve po PURES 2010.

5.5 Izvedeni ukrepi na obravnavanih stavbah

Na vseh obravnavanih stavbah so bili izvedeni gradbeni ukrepi, kot so prenova fasade, zamenjava oken s sodobnimi energetsko učinkovitimi in izvedba namestitve dodatne toplotne izolacije stropa proti neogrevanemu podstrešju ali strehi. Na stavbah od S1 do O8 so bili izvedeni tudi ukrepi na ogrevalnem ali prezračevalnem sistemu. V šestih stavbah so se zamenjale zastarele obtočne črpalke z novimi, ki so energetsko učinkovite in frekvenčno vodene. Na kar 21 objektih so se namestili termostatski ventili, v 15 stavbah pa so se vgradile nove prezračevalne naprave z rekuperacijo, ki imajo izkoristek večji od 65 %. V nadaljevanju prilagamo Preglednico 10 [66], v kateri so označeni ukrepi, ki so bili izvedeni na posamezni obravnavani stavbi.

Preglednica 10: Izvedeni ukrepi URE na obravnavanih stavbah

Ozn.	GRADBENI UKREPI					OSTALI UKREPI					
	FASADA	OKNA	VRATA	POD-STREHA	POD	OBTOČ. ČRPALKE	HID. URAV.	TV	PREZ.	HLAJ.	MONIT.
S1	✓	✓	✓	✓				✓			✓
D1	✓	✓	✓					✓	✓		✓
S2	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓
S3	✓	✓	✓	✓				✓	✓		✓
S4	✓	✓	✓	✓				✓	✓		✓
D2	✓	✓	✓	✓					✓		✓
S5	✓		✓	✓				✓	✓		✓
S6	✓	✓	✓	✓				✓	✓		✓
O1	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓
O2	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓
O3	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓
O4	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓
O5	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓			✓
O6	✓	✓	✓	✓		✓		✓			✓
V1	✓	✓	✓	✓							✓
O7	✓	✓	✓	✓				✓			✓
O8	✓	✓	✓	✓				✓			✓
V2	✓	✓	✓	✓							✓
V3	✓	✓	✓	✓							✓
V4	✓			✓							✓
V5	✓	✓	✓	✓							✓
V6	✓	✓	✓	✓							✓
V7	✓	✓	✓	✓							✓
O9	✓	✓	✓								✓
V8	✓	✓	✓								✓
V9	✓	✓	✓	✓	✓						✓
V10	✓	✓	✓	✓							✓
V11	✓	✓	✓	✓							✓
V12	✓	✓	✓	✓							✓
V13	✓	✓	✓	✓							✓
V14	✓	✓	✓	✓							✓
V15	✓	✓	✓	✓							✓
O10	✓	✓	✓	✓				✓	✓		✓

Opombe k Preglednici 10:

- »OBTOČ. ČRPALKE.« pomeni vgradnja novih obtočnih črpalk, ki se uporabljajo za transport ogrevalnega medija (vode) po ogrevalnem sistemu.
- »HID. URAV.« pomeni hidravlično uravnoteženje ogrevalnega sistema .
- »TV« pomeni vgradnja termostatskih ventilov na ogrevalna telesa – radiatorje.
- »PREZ.« pomeni izvedba ukrepa na prezračevalnem sistemu.
- »HLAJ.« pomeni izvedba ukrepa na sistemu za hlajenje stavbe.
- »MONIT.« pomeni vgradnja oziroma vzpostavitev energetskega monitoringa.

Na večini stavb, ki so bile energetsko prenovljene, so se izvedli ukrepi na zunanjem ovoju. Za ukrepe na strojnih inštalacijah se projektanti in investitorji niso odločali, kar je zelo verjetno posledica tega, da tovrstni ukrepi niso bili upravičeni do nepovratnih sredstev, prav tako pa so ponekod že bili predhodno izvedeni. Celovito energetsko prenovljeni (ukrepi na zunanjem ovoju, ukrepi na ogrevalnem in prezračevalnem sistemu) sta samo stavbi S2 in O2, ki ju bomo tudi primerjali pri ekonomski analizi učinkovitosti izvedbe energetskih prenov.

5.5.1 SWOT analiza posameznih ukrepov

Preglednica 11: Matrika prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti (SWOT matrika) za izvedbo ukrepov na zunanjem toplotnem ovoju stavbe

Pozitivne	Negativne
PREDNOSTI	SLABOSTI
<ul style="list-style-type: none"> - Velik potencial za URE, - višja kakovost notranjega udobja zaradi uravnoteženih temperatur v prostorih, - zmanjšanje stroškov za ogrevanje, - prispevek k zmanjšanju emisij CO₂, - lepši zunanji vizualni izgled stavbe, - povečanje odpornosti fasade na zunanje vplive, - samočistilne, pralne fasade, - manjše pregrevanje stavbe v poletnem času. 	<ul style="list-style-type: none"> - Boljša zrakotesnost in posledično manjša infiltracija zunanjega svežega zraka, - visoka investicija, - uporaba neekoloških in težje razgradljivih ali reciklabilnih materialov, - uporaba materialov z visoko »sivo« energijo, - vpliv na okolje – vpliv emisij CO₂.
PRILOŽNOSTI	NEVARNOSTI
<ul style="list-style-type: none"> - Osveščanje širše javnosti o energetski učinkovitosti, - skrb za ohranjanje okolja in varovanje naravnih virov, - razvoj novih tehnologij izvedbe in materialov, - nacionalni vidik – zmanjšanje odvisnosti od uvoza energije oziroma energentov, - možnosti pridobitev nepovratnih sredstev s strani različnih programov za sofinanciranje projektov URE in OVE, - hkratno izvajanje ostalih investicijskovzdrževalnih del, - povečano povpraševanje in s tem povečanje potreb po delovni sili – gospodarska rast, - zeleno javno naročanje – uporaba trajnih okoljsko sprejemljivih materialov. 	<ul style="list-style-type: none"> - Slaba kakovost izvedbe in posledično propadanje fasade oziroma stavbnega ovoja, - nezmožnost odplačevanja kredita (v primeru kredita za izvedbo investicije), - zmanjšanje požarne odpornosti stavbe (ob nepravilnem načrtovanju), - pojav alg na fasadnih stenah, - ob nepravilnem prezračevanju (konstantno odprta okna) se lahko ventilacijske izgube močno povečajo, - parcialna izvedba ukrepov, - zaradi dobro hermetično zaprtega ovoja in stavbnega pohištva pogosto dobimo nezdravo bivalno okolje, - poslabšano notranje bivalno in delovno okolje (dnevna svetloba slabše kakovosti, ni akustičnega stika z okolico, slabo ventiliranje ...).

Preglednica 12: Matrika prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti (SWOT matrika) za izvedbo ukrepov na strojnem ali elektroenergetskem sistemu

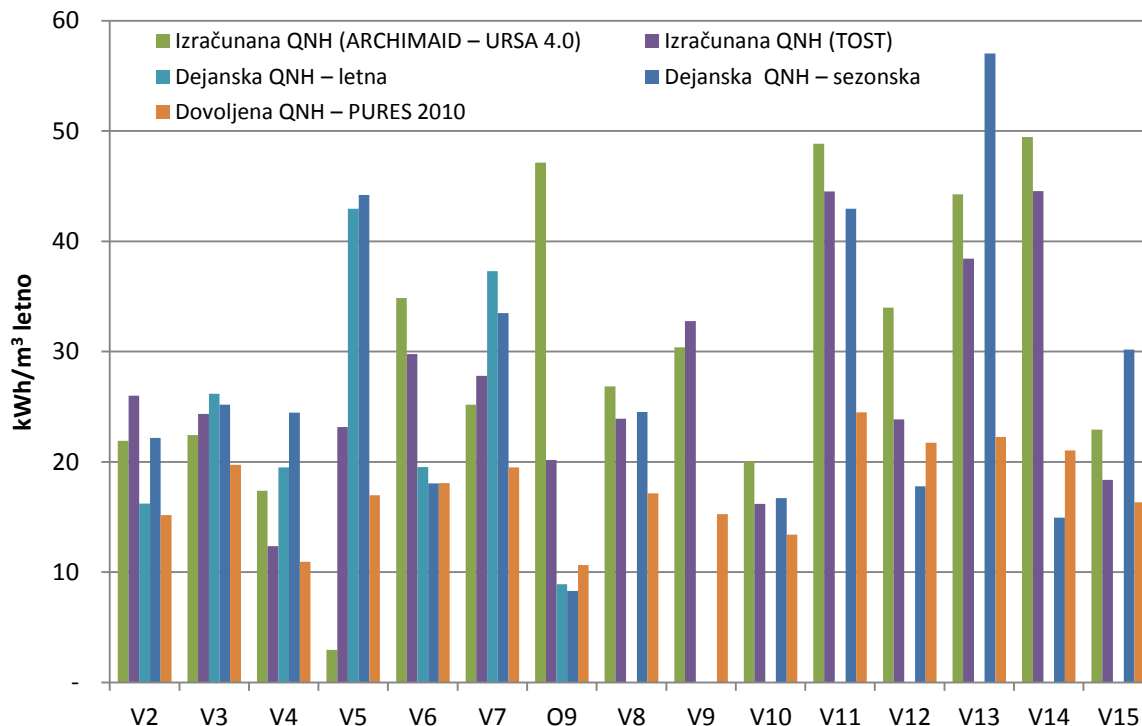
Pozitivne	Negativne
PREDNOSTI	SLABOSTI
<ul style="list-style-type: none"> - Hitra vračilna doba ukrepov, - boljši izkoristki sistemov, - manjši stroški vzdrževanja, - zamenjava energenta za ogrevanje s cenejšim, - velik potencial za URE in OVE, - boljša osvetljenost prostorov z umetno svetlobo, - pozitivni makroekonomski vplivi, - sprotno spremljanje in merjenje rabe energije, - upravljanje s toplotnimi pritoki v stavbi, - zmanjšanje izgub pri pretvorbi in prenosu energije. 	<ul style="list-style-type: none"> - Visoka investicija, - veliki posegi v stavbi (nove inštalacije), - izvedba del med počitnicami oziroma dopusti, - neenakomerna razpoložljivost OVE.
PRILOŽNOSTI	NEVARNOSTI
<ul style="list-style-type: none"> - Izraba OVE, - zmanjšanje cen energije zaradi manjšega povpraševanja, - izboljšanje bivalnega ugodja, mikroklima, osvetljenosti itd., - lažje in gospodarno upravljanje sistemov, - izraba odpadne toplote ali hladu v stavbi, - dobro energetsko upravljanje stavbe, - zadostitev zahtevam najnovejših standardov, - razvoj domače tehnologije in industrije, - nova delovna mesta, - sprotno spremljanje in merjenje rabe energije, - upravljanje s toplotnimi pritoki v stavbi, - rekonstrukcija zastarelih sistemov, - nadzorovanje mikroklima in udobja v stavbi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Izvajanje ukrepov v nepravilnem vrstnem redu (pravilen vrstni red: najprej zunanji ovoj, nato sistemi), - napačne nastavitve sistemov, - slabo izšolani uporabniki o novih sistemih v stavbi, - povečanje nivoja hrupa zaradi prebojev novih inštalacij, - parcialna izvedba ukrepov, - slabo projektirani ali izvedeni ukrepi, ki lahko še poslabšajo mikroklimo v stavbi.

5.6 Dejanska in izračunana Q_{NH} po prenovi

Podatke o dejanski letni potrebni toploti za ogrevanje po energetski prenovi smo primerjali z izračunanimi vrednostmi, pridobljenimi s pomočjo računalniških programov samo za stavbe, kjer so bili izvedeni le gradbeni ukrepi. Dejansko toplotno energijo po prenovi smo zmanjšali za toplotno energijo, ki je potrebna za pripravo TSV, kot smo to že naredili pri primerjavi letne potrebne toplote za ogrevanje pred energetsko prenovi.

Podatke o rabi energije po prenovi za leto 2014 smo pridobili iz energetskega monitoringa oziroma merilnika za merjenje porabe toplotne energije, ki je bil nameščen med prenovi stavbe ali po prenovi. Za stavbe, ki še nimajo nameščenega energetskega monitoringa, smo podatke o porabi toplote pridobili iz energetskega knjigovodstva.

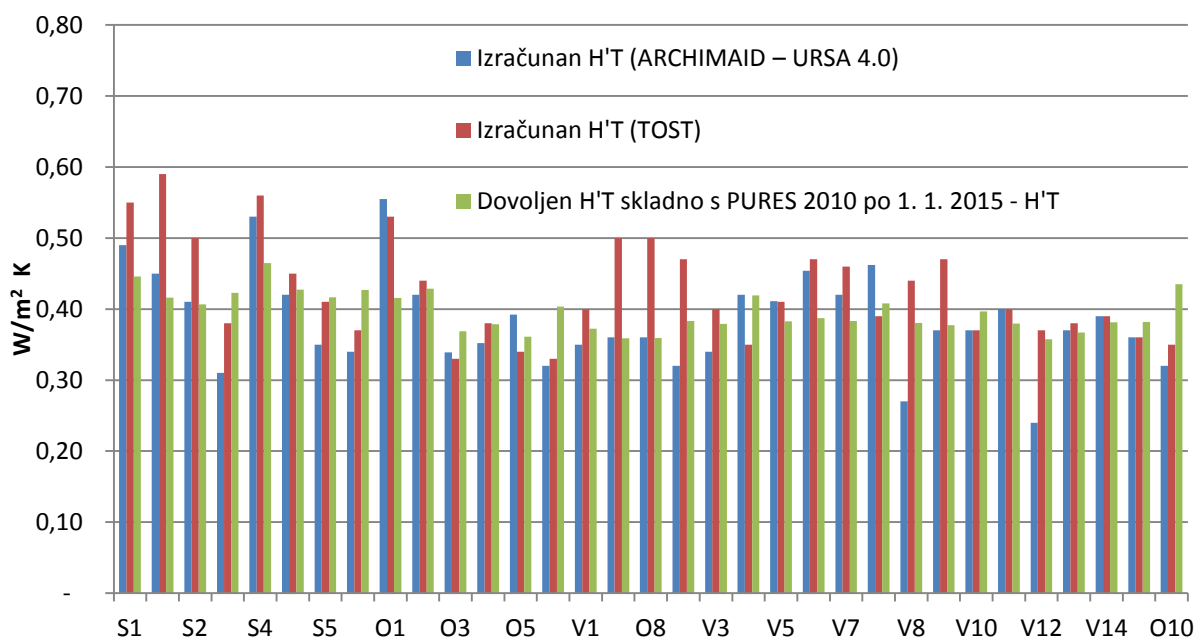
Nekatere energetske prenove stavb so se zaključile šele v septembru 2014, zato ni bilo na voljo letnih podatkov o porabljeni toplotni energiji za ogrevanje po prenovi (za leto 2014). Za te stavbe smo uporabili podatek o sezonski porabi za sezono 2014/2015 (od začetka septembra 2014 do konca maja 2015). Za stavbe od V1 do O9, katerih energetske prenove so se zaključile septembra 2013, smo uporabili podatek o potrebni toplotni energiji za ogrevanje po prenovi za zadnji dve sezoni (2013/2014 in 2014/2015).



Grafikon 19: Primerjava letne potrebne toplote za ogrevanje po prenovi

Primerjava med izračunano in dejansko Q_{NH} kaže, da so odstopanja zelo različna. Dejanska Q_{NH} nekaterih stavb se približno ujema z izračunano, pri drugih pa prihaja do velikih odstopanj. Pri stavbah V11, V12, V13 in V14 je prišlo do velikih odstopanj med izračunano Q_{NH} s programskimi orodji ARCHIMAID oziroma URSA 4.0 in TOST.

Kot vidimo na primeru stavb V12 in V14 (Grafikon 20), je mogoče ob dobrem načrtovanju in izvedbi energetske prenove samo z ukrepi na zunanjem ovoju zadostiti zahtevam za največjo dovoljeno Q_{NH} , ki jo predpisuje PURES 2010.



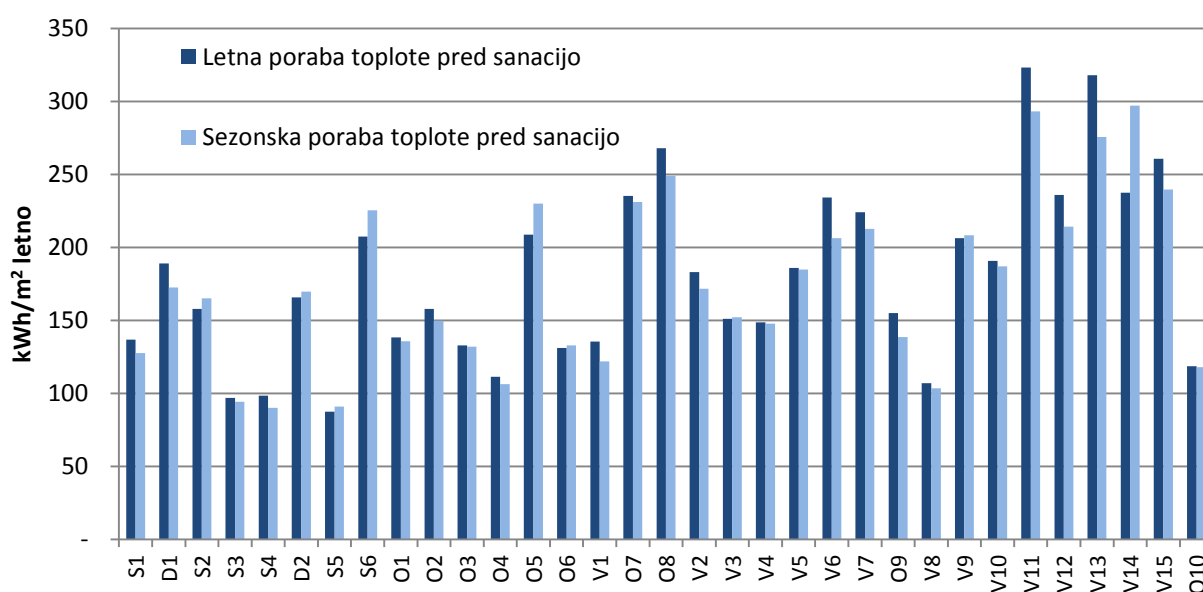
Grafikon 20: Primerjava koeficienta $H'T$ po prenovi

Iz primerjave koeficientov $H'T$ je opaziti, da kar nekaj stavb izpolnjuje zahteve PURES 2010, vendar pa prihaja do določenih razlik med izračuni z različnimi programi. Pri izračunih s pomočjo programov ARCHIMAID in URSA 4.0 kar 22 stavb od 33 izpolnjuje predpisane zahteve, medtem ko pri izračunih s pomočjo programa TOST to velja le za 12 stavb.

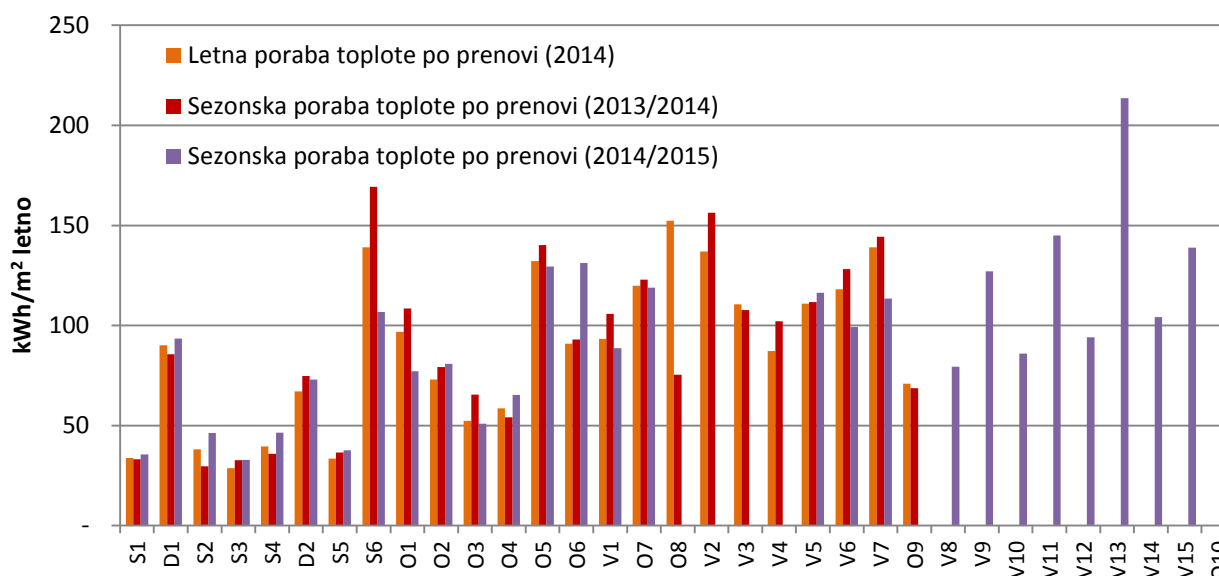
5.6.1 Dejanska letna in sezonska poraba toplotne energije

Kot smo že navedli, nam niso bili na voljo letni podatki o porabi toplotne energije za vse stavbe. V tem poglavju bi predvsem preverili, kakšna je razlika med sezonsko in letno porabo energije za stavbe, za katere sta nam bili na voljo obe vrsti podatkov. Pri tem nas zanima, kakšno je odstopanje, ali je odstopanje večje od odstopanja porabe med posameznimi leti

pred prenovo in ali lahko uporabimo podatke o sezonski porabi za primerjavo in preverjanje doseženih prihrankov energetskih prenov. V nadaljevanju sta prikazana grafikona, ki prikazujeta primerjavo med letno in sezonsko specifično dejansko porabo toplotne energije za posamezno stavbo pred prenovo (Grafikon 21) in po njej (Grafikon 22). Specifična dejanska poraba toplote je prikazana glede na kondicionirano površino obravnavanih stavb. Za sezonsko porabo smo upoštevali mesečne podatke od septembra predhodnega leta do maja naslednjega leta (npr. za sezono 2014/2015 smo upoštevali porabo od meseca septembra 2014 in do vključno meseca maja 2015). Letna in sezonska poraba pred sanacijo sta prikazani kot povprečje zadnjih treh let oziroma sezon pred prijavo na javni razpis.



Grafikon 21: Primerjava letne in sezonske porabe toplote pred prenovo stavb

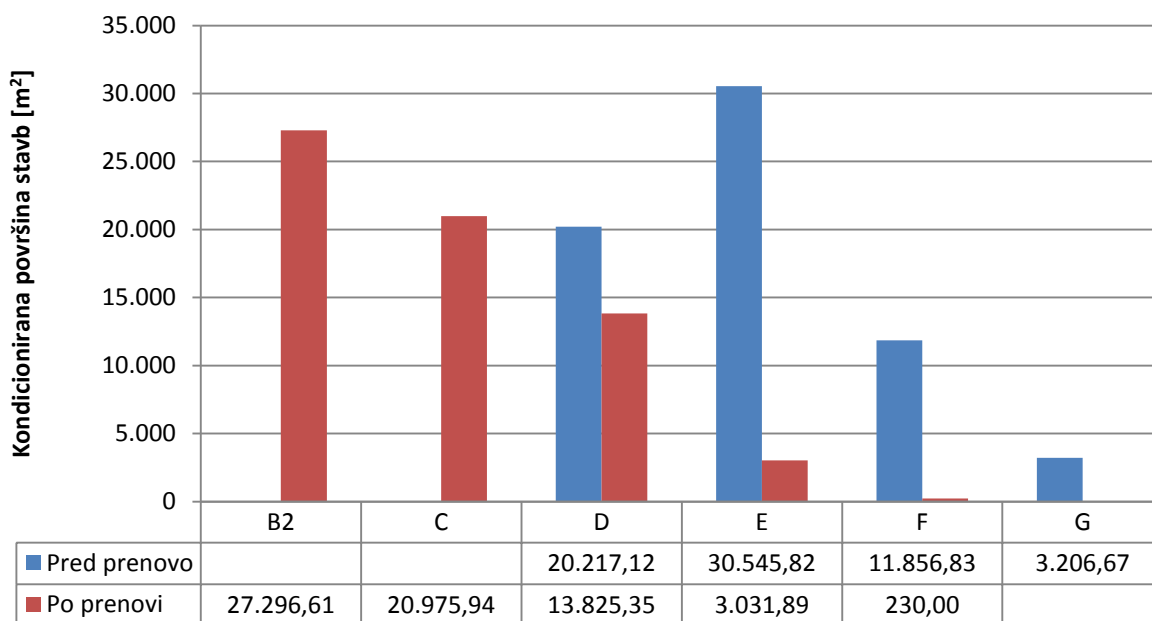


Grafikon 22: Primerjava letne in sezonske porabe toplote po prenovi stavb

Iz obeh grafikonov vidimo, da prihaja do manjših odstopanj med letno in sezonsko porabo toplotne energije. Pred prenovo je bilo največje odstopanje med letno in sezonsko pri stavbi V14, kjer je sezonska poraba večja za 59,78 kWh/m² letno oziroma 25,16 % glede na letno porabo. Skupno je za vse stavbe pred prenovo v povprečju letna poraba večja za 3 % glede na sezonsko, po prenovi pa za 3 % manjša. Če primerjamo posamezno letno porabo stavb za zadnja tri leta pred prenovo, se ta lahko razlikuje tudi za več kot 30 %. Prav tako so majhna odstopanja pri porabi energije po prenovi. Najbolj izstopa stavba O6, ki ima po prenovi sezonsko porabo večjo za 44 %.

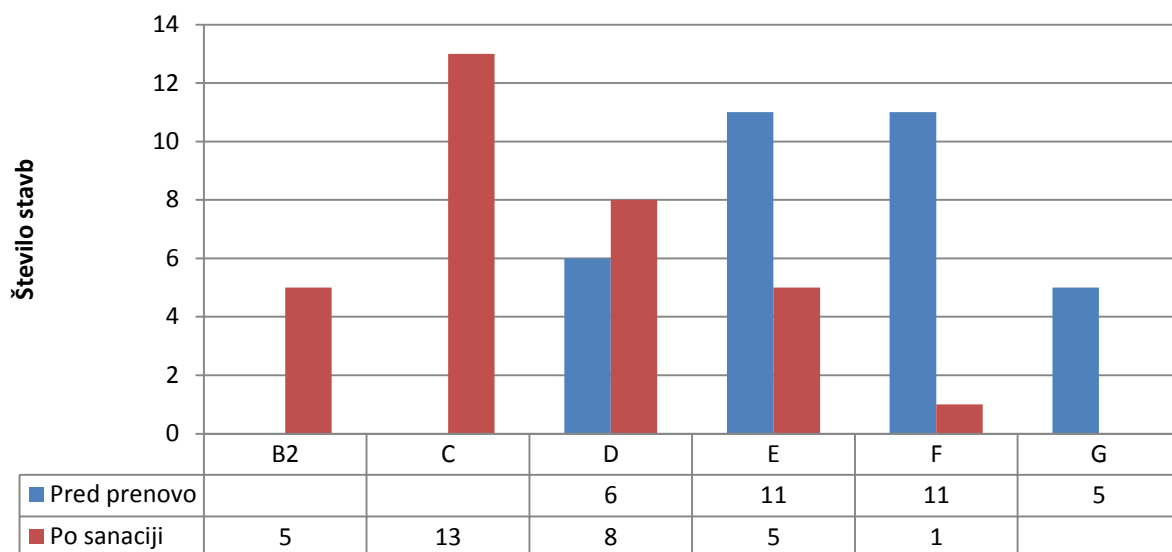
Glede na manjša odstopanja med sezonsko in letno porabo pred in po prenovi večine stavb, bomo prihranke izračunavali tudi na podlagi sezonske porabe. Za izračun dejanskih prihrankov stavb, za katere imamo podatke o letni porabi energije po sanaciji, bomo uporabili letne podatke, medtem ko bomo pri ostalih stavbah (od V8 do O10) upoštevali sezonske.

5.7 Energijski razredi stavb pred in po energetski prenovi



Grafikon 23: Energijski razredi stavb po A_k pred in po energetski prenovi

Iz Grafikona 23 je vidno, da se po prenovi stavb energetska učinkovitost stavb izboljša in da je največ kondicioniranih površin stavb v energetskem razredu B2 ($25 > Q_{NH} < 35$ kWh/m² letno).



Grafikon 24: Energijski razredi stavb glede po številu stavb pred in po energetski prenovi

Medtem ko je bilo pred prenovo največ stavb v energijskem razredu E, kar pomeni, da znaša dovedena toplotna energija med 105 in 150 kWh/m² letno, jih je po prenovi največ v razredu C ($35 > Q_{NH} < 60$ kWh/m² letno). Zanimivo je, da je po energetski prenovi še vedno nekaj stavb v energetskih razredih E in F. V povprečju so se stavbe izboljšale za 1,9 energijskega razreda, kar pomeni nekje prehod iz razreda F v razred C. Največji učinek energetske prenovne je bil viden v dveh dijaških domovih, kjer se je v povprečju energijski razred izboljšal za 3 razrede. Najslabše so se izkazale osnovne šole, kjer se je v povprečju energijski razred izboljšal za 1,5 razreda (Preglednica 13).

Preglednica 13: Povprečno izboljšanje energijskega razreda stavb po namembnosti glede na obstoječe stanje

Namembnost stavbe	Povprečna izboljšava energetskega razreda po energetski prenovi [št. razredov]
Dijaški domovi	3,00
Osnovne šole	1,50
Srednje šole	2,17
Vrtci	2,00
Skupno povprečje	1,94

6 ANALIZA UČINKOVITOSTI ENERGETSKIH PRENOV

Preverili smo, ali so bile energetske prenovne na obravnavanih stavbah učinkovite in kateri parametri vplivajo na učinkovitost energetskih prenov. Najprej je opisana analiza in nato dejavniki, ki vplivajo k energetsko učinkoviti prenovi. Vsi uporabljeni podatki o porabi po prenovi so izmerjeni po prvem letu po končani energetski prenovi.

6.1 Metodologija primerjave

Za lažjo primerjavo energetske učinkovitosti izvedenih ukrepov in prihrankov smo v diplomski nalogi uporabljali faktor odstopanja, ki ga izračunamo po naslednji enačbi:

$$p = \left(\frac{Q_{izr} - Q_{dej}}{Q_{izr}} \right) * 100 [\%], \quad (7)$$

kjer je Q_{izr} [kWh/leto] izračunana vrednost in Q_{dej} [kWh/leto] dejanska oziroma izmerjena poraba energije po izvedeni energetski prenovi stavbe. Q_{izr} po prenovi je izračunana na podlagi razlike porabljene energije pred prenovno in predvidenih prihrankov po prenovi ($Q_{izr} = Q_{pred} - Q_{prih}$). Q_{prih} je bila določena na podlagi izračunov gradbene fizike, narejenih s strani projektantov, in ocenjena s strani posameznih projektantov za strojne ukrepe. S faktorjem odstopanja bomo lažje primerjali uspešnost energetskih prenov kot tudi izvedenih ukrepov.

Za lažjo predstavitev dobljenih rezultatov s pomočjo faktorja odstopanja si lahko pomagamo z naslednjimi izrazi:

- če je $Q_{izr} = Q_{dej}$ in $p = 0$, pomeni, da je dejanska poraba enaka ocenjenim vrednostim – prihranek je enak ocenjenemu (točka na grafikonih se nahaja na linearni črni črti, ki označuje, da je dejanski prihranek enak ocenjenemu);
- če je $Q_{izr} > Q_{dej}$ in $p < 0$, pomeni, da je dejanska poraba manjša od ocenjene – prihranek je večji od ocenjenega (točka na grafikonih se nahaja pod linearno črno črto);
- če je $Q_{izr} < Q_{dej}$ in $p > 0$, pomeni, da je dejanska poraba večja od ocenjene – prihranek je manjši od ocenjenega (točka na grafikonih se nahaja nad linearno črno črto).

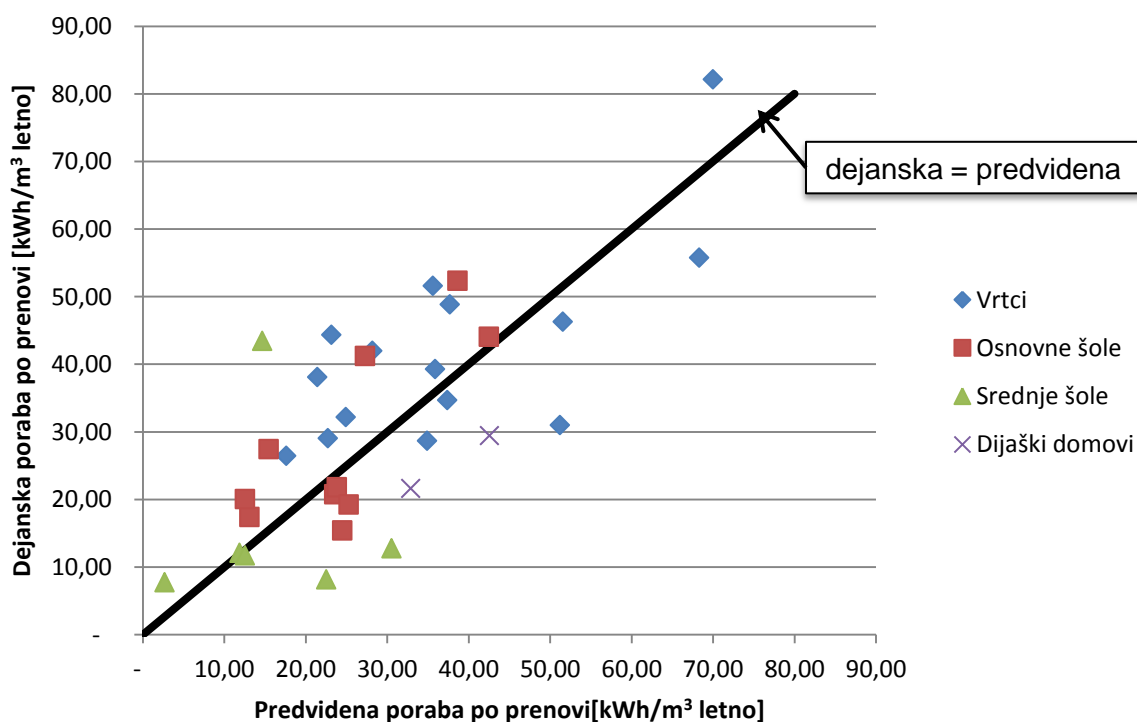
V kolikor je $p > 0$, lahko hitro sklepamo o uspešnosti energetskih prenov oziroma o uspešno izvedenih ukrepih, vključno z vplivom energijske osveščenosti uporabnikov.

Sedaj bomo lahko lažje med seboj primerjali tudi različne parametre, ki bi lahko vplivali na boljšo energetsko prenovo. Mednje smo tako uvrstili leto izgradnje, stroške izvedbe, izdelovalce projektne dokumentacije in vrsto stavbe.

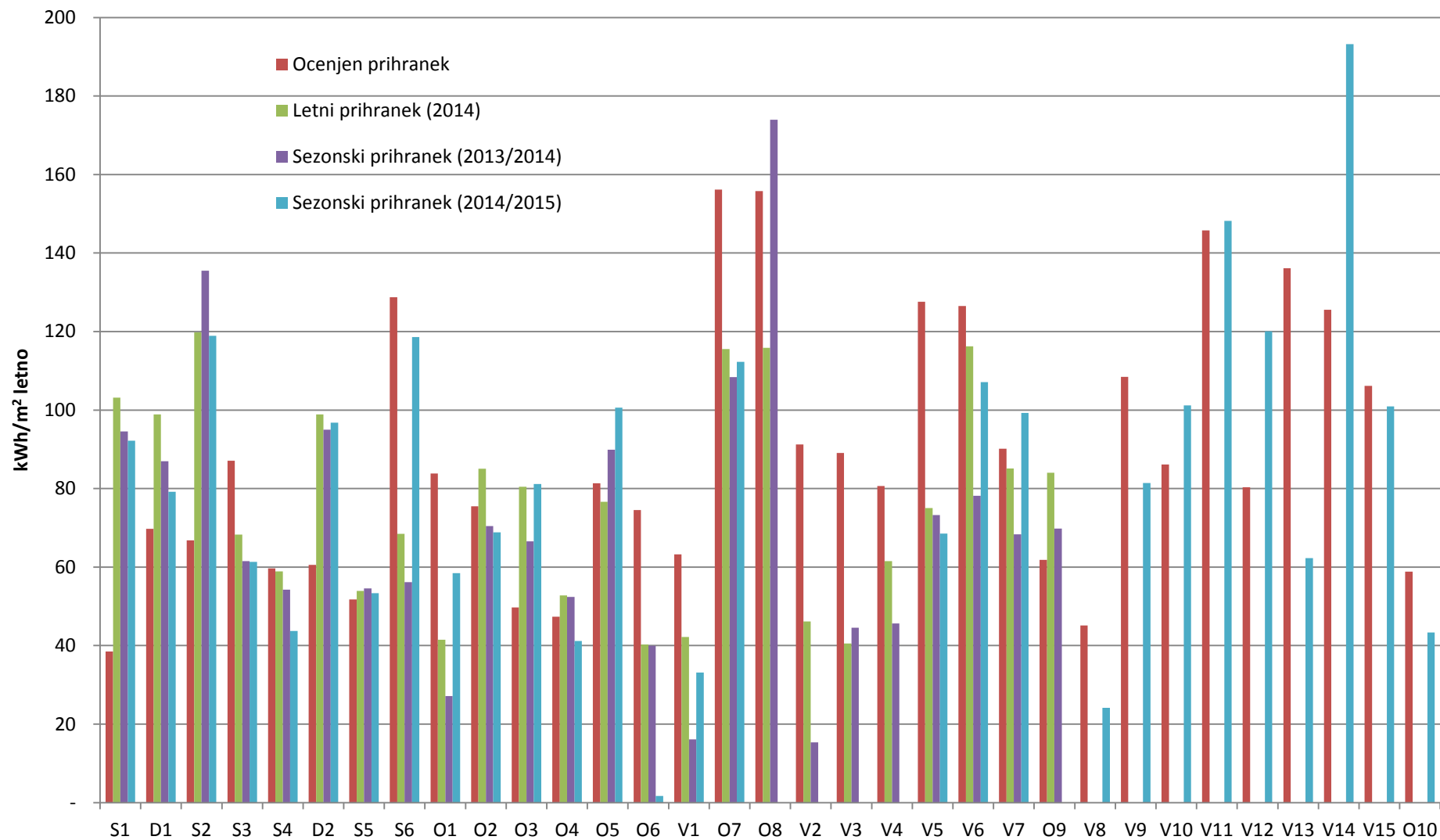
6.2 Prihranki energetskih prenov za posamezne obravnavane stavbe

Ocenjeni oziroma izračunani prihranki za posamezne stavbe so bili ocenjeni s strani strokovnjakov za posamezna področja. Prihranki za gradbene ukrepe oziroma ukrepe na zunanjem ovoju stavbe so bili ocenjeni s pomočjo programov ARCHIMAID ali URSA 4.0. Dejanski ocenjeni prihranki so bili nato aproksimirani glede na dejansko porabo toplotne energije pred prenovo. Večino prihrankov na stavbi so predstavljali ukrepi na zunanjem ovoju. Ocenjeni in dejanski prihranki za posamezno stavbo so prikazani na Grafikonu 26.

Na Grafikonu 25 lahko vidimo odstopanje med predvideno in dejansko letno porabo toplotne energije po prenovi (glede na namembnost stavbe). V kolikor je oznaka na grafikonu pod črno črto, je bila energetska prenova uspešna in pomeni, da je dejanska poraba manjša od predvidene. Iz grafikona lahko hitro preštejmo, da je bilo učinkovito energetsko prenovljenih naslednje število stavb (glede na njihovo namembnost): 5 vrtcev od 15, 4 osnovne šole od 10, 3 srednje šole od 6 in 2 dijaška domova od 2. Skupno je bilo od 33 stavb uspešno prenovljenih le 14 stavb.



Grafikon 25: Primerjava med dejansko in predvideno porabo toplotne energije po prenovi

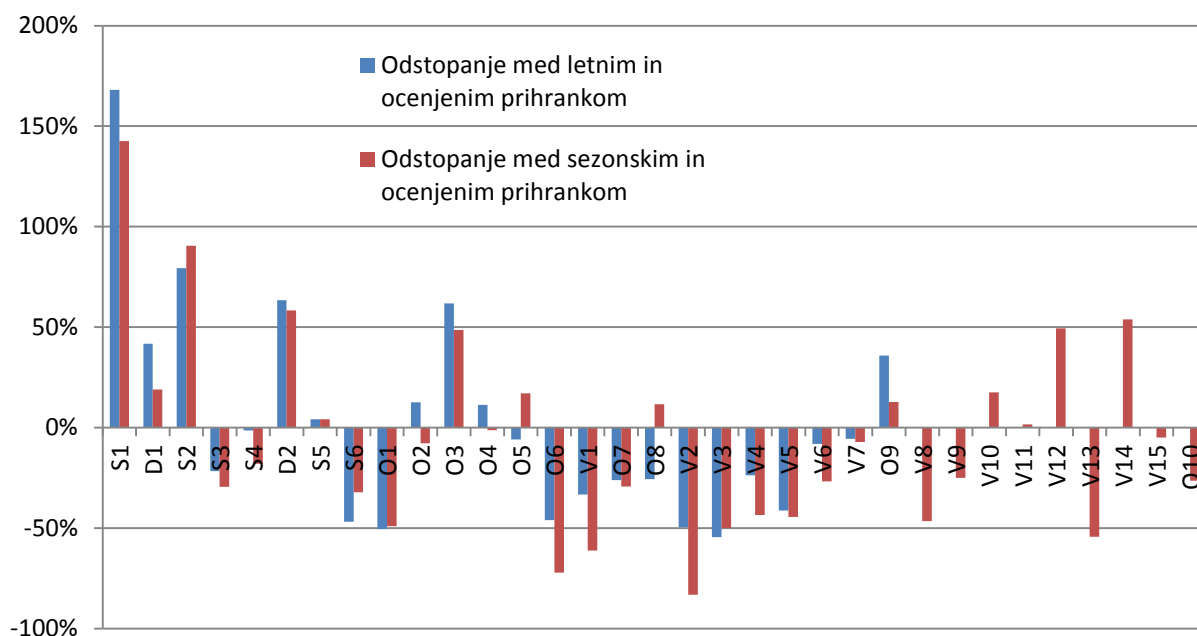


Grafikon 26: Ocenjeni in dejanski prihranki pri porabi toplotne energije v stavbah

V Grafikonu 26 smo ocenjene prihranke toplotne energije v obravnavanih stavbah primerjali z dejanskimi. Dejanski prihranki so bili pri nekaterih stavbah veliko večji, kot so bili ocenjeni, medtem ko so po drugi strani za nekatere stavbe veliko manjši od ocenjenih. Pri stavbah V1 do V15, kjer so bili izvedeni samo gradbeni ukrepi, ima večje prihranke od načrtovanih samo 5 stavb oziroma 28 %. Pri stavbah od S1 do O6 in stavbi O10 so bili poleg gradbenih ukrepov izvedeni tudi ukrepi na prezračevalnem in ogrevalnem sistemu. Pri teh ima kar 8 stavb od 13 (kar predstavlja 53 % stavb) večje prihranke od pričakovanih.

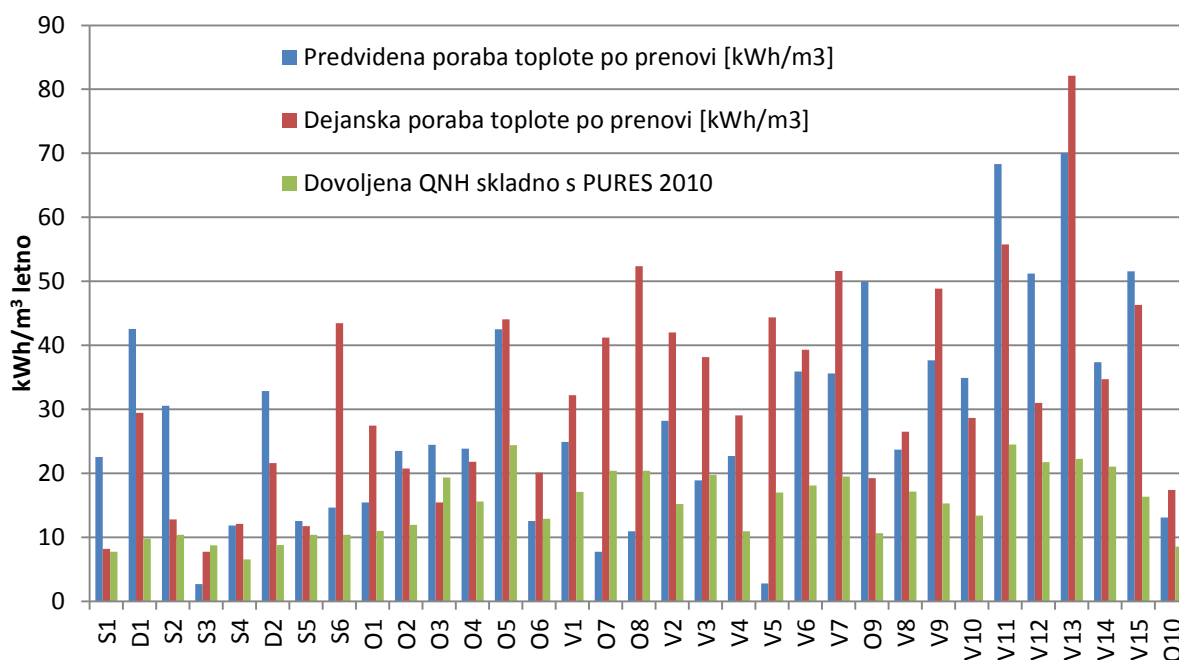
Prihranki pri toplotni energiji so torej večji pri stavbah, kjer se je izvajala celovita energetska prenova. Sklepamo lahko, da omogočajo celovite energetske prenove pozitiven učinek medsebojnega delovanja vseh izvedenih ukrepov, saj se le-ti med seboj dopolnjujejo.

Na stavbi S2 je bila izvedena celovita energetska prenova; izvedeni so bili ukrepi na zunanjem ovoju, ogrevalnem sistemu (prenova kotlovnice in zamenjava energenta – sekanci) in prezračevalnem sistemu. Prihranki toplotne energije so pri tej stavbi večji za 64,7 kWh/m² letno oziroma za 79 % glede na ocenjene prihranke. Letna potrebna toplota za delovanje stavbe se je tako zmanjšala za faktor 8 oziroma za 80 % glede na porabo pred prenovo. Večji dejanski prihranki se pojavijo pri stavbah S1, D1, S3, D2 in O3, ki so bile celovito sanirane (sanacija je vključevala tudi zamenjavo kotla in energenta za proizvodnjo toplotne energije).



Grafikon 27: Odstopanje ocenjenega in dejanskega prihranka obravnavanih stavb

Pred samo raziskavo smo pričakovali, da bo le nekaj ocenjenih prihrankov energetskih prenov večjih od dejanskih. Iz grafikonov 27 in 25 lahko razberemo, da kar 19 stavb od 33 (57 %) ne dosega prihrankov, zastavljenih pred prenovo. So pa pri nekaterih stavbah dejanski prihranki mnogo večji od pričakovanih, in sicer predvsem pri stavbah S1, D1, S2, D2, O3, O9, V12 in V14, saj njihovi dejanski prihranki presegajo več kot 30 % ocenjenih prihrankov. Iz Grafikona 26 lahko sklepamo, da so ocenjeni računski prihranki, pridobljeni s pomočjo računalniških programov, nezanesljivi in ponekod tudi napačni oziroma celo zavajajoči. Načrtovanju energetske prenove stavbe je zato potrebno posvetiti veliko pozornosti in upoštevati vse dejavnike, ki bi lahko morebiti vplivali na zmanjšanje prihrankov. Napačno izračunane prihranke je namreč po prenovi stavbe težje zagotoviti, kot če to upoštevamo že na začetku pri izdelavi projekta, še posebej, kadar je projekt odvisen od nepovratnih sredstev ali subvencij.



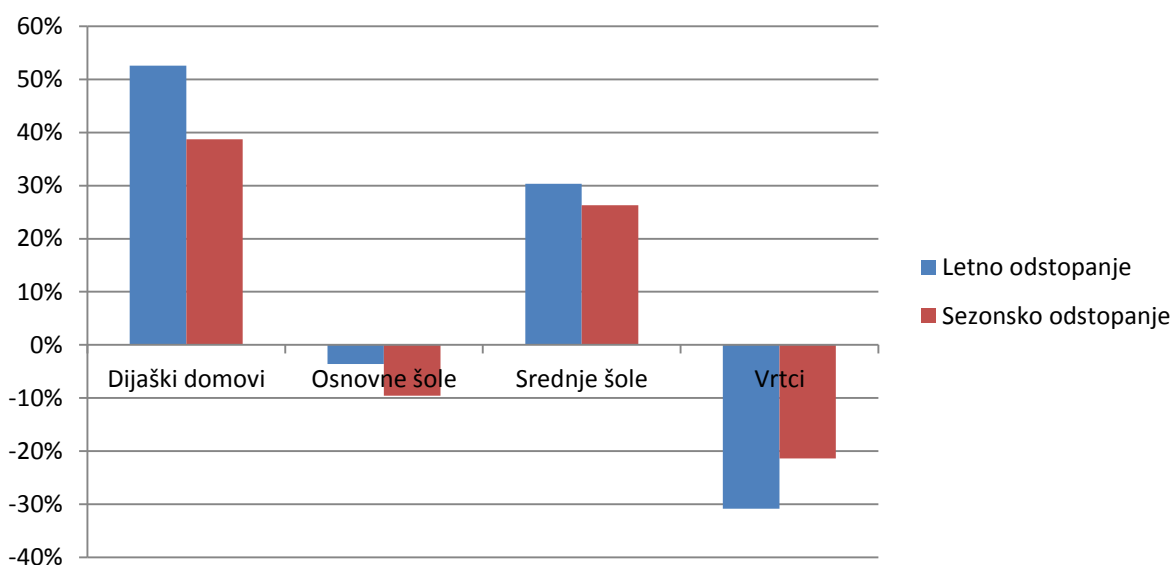
Grafikon 28: Primerjava predvidene in dejanske toplotne energije po energetski prenovi

Grafikon 28 prikazuje izračunane in dejanske letne potrebne toplotne energije za delovanje stavb po energetskih prenovah. Najbolj izstopa stavba S3, za katero se je predvidela raba toplotne energije po prenovi pod 2,8 kWh/m³ (PURES 2010 zahteva 8,76 kWh/m³). Predpostavljena poraba toplotne energije je težko dosegljiva, saj odstopa kar za 5,07 kWh/m² oziroma 39.691 kWh/leto. Poleg tega iz grafikona opazimo, da kar 31 stavb od 33 (94 %) ne izpolnjujejo zahtev po PURES 2010, kar velja tako za projektirano porabo kot tudi za dejansko porabo toplotne energije po prenovi. Glede na to, da večina obravnavanih stavb

ne dosega zahtev PURES 2010, bo potrebno novim energetskim prenovam javnih stavb nameniti še dodatno pozornost. Še posebno zato, ker bo potrebno pri njihovih prenovah slediti smernicam v skoraj ničenergijsko stavbo, kot nam to narekuje Direktiva EPBD-r [23].

6.3 Rezultati analize učinkovitosti energetskih prenov

Rezultati analize energetske učinkovite prenov oziroma izvedenih ukrepov na 33 stavbah so prikazani v nadaljevanju.



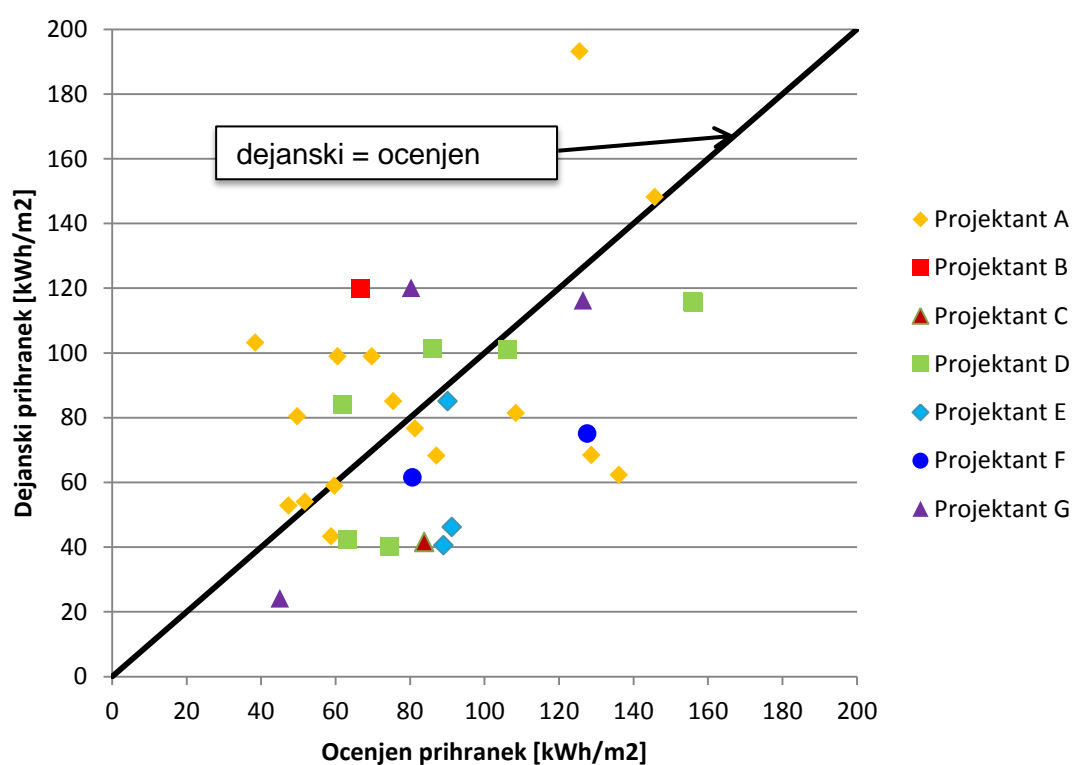
Grafikon 29: Vpliv tipa stavbe glede na dejanske energetske prihranke

Negativne vrednosti v Grafikonu 29 pomenijo, da je dejanski prihranek kot posledica energetske prenove manjši od predvidenega. Na podlagi tega diagrama lahko sklepamo, da tip stavbe vpliva na učinkovitost energetskih prenov. Dijaški domovi in srednje šole so tako najbolj primerni za energetske prenovе, medtem ko so osnovne šole manj primerne, še najmanj pa vrtci, kar pomeni, da moramo tem stavbam pri projektiranju nameniti še posebno pozornost.

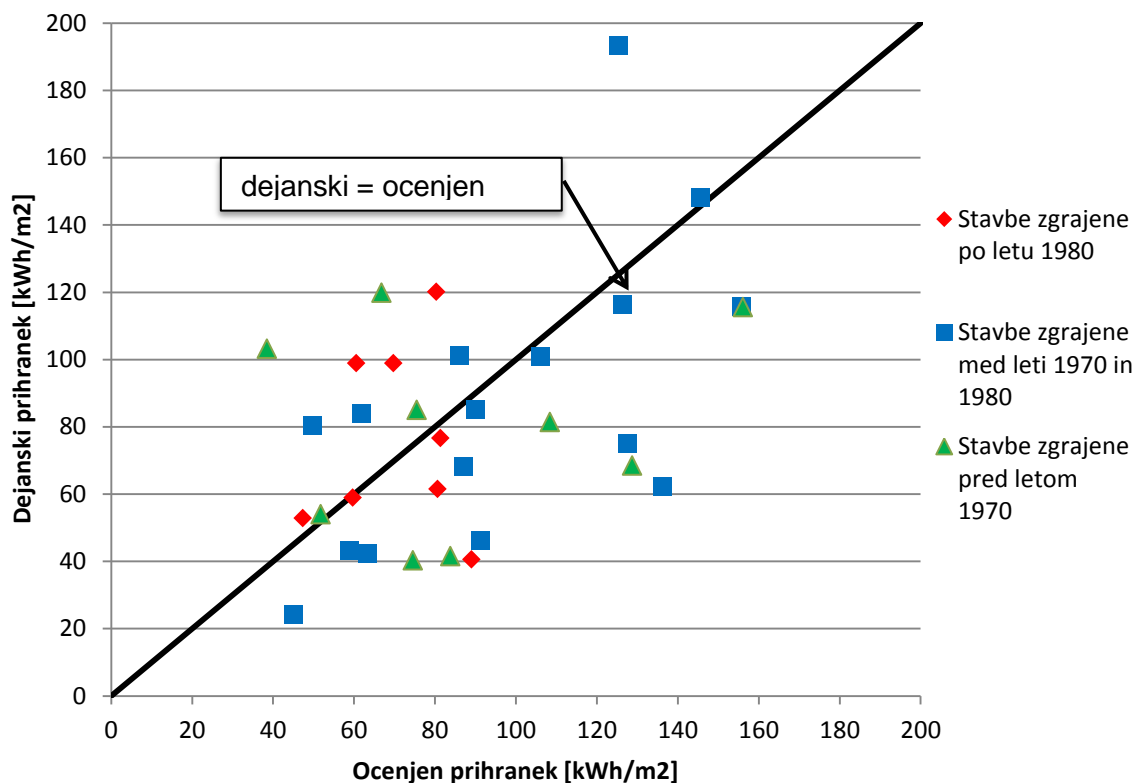
Preverili smo tudi uspešnost posamezne energetske prenove stavbe glede na izračun posameznega projektanta (Grafikon 30). Prišli smo do ugotovitve, da je bilo največ uspešnih energetskih prenov izvedenih s strani projektantov A in B. Projektant B je izvedel samo eno simulacijo za energetske prenovе, in sicer za stavbo S2, ki ima dejanske prihranke mnogo večje od izračunanih. Naslednji projektant, ki je tudi pozitivno ocenjen in je izvedel največ

simulacij, je projektant A. Njegova uspešnost znaša 53 %, kar predstavlja uspešnost pri 6 od 13 stavb.

Nekatere uspešne energetske prenove – glede na slabe izračune energetske bilance – lahko morda pripišemo medsebojnemu delovanju več izvedenih ukrepov (gradbeni, strojni in elektro ukrepi), dobri izvedbi ukrepov in slabemu upravljanju stavbe pred sanacijo (slednje ni vidno v izračunih zaradi napačno izbranih robnih pogojev). Prav tako bi lahko na večjo učinkovitost energetske prenove vplivalo dobro upravljanje stavbe po sanaciji, saj morajo upravljavci oziroma lastniki stavb dosegati zastavljene kazalnike energetske učinkovitosti, navedene v prijavnem obrazcu. V nasprotnem primeru je namreč v najslabšem scenariju potrebno celo vrniti vsa nepovratna sredstva.



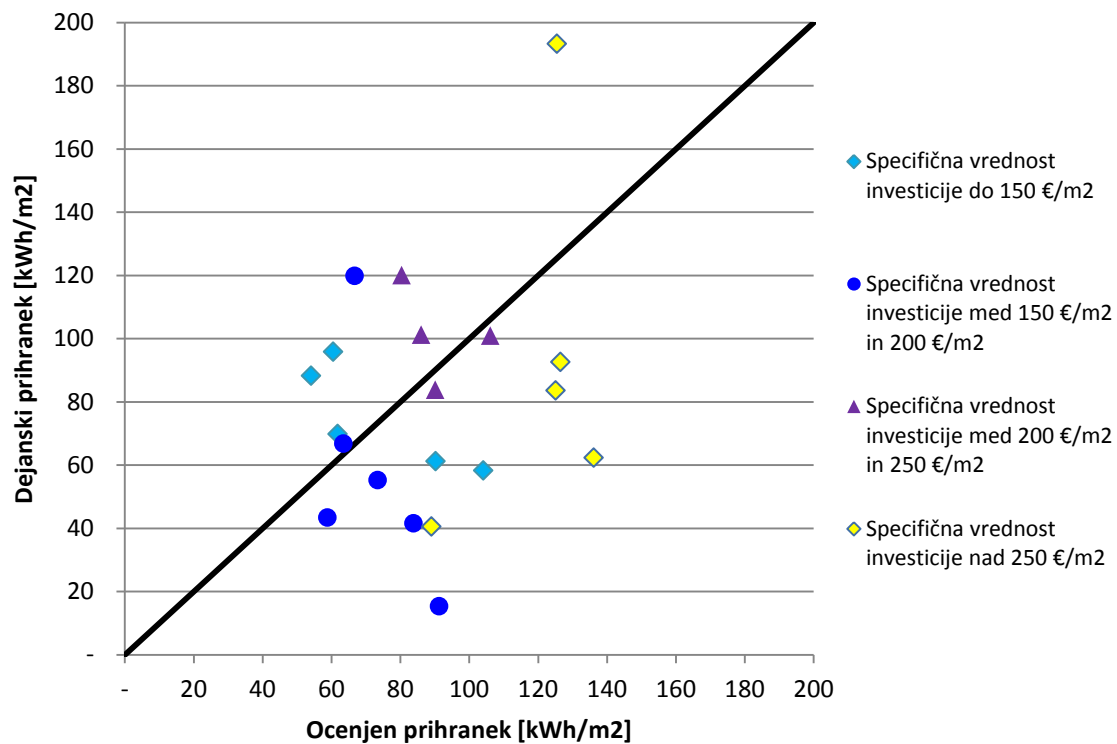
Grafikon 30: Vpliv projektanta na doseganje energetskih prihrankov



Grafikon 31: Vpliv leta izgradnje stavbe na doseganje energetskih prihrankov

Iz Grafikona 31 vidimo, da leto izgradnje stavbe ne vpliva na doseganje zastavljenih prihrankov. Medtem ko imajo stavbe zgrajene pred letom 1970 in po letu 1980 polovično uspešnost (polovico stavb zgrajenih v tem obdobju presega zastavljene prihranke), pa imajo stavbe zgrajene med leti 1970 in 1980 slabšo uspešnost, saj zastavljene kazalnike dosega oziroma presega samo 5 stavb od 16-ih.

Grafikon 32 prikazuje vpliv specifične vrednosti investicije na uspešnost izvedbe energetske prenove. Točke na grafikonu predstavljajo projekte, ki so navedeni v Preglednici 14. Pričakovano je bilo, da bo specifična vrednost investicije imela vpliv na doseganje prihrankov, saj bi morale stavbe z večjo investicijo (vgrajeni so bili dražji in kvalitetnejši materiali) lažje dosegati zastavljene prihranke. Iz grafikona pa je razvidno ravno nasprotno, da specifična vrednost investicije na m^2 kondicionirane površine nima vpliva na učinkovitost energetskih prenov. Najbolj energetsko učinkovite prenove so predstavljale stavbe oziroma projekti, ki so imeli specifično vrednost investicije pod 150 €/m^2 .



Grafikon 32: Enostavna in diskontirana vračilna doba projektov energetskih prenov

7 EKONOMSKO VREDNOTENJE ENERGETSKIH PRENOV

Pri energetskih prenovah stavb niso pomembni samo energetski, ampak tudi finančni in ekonomski učinki investicij v prenavo. Za investitorje so ti prihranki, poleg začetne investicije in dobe vračanja, odločilni za izvedbo projekta. Energetske preнове vseh obravnavanih stavb so sofinancirane z nepovratnimi sredstvi, zato so bili začetni investitorjevi finančni vložki manjši, saj so zmanjšani za vrednost nepovratnih sredstev. S tem so posledično tudi vračilne dobe kratke, zaradi česar izvedba energetske preнове stavb ni bila vprašljiva.

V splošnem se pri preverbi izvedljivosti projektov uporabljata dve analizi, in sicer ekonomska in finančna. Razlika med ekonomsko in finančno analizo je, da je ekonomska izdelana z vidika celotne družbe, medtem ko finančna predstavlja samo koristi lastnika kapitala. Denarni tokovi iz finančne analize se štejejo kot izhodišče za ekonomsko analizo. Bistvo ekonomske analize je zagotoviti, da ima projekt pozitivne neto koristi za družbo, medtem ko ima finančna analiza pozitiven vpliv samo na denarni tok oziroma pozitivno stanje financ po koncu projekta.

V nadaljevanju bomo izračunali dobe vračanja investicije v energetsko prenavo posameznih projektov. Podatke o projektih smo pridobili s strani projektantskih podjetji, ki so sodelovala pri izvedbi energetskih prenov. Nekatere obravnavane stavbe, ki so iz istega območja, so prijavljene kot skupen projekt. Finančno analizo v nadaljevanju tako izdelujemo na nivoju projektov in ne na nivoju stavb, saj so bili na voljo samo podatki za posamezen projekt. Preglednica 14 [66] prikazuje stavbe, ki so vključene v posamezen projekt, in dejanske vrednosti izvedbe projekta. Vrednost investicije predstavlja vrednost vseh gradbeno-obrtniško-inštalaterskih del (GOI dela) ter stroške gradbenega in projektantskega nadzora brez davka na dodano vrednost (DDV). Vsi ti stroški so spadali pod upravičene stroške za pridobitev nepovratnih sredstev. Zneski prijavnne, projektne in investicijske dokumentacije in DDV-ja niso upoštevani v vrednosti projekta.

Preglednica 14: Stroškovna vrednost izvedbe energetske preнове javnih stavb

Št. proj.	Dejanski prihranki [kWh]	Kondicionirana površina [m ²]	Dejanska poraba pred prenavo [kWh]	Vrednost investicije brez DDV [€]	Lastni delež z DDV [€]	Specifična vrednost investicije [€/m ²]	Specifična investicija na prihranjeno kWh [€/kWh]
S1	185.788,40	4.828,00	633.839,36	991.978,18	113.247,40	135,56	2,76
D1	173.721,60	2.489,56	498.016,64				
S2	185.600,00	2.779,00	439.140,00	460.799,04	60.161,33	165,81	2,48

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 14.

Št.	Dejanski prihranki [kWh]	Kondicionirana površina [m ²]	Dejanska poraba pred prenovo [kWh]	Vrednost investicije brez DDV [€]	Lastni delež z DDV [€]	Specifična vrednost investicije [€/m ²]	Specifična investicija na prihranjeno kWh [€/kWh]
S2	185.600,00	2.779,00	439.140,00	460.799,04	60.161,33	165,81	2,48
S3	183.839,00	2.111,12	204.680,00	1.922.920,62	419.079,36	158,30	2,46
S4	599.171,00	10.035,98	988.423,73				
D2	341.550,00	5.641,75	916.550,00	840.833,23	98.762,42	149,04	2,46
S5	242.351,80	4.679,76	409.600,00	724.751,60	174.382,32	127,87	1,96
S6	127.182,20	988,02	173.532,33				
O1	206.190,00	2.459,56	340.220,00	437.184,31	150.732,00	177,75	2,12
O2	386.400,00	5.118,32	808.513,69	1.007.068,65	200.992,08	161,34	2,24
O3	17.000,00	342,00	45.440,00				
O4	25.100,00	529,76	59.050,00				
O5	20.480,00	251,68	52.560,00				
O6	169.940,00	2.279,48	299.229,00	ni podatka	ni podatka	ni podatka	ni podatka
V1	51.590,00	815,36	110.510,00	353.000,34	138.917,67	276,78	2,86
O7	35.910,00	230,00	54.160,00				
O8	35.830,00	230,00	61.676,67				
V2	123.750,00	1.355,90	248.399,63	251.959,62	71.015,25	185,82	2,04
V3	119.880,00	1.346,13	203.421,93	353.513,04	128.672,27	262,61	2,95
V4	128.000,00	1.587,44	236.063,07	213.866,81	83.245,74	117,80	1,36
V5	29.090,00	228,00	42.286,67				
V6	114.390,00	904,42	211.968,17	228.173,34	93.827,12	252,29	1,99
V7	112.490,00	1.247,75	232.194,85	269.992,46	105.147,87	216,38	2,40
O9	157.860,00	2.552,43	395.732,74	319.850,84	144.320,24	125,31	2,03
V8	55.000,00	1.219,00	119.430,00	ni podatka	ni podatka	ni podatka	ni podatka
V9	50.610,00	466,65	96.310,00	ni podatka	ni podatka	ni podatka	ni podatka
V10	119.700,00	1.390,00	265.230,00	316.696,13	132.122,95	227,84	2,65
V11	104.810,00	719,10	232.523,31	ni podatka	ni podatka	ni podatka	ni podatka
V12	59.560,00	741,15	174.857,00	178.927,93	74.859,38	241,42	3,00
V13	114.770,00	843,00	268.186,67	260.870,16	73.382,08	309,45	2,27
V14	46.520,00	370,60	88.040,00	178.268,59	81.813,37	481,03	3,83
V15	125.740,00	1.184,48	308.870,71	248.962,11	100.107,82	210,19	1,98
O10	227.130,00	3.860,95	443.545,50	630.234,77	214.146,14	163,23	2,77

Iz Preglednice 14 je razvidno, da najmanjši stroškovni prihranek glede na investicijo doseže projekt energetske prenove stavbe V14, saj je bilo treba investirati 3,83 EUR za dejansko prihranjeno kWh. Največji stroškovni prihranek je dosegel projekt energetske prenove za stavbi V4 in V5. Na izbranem vzorcu stavb je investicija v povprečju znašala 2,43 EUR/kWh prihranka in 207,29 EUR/m² kondicionirane površine.

7.1 Analiza vračilnih dob

Poznamo več vrst metod za vrednotenje uspešnosti investicijskih projektov. V splošnem jih delimo na statične in dinamične metode. Med statične metode spadajo tiste, ki ne upoštevajo življenjske dobe, časovne vrednosti denarja in investicijskih izdatkov. Statične metode so manj natančne, ne upoštevajo neposrednih vplivov znotraj projekta in podajo grobo oceno učinkovitosti projekta. Med dinamične metode ocenjevanja investicij štejemo tiste metode, ki upoštevajo tudi vrednost denarja v času in odpravljajo tovrstne probleme s pomočjo diskontne stopnje [83].

V nadaljevanju bomo za izbrane projekte izračunali vračilno dobo investicije s pomočjo statične in dinamične metode. Pri statični metodi smo se odločili za enostavno dobo vračanja ali enostavno vračilno dobo, saj gre za eno najbolj preprostih metod za oceno investicij [83]. Za oceno uspešnosti investicije po dinamični metodi pa smo izbrali diskontno dobo vračanja (metoda po neto sedanji vrednosti), saj je ta metoda izjemno učinkovita in razširjena v vseh oblikah napovedovanj v ekonomiji [84].

Enostavna vračilna doba (EVD)

Glavno merilo za uspešnost investicije je čas, v katerem se investicija preko donosov, v tem primeru stroškovnih prihrankov, povrne. V uporabljeni metodi enostavne vračilne dobe bomo tako upoštevali le začetne investicijske stroške in končne stroškovne letne prihranke v EUR, ki znašajo 0,07 EUR/kWh (ocenjena vrednost = povprečni strošek toplotne energije na kWh pred prenovo). Ti izračuni se zelo pogosto uporabljajo pri izdelavi poročil o energetskih pregledih stavb, saj lahko s hitro in enostavno analizo določimo dobe vračanja investicij za posamezen ukrep. Enostavno vračilno dobo ukrepov oziroma prenov izračunamo tako, da celotne stroške investicije delimo z letnimi stroškovnimi prihranki.

$$EVD = \frac{S}{\Delta P} [\text{leta}], \quad (8)$$

kjer je:

- **S** – začetna investicija/stroški investicije [EUR],
- **ΔP** – letni prihranki [EUR].

Diskontna doba vračanja (DisDV) – neto sedanja vrednost

Metoda neto sedanje vrednosti (NSV, angl. Net Present Value) temelji na razlikah med diskontiranim tokom vseh koristi in vseh stroškov investicije. Metoda NSV odpravlja nekatere večje slabosti statičnih metod ter ocenjuje stroške in koristi za prihodnja leta tako, da jim

zmanjša prihodnjo vrednost (diskontira) na sedanjo vrednost. To pomeni, da je 1 EUR v prihodnosti vreden manj kot 1 EUR v trenutnem času. Torej upoštevamo dejstvo, da je koristnost 1 EUR danes večja kakor 1 EUR jutri [85].

V nadaljevanju prikazujemo izračun NSV, na podlagi katerega bomo izračunali diskontno dobo vračanja za posamezno stavbo. V izračunih smo uporabili 3 % diskontno stopnjo za stroškovne prihranke, saj je 7 % diskontna stopnja preveč optimistična, vračilne dobe pa predolge. 7 % diskontna stopnja se sicer uporablja pri ekonomskih analizah za projekte, ki so sofinancirani s strani evropskih skladov. Letne inflacije v izračunih nismo upoštevali, enako velja tudi za vzdrževanje.

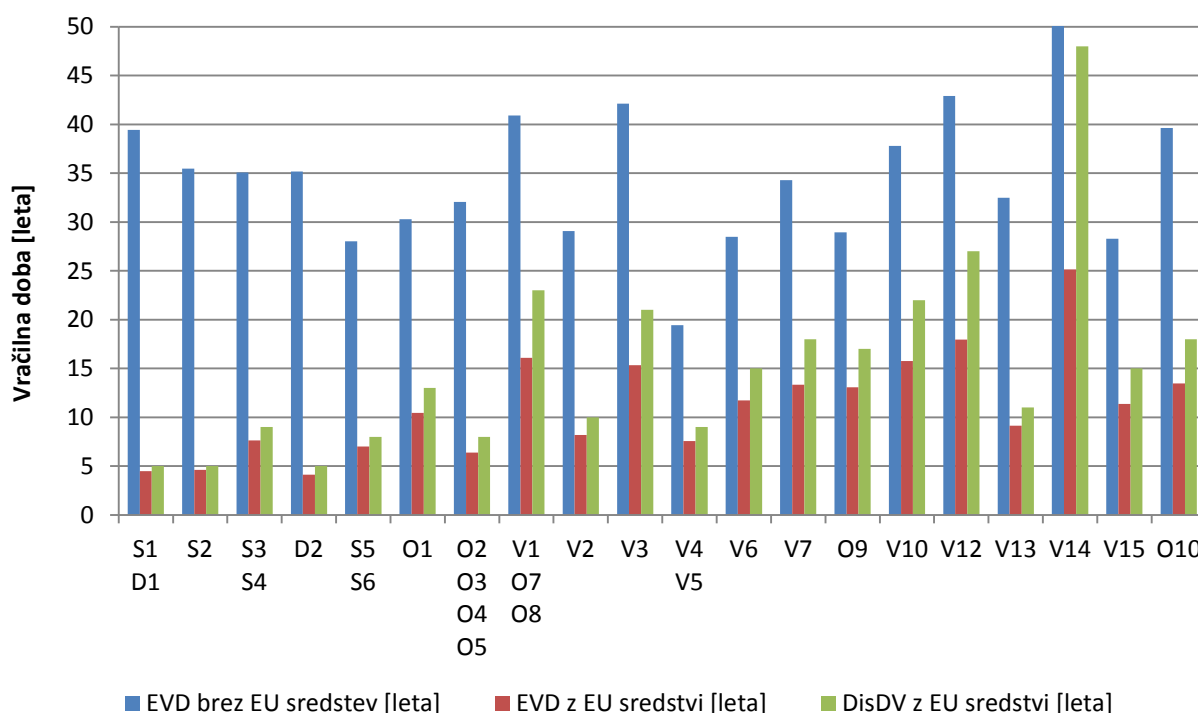
Diskontno vračilno dobo smo izračunali na naslednji način:

$$NSV_n = - \text{začetna investicija} + \sum_{t=1}^n \frac{\text{stroškovni letni prihranki}}{\text{diskontna stopnja } (t)} \quad (9)$$

$$NSV_n \geq 0; \Rightarrow n = \text{število let diskontne dobe vračanja investicije}, \quad (10)$$

kjer je:

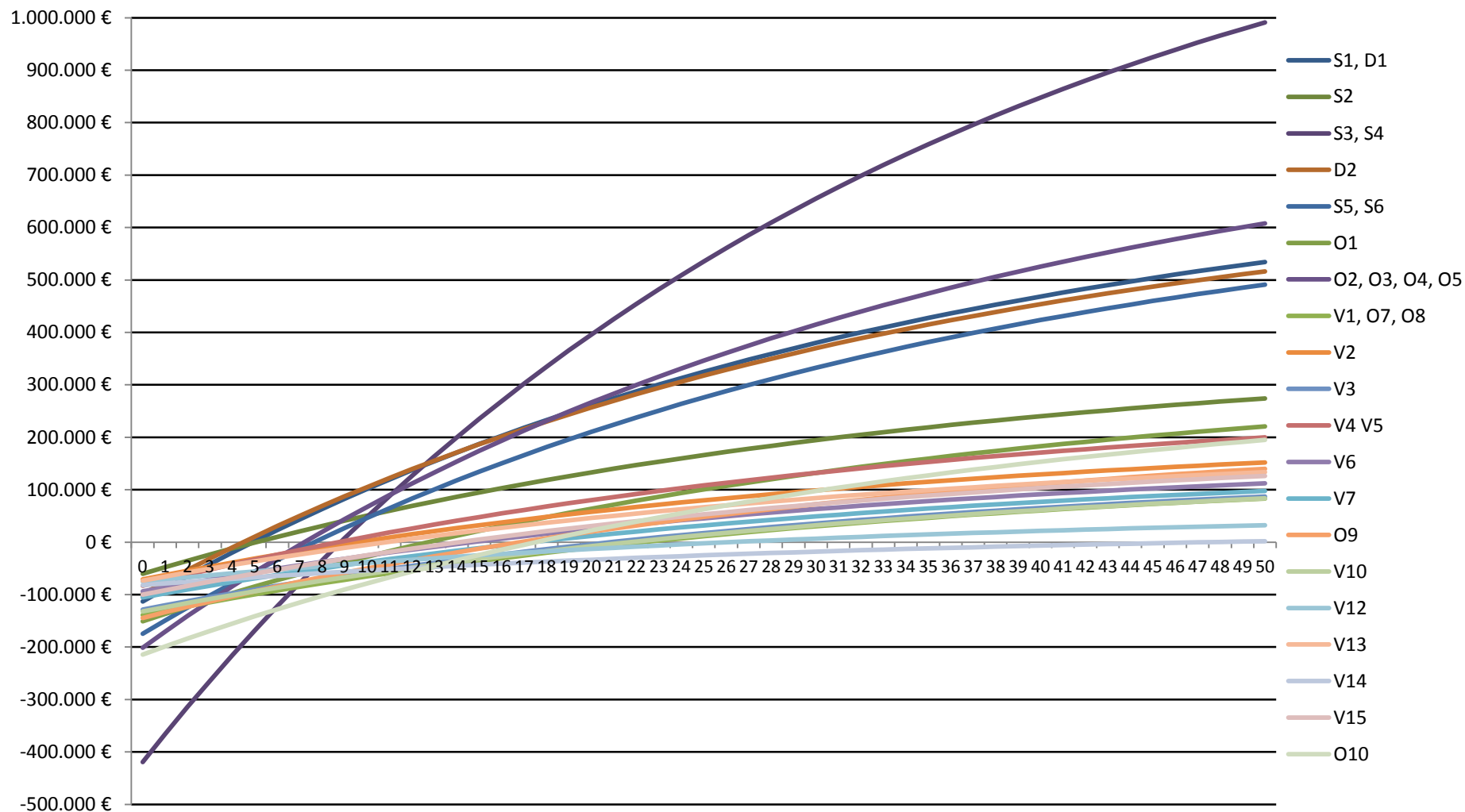
- **n** – posamezno obravnavano leto oziroma leto, v katerem se nam investicija povrne,
- **t** – število let,
- **NSV** – neto sedanja vrednost za obravnavano leto.



Grafikon 33: Enostavna in diskontirana vračilna doba projektov energetskih prenov

Iz Grafikona 31 [66] vidimo, da je EVD investicije energetske prenove z EU sredstvi bistveno boljše kot EVD brez EU sredstev. Najboljša je v primeru energetske prenove stavb S1 in D1, kjer ta razlika znaša 35 let. To pomeni, da je ta projekt vložil najmanj lastnih sredstev glede na dejanske dobljene stroškovne prihranke. DisDV z EU sredstvi (prikazana tudi v Grafikonu 30) pove, da so diskontirane dobe daljše glede na EVD z EU sredstvi – v primeru stavbe V14 tudi za več kot 23 let. V povprečju znaša DisDV z EU sredstvi za vse projekte, prikazane v Grafikonu 30, okoli 15 let, kar je zadovoljivo in upravičeno s finančnega vidika.

V nadaljevanju prilagamo Grafikon 32, kjer je viden potek neto sedanje vrednosti v 50-letni življenjski dobi posameznega projekta z upoštevanjem diskontne stopinje 3 %. Diskontno dobo vračanja odčitamo tako, da pogledamo, kje krivulja seka abscisno os in odčitamo čas (v letih), ki nam pove, v kolikšnem času se nam investicija povrne. Najkrajšo dobo vračanja imata projekta energetske prenove stavb D2 in S1-D1, pri katerih DisDV z EU sredstvi znaša manj kot 5 let. Iz grafikona lahko prav tako vidimo, da imajo stavbe, na katerih so bili izvedeni samo gradbeni ukrepi (V14, V12, V10 ...), večje DisDV z EU sredstvi kot stavbe, na katerih se je izvedla celovita energetska prenova. Iz tega lahko sklepamo, da so celovite energetske prenove finančno in ekonomsko bolj upravičljive kot delne prenove. Seveda pa celovite energetske prenove pomenijo tudi višje začetne stroške, ki pa jih investitorji težko pokrijejo.



Grafikon 34: Diskontirane vračilne dobe investicij energetskih prenov (3 % disk. stopnja)

Preglednica 15: Vračilne dobe investicij v energetsko prenavo javnih stavb

Zap. št. stavbe	EVD brez EU sredstev [leta]	EVD z EU sredstvi [leta]	DisDV z EU sredstvi – diskontna stopnja 7 % [leta]	DisDV z EU sredstvi – diskontna stopnja 3 % [leta]
S1, D1	39	5	6	5
S2	35	5	5	5
S3, S4	35	8	12	9
D2	35	4	6	5
S5, S6	28	7	10	8
O1	30	10	20	13
O2, O3, O4, O5	32	6	9	8
V1, O7, O8	41	16	∞	23
V2	29	8	13	10
V3	42	15	∞	21
V4, V5	19	8	12	9
V6	28	12	26	15
V7	34	13	41	18
O9	29	13	37	17
V10	38	16	∞	22
V12	43	18	∞	27
V13	32	9	16	11
V14	55	25	∞	48
V15	28	11	24	15
O10	40	13	43	18

Rezultati izračuna DisDV za investicije z EU sredstvi in 7 % diskontno stopnjo (glej Preglednico 15) nam povedo, da so upravičene samo investicije, ki imajo EVD krajšo od 14 let.

8 DOSEGANJE PRIHRANKOV S POMOČJO ENERGETSKEGA MONITORINGA

Spremljanje rabe energije v stavbah je možno izvajati na tri načine, in sicer z energetskim knjigovodstvom, energetskim monitoringom in centralnim nadzornim sistemom (CNS). Spremljanje rabe z energetskim knjigovodstvom v praksi pomeni, da oseba, ki je odgovorna za energetiko v stavbi, vsak mesec pregleda račune za energijo in jih primerja z računi prejšnjih mesecev. S tem dosežemo sledenje porabi energije in pravočasno ukrepanje pri morebitnih odstopanjih. Monitoring stavbe omogoča spremljanje rabe energije in drugih parametrov v stavbi na osnovi digitalnih senzorjev in merilcev, ki podatke zapisujejo v spletno bazo in so tako takoj na voljo za uporabo oziroma obdelavo. Ti podatki se lahko prikazujejo na spletnih, mobilnih ali računalniških aplikacijah, kjer jih nato lažje obdelujemo. CNS je računalniški nadzorni sistem, ki preko senzorjev, krmilnikov in kontrolnih elementov v stavbi usklajuje delovanje strojnih in elektroenergetskih sistemov, kar nam omogoča popoln nadzor nad rabo energije v stavbi.

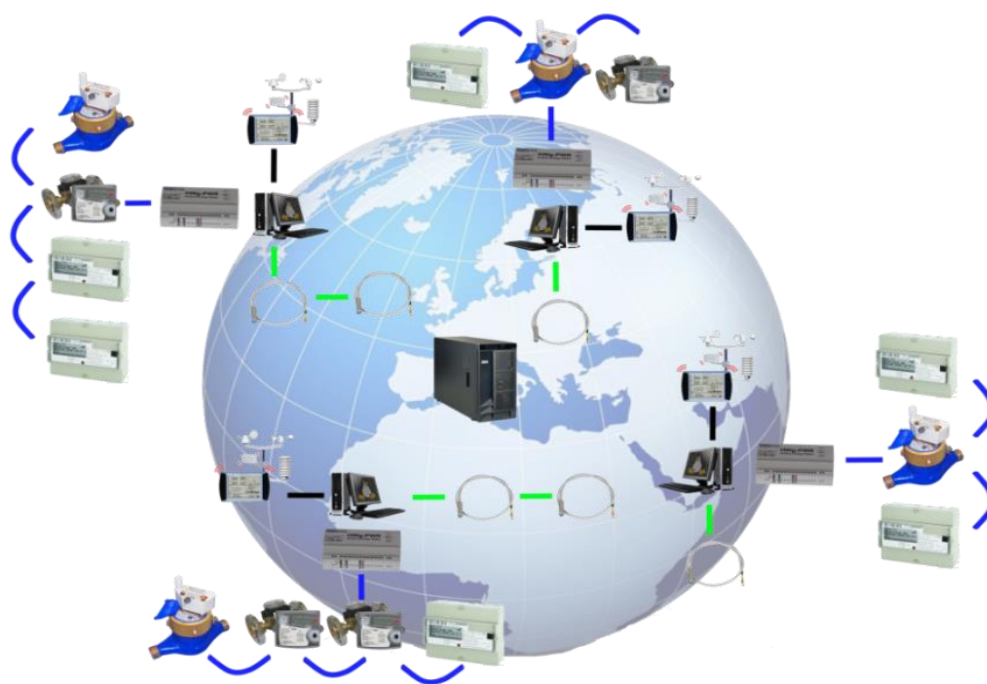
Preglednica 16: Prednosti in slabosti različnih načinov spremljanja rabe energije

Energetsko knjigovodstvo	
PREDNOSTI	SLABOSTI
<ul style="list-style-type: none"> - Enostavno, - majhna količina podatkov, - pridobivanje in obdelava podatkov brez dodatnih stroškov, - večja verjetnost pravilnosti podatkov, saj so pridobljeni direktno iz računov. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mesečna ali sezonska analiza podatkov, - napake pri obračunu, - pavšalni obračuni, - analiza na mesečnem nivoju, - ročno ukrepanje v primeru večjega odstopanja rabe energije.
Energetski monitoring	
PREDNOSTI	SLABOSTI
<ul style="list-style-type: none"> - Takojšnji podatki o trenutni porabi, - avtomatizirani procesi pridobivanja, obdelave in prikaza zelenih trenutnih podatkov, - večja varnost in lažja dostopnost do podatkov (shranjeni v spletni bazi). 	<ul style="list-style-type: none"> - Napake merilnikov in senzorjev, - vzdrževanje, - ročno ukrepanje v primeru večjega odstopanja rabe energije.
Centralni nadzorni sistem (CNS)	
PREDNOSTI	SLABOSTI
<ul style="list-style-type: none"> - Večja energetska učinkovitost, - avtomatiziran nadzor nad posameznimi porabniki energije, - računalniška simulacija rabe energije, - boljše bivalno udobje v prostorih. 	<ul style="list-style-type: none"> - Visoka cena namestitve in vzdrževanja, - napake merilnikov in senzorjev, - upravljavec sistema mora biti dovolj izobražen.

8.1 Energetski monitoring

Energetski monitoring je ena izmed možnosti za spremljanje zastavljenih kazalnikov po energetski prenovi stavbe. Pogosto se pojavlja v obstoječih ali v novozgrajenih stavbah, kjer se spremlja raba električne in toplotne energije, porabo sanitarne vode ter zunanje okoljske in notranje bivalne pogoje. Monitoring pomaga pri odločitvah o izbiri primernih ukrepov za zmanjšanje rabe energije. Z njegovo pomočjo lažje določimo porabnika in porabo, na podlagi česar se lahko potem enostavneje odločamo o nadaljnjih ukrepih za zmanjšanje rabe energije.

Da bi se omogočilo trenutno, varno in realno spremljanje ter analiziranje porabljene energije v stavbah, je potrebno združiti več različnih tehnologij, kot so tehnologija za zbiranje podatkov, komunikacijska tehnologija in komunikacijska tehnologija med posameznimi napravami [86].



Slika 13: Primer poteka energetskega monitoringa

Za pridobivanje podatkov je bilo v zadnjem času razvite veliko nove tehnologije. Ena izmed njih je direktno merjenje moči kolektorskega toka (IC) za pridobivanje električnih parametrov. Ta tehnologija pretvori analogni signal v digitalnega. Takšen način pridobivanja podatkov je bolj primeren za malo število porabnikov in je tudi cenovno bolj ugoden. Druga možnost je uporaba pametnih števecv – digitalni M-BUS (podatkovni prenosnik) – ki omogočajo hitro in

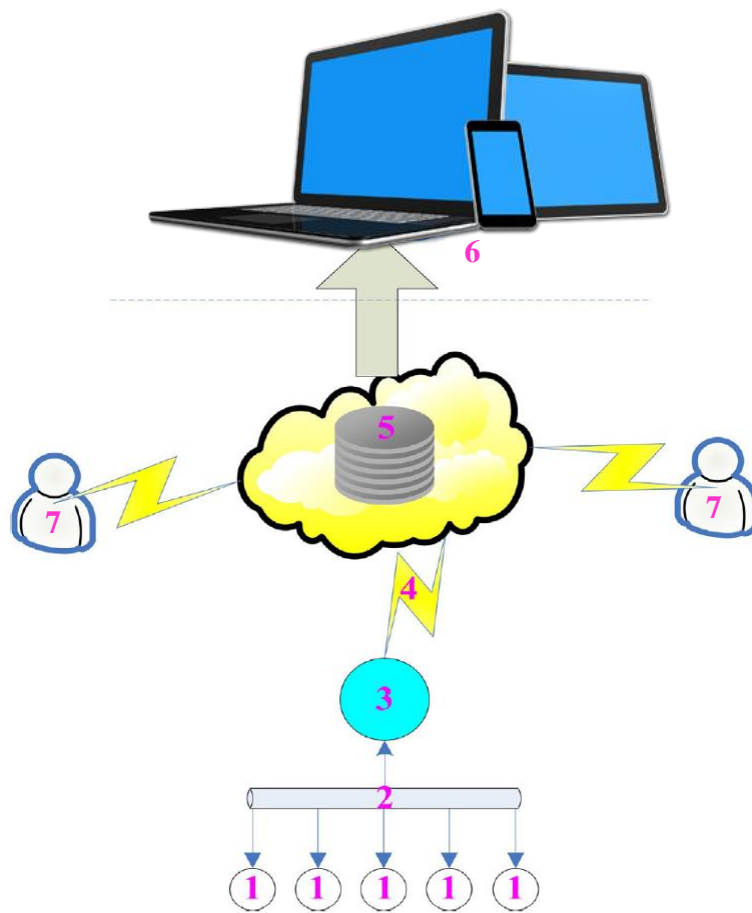
brezhibno odčitavanje večjega števila merilnikov porabe hkrati. Edina slabost števec M-BUS je, da je relativno drag v primerjavi z IC [86].

Za komunikacijsko tehnologijo oziroma za prenos podatkov iz merilnika do podatkovnega centra (baze) sta v praksi najbolj priljubljeni obliki prenosa preko Etherneta in GPRS-a. Prenos podatkov preko GPRS-a je bolj prilagodljiv, saj je komunikacijski modul prenosljiv. V primeru, da večino porabnikov merimo iz sobe, ki je pod zemljo, pa se lahko zgodi, da je signal prešibak in prenos z GPRS ni primeren. GPRS prenos podatkov lahko povzroči tudi velike stroške za storitev prenosa podatkov, saj gre za neprekinjeno pošiljanje velikih količin podatkov. Najcenejšo in najzanesljivejšo rešitev zagotovo predstavlja uporaba podatkovnega kabla do omrežnega vmesnika. Nobeden od načinov pa ne deluje v primeru izpada elektrike. Zato je nujno, da se podatki začasno shranjujejo na spominskem disku ali pomnilniški kartici, preden jih pošljemo v spletno bazo oziroma obdelavo [86].

Realno merjeni podatki se preko urne in dnevne porabe formirajo v realno mesečno in letno porabo. V stavbah je potrebno običajno izvesti ločeno merjenje porabe energije za ogrevanje, električne energije in sanitarne vode. Za merjenje porabe ogrevalne energije se vgradijo na primer ustrezni kalorimetri s podatkovnim izhodom, za merjenje porabe električne energije pa se vgradijo ustrezni števeci preko tokovnikov na uporabniški strani nizkonapetostnih (NN) inštalacij stavbe. Ta način omogoča realno razdelitev materialnih energijskih stroškov. Merilni sistem energetskega monitoringa se lahko konfigurira tako, da ga lahko v kasnejši fazi energetske prenove stavbe povežemo z obstoječim ali načrtovanim sistemom centralnega energetskega nadzora in tako postavimo CNS energetskega upravljanja [87].

8.2 Delovanje energetskega monitoringa, vzpostavljenega v obravnavanih stavbah

Izvedba monitoringa porabe energije v stavbi omogoča sprotno merjenje porabe toplote, električne energije, vode in tudi temperature zraka v okolju, notranjih prostorih in merjenje emisij CO₂. Podatki se merijo kontinuirano, se osvežujejo na monitorju, prav tako pa merjene podatke prikazujejo infotočke, ki so locirane na najbolj prehodnem območju stavbe (vstopna avla v objekt, prehodni hodniki ...). Podatki se lahko začasno shranjujejo na energetsko-upravljalnem računalniku energetskega upravitelja stavbe, enkrat dnevno pa se lahko paket dnevni podatkov prenese preko spleta na zmogljivejši in namenski energetski strežnik [87].



Slika 14: Primer strukture sistema energetskega monitoringa, vzpostavljenega v stavbah

Pregled strukture naprav v sistemu energetskega monitoringa (Slika 14) [86]:

1 – Merilne naprave za zbiranje podatkov o porabi električne energije, toplotne energije za ogrevanje in pripravo TSV, o porabi sanitarne mrzle vode ter o temperaturah, vlagi in ostalih parametrih.

2 – Field BUS, kot so BACnet, CAN BUS, BUS EIB in RS485. To je le nekaj najbolj popularnih avtomatizacijskih tehnologij, ki so danes na voljo in se najpogosteje uporabljajo za avtomatsko odčitavanje in pretvarjanje podatkov za nadaljnjo uporabo.

3 – Predstavlja most med merilniki in strežnikom. V našem primeru to predstavlja mini računalnik, kjer se začasno tudi shranjujejo podatki.

4 – Prenos podatkov preko interneta ali GPRS-a. Podatki o porabi energije se iz računalnika preko interneta prenesejo do strežnika, kjer imajo uporabniki dostop do izmerjenih podatkov.

5 – Strežnik oziroma podatkovni center, iz katerega lahko uporabnik, programer ali ostali z dovoljenjem dostopajo do podatkov. Na strežnikih je naložena tudi programska oprema za obdelavo in prikaz podatkov.

6 – Naprave, preko katerih lahko dostopamo do izmerjenih in analiziranih podatkov.

Pred vzpostavitvijo oziroma načrtovanjem tovrstnega sistema je bistven korak ogled stavbe in pogovor z upravljavcem in uporabnikom. Skupaj z njima se nato na podlagi tipologije stavbe, zahtev in vnaprej določenih načel izberejo primerne točke za spremljanje porabe energije in ostalih kazalnikov. Nato inštalaterji namestijo vso potrebno opremo v stavbo. Sledita kalibracija in vzpostavitev sistema s strani programerja in inštalaterja. Ko je sistem vzpostavljen in delujoč, programer izdelava spletno aplikacijo oziroma spletno stran, na kateri so vidni vsi trenutni podatki in rezultati analiz, ki jih strežnik izvaja v ozadju. Uporabniku so tako na različnih elektronskih napravah dostopne informacije v grafičnih oblikah oziroma v neki urejeni in pregledni strukturi. Na podlagi vidnih odstopanj pri prikazu porabe energije v stavbi lahko uporabnik oziroma upravitelj stavbe takoj ukrepa in s tem postopoma zmanjšuje rabo energije.

8.3 Spremljanje in doseganje zastavljenih kazalnikov

Prihranki zaradi vzpostavitve energetskega monitoringa se od stavbe do stavbe razlikujejo, saj nanje vpliva več dejavnikov, kot so velikost stavbe, količina naprav v stavbi, število ljudi v stavbi itd. Poznane so na primer rešitve v velikih sistemih (bolnišnice, domovi za ostarele ...), kjer so s sistemom monitoringa (kasneje tudi upravljanja) v dveh letih prihranili več, kot je bila vredna naložba v sistem [88].

Absolutni prihranki (v kWh ali še bolje v EUR, saj investitorja, ki je laik na tem področju, bolj zanimajo stroškovni prihranki oziroma enota količine, ki mu je bolj blizu) so seveda večji v energetske bolj potratnih stavbah. Če na primer individualna energetske učinkovita stavba porabi letno za 400 EUR energije za ogrevanje in bi z ukrepi prihranili 10 %, bi to pomenilo 40 EUR prihranka; za razliko od stavbe, ki porabi za 3.000 EUR energije in bi prihranek 10 % lahko znašal tudi do 300 EUR (ob istem vložku za vzpostavitev energetskega monitoringa) [88].

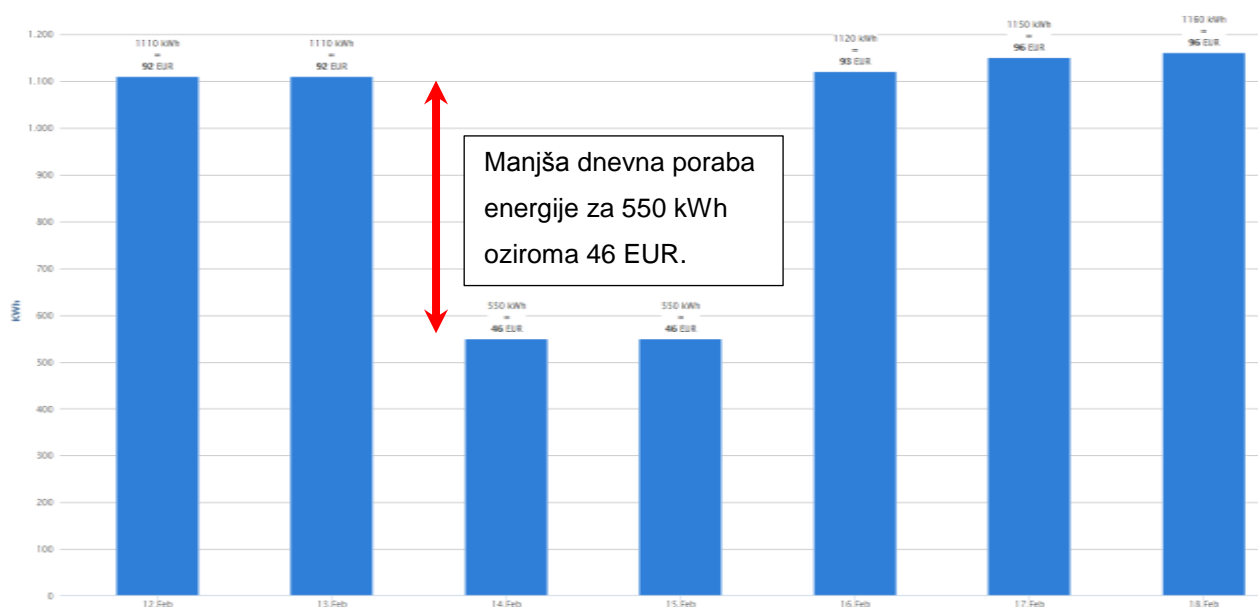
Številne ukrepe varčevanja energije v stavbah (npr. zapiranje oken v praznih prostorih, nastavitve različnih režimov delovanja, ugašanje naprav, ki trenutno niso v uporabi ...) lahko tudi brez digitalnega nadzora uvedejo (zavzeti) upravljavci in vzdrževalci, saj je namreč vse naštetno možno nadzorovati tudi brez nadzornega sistema [71].

V določenih primerih se lahko poraba energije po uvedbi monitoringa tudi poveča. Gre za objekte, ki pred meritvami niso imeli ustreznega bivalnega ugodja. Mednje na primer sodijo industrijske hale ali telovadnice, ki so bile pred meritvami na primer pozimi temperirane pod

15 °C, potem pa se je upoštevalo zahtevo, da se ti prostori ogrevajo na 18 °C, kar pomeni da se je zaradi višjega bivalnega ugodja avtomatično porabilo tudi več energije [88].

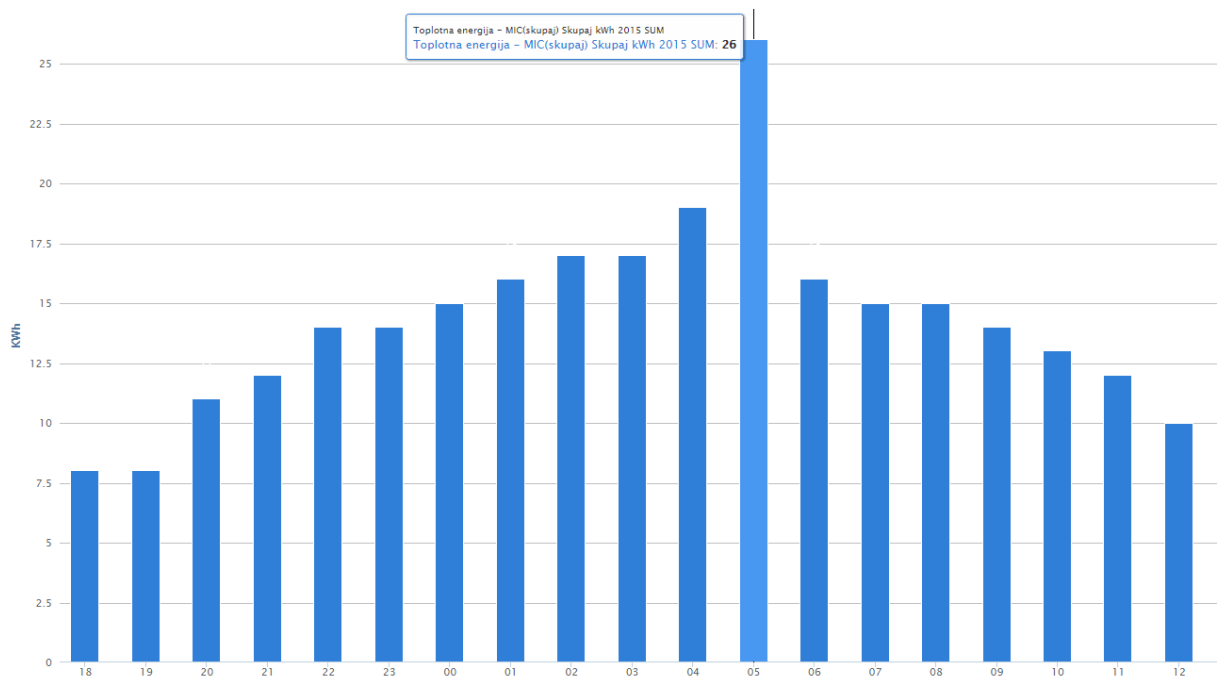
Uporaba podpornega informacijskega okolja je pokazala rezultate, kar se odraža v možnih prihrankih energije, ki jih z nekaj primeri navajamo v nadaljevanju.

Primer 1 (Slika 15): V šolah se aktivnosti zaključijo v petek ob 13.00, prostori pa se ogrevajo na enaki temperaturi tudi popoldne in ob koncu tedna, ko je objekt prazen. S pravočasnim zmanjšanjem temperature ogrevanja so na obravnavani stavbi v enem vikendu prihranili 1.110 kWh oziroma 92 EUR, kar lahko na letnem nivoju (okoli 28 ogrevanih vikendov) pomeni 31.080 kWh oziroma 2.576 EUR.



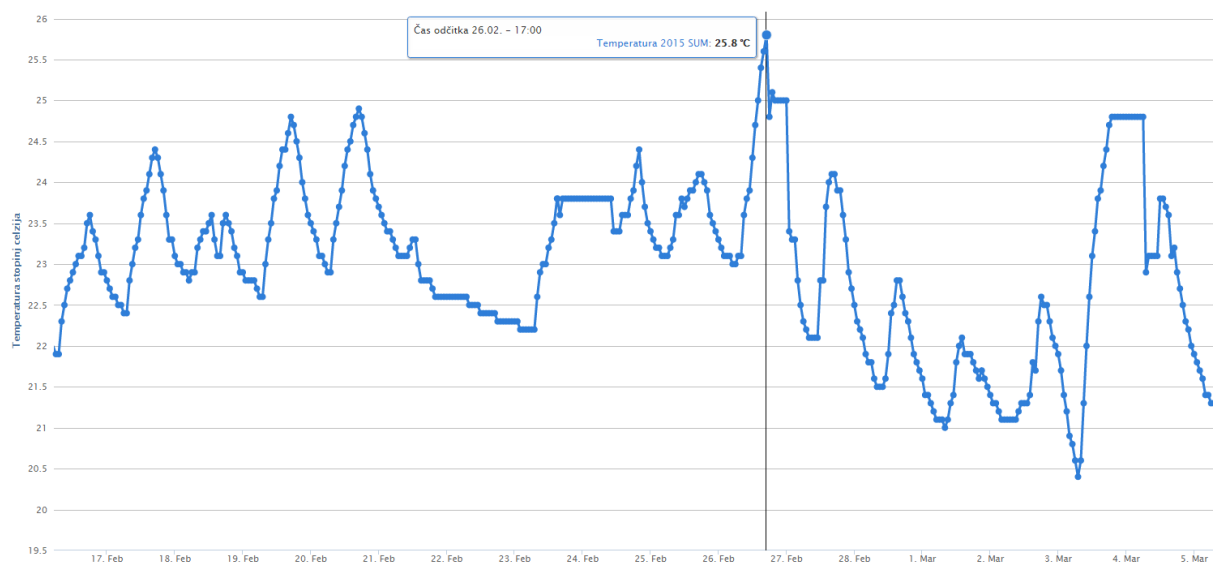
Slika 15: Poraba toplotne energije med vikendom po spremembi nastavitve ogrevanja v tednu od 12. 2. 2015 do 18. 2. 2015

Primer 2 (Slika 16): Stavba ima toplotno črpalko (TČ) in zalogovnik. TČ se vključi zjutraj ob 6.00, takrat pa začne veljati tudi višja tarifa (dražja elektrika). Če bi se sistem vključil ob 4.00 zjutraj in bi vodo v zalogovniku že zagreli do 6.00, bi s tem zmanjšali strošek za približno 45 %, saj je višja tarifa v javnih zavodih lahko dražja za 60 % ali več. Spodnja Slika 16 prikazuje proizvodnjo toplote s TČ.



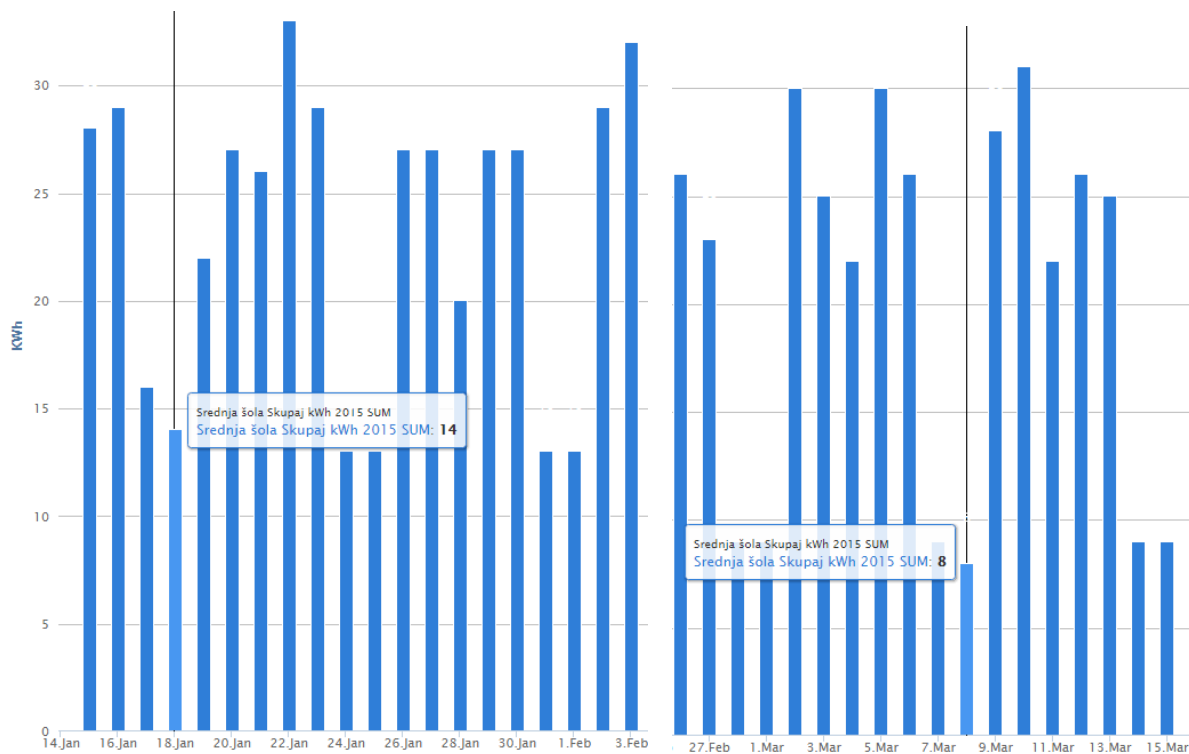
Slika 16: Prikaz proizvodnje toplotne energije s pomočjo TČ po urah za dan 2. 3. 2015

Primer 3 (Slika 17): Temperatura v stavbi je 25 °C namesto zahtevanih 21–23 °C. Vsako stopinjo višja temperatura predstavlja za 5–7 % večjo porabo energije, kar pomeni, da je pri temperaturi 25 °C poraba energije večja za 15 do 20 %. Prikazana slika prikazuje izmerjeno urno temperaturo v izbrani učilnici. Iz slike pa vidimo, da je bila temperatura v prostoru dne 26. 2. 2015 ob 17.00, torej izven časa pouka, kar 25,8 °C.



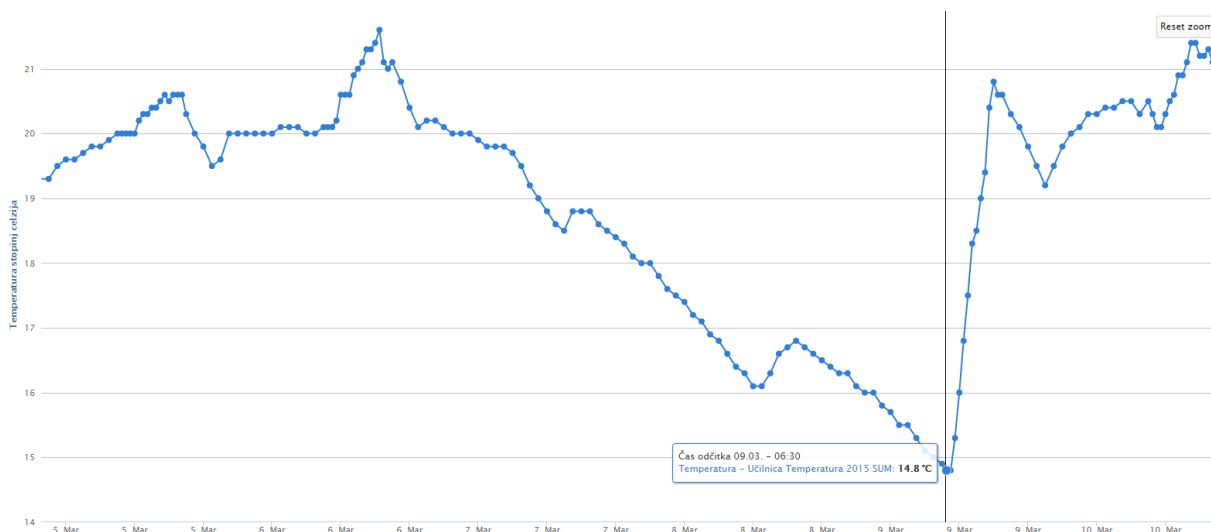
Slika 17: Prikaz temperature v učilnici osnovne šole za obdobje 17. 2. 2015 do 5. 3. 2015

Primer 4 (Slika 18): V šolski stavbi je računalniška učilnica. V kolikor se izven delovnega časa računalnikov ne ugasne, je to vidno na porabi. Ravnatelj oziroma uporabnik lahko s pomočjo monitoringa za več tednov in mesecev nazaj preverita, ali so bili računalniki izven časa uporabe izključeni. S tem ukrepom lahko v enem vikendu na obravnavani stavbi prihranimo 7 kWh oziroma 1,05 EUR, na letnem nivoju pa 364 kWh oziroma 54,60 EUR. Prihranki so lahko še večji, so pa odvisni predvsem od velikosti stavbe oziroma števila naprav, ki jih uporabljajo uporabniki.



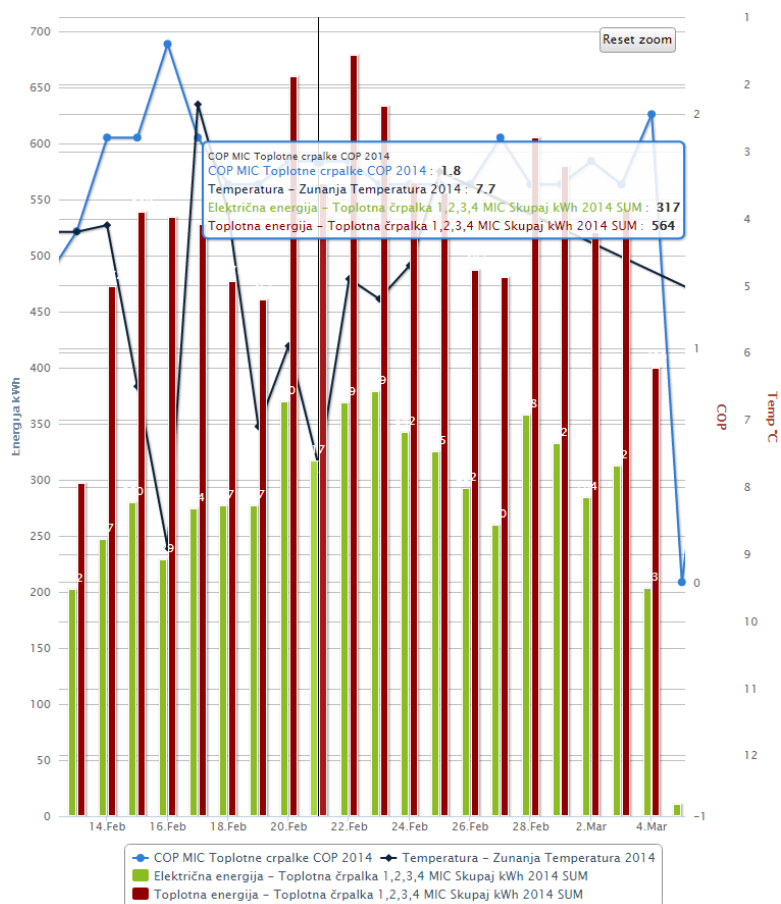
Slika 18: Prikaz večje porabe električne energije zaradi prižganih računalnikov (levi del slike) in zmanjšanja rabe energije (desni del slike)

Primer 5 (Slika 19): Stavbe imajo (čez noč ali pa podnevi, ko v njih ni nikogar) okna odprta na ventus. V kolikor imamo nameščene senzorce temperature, je možno ugotoviti, kdaj so bila v ogrevani sezoni po nepotrebnem odprta okna ter na tak način spodbuditi zavest o pomenu zapiranja oken in preprečiti nepotrebne izgube.

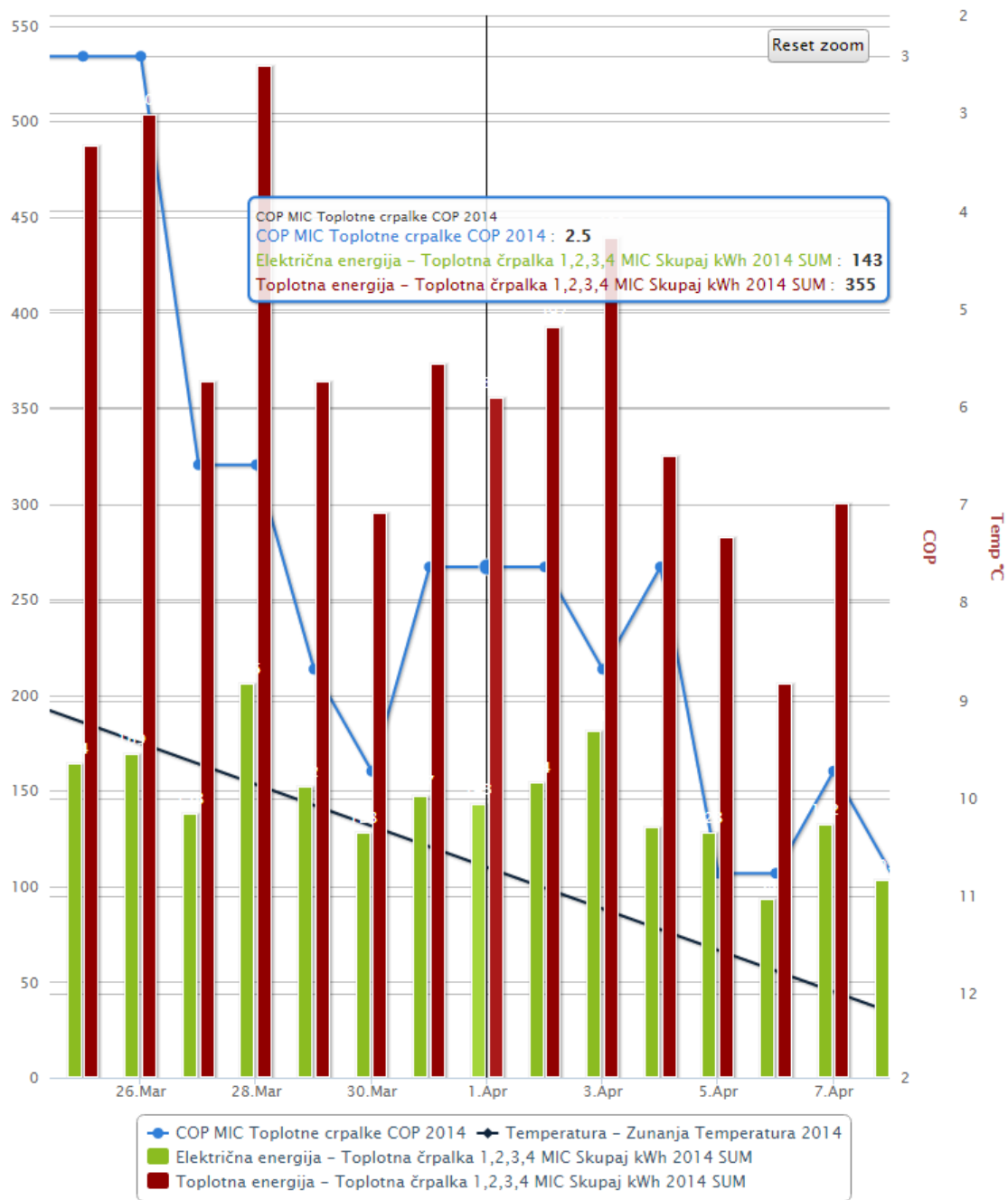


Slika 19: Prikaz znižanja temperature v prostoru zaradi odprtega okna na ventus

Primer 6 (Slika 20, Slika 21): Stavbe z vgrajenimi novimi TČ imajo nižje izkoristke (COP) od navedenih v tehničnih dokumentacijah proizvajalcev TČ. Z novimi nastavitvami TČ je možno pridobiti boljše izkoristke oziroma COP toplotnih črpalk.



Slika 20: Prikaz izboljšanja COP zaradi novih nastavitvev TČ (slika pred nastavitvijo)



Slika 21: Prikaz izboljšanja COP zaradi novih nastavitvev TČ (slika po nastavitvi)

9 UGOTOVITVE

V Sloveniji je bilo v obdobju med leti 2010 in 2015 izvedenih veliko energetskih prenov javnih stavb, in sicer predvsem s pomočjo nepovratnih sredstev Evropske unije iz Kohezijskega sklada. Na dejansko izvedenih primerih energetskih prenov tovrstnih stavb smo preverili, kakšen je proces izvedbe projekta in kakšna so lahko pričakovanja energetskih prihrankov po prenovi.

Ena izmed prvih ugotovitev pri pregledu obstoječega stanja stavb v Sloveniji je, da imajo stavbe zelo velik potencial za zmanjšanje rabe energije in emisij CO₂. Kot predvidevajo evropske smernice, naj bi bile energetsko učinkovite in prenovljene javne stavbe vzgled širši javnosti in eden izmed načinov ozaveščanja prebivalstva o pomembnosti URE. V Sloveniji se je v omenjenem obdobju izvedlo ogromno energetskih prenov javnih stavb s nepovratnimi sredstvi, s katerimi naj bi skupaj prihranili kar 105.083 MWh/letno energije. Če s strani projektantov določene oziroma predvidene prihranke stavb, ki smo jih obravnavali v diplomski nalogi, primerjamo z dejanskimi, pridemo do ugotovitve, da kar 18 stavb od 33 oziroma 55 % stavb ne dosega predvidenih prihrankov. Za 33 obravnavanih stavb je bil po prijavnih obrazcih predviden skupen prihranek toplotne energije 4.676,94 MWh/leto (4,45 % od 105.083 MWh/leto), medtem ko je dejanski prihranek znašal 4.465,57 MWh/leto; torej je bil za 1 % manjši od predvidenega. Če ta podatek ekstrapoliramo na vzorec vseh predvidenih prenovljenih stavb, to pomeni za 10.583 MWh/leto (ali 1 %) manjši prihranek.

Pri pregledu izračunov energetskih bilanc stavb, ki so jih izvedli projektanti za prijavo projektov na javni razpis za energetsko sanacijo, smo ugotovili, da pri večini stavb izračunana Q_{NH} odstopa od dejanske. Odstopanje vseh obravnavanih stavb je v povprečju manjše od 5 %, kar je zelo dobro. Odstopanje pri nekaterih stavbah pa je zelo veliko. Največje odstopanje (70 %) ima stavba V2, kar pomeni, da je izračunana Q_{NH} za 70 % večja od dejanske. Po drugi strani pa znaša pri stavbi S6 odstopanje 33 %, kar pomeni, da je izračunana Q_{NH} manjša za 33 % glede na dejansko. Eden izmed glavnih vzrokov za takšna odstopanja pri posameznih stavbah so verjetno napačno določeni oziroma izbrani robni pogoji in predpostavke (s strani projektantov). Večina vnesenih robnih pogojev in predpostavk v izračunih ne izraža dejanskega stanja stavb. Metode in računalniški programi za izračun energetskih bilanc ne upoštevajo vseh energijskih parametrov, zato je nujno, da so vsaj vneseni podatki pravilni in da se čim bolj približajo dejanskemu stanju. Napačno izbrane in vnesene vhodne podatke projektantov lahko pripišemo pomanjkanju izkušenj, pomanjkanju tehničnega znanja, časovni stiski, prirejanju rezultatov izračunov s ciljem goljufanja in premalo številčnim analizam oziroma primerjavam med dejanskim in izračunanim stanjem.

Predvidevali smo, da bo zaradi slabega energetskega upravljanja javnih stavb izračunana Q_{NH} manjša od dejanske, vendar se je izkazalo, da ni vedno tako. V nekaterih primerih je leta bistveno večja od dejanske. Odstopanje med dejansko in izračunano rabo energije prav tako ni nujno večje pri energetsko bolj potratnih stavbah. Vzrok, da ne moremo potrditi teh hipotez, so lahko prav gotovo slabi izračuni toplotnih bilanc projektantov, saj niso izražali dejanskega energetskega stanja stavb.

Pri primerjavi dejanske Q_{NH} smo ovrgli hipotezo, da so stavbe s hladnejšim zunanjim okoljem energetsko manj učinkovite. Večji vpliv na porabo toplotne energije za ogrevanje, kot jo ima zunanje okolje, imajo verjetno uporabniki stavbe. Prav tako smo na podlagi dejanske Q_{NH} potrdili hipotezo, da so stavbe, ki na dnevni ravni obratujejo dalj časa (vrtci), energetsko bolj potratne in posledično predstavljajo večji potencial za prihranke. Ovrgli smo tudi hipotezo, da so stavbe, zgrajene v času, ko še niso veljali predpisi glede energetske učinkovitosti oziroma ni bilo poudarka na toplotni izolaciji stavb, porabile več toplotne energije. Hipoteza je bila ovržena, ker so starejše stavbe zgrajene iz masivnih materialov, so velikih dimenzij in imajo majhne transparentne odprtine (okna) in s tem manjše toplotne izgube.

Povprečno odstopanje vseh obravnavanih stavb med računsko (izračunano s strani projektantov) in dejansko Q_{NH} pred in po prenovi je bilo manjše po prenovi. Manjše odstopanje med izračunano in dejansko Q_{NH} po prenovi je verjetno posledica energetskega upravljanja stavb, saj morajo uporabniki oziroma lastniki stavb v dveh letih po energetski prenovi izpolniti kazalnike, ki so jih podali v prijavi za pridobitev nepovratnih sredstev.

Glavna ugotovitev diplomske naloge je, da so na odstopanja pri primerjavi energetskih bilanc stavb močno vplivali izbrani vhodni podatki, predpostavke, metode izračunov, natančnost računalniških programov za izračun in doslednost upoštevanja standardov. Tako je pri obravnavanih izračunih energetskih bilanc z nepravimi robnimi pogoji težko oceniti in primerjati izračunano Q_{NH} glede na dejansko rabo toplotne energije za ogrevanje. Pri primerjavi uporabe različnih računalniških programov za izračun energetskih bilanc stavb smo prišli do ugotovitve, da ni bilo velikega odstopanja med programi. V povprečju je bilo leto manjše od 10 %. Velik doprinos k zmanjšanju odstopanj med dejansko in izračunano Q_{NH} bi lahko imel enoten program za izračun gradbene fizike, ki bi moral biti certificiran, preverjen, nepristranski in potrjen s strani neodvisne inštitucije. Poleg programa pa bi bilo potrebno izdati katalog s priporočili oziroma napotki za izračun energetskih bilanc stavb. Na ta način bi lahko dobili boljše rezultate izračunov, ki bi bili primerljivi med seboj in z dejansko porabo energije v stavbi.

Pri finančni analizi obravnavanih projektov energetske prenove javnih stavb smo preverili vračilne dobe posameznih investicij. Enostavne vračilne dobe brez upoštevanja nepovratnih EU sredstev so znašale od 19 do 55 let, kar pomeni, da so relativno visoke. Projekt je namreč finančno upravičen, v kolikor je doba vračanja krajša od življenjske dobe projekta oziroma vgrajenih materialov. Za energetske prenove stavb ta doba znaša med 15 let za tehnične naprave in 30 let za gradbena dela. Z upoštevanjem nepovratnih EU sredstev (skupni vrednosti projekta smo odšteli pridobljena nepovratna sredstva) se je enostavna vračilna doba v povprečju zmanjšala za 24 let. Preverili smo tudi DisDV, vendar smo pri upoštevanju vrednosti projekta brez EU sredstev prišli do ugotovitve, da se nobena investicija ne povrne. Nadaljnjo analizo DisDV smo izvedli samo za vrednosti z upoštevanjem EU sredstev. Ugotovili smo, da se za projekte, ki imajo enostavno vračilno dobo daljšo od 14 let, investicija po DisDV ne povrne in projekt s finančnega vidika ni upravičljiv.

V diplomski nalogi smo predstavili še energetski monitoring kot sredstvo za dobro energetske upravljanje stavbe. Ugotovili smo, da je mogoče dodatne prihranke zagotoviti tudi s pomočjo tega sistema in z učinkovitim upravljanjem stavbe. Prihranki iz tega naslova lahko znašajo tudi do 10 % [16].

10 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu smo za primerjavo med dejansko in računsko Q_{NH} pred in po energetski prenovi obravnavali 33 javnih vzgojno-izobraževalnih stavb, ki so bile energetsko prenovljene v letih od 2010 do 2014. Na obravnavanih stavbah so se izvedli tako ukrepi s ciljem povečanja toplotne izolativnosti na zunanjem ovoju stavb (fasada, okna, vrata, tla proti terenu ali neogrevani kleti, strop proti podstrešju ali strehi) kot tudi ukrepi na ogrevalnem in prezračevalnem sistemu. Namen diplomske naloge je bil predvsem analiza oziroma primerjava izračunane in dejanske letne potrebne toplote za ogrevanje stavb pred in po energetski prenovi. Preverili smo tudi, ali prenovljene javne stavbe dosegajo zastavljene prihranke in kolikšna so odstopanja, saj bodo ti dejanski prihranki vplivali na zastavljene cilje investitorjev, nacionalne cilje in zahteve EU do Slovenije.

Dejanske prihranke po energetski prenovi, ki so bili pridobljeni iz računov dobaviteljev energije in energetskega monitoringa, smo primerjali z ocenjenimi, ki so jih podali projektanti. Ocenjeni prihranki pred prenovo 33 obravnavanih javnih stavb so znašali v povprečju $88,18 \text{ kWh/m}^2$, dejansko pa je bilo doseženo povprečje $77,10 \text{ kWh/m}^2$ kondicionirane površine obravnavane javne stavbe. Prihranki na m^2 kondicionirane površine obravnavanih stavb so v povprečju od predvidenih manjši za 12,57 %, kar pomeni, da energetske prenove javnih stavb ne prinašajo predvidenih prihrankov v celoti, podanih s strani projektantov in zapisanih v prijavnih obrazcih.

Dejansko rabo energije oziroma prihranke po prenovi smo določili s pomočjo dejanskih izmerjenih podatkov po enem letu obratovanja stavbe. Dejanski prihranki pa se lahko v naslednjih letih še izboljšajo ali poslabšajo [89]. Vgrajeni materiali se morajo namreč še posušiti, uporabniki pa navaditi in se naučiti uporabljati nove energetske sisteme v stavbi. Dodatne prihranke lahko dobimo tudi z dobrim energetskim upravljanjem stavbe, saj stavbe z energetsko prenovno pridobijo nove energetske sisteme, ki potrebujejo dobro upravljanje. Nadalje bi lahko na tem področju raziskali trajnost vzdrževanja doseženih prihrankov, saj je bilo v študiji Piette in sod. [90] ugotovljeno, da se poraba energije glede na načrtovano porabo stavbe v prvih štirih letih po prenovi poveča za 36 %.

Pri načrtovanju energetskih prenov, predvsem javnih stavb, ki so sofinancirane z nepovratnimi sredstvi, je potrebno posebno pozornost nameniti analizi potencialov energetske učinkovitosti in upoštevati vse dejavnike, ki lahko vplivajo na prihranke energije. Ugotovili smo, da se strokovni delavci in projektanti pri svojih izračunih pogosto odločajo za nerealne, nepravilne in nepremišljene robne pogoje, ki pa lahko bistveno vplivajo na izračun energetskih bilanc stavb.

Do razlik med dejansko in izračunano porabo, pride predvsem zaradi odstopanja med dejanskimi in standardiziranimi robnimi pogoji, napak računalniških programov pri izračunu, pa tudi zaradi predpostavk projektantov, ki so preveč poenostavili dejansko stanje in posledično podali netočne rezultate. Zaradi odstopanja med dejanskimi in izračunanimi energetskimi bilancami obstaja velika nevarnost, da kazalniki energetske učinkovitosti ne bodo izpolnjeni, prav tako tudi nacionalni cilji in obljube Slovenije do izpolnjevanja zahtev EU glede energetske učinkovitosti.

Naj za konec še poudarim, da so rezultati simulacij in predvidevanj dobri le toliko, kolikor so dobri oziroma natančni vhodni podatki, predpostavke in metode izračuna. Zato je bistveno, da izberemo podatke, ki nam dajo najboljši približek dejanskemu stanju.

VIRI

- [1] Metodologija izvedbe energetskega pregleda. 2007. Ministrstvo za okolje in prostor.
https://www.petrol.si/sites/www.petrol.si/files/attachment/metodologija_0.pdf
(Pridobljeno 15. 4. 2015.)
- [2] Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije. 2010. Ministrstvo za okolje in prostor. Št. 0071-101/2009. 114 str.
- [3] SIST EN ISO 13790:2008. Toplotne značilnosti stavb - Računanje potrebne energije za gretje in hlajenje prostora. Brussels. European committee for standardization.
- [4] Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb. Uradni list RS št. 92/2014: 10302.
- [5] Kunič, R. 2009. Mehanizem prehoda toplote skozi konstrukcijske sklope v stavbah (1. del). Gradbenik 9: 30.
- [6] Report from the commission to the european Parliament and the Council, Financial support for energy efficienc in buildings (COM (2013) 225 final). 2013. European Commission.
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/swd_2013_143_accomp_report_financing_ee_buildings.pdf (Pridobljeno 20. 4. 2015.)
- [7] Staniaszek, D. (ur.). A guide to developing strategies for building energy renovation. Buildings. 2013. Performance Institute Evrope (BPIE).
http://www.bpie.eu/documents/BPIE/Developing_Building_Renovation_Strategies.pdf
(Pridobljeno 18. 3. 2015.)
- [8] Atanasiu, B., Kouloumpi, I. Boosting building renovation. An overview of good practices. Buildings. 2013. Performance Institute Europe (BPIE).
http://www.bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/26/Boosting_building_renovation_-_Good_practices_BPIE_2013_small.pdf (Pridobljeno 14. 4. 2015.)
- [9] Kleva, K.M. 2013. Osnutek poročila o izvajanju in vplivu ukrepov za energetska učinkovitost v okviru kohezijske politike (2013/2038(INI)).
http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/regi/pr/935/935743/935743sl.pdf (Pridobljeno 15. 6. 2015.)
- [10] Parker, D.S. 2009. Very low energy homes in the United States: Perspectives on performance from measured data. Energy and Buildings 41, 5: 512–520.
doi: 10.1016/j.enbuild.2008.11.017
- [11] Hens, H. 2010. Energy efficient retrofit of an end of the row house: Confronting predictions with long-term measurements. Energy and Buildings, 42, 10: 1939–1947.
doi: 10.1016/j.enbuild.2010.05.030
- [12] Ma, Z., Cooper, P., Daly, D., et al. 2012. Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. Energy and Buildings. 55: 889–902.
doi:10.1016/j.enbuild.2012.08.018

- [13] World Energy Outlook 2012. 2012. International Energy Agency.
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/english.pdf>
(Pridobljeno 15. 6. 2015.)
- [14] Bettgenhäuser, K., De, V.R., Boermans, T., et al. 2014. Deep renovation of buildings, An effective way to decrease Europe's energy import dependency.
<http://www.ecofys.com/files/files/ecofys-eurima-2014-deep-renovation-of-buildings.pdf>
(Pridobljeno 21. 8. 2015.)
- [15] Praper, P., 2013. Načrtovanje in spremljanje kazalcev pri energetskih sanacijah. Predstavitev na konferenci ZEO, Ljubljana, 2013.
- [16] Re - Co - prvi koraki k energetski učinkovitosti. 2014. Brošura projekta Re-Commissioning. Inštitut Jožef Štefan.
http://www.re-co.eu/sites/default/files/files/Slovenia/ReCo_2014_brosura_slo.pdf
(Pridobljeno 22. 8. 2015.)
- [17] Direktiva 2012/27/EU Evropskega Parlamenta in Sveta z dne 25. oktobra 2012 o energetski učinkovitosti, spremembi direktiv 2009/125/ES in 2010/30/EU ter razveljavitvi direktiv 2004/8/ES in 2006/32/ES. Uradni list EU L 315, str. 1, 14. 11. 2012.
- [18] Ukaz o razglasitvi Zakona o spremembah in dopolnitvah Energetskega zakona (EZ-D). Uradni list RS št. 22/2010: 2695.
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2010-01-0901> (Pridobljeno 15. 5. 2015)
- [19] Langsdorf, S. 2011. EU Energy Policy: From the ECSC to the Energy Roadmap 2050.
http://gef.eu/uploads/media/History_of_EU_energy_policy.pdf (Pridobljeno 22. 4. 2015)
- [20] Timeline of EU Energy and Climate Change Legislation. 2015.
http://smartcities-infosystem.eu/sites/default/files/EU_policy_timeline.pdf
(Pridobljeno 20. 4. 2015.)
- [21] Register prečiščene zakonodaje Evropske unije. 2014.
http://old.eur-lex.europa.eu/sl/consleg/latest/chap_19.pdf (Pridobljeno 22. 5. 2015)
- [22] Direktiva 2002/91/ES Evropskega Parlamenta in Sveta z dne 16. decembra 2002 o energetski učinkovitosti stavb. Uradni list Evropske unije, L 1, str. 65, 4. 1. 2003.
- [23] Direktiva 2010/31/EU Evropskega Parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetski učinkovitosti stavb (prenovitev). Uradni list Evropske unije, L153, str. 13, 18. 6. 2010.
- [24] Direktiva EPBD. <http://0energijsehise.si/direktiva-epbd> (Pridobljeno 20. 4. 2015)
- [25] Burman, E., Mumovic, D., Kimpian, J. 2014. Towards measurement and verification of energy performance under the framework of the European directive for energy performance of buildings. Energy, 77, 153–163.
doi:10.1016/j.energy.2014.05.102

- [26] Predpisi o toplotnih izgubah stavb, št. lista 2/02. 1999. Zbirka informativnih listov »ZA UČINKOVITO RABO ENERGIJE«. Agencija RS za učinkovito rabe energije: 4 str.
- http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv_aure/il_2-02.pdf
(Pridobljeno 20. 4. 2015.)
- [27] Šijanec, Z.M. 2010. Zakaj je potrebna prenova PURES 2008 in izhodišča pri pripravi PURES 2010. IZS.NOVO 13, št. 53: 2.
- <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/PDFknjiznjicaAURE/V15-eizkaznica.pdf>
(Pridobljeno 28. 5. 2015.)
- [28] Šijanec, Z.M., Tomšič, M., Rakušček, A. 2002. Energetska izkaznica stavbe. Konzorcij OPET Slovenija.
- <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/PDFknjiznjicaAURE/V15-eizkaznica.pdf>
(Pridobljeno 28. 5. 2015.)
- [29] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. 2010. Uradni list RS, št. 52/2010: 7840. Ministrstvo za okolje in prostor. Uradni list Republike Slovenije, 2010.
- [30] Zakon o javnem naročanju. Uradni list RS št. 12/2013: 1317.
- [31] Direktiva 2009/33/ES Evropskega Parlamenta in Sveta z dne 23. aprila 2009 o spodbujanju čistih in energetsko učinkovitih vozil za cestni prevoz. Uradni list Evropske unije L120, str. 5, 15. 5. 2009.
- [32] Akcijski načrt za energetsko učinkovitost za obdobje 2014 – 2020 (AN URE 2020). 2015. Ministrstvo za infrastrukturo, RS. 2014.
- [http://vrs-3.vlada.si/MANDAT14/VLADNAGRADIVA.NSF/71d4985ffda5de89c12572c3003716c4/f79680b3ac87aa95c1257e2a00257af9/\\$FILE/AN-URE%202020.pdf](http://vrs-3.vlada.si/MANDAT14/VLADNAGRADIVA.NSF/71d4985ffda5de89c12572c3003716c4/f79680b3ac87aa95c1257e2a00257af9/$FILE/AN-URE%202020.pdf)
(Pridobljeno 18. 3. 2015.)
- [33] Novela Uredbe o zelenem javnem naročanju. 2014. Portal Energetika Ministrstvo za infrastrukturo.
- <http://www.energetika-portal.si/novica/n/novela-uredbe-o-zelenem-javnem-narocanju-9166/> (Pridobljeno 15. 4. 2015.)
- [34] Tigchelaar, C., Menkveld, M., Daniëls, B. 2011. Obligations in the existing housing stock: Who pays the bill?. ECEEE 2011 Summer study. Energy efficiency first: The foundation of a low-carbon society.
- <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/m11070.pdf> (Pridobljeno 18. 6. 2015.)
- [35] Cayre, E., Allibe, B., Osso, D., et al. 2011. There are people in the house! How the results of purely technical analysis of residential energy consumption are misleading for energy policies. ECEEE 2011 Summer study. Energy efficiency first: The foundation of a low-carbon society.
- http://proceedings.eceee.org/papers/proceedings2011/7-277_Cayre.pdf?returnurl=http%3A%2F%2Fproceedings.eceee.org%2Fvisabstrakt.php%3Fevent%3D1%26doc%3D7-277-11 (Pridobljeno 18. 6. 2015.)

- [36] Hens, H., Parijs, W., Deurinck, M., 2010. Energy consumption for heating and rebound effects. *Energy and Buildings* 42, 1: 105–110.
doi:10.1016/j.enbuild.2009.07.017
- [37] Sunikka-Blank, M., Galvin, R. 2012. Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption. *Building Research & information* 40, 3: 260–273.
doi:10.1080/09613218.2012.690952
- [38] Haas, R., Biermayr, P. 2000. The rebound effect for space heating Empirical evidence from Austria. *Energy Policy* 28, 6-7: 403–410.
doi:10.1016/S0301-4215(00)00023-9
- [39] Branco, G., Lachal, B., Gallinelli, P., et al. 2004. Predicted versus observed heat consumption of a low energy multifamily complex in Switzerland based on long-term experimental data. *Energy and Buildings* 36, 6: 543–555.
- [40] Marchio, D., Rabl, A. 1991. Energy-efficient gas-heated housing in France: predicted and observed performance. *Energy and Buildings* 17, 2: 131–139.
doi:10.1016/0378-7788(91)90005-N
- [41] Krawczyk, D.A. 2014. Theoretical and real effect of the school's thermal modernization—A case study. *Energy and Buildings* 81: 30–37.
doi:10.1016/j.enbuild.2014.04.058
- [42] Guerra-Santin, O., Itard, L. 2012. The effect of energy performance regulations on energy consumption. *Energy Efficiency* 5, 3: 269–282.
doi: 10.1007/s12053-012-9147-9
- [43] Uredba o klasifikaciji vrst objektov in objektih državnega pomena. Priloga 1: Klasifikacijske ravni objektov. Uradni list RS št. 109/2011: 14974.
- [44] Shnapp, S., Sitjà, R., Laustsen, J. 2013. What is a deep renovation definition?. Global Buildings Performance Network.
http://www.gbpn.org/sites/default/files/08.DR_TechRep.low_.pdf
(Pridobljeno 22. 5. 2015.)
- [45] Praznik, M., Kovič, S. 2009. Energetska prenova javnih objektov v vzgojno izobraževani funkciji. *Revija za modro uporabo materialov v gradbeništvo* 9, 9: 6–12.
<http://www.ravago.si/documents/modro.pdf> (Pridobljeno 14. 4. 2015.)
- [46] Petrović, B.S., Vasić, M. 2013. Methodology and results of Serbian Energy-Efficiency Refurbishment Project. *Energy and Buildings* 62: 258–267.
- [47] Stroškovno učinkovite ravni minimalnih zahtev glede energijske učinkovitosti stavb v Sloveniji. 2014. Ministrstvo za infrastrukturo in prostor.
- [48] Česen, M., Urbančič, A., Lah, P. 2012. Raba energije v javnem sektorju, stroški zanjo in vpliv na okolje.
http://www.stat.si/StatisticniDnevi/Docs/Radenci%202012/prispevki/Cesen_RabaEnergijeEmisijeStroskiJS-Prispevek_v2.pdf (Pridobljeno 14. 4. 2015.)

- [49] Revizijsko poročilo – Učinkovitost energetske sanacije javnih stavb. 2010. Računsko sodišče Republike Slovenije.
- [http://www.rs-rs.si/rsrs/rsrs.nsf/l/KAC797BEF7378D42CC1257973001E0F8A/\\$file/EnergijaJS_SP07-10.pdf](http://www.rs-rs.si/rsrs/rsrs.nsf/l/KAC797BEF7378D42CC1257973001E0F8A/$file/EnergijaJS_SP07-10.pdf) (Pridobljeno 27. 3. 2015.)
- [50] Šturm, M., Kunovar, D., Dobrovoljc, N., et al. 2009. Končno poročilo – Strokovne podlage za črpanje kohezijskih sredstev po OP ROPI OŠ in vrtci.
- [51] Tomšič, M. 2001. Pogodbeno financiranje na področju ukrepov učinkovite rabe energije: vodnik za občine. Konzorcij FEMOPET Slovenija.
- [52] Pravilnik o metodah za določanje prihrankov energije. Priloga 1: Metode za določanje prihrankov energije, rabe obnovljivih virov energije in zmanjšanja izpustov CO₂. Uradni list RS št. 67/2015: 7702.
- [53] Žagar, D., 2011. Metode hitrega določanja energetske izkaznice. Diplomaska naloga. Maribor. Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo (samozaložba D. Žagar).
- [54] RAISA računalniški inženiring, Metod Saje s.p. v sodelovanju z URSA SLOVENIJA d.o.o., URSA SLOVENIJA d.o.o., Tehnična komerciala 2011, Računalniški program Gradbena fizika URSA 4.0. Novo mesto.
- [55] FIBRAN NORD d.o.o. 2011. Računalniški program ARCHIMAID. Novo mesto.
- [56] Krainer, A., Perdan, R. 2012. TOTS - Računalniški program za izračun energetske bilance stavb po Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah upoštevajoč SIST EN ISO 13790 in TSG-1-004:2010. Ljubljana, UL FGG, KSKE.
- [57] Medved, S., Arkar, C., Šuklje, T. Knaufinsulation d.o.o. 2011. Računalniški program Energija 2010. Škofja Loka.
- [58] Sousa, J. 2012. Energy Simulation Software for Buildings: Review and Comparison: Joana Sousa. CEUR workshop proceedings: Information Technology for Energy Applications 2012 923: 57 – 68.
- <http://ceur-ws.org/Vol-923/paper08.pdf> (Pridobljeno 25. 7. 2015.)
- [59] Žveglič, L. 2006. Primerjalna analiza ukrepov za zmanjšanje porabe energije za ogrevanje v stavbi FGG. Diplomaska naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba L. Žveglič).
- [60] Zupan, M. 2014. FIBRAN ARCHIMAID. Navodila za uporabo programa.
- <http://www.fibran.si/Archimaid/Navodila%20za%20uporabo.pdf> (Pridobljeno 22. 4. 2015.)
- [61] Krainer, A., Perdan, R. 2012. Računalniški program TEDI: Uporabniški priročnik. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, KSKE.
- [62] Krainer, A., Perdan, R. 2012. Računalniški program TOST: Uporabniški priročnik. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, KSKE.
- [63] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Uradni list RS št. 42/2002: 4139.

- [64] Gładyszewska-Fiedoruk, K., Gajewski, A. 2012. Effect of wind on stack ventilation performance. *Energy and Buildings* 51: 242–247.
doi:10.1016/j.enbuild.2012.05.007
- [65] Pravilnik o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrtca. Uradni list RS št. 72/2000: 9062.
- [66] Arhiv projektantskih podjetji za obdobje 2013–2014.
- [67] Energijsko učinkovita okna in zasteklitve, št. lista 2/10. 1999. Zbirka informativnih listov »ZA UČINKOVITO RABO ENERGIJE«. Agencija RS za učinkovito rabo energije: str. 4.
- [68] Šijanec, Z.M., Tomšič, M. 2014. Predpisi, ki urejajo projektiranje stavb. Ljubljana, Usposabljanje za neodvisne strokovnjake za izdelavo energetskih izkaznic.
- [69] Podatki z analizo za srednje šole in dijaške domove. 2013. XX. strokovno srečanje ravnateljic in ravnateljev za srednje šolstvo. Portorož, 25. - 26. novembra 2013. Šola za ravnatelje, Kranj. 2014.

http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/ss/Publikacija/SS-MSSpodatki2-2013_CIP-1.pdf (Pridobljeno 18. 6. 2015.)
- [70] Ravnik, A. 2007. Toplotno ugodje – vpliv ogreval in pravilno prezračevanje v bivalnih prostorih Avrelj Ravnik, energetski svetovalec. Zgornjesavc (september 2007).

<http://dok.kranjska-gora.si/aktualno/rajko/vpliv%20ogreval%20in%20prezracevanje.pdf> (Pridobljeno 11. 7. 2015.)
- [71] RACE KOGO, d.o.o. 2012. Obratovalni energetski monitoring. Spletna aplikacija.

http://energija-rr.si/index_lokacije.php (Pridobljeno med obdobjem 1. 1. 2013 in 1. 9. 2015)
- [72] Theodosiou, T.G., Papadopoulos, A.M. 2008. The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions. *Energy and Buildings* 40, 11: 2083–2089.
doi:10.1016/j.enbuild.2008.06.006
- [73] Kuhar, B., 2014. Vpliv toplotnih mostov na porabo energije za ogrevanje v stavbi. Diplomsko delo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Kuhar).
- [74] Reščič, E. 2014. Vpliv toplotnih mostov na porabo energije za ogrevanje v poslovno trgovskem objektu PLAN INVEST v Kopru. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba E. Reščič).
- [75] Megušar, P. 2015. Vpliv toplotnih mostov na porabo energije za ogrevanje na primeru osnovne šole. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba P. Megušar).
- [76] Ge, H., Rut, M.V., Zhang, S. 2013. Impact of balcony thermal bridges on the overall thermal performance of multi-unit residential buildings: A case study. *Energy and Buildings* 60: 163–173.
doi:10.1016/j.enbuild.2013.01.004

- [77] SIST EN ISO 14683:2008. Toplotni mostovi v stavbah - Linearna toplotna prehodnost - poenostavljena metoda in privzete vrednosti. Brussels. European committee for standardization.
- [78] Evidenca vzgojno-izobraževalnih zavodov in vzgojno-izobraževalnih programov. 2015. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport.
<https://krka1.mss.edus.si/registriweb/default.aspx> (Pridobljeno 1. 8. 2015.)
- [79] Šestan, P. 2012. Primerjava delovanja programskih orodji za izračun porabe energije v stavbah. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba P. Šestan).
- [80] Ahčin, M., 2013. Primerjava merjene in računске porabe toplotne za ogrevanje v večstanovanjskih stavba na Jesenicah. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Ahčin).
- [81] Kranjčević, E., Merše, S., Pečkaj, M., et al. 2011. Metode za izračun prihrankov energije pri izvajanju ukrepov za povečanje učinkovitosti rabe energije in večjo uporabo obnovljivih virov energije. Ljubljana. Institut Jožef Stefan, Slovenija Center za energetsko učinkovitost (CEU).
http://www.petrol.si/files/attachment/ijs_metodologija_26_09.pdf
(Pridobljeno 28. 6. 2015.)
- [82] Šijanec, Z.M. 2008. Predstavitev predloga pravilnika o učinkoviti rabo energije v stavbah. Predstavitev na zaključni konferenci projekta Futurepublic energy, Velenje, 11. april 2008.
http://www.energetski-inzeniring.si/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=13&Itemid=162&lang=sl (Pridobljeno 18. 5. 2015.)
- [83] Šumak, M. 2007. Analiza stroškov in koristi za oceno upravičenosti uvajanja konkretnega projekta. Specialistično delo. Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta (samozaložba M. Šumak).
- [84] Kunič, R., Krainer, A. 2009. Ekonomična debelina slojev toplotnih izolacij v kontaktno-izolacijskih Fasadah obodnih sten. Gradbeni Vestnik 58, 12: 306 – 311.
<http://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-0J2MXGXZ/efb0ed28-9394-4b84-afd8-4d538823ccc0/PDF> (Pridobljeno 24. 5. 2015.)
- [85] Priročnik za izdelavo analize stroškov in koristi investicijskih projektov. 2004. Služba Vlade RS za strukturno politiko in regionalni razvoj.
http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/guides/cost/guide02_sl.pdf
(Pridobljeno 12. 8. 2015.)
- [86] Zhao, L., Zhang, J., Liang, L. 2013. Development of an energy monitoring system for large public buildings. Energy and Buildings 66: 41–48. doi:10.1016/j.enbuild.2013.07.007
- [87] Fendre, C. 2010. Energetski monitoring zgradb. Šolski center Velenje.

- [88] Topler, Z. 2013. Energetski monitoring. Dokumentacija ob zaključku del. Primavest, d.o.o. (samozaložba Z. Topler).
- [89] Nord, N., Sjøthun, S.F. 2014. Success factors of energy efficiency measures in buildings in Norway. *Energy and Buildings* 76: 476–487. doi:10.1016/j.enbuild.2014.03.010
- [90] Piette, M.A., Nordman, B., Buen, O., et al. 1995. Findings from a low-energy, new commercial-buildings research and demonstration project. *Energy* 20, 6: 471–482. doi:10.1016/0360-5442(94)00089-L

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: PODATKI O POSAMEZNIH STAVBAH

PREGLEDNICA A.1: Podatki iz prijavnih obrazcev

PREGLEDNICA A.2: Podatki iz izračunov energetskih bilanc narejenih s strani projektantov

PREGLEDNICA A.3: Podatki iz izračunov energetskih bilanc narejenih s pomočjo računalniškega programa TOST

PRILOGA B: Primer izpisa izkaza energijskih lastnosti stavbe za stavbo V6 (pred energetska prenovo) – računalniški program ARCHIMAID

PRILOGA C: Primer izpisa izkaza energijskih lastnosti stavbe za stavbo V7 (pred energetska prenovo) – računalniški program Gradbena fizika URSA 4.0

PRILOGA D: Primer izpisa izkaza energijskih lastnosti stavbe za stavbo V7 (pred energetska prenovo) – računalniški program TOST