

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:

Domjan, K., 2014. Energijska bilanca stavbe po metodi kvazistacionarnega stanja in dinamični metodi izračuna. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Kristl, Ž.): 37 str.

Datum arhiviranja:02-27-2015

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:

Domjan, K., 2014. Energijska bilanca stavbe po metodi kvazistacionarnega stanja in dinamični metodi izračuna. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Kristl, Ž.): 37 pp.

Archiving Date: 02-27-2015

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 PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidat:

KLEMEN DOMJAN

**ENERGIJSKA BILANCA STAVBE PO METODI
KVAZISTACIONARNEGA STANJA IN DINAMIČNI
METODI IZRAČUNA**

Diplomska naloga št.: 150/B-GR

**ENERGY BALANCE OF A BUILDING USING QUASY-
STEADY-STATE AND DYNAMIC CALCULATION
METHOD**

Graduation thesis No.: 150/B-GR

Mentor:
doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:
izr. prof. dr. Janko Logar

Somentorica:
dr. Živa Kristl

Član komisije:
doc. dr. Roman Kunič

Ljubljana, 23. 09. 2014

IZJAVA

Podpisani Klemen Domjan izjavljam, da sem diplomsko delo z naslovom »Energijska bilanca stavbe po metodi kvazistacionarnega stanja in dinamični metodi izračuna« napisal sam pod mentorstvom doc. dr. Mitje Koširja.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 12. 9. 2014

Klemen Domjan

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	620.91:697(043.2)
Avtor:	Domjan Klemen
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentor:	dr. Živa Kristl, doc. dr. Marjana Šijanec Zavrl
Naslov:	Energijska bilanca stavbe po metodi kvazistacionarnega stanja in dinamični metodi izračuna
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	37 str., 27 pregl., 4 sl. 23 graf., 1 en., 7 pril.
Ključne besede:	IDA ICE, REVIT, TOST, PURES 2010, Tehnična smernica TSG-1-004:2010, SIST EN ISO 13790:2008

Izveleček

V tej diplomski nalogi sem primerjal izračuna energijske bilance stavbe po metodi kvazistacionarnega stanja, določeni s standardom SIST EN 13790, in metodi dinamičnega izračuna s pomočjo programa »IDA Indoor Climate and Energy«. Osredotočil sem se na odzivnost obeh metod na vpliv lokacije, orientacije, odprtih in toplotne mase stavbe ter izbora sistemov v njej. V prvem delu naloge so predstavljene zasnova enostanovanjske stavbe, njeni konstrukcijski sklopi, razporeditev odprtih in sistemov. S spreminjanjem posameznih parametrov sem nato v drugem delu naloge izpeljal izračun in analizo osemnajstih variant. Izkaže se, da je zaradi velikega odstopanja vhodnih klimatskih podatkov rezultate, pridobljene po uporabljenih metodah, izjemno težko medsebojno primerjati in vrednotiti, kljub temu pa so se preko izvedene analize pokazali določeni vzorci.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 620.91:697(043.2)
Author: Klemen Domjan
Supervisor: Assist. Prof. Mitja Košir, Ph.D.
Cosupervisor: Živa Kristl, Ph.D., Assist. Prof. Marjana Šijanec Zavrl, Ph.D.
Title: Energy balance of a building using quasy-steady-state and dynamic calculation method
Document type: Graduation Thesis – university studies
Scope and tools: 37 pp., 27 tab., 4 fig., 23 graph., 1 eq., 7 ann.
Keywords: IDA ICE, REVIT, TOST, PURES 2010, Technical guidance TSG-1-004:2010, ISO 13790:2008

Abstract

In this thesis I have been comparing, by focusing on the responsiveness to changes in location, orientation, openings and thermal mass, as well as in its services and systems, the energy balance of a building, using the quasy-steady-state method according to EN 13790, and the dynamic simulation method of the IDA Indoor Climate and Energy programme. In the first part of the thesis, the design of a single family house and the usage of construction systems, openings and building systems will be presented. By changing individual parameters of the building, 18 variations have been created. Due to a great mismatch of the input climate data, it turns out that comparing and evaluating the results produced by both methods is highly difficult. Nevertheless, in the carried out analysis, it is possible to identify certain trends.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitji Koširju in somentorici dr. Živi Kristl. Tekom nastajanja diplomske naloge sta mi pomagala s strokovnimi nasveti, vsebinskimi usmeritvami in spodbudnim odnosom.

Zahvaljujem se tudi prof. dr. Ivu Martinacu iz Royal Institute of Technology Stockholm, ki mi je svetoval v začetni fazi diplome.

Posebna zahvala gre inštitutu ZRMK oz. somentorici dr. Marjani Šijanec Zavrl in Gašperju Stegnarju za podaljšanje licence programa IDA ICE ter vso strokovno pomoč pri simulacijah v omenjenem programu.

Prav tako pa bi se zahvalil tudi Marles d.o.o. oz. gospe Majdi Pušnik za posredovane detajle konstrukcijskega sistema Marles Pasiv natura.

Nenazdanje pa se za podporo in pomoč tekom celotnega študija na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo zahvaljujem moji družini, prijateljem, kolegom ter vsem tistim, ki so mi tekom študija stali ob strani in me podpirali.

KAZALO VSEBINE

IZJAVA.....	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK.....	IX
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	IX
1. UVOD	1
1.1 Zakonodajni okvir	2
2. METODA.....	2
2.1 Metoda kvazistacionarnega stanja oz. kvazidinamična metoda.....	2
2.1.1 TOST	2
2.2 Dinamična metoda	3
2.2.1 IDA Indoor Climate and Energy	3
2.3 Predpostavke in poenostavitve	3
3. VHODNI PODATKI.....	4
3.1 Izbor obravnavane stavbe.....	4
3.2 Podatki o stavbi.....	5
3.2.3 Lahek konstrukcijski sklop	7
3.2.1 Mehanski sistemi v stavbi.....	9
3.2.2 Pregled variant	10
3.3 Klimatski podatki	11
4. REZULTATI.....	13
4.1 Osnovna varianta (Varianta 1)	14
4.2 Varianta 1a.....	15
4.5 Varianta 2b.....	16
4.6 Varianta 2c.....	17

4.7 Varianta 2d.....	18
4.7 Varianta 3.....	19
4.8 Varianta 3a.....	19
4.9 Varianta 3b.....	20
4.10 Varianta 4.....	21
4.11 Varianta 4a.....	22
4.12 Varianta 5.....	23
4.13 Varianta 6a.....	24
4.14 Varianta 6b.....	25
4.15 Varianta 7a.....	26
4.16 Varianta 7b.....	27
4.17 Varianta 7c.....	28
4.18 Varianta 7d.....	29
4.19 Optimizirana varianta (Varianta 8).....	30
5. RAZPRAVA.....	31
6. ZAKLJUČKI.....	33
VIRI.....	35
OSTALI VIRI.....	37

KAZALO SLIK

Slika 1: Originalni tloris pritličja hiše Cube 153	4
Slika 2: Poenostavljen tloris (kotirano v mm)	4
Slika 3: Fasada vzhod (kotirano v mm)	5
Slika 4: BIM model stavbe, oblikovan v programu REVIT	5

SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

BIM informacijsko modeliranje stavb (angl. Building Information Modeling)

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

g	prepustnost zasteklitve za celoten spekter sončnega sevanja
H_T	koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja
Q_f	dovedena (končna) energija za delovanje stavbe
U_w	toplotna prehodnost celotnega okna (zasteklitve in okvirja)
λ_n	toplotna prevodnost lesenega nosilca
λ_{ti}	toplotna prevodnost toplotne izolacije
λ_{nad}	nadomestna toplotna prevodnost
A_n	površina lesenih nosilcev
A_{ti}	površina toplotne izolacije

1. UVOD

Po podatkih Evropske unije se v stavbah izkoristi 40% primarne energije [1], a ker se cene energentov konstantno višajo, prav zmanjševanje tovrstne porabe predstavlja enega ključnih ukrepov pri povečevanju energetske neodvisnosti EU.

Evropski parlament in Svet Evrope sta 19. maja 2010 sprejela Direktivo o energetske učinkovitosti stavb [1], ki predpisuje, da bodo morale biti po letu 2020 vse nove stavbe skoraj »nič-energijske«. Z energetske sanacijami obstoječih stavb je seveda mogoče zagotoviti večji delež prihrankov, ki bi pripomogli k izboljšanju trenutnega stanja v gospodarskem in gradbenem sektorju. Korak v tej smeri so v tujini naredili že pred nekaj leti, pri nas pa letos, z uvedbo energetske izkaznice, ki jih predpisuje Energetske zakon (EZ-1) [2]. Njegov učinek v praksi bo pokazal, koliko energije bi se dalo z ustreznimi ukrepi privarčevati.

Ker učinkovitost posameznega ukrepa variira od primera do primera, predstavljajo računalniška orodja odlično podporo pri izračunih. Predpisi s tega področja so okvirni, posameznik pa mora z natančnim izračunom najti optimalne rešitve, ki so izvedljive tudi v praksi.

Za diplomsko nalogo s tega področja sem se odločil že v času študijske izmenjave na Švedskem, ko sem se v okviru rednega predmeta udeležil usposabljanja za uporabo enega vodilnih programov za dinamično energetske analizo stavbe, IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE - v nadaljevanju IDA) [3]. Zaradi kompleksnosti te (dinamične) metode sem se odločil, da jo primerjam z enostavnejšo, osnovano na (kvazistacionarnem) izračunu po standardu SIST EN 13790:2008 Energijske lastnosti stavb – Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov (v nadaljevanju SIST EN 13790) [4]. Moja glavna teza je, ali je mogoče s programom TOST [5], sledečim omenjenem standardu, za konkreten primer stavbe pridobiti rezultate, primerljive s tistimi, pridobljenimi z dinamično metodo.

Nekaj strokovnjakov se je s podobno primerjavo že ukvarjalo. A. Gasparella in G. Permigotto [6], na primer, sta metodi primerjala na podlagi različne notranje temperature objekta in ugotovila, da metoda kvazistacionarnega stanja pri toplotno slabo izoliranih objektih preceni transmisijske izgube in s tem toplotne izgube stavbe.

Diplomska naloga se osredinja na porabo energije za ogrevanje, saj se je doslej izkazalo, da izračun po metodi kvazistacionarnega stanja podcenjuje energijo potrebno za hlajenje stavbe. S spreminjanjem različnih parametrov na stavbi bom poskušal ugotoviti, ali je mogoče iz rezultatov ugotoviti, do kakšnih odstopanj prihaja in zakaj. Sam ocenjujem, da bodo odstopanja velika že zaradi različnih vhodnih klimatskih podatkov, pa tudi zaradi različnih robnih pogojev in nivojev natančnosti nastavitvev. Predpostavljam, da bo dinamična metoda s podrobnimi nastavitvami veliko bolj primerna

za optimizacijo stavbe, medtem ko bo metoda po standardu ustrežnejša za hiter informativni izračun porabe.

1.1 Zakonodajni okvir

Izračun v programu TOST poteka v skladu z navodili Tehnične smernice TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije [7] (v nadaljevanju TSG4) in predpisi Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah 52/2010 [8]. Pri dimenzioniranju prezračevanja sem se opiral na metodo, ki jo predpisujejo švedski predpisi BBR [9]. Slednji narekujejo vsaj $0,35 \text{ l/s, m}^2$ pretoka zraka v bivalnih prostorih, podajajo pa tudi minimalno vrednost pretoka zraka za kuhinjo – 10 l/s, kopalnico – 10 l/s, WC – 20 l/s, ter spalnico – 4 l/s na osebo. Metodo sem upošteval do te mere, da sem zadostil tudi zahtevam iz TSG4 [7] ter zahtevam Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb 29/2004 [10], ki predpisuje minimalen pretok zraka $15 \text{ m}^3/\text{h}$ na osebo (4,17 l/s na osebo) oz. 0,5 izmenjave zraka na uro za bivalne prostore.

2. METODA

Za energetske bilance stavbe sem uporabljal programa TOST ter IDA. Model stavbe sem zasnoval v programu REVIT [11] ter ga preko odprtokodnega formata .ifc uvozil v program IDA. Za potrebe izračuna v TOST-u sem količine (prostornine, površine ter ostale dimenzije) pridobil iz .ifc modela v programu SOLIBRI Model Viewer [12].

2.1 Metoda kvazistacionarnega stanja oz. kvazidinamična metoda

Za izračun toplotne bilance se po SIST EN 13790 [4] uporablja mesečni ali sezonski interval. Ta upošteva dinamične učinke s pomočjo empirično določenih izkoristkov. Mesečni izračun daje sicer na letnem nivoju pravilne rezultate, vendar pa, kot navaja SIST EN 13790 [4], pri posameznih mesecih na začetku in koncu ogrevalne sezone lahko pride do napake.

Pri tej metodi se z izkoristkom notranjih dobitkov in dobitkov sončnega sevanja upošteva dejstvo, da se jih le del porabi za zmanjšanje potrebne energije za ogrevanje. Preostali del prispeva k neželenemu povišanju notranje temperature nad nastavljeno oz. želeno.

2.1.1 TOST

Program, ki ga je pripravila Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, omogoča izračun energetske bilance stavbe po Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES 2010 [8], upoštevajoč SIST EN ISO 13790 [4] in TSG4 [7]. Program omogoča izračun porabe toplote za ogrevanje po mesečni metodi - sezonska namreč po PURES 2010 [7] ni več dovoljena. Preko koordinat stavbe, locirane v Sloveniji, iz podatkovne baze izbere ustrezne klimatske podatke. Ker ne vsebuje grafičnega vmesnika za vnašanje geometrije stavbe, se vhodne podatke vnaša

v obliki numeričnih podatkov. Omogoča orientacije J, V, S, Z, ne pa tudi vmesnih leg, ter simulacijo vpliva obnovljivih virov energije, akumulacijskih sten ter steklenjakov.

2.2 Dinamična metoda

Dinamične metode po SIST EN 13790 [4] se praviloma poslužujejo urnega izračuna, kar v prehodnih obdobjih zagotavlja večjo natančnost. Ob teh metodah se višek toplote, ki vpliva na dvig temperature nad tisto nastavljeno, odvaja z dodatno transmisijo in zbiranjem, če ni mehanskega hlajenja. Metode upoštevajo tudi akumulacijo toplote, zato znižanje nastavljene temperature ali izklop termostata ne pomeni nujno takojšnjega padca notranje temperature. Podobno metoda obravnava tudi hlajenje, zato je izračun potreb po hlajenju po njej veliko bolj natančen kot izračun po metodi kvazistacionarnega stanja.

2.2.1 IDA Indoor Climate and Energy

Švedski program, ki omogoča ne samo dinamično analizo dovedene energije za celotno stavbo (Q_f), temveč tudi celoletno detajlno in dinamično veččonsko simulacijo notranjega okolja. Po pričanju njenih razvijalcev v podjetju EQUA Simulations AB [13] program sodi v svetovni vrh in je v najbolj razvitih evropskih državah že močno razširjen, saj predpostavlja uvoz BIM modelov, precizne nastavitve v zvezi s strojnimi instalacijami stavb, uporabo senzorjev, povezanih z makro ukazi, in še mnogo več.

2.3 Predpostavke in poenostavitve

Zaradi obsežnosti zadane naloge sem se tekom simulacij posluževal poenostavitev določenih korakov, ki niso predstavljali pomembnega vpliva na rezultat:

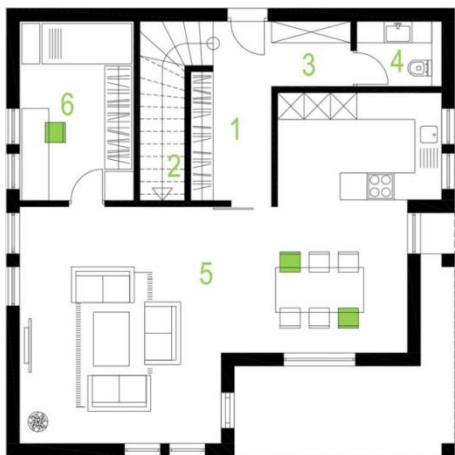
- Vrednosti toplotnih mostov nisem posebej podajal, temveč sem jih v skladu s SIST EN 13790 [4] upošteval v dodatnih $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ k toplotni prehodnosti vsakega konstrukcijskega sklopa.
- Zanemaril sem notranje pribitke toplote (luči, oprema, stanovalci).
- Privzel sem stalni režim sistema mehanskega prezračevanja.
- Prilagajal sem U vrednosti okvirja pri oknih, da za vsak model okna velja $U_w=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Zanemaril sem delež toplotne izolacije v vertikalnih nosilcih lahkega konstrukcijskega sistema ter uporabljal nadomestni sloj (kjer se pojavi npr. izolacija med lesenimi nosilci) s toplotno prevodnostjo, izračunano z izrazom (1).

$$\lambda_{\text{nad}} = \frac{\lambda_n \cdot A_n + \lambda_{ti} \cdot A_{ti}}{A_n + A_{ti}} \quad (1)$$

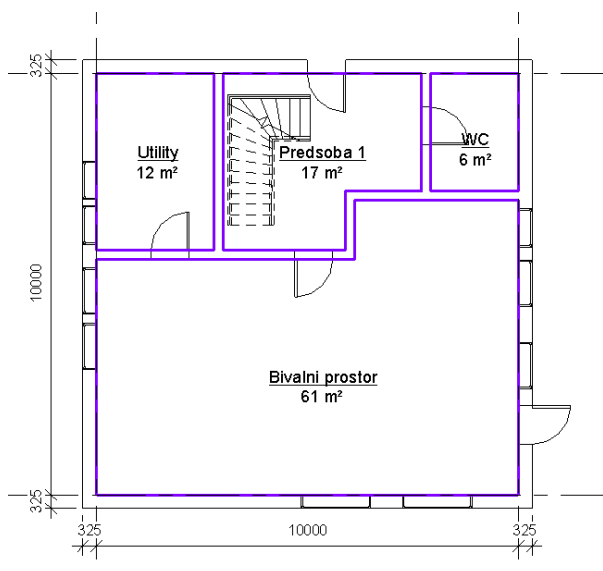
3. VHODNI PODATKI

3.1 Izbor obravnavane stavbe

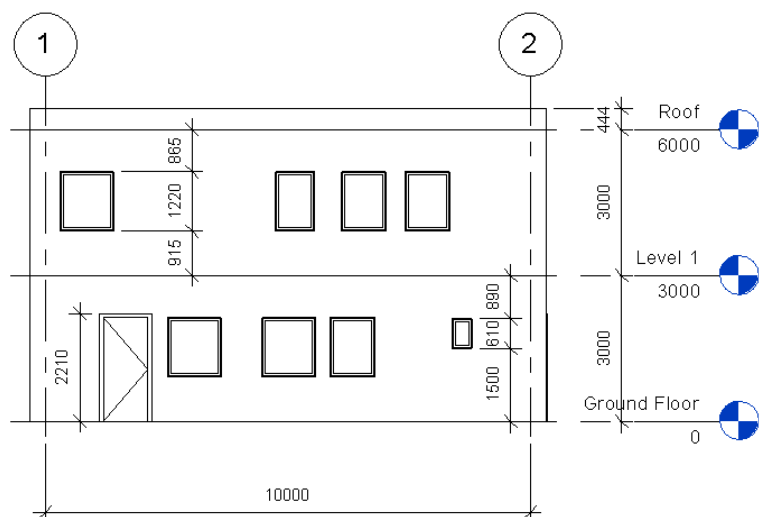
Kot arhitekturna zasnova za obravnavani primer mi je služila tipska hiša CUBE 153 [14] proizvajalca Jelovica d.d, katere nepravilno obliko (izrez v pritličju) sem, kot je razvidno iz slik 1 in 2, poenostavil, tako da je preprostejša (gl. sliki 3 in 4).



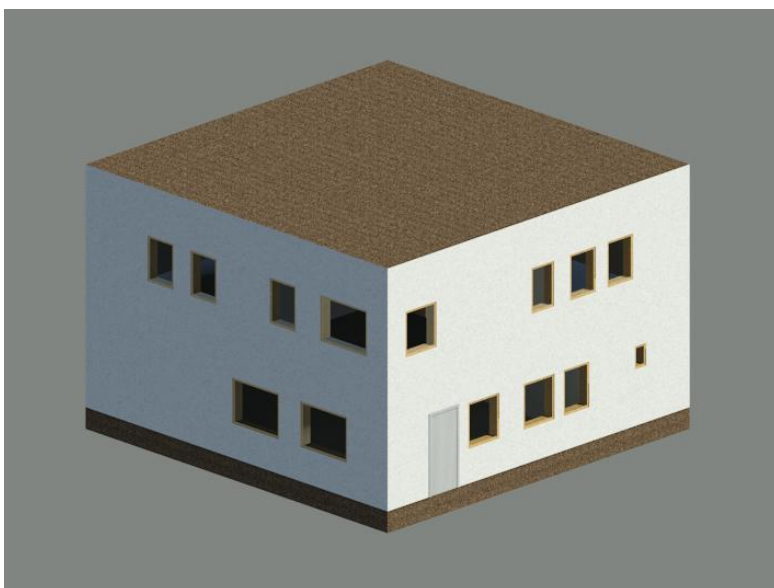
Slika 1: Originalni tloris pritličja hiše Cube 153



Slika 2: Poenostavljen tloris (kotirano v mm)



Slika 3: Fasada vzhod (kotirano v mm)



Slika 4: BIM model stavbe, oblikovan v programu REVIT

3.2 Podatki o stavbi

Izhodiščna varianta stavbe je locirana za Bežigradom v Ljubljani, natančneje v bližini meteorološke postaje Agencije Republike Slovenije za okolje [15] (v nadaljevanju ARSO) na Peričevi ulici (koordinate GKX: 102488, GKY: 462649).

Ker je bila ena glavnih postavk primerjave vpliv toplotne mase objekta na porabo energije za ogrevanje, sem za izhodiščni konstrukcijski sklop izbral masivno betonsko gradnjo z zunanjo toplotno izolacijo (preglednica 1).

Da bi lahko preveril tudi vpliv akumulacije toplote v stavbnem ovoju na porabo energije v stavbi, sem za primerjavo uporabil lahek konstrukcijski sklop (preglednica 3), osnovan na konstrukcijskem sistemu Marles Pasiv natura [16] (preglednica 2).

Ker pa je bila toplotna prehodnost lahkega konstrukcijskega sklopa veliko manjša od prehodnosti masivnega sklopa, sem po tehtnem premisleku in pogovoru z mentorjem prišel do ugotovitve, da dejanski vpliv toplotne mase ne bo razviden, če ne bom uskladir U vrednosti obeh konstrukcijskih sistemov. Kot je to razvidno iz preglednice 3, sem tako zmanjšal debelino slojev lahkega konstrukcijskega sklopa in njegove U vrednosti uskladir z masivnim.

Tekom izdelave simulacij sem vodil evidenco o vseh podatkih stavbe (gl. preglednice 4 – 7). Vse fizikalne lastnosti materialov so povzete iz TSG4 [7]. Vrednosti U faktorja so izračunane v programu IDA. Razporeditev oken, podana v preglednicah 4 in 5, je bila povzeta po načrtih hiše Marles Cube 153 [14].

Preglednica 1: Konstrukcijski sklopi zunanjega ovoja osnovne variante

Zunanji zid - U=0,1555 W/m²K			Streha - U= 0,1719 W/m²K		
	d	λ		d	λ
Notri - zunaj	m	W/mK	Spodaj - zgoraj	m	W/mK
Lahka mavčna malta	0,02	0,47	Lahka mavčna malta	0,02	0,47
Beton	0,20	1,51	Beton	0,21	1,51
PVC folija	0,00	0,17	Bitumenski premaz	0,01	0,19
Mineralna volna	0,10	0,03	XPS	0,10	0,04
Mavčna malta na rabić mrežici	0,00	0,58	Filc	0,00	0,16
Zaključni omet	0,00	1,83	Nasutje prod	0,20	1,45
Tla - U=0,1726 W/m²K			Medetažna k. - U=0,2945 W/m²K		
	d	λ		d	λ
Notri - zunaj	m	W/mK	Spodaj - zgoraj	m	W/mK
Keramične ploščice	0,01	1,28	Lahka mavčna malta	0,02	0,47
Cementni estrih	0,06	1,40	Beton	0,16	1,51
PVC folija	0,00	0,17	Mineralna volna	0,10	0,03
XPS	0,10	0,04	Pe folija	0,00	0,17
Bitumenski trakovi	0,01	0,19	Cementni estrih	0,06	1,40
Podbeton	0,10	1,51	Keramične ploščice	0,01	1,28
Nasutje	0,30	1,45	Predelna stena - U=1,324 W/m²K		
				d	λ
				m	W/mK
			Lahka mavčna malta	0,02	0,47
			Porobeton bloki	0,16	0,14
			Lahka mavčna malta	0,02	0,47

3.2.3 Lahek konstrukcijski sklop

Preglednica 2: Konstrukcijski sistem Marles Pasiv natura

Zunanji zid - U=0,08351 W/m²K			Streha - U= 0,1157 W/m²K		
	d	λ		d	λ
Notri - zunaj	m	W/mK	Notri - zunaj	m	W/mK
Mavčno-vlaknena plošča	0,01	0,21	Nasutje prodec	0,10	1,45
OSB 3	0,02	0,13	Paroprepustni filc 200 g/m ²	0,21	0,16
Celulozna vlakna	0,36	0,04	XPS	0,20	0,04
Konstrukcijski les (Termo pokončnik)	0,36	0,14	Bitumenski trakovi	0,01	0,19
Nadomestni sloj 1	0,36	0,00	OSB plošča	0,02	0,13
Fasadna lesna plošča	0,06	0,05	Stropni nosilci 44/210	0,21	0,14
Armirani sloj	0,00	0,58	Mineralna volna	0,05	0,03
Končni omet	0,00	1,83	Nadomestni sloj 2	0,21	0,00
Tla - U=0,1038 W/m²K	d	λ	Stropne letve 60/22	0,02	0,14
Notri - zunaj	m	W/mK	Nadomestni sloj 3	0,02	0,28
Keramične ploščice	0,01	1,28	MKP	0,01	0,21
Cementni estrih	0,05	1,40	Medetažna k. - U=0,1872 W/m²K	d	λ
Pe folija	0,00	0,17	Spodaj - zgoraj	m	W/mK
EPS	0,04	0,04	Keramične ploščice	0,01	1,28
Bitumenski trakovi	0,01	0,19	OSB 2x15mm	0,03	0,13
Podbeton	0,25	1,51	Lesena vlaknena plošča	0,06	0,05
PVC folija	0,00	0,17	Stropna lega 44/210	0,21	0,14
XPS	0,30	0,04	Lesna izol. Pl.	0,10	0,05
Izravnalni beton	0,08	1,51	Nadomestni sloj 4	0,21	0,00
Nasutje	0,30	1,45	Stropne letve 60/22	0,02	0,14
Predelna stena - U=0,6907 W/m²K	d	λ	Nadomestni sloj 5	0,02	0,00
Spodaj - zgoraj	m	W/mK	Eko natur folija	0,00	
Mavčno vlaknena plošča	0,02	0,21	Mavčno-vlaknena plošča	0,01	0,21
Konstrukcijski les	0,10	0,14			
Lesno izolacijska plošča	0,05	0,04			
Zrak	0,05				
Nadomestni sloj 6	0,10	0,00			
Mavčno-vlaknena plošča	0,02	0,21			

Preglednica 3: Modificiran lahki konstrukcijski sistem

Zunanji zid - U=0,08351 W/m2K	d	λ	Streha - U= 0,1157 W/m2K	d	λ
Notri - zunaj	m	W/mK	Notri - zunaj	m	W/mK
Mavčno kartonska plošča	0,01	0,21	Nasutje prodec	0,10	1,45
OSB 3	0,02	0,13	Paroprepustni filc 200 g/m2	0,21	0,16
Celulozna vlakna	0,36	0,04	XPS	0,20	0,04
Konstruktivski les (Termo pokončnik)	0,36	0,14	Hidroizolacija - dvoslojna 8mm	0,01	0,19
Nadomestni sloj 1	0,36	0,00	OSB plošča	0,02	0,13
Fasadna lesna plošča	0,06	0,05	Stropni nosilci 44/210	0,21	0,14
Armirani sloj	0,00	0,58	Mineralna volna	0,05	0,03
Končni omet	0,00	1,83	Nadomestni sloj 2	0,21	0,00
T1a - U=0,1038 W/m2K	d	λ	Stropne letve 60/22	0,02	0,14
Notri - zunaj	m	W/mK	Nadomestni sloj 3	0,02	0,28
Keramične ploščice	0,01	1,28	MKP	0,01	0,21
Cementni estrih	0,05	1,40	Medetažna k. - U=0,1872 W/m2K	d	λ
Pe folija	0,00	0,17	Spodaj - zgoraj	m	W/mK
EPS	0,04	0,04	Mavčno-vlaknena plošča	0,01	0,21
Bitumenski trakovi	0,01	0,19	Eko natur folija	0,00	
Podbeton	0,25	1,51	Nadomestni sloj 5	0,02	0,00
PVC folija	0,00	0,17	Stropne letve 60/22	0,02	0,14
XPS	0,30	0,04	Nadomestni sloj 4	0,21	0,00
Izravnalni beton	0,08	1,51	Lesna izolacija	0,10	0,05
Nasutje	0,30	1,45	Stropna lega 44/210	0,21	0,14
Predelna stena - U=0,6907 W/m2K	d	λ	Lesena vlaknena plošča	0,06	0,05
	m	W/mK	OSB 2x15mm	0,03	0,13
Mavčno vlaknena plošča	0,02	0,21	Keramične ploščice	0,01	1,28
Konstruktivski les	0,10	0,14			
Lesno izolacijska plošča	0,05	0,04			
Zrak	0,05				
Nadomestni sloj 6	0,10	0,00			
Mavčno-vlaknena plošča	0,02	0,21			

Preglednica 4: Gradbeno fizikalne lastnosti uporabljenih oken

model okna	h (m)	b (m)	debelina okvirja (m)	A (m ²)	A _{okvir} (m ²)	delež okvirja
okno 1	1,22	0,91	0,11	1,12	0,40	0,36
okno 2	1,22	1,10	0,11	1,34	0,44	0,33

okno hodnik	1,22	0,80	0,11	0,98	0,38	0,39
okno veliko	1,22	1,65	0,11	2,01	0,56	0,28
okno wc	0,61	0,41	0,11	0,25	0,17	0,68

Preglednica 5: Orientiranost in površina okenskih odprtin

fasada	število oken	model okna	A (m ²)	delež okv.
jug	3	okno1	3,35	0,36
	3	okno veliko	6,04	0,28
vzhod	3	okno2	4,03	0,33
	1	okno hodnik	0,98	0,39
	3	okno1	3,35	0,36
	1	okno wc	0,25	0,68
sever	0	/	/	/
zahod	4	okno1	4,47	0,36
	1	okno hodnik	0,98	0,39
	3	okno2	4,03	0,33

Ker se v programu TOST podaja toplotna prehodnost celotnega okna, ne pa ločeno za zasteklitev in okvir, sem s spreminjanjem vrednosti toplotne prehodnosti okvirja v programu IDA vsakemu oknu zagotovil skupno toplotno prehodnost 1,1 W/m²K. Koeficient prepustnosti za celoten sončni spekter (g) znaša 0,62 (uporabljena zasteklitev v IDA: Pilkington Insulight Therm [17]).

V stavbi se nahaja dvoje pasivnih vhodnih vrat Jelovica [18] s toplotno prehodnostjo 0,806 W/m²K.

3.2.1 Mehanski sistemi v stavbi

Osnovna varianta stavbe je mehansko prezračevana. Uporabljen je prezračevalni sistem, ki vključuje filtracijo, ogrevanje, hlajenje in rekuperacijo toplote ter hladu odpadnega zraka. Zračni pretoki prezračevalnega sistema so prikazani v preglednici 7. Po priporočilih EQUA Simulations AB [13] je temperatura dovedenega zraka v prostor nastavljena na 16⁰C. Poleg tega se stavba ogreva s pomočjo radiatorjev moči 500W, priključenih na daljinsko ogrevanje (kogeneracija) Ljubljanske toplarne [19]. Razporeditev in moč radiatorjev sta prikazani v preglednici 6.

Preglednica 6: Moč ogrevanja in hlajenja

Prostor	Ogrevanje	Hlajenje
Bivalni prostor	4x500W	2000W
Utility	1x500W	2000W
Predsoba1	1x500W	2000W

WC	1x500W	2000W
Kopalnica	1x500W	2000W
Predsoba2	1x500W	2000W
Spalnica	2x500W	2000W
Soba 1	2x500W	2000W
Soba 2	2x500W	2000W
Hodnik	1x500W	2000W

Preglednica 7: Dimenzioniranje prezračevanja

Prostor	A(m ²)	Za IDA ICE		Za TOST	
		Dotok l/s,m ²	Iztok l/s,m ²	Dotok m ³ /s	Iztok m ³ /s
bivalni pr.	61,37	0,42	0,49	0,026	0,030
utility	11,71		0,85		0,010
predsoba1	17,18	0,47		0,008	
wc	5,81		2,76		0,016
kopalnica	11,71		1,37		0,016
predsoba2	12,13	0,41		0,005	
spalnica	16,29	0,55		0,009	
hodnik	8,93	0,45		0,004	
soba1	22,85	0,44		0,010	
soba2	21,05	0,47		0,010	
			sum	0,072	0,072

Natančen izračun prezračevalnih pretokov je viden v prilogi D.

3.2.2 Pregled variant

Osnovna ideja za primerjavo obeh programov je bila izvedba simulacij na enaki stavbi s spreminjanjem enega parametra na osnovni varianti. Spreminjal sem nastavitve prezračevanja, tj. mehansko in naravno prezračevanje, učinkovitost izmenjevalnika toplote za rekuperacije iz odpadnega zraka ter toplotno kapaciteto stavbnega ovoja in parametre zasteklitve (toplotno prehodnost zasteklitve ter koeficient sončnih pribitkov).

Poleg izhodiščne sem se lotil še lokacije Letališče Portorož [15] (koordinate GKX: 37622, GKY: 392214). Na obeh lokacijah sem preveril dve orientaciji stavb (osnovna varianta je orientirana na jug, dodatno pa sem preveril orientacijo bivalnih prostorov na vzhod) in vpliv senčenja.

To me je privedlo do osemnajstih variant, ki sem jih podal v preglednici 8. Variante, izhajajoče iz lahkega konstrukcijskega sklopa, sem obarval zeleno, tiste, locirane v Portorožu, pa modro. Njihovi rezultati so omogočili primerjavo odzivov obeh programov na spremenjene parametre.

Preglednica 8: Nabor variant

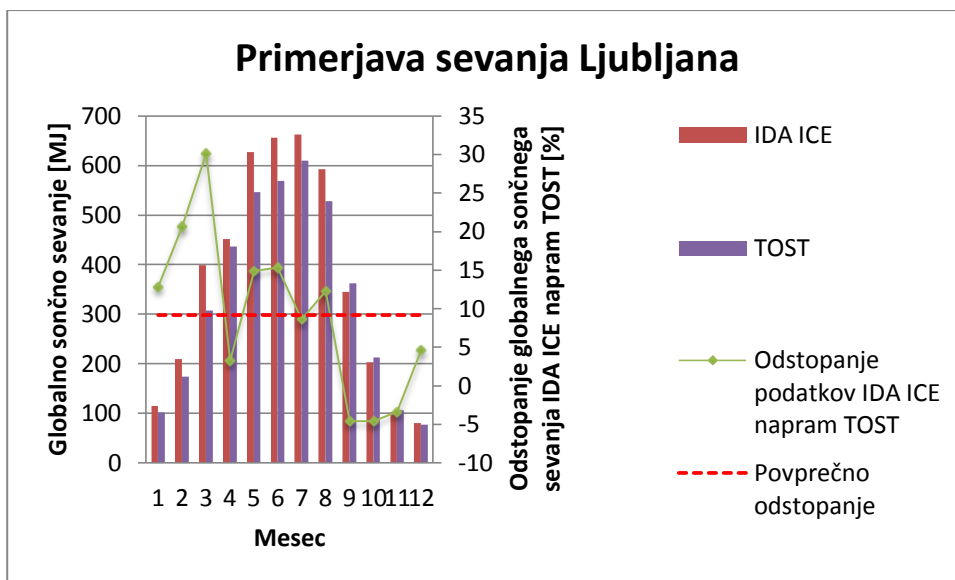
Varianta	ime	spremenjen parameter
1	Osnovna varianta	/
1a		naravno prezračevanje
2b		lesen KS - zvišan U
2c		lesen KS - zvišan U, naravno prezračevanje
2d		dodatnih 100 mm termo izolacije
3		orientacija V
3a		Portorož
3b		Portorož orientacija V
4		x2 okna na J
4a		manj oken J
5		rekuperacija 60%
6a		senčenje
6b		senčenje. + lokacija Portorož
7a		Uw=0,73
7b		Uw=1,50
7c		g=0,49
7d		g=0,80
8	Optimizirana varianta	Dodatnih 100 mm termo izolacije, senčenje

3.3 Klimatski podatki

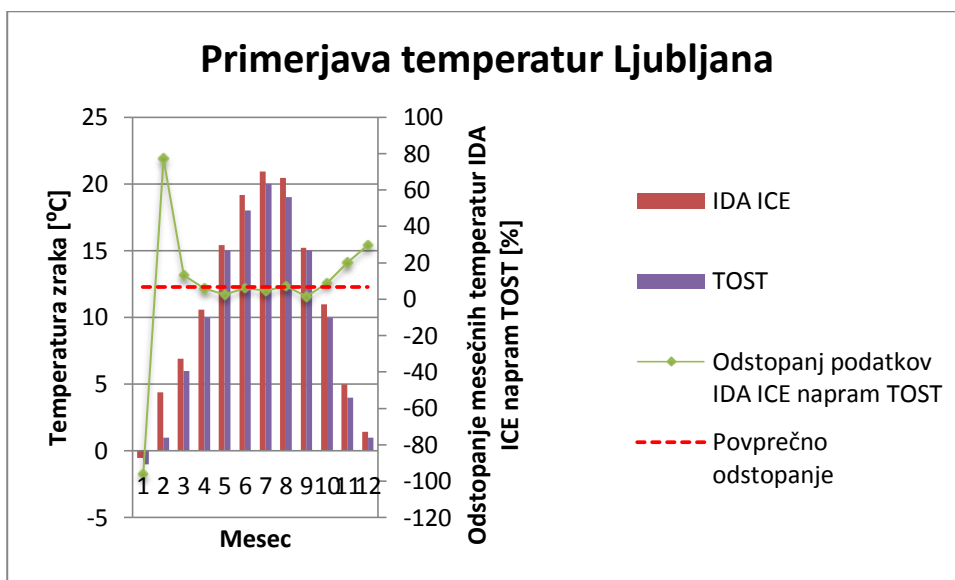
Klimatski podatki za TOST se glede na izbrane koordinate avtomatsko nalagajo iz podatkovne baze ARSO in so predpisani po PURES 2010 [8]. Pripravljeni so bili za 30-letno referenčno obdobje 1971-2000 [15], vključujejo pa v omenjenem časovnem razponu izmerjene povprečne mesečne in letne temperature ter povprečne mesečne količine globalnega sevanja različno orientiranih in nagibanih ravnih površin.

Podatke za vnos v IDA sem, nasprotno, pridobil od inštituta ZRMK [20] - tam so namreč javno dostopne klimatske podatke za testno referenčno leto [21] sortirali v ustrezne datoteke. V zadnjih nekaj letih se je ozračje občutno otoplilo. Po podatkih IDA je količina globalnega sevanja nad Ljubljano v povprečju za 9,2% višja kot po podatkih TOST, medtem ko razkorak v primeru Letališča Portorož v povprečju dosega kar 32,1%. Primerjava klimatskih podatkov obeh lokacij je prikazana na

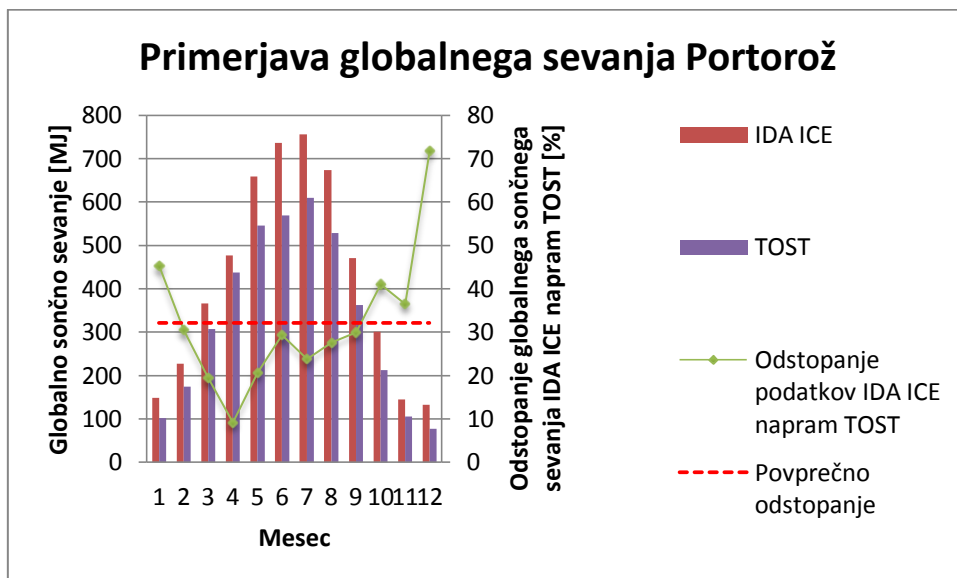
grafikonih 1 do 4. Z vseh grafikonov je razvidno, da do največjih razhajanj na lokaciji Ljubljana prihaja v januarju, februarju in marcu, medtem ko so v Portorožu razlike velike tudi novembra in decembra. Kot je mogoče opaziti na grafikonu 2, se temperaturno odstopanje v Ljubljani v poletnih mesecih močno približa povprečnemu letnemu odstopanju, v Portorožu pa tega trenda ni zaznati.



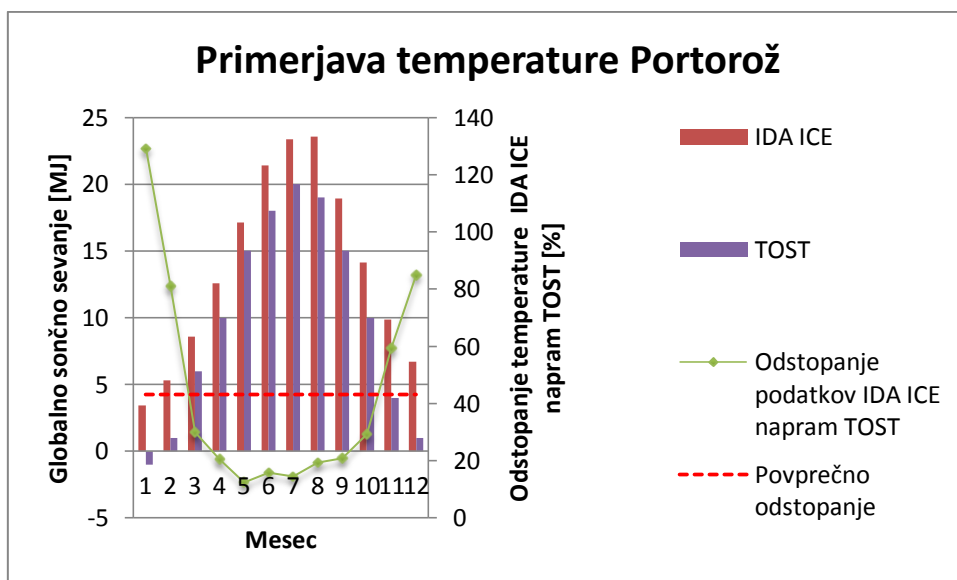
Grafikon 1: Primerjava globalnega sončnega sevanja na mesečni ravni, lokacija Ljubljana



Grafikon 2: Primerjava povprečnih mesečnih temperatur, lokacija Ljubljana



Grafikon 3: Primerjava globalnega sončnega sevanja na mesečni ravni, lokacija Portorož



Grafikon 4: Primerjava povprečnih mesečnih temperatur, lokacija Portorož

4. REZULTATI

Ker program IDA ICE omogoča izračun dovedene energije (angl. delivered energy), po definiciji enake končni energiji, ki jo je mogoče izračunati po metodi, uporabljeni v programu TOST, sem medsebojno primerjal vrednosti $Q_{NH,f}$ vseh variant iz enega in drugega programa (primerjava $Q_{NC,f}$ bo zgolj informativna).

Rezultate bom podajal v grafični obliki, in sicer tako, da bom vrednosti vsake variante primerjal z osnovno varianto (varianto 1). Varianto 2c bom primerjal z varianto 1a, saj ima 2c poleg spremenjene

toplotne mase tudi spremenjen režim prezračevanja. Varianto 3b in 6b, ki sta obe locirani v Portorožu, pa bom primerjal z varianto 3a, ki predstavlja varianto 1, predstavljeno iz Ljubljane v Portorož.

Rezultati bodo sicer vključevali tudi dovedeno oz. končno energijo za hlajenje stavbe ($Q_{NC,f}$), a bo ta zaradi neprimerljivosti metod izračuna v uporabljenih programih navedena le informativno.

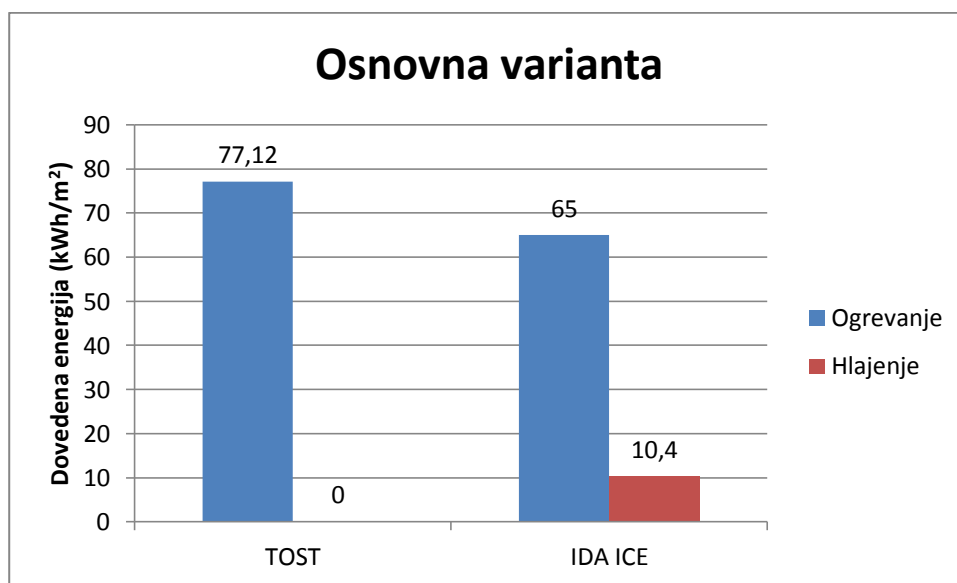
Za vsako varianto bom poleg tega tabelarično podal vrednosti koeficienta specifičnih transmisij izgub, ki ju izračunata oba programa, ter ju primerjal z osnovno varianto.

Sledila bo primerjava vrednosti v besedi; podana bodo odstopanja med rezultati obeh programov ter odstopanja med obravnavano in osnovno varianto.

Pregled vseh rezultatov in primerjav je podan v prilogi B.

4.1 Osnovna varianta (Varianta 1)

Osnovna varianta predstavlja omenjeno stavbo z armiranobetonskim masivnim konstrukcijskim sistemom. Je mehansko prezračevana, locirana v Ljubljani, njeni bivalni prostori so usmerjeni na jug. Izkoristek rekuperacijskega sistema znaša 85%. Rezultati izvedenih simulacij so prikazani na grafikonu 5 in v preglednici 9.



Grafikon 5: Dovedena energija osnovne variante

Preglednica 9: Vrednosti koeficienta specifičnih transmisij toplotnih izgub, ki ju izračunata programa

Koeficient specifičnih transmisij toplotnih izgub H'_T (W/m²K)	0,28	0,2738
	TOST	IDA ICE

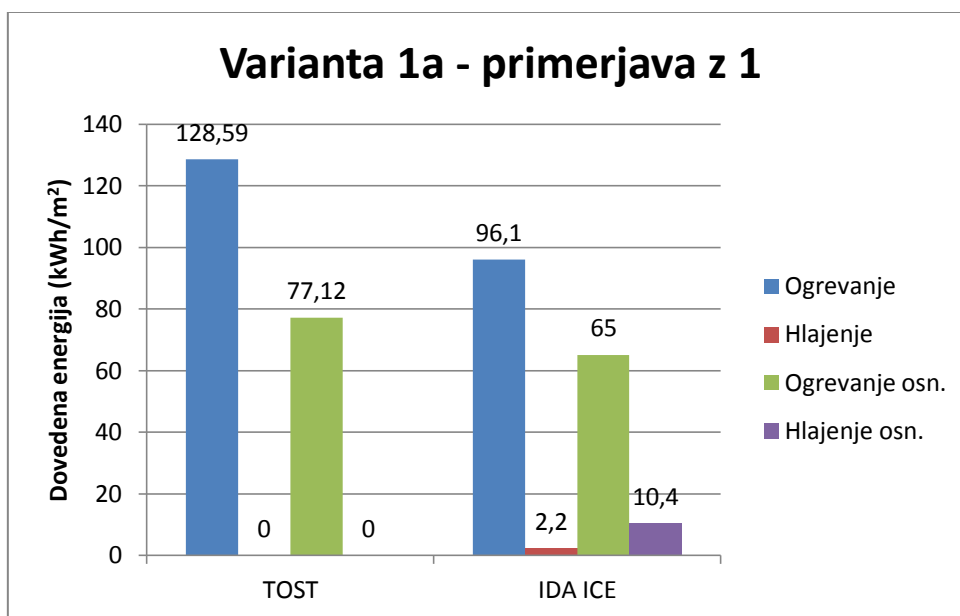
Osnovna varianta kaže na predhodno napoved, da metoda, uporabljena v programu TOST, podcenjuje potrebo po energiji za hlajenje stavbe, saj izračuna vrednost 0. IDA namreč izračuna 10,4 kWh/m², kar se zdi bolj realen rezultat.

TOST sicer izračuna 18,6% (12,12 kWh/m²) več dovedene energije za ogrevanje stavbe ($Q_{NH,t}$).

Tudi pri izračunu H'_T pride do manjših razhajanj v rezultatih. TOST namreč izračuna za 2,26% (0,0062 W/m²K) večjo vrednost kot IDA, a ta razlika je skoraj zanemarljiva.

4.2 Varianta 1a

V primeru te variante, sicer identične varianti 1, sem povsem izključil mehansko prezračevanje stavbe. 0,5 izmenjave zraka na uro v tem primeru zagotavlja le fiksna infiltracija skozi stavbni ovoj, pri čemer seveda ni rekuperacije toplote odpadnega zraka. Rezultati izvedenih simulacij so prikazani na grafikonu 6 in v preglednici 10.



Grafikon 6: Primerjava rezultatov variant 1a in 1

Preglednica 10: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Osnovna varianta	Varianta 1a	Osnovna varianta	Varianta 1a
H'_T (W/m ² K)	0,28	0,28	0,2738	0,2738
	TOST		IDA ICE	

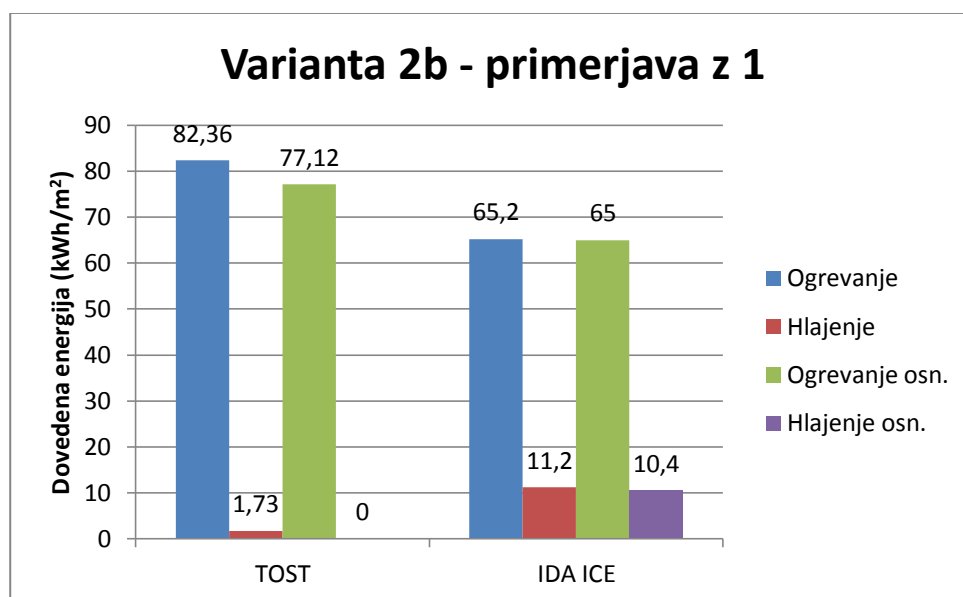
Za ogrevanje ta varianta po izračunu IDA porabi 47,8% (31,1 kWh/m²), po izračunu TOST pa kar 66,7% (36,18 kWh/m²) več dovedene toplote kot pri varianti 1.

IDA v primerjavi z osnovno varianto izračuna 78,8% ($8,2 \text{ kWh/m}^2$) več dovedene energije za hlajenje stavbe, medtem ko je po TOST vrednost dovedene energije za hlajenje še vedno 0. TOST tako izračuna 33,8% ($32,49 \text{ kWh/m}^2$) več dovedene toplote kot IDA.

4.5 Varianta 2b

Zaradi težnje po primerjavi odziva obeh programov na spremembo toplotne mase stavbnega ovoja sem izhodiščnemu lahkemu konstrukcijskemu sistemu stanjšal izolacijske plasti ter s tem toplotne prehodnosti vseh konstrukcijskih sklopov (preglednica 6) izenačil s prehodnostmi masivnega sistema variante 1.

S tem sem omogočil primerjavo rezultatov z osnovno varianto stavbe z le enim spremenjenim parametrom – toplotno maso stavbnega ovoja. Rezultate simulacij podajam na grafikonu 7 in v preglednici 11.



Grafikon 7: Primerjava rezultatov variant 2b in 1

Preglednica 11: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Osnovna varianta	Varianta 2b	Osnovna varianta	Varianta 2b
$H'_T \text{ (W/m}^2\text{K)}$	0,28	0,28	0,2738	0,2794
	TOST		IDA ICE	

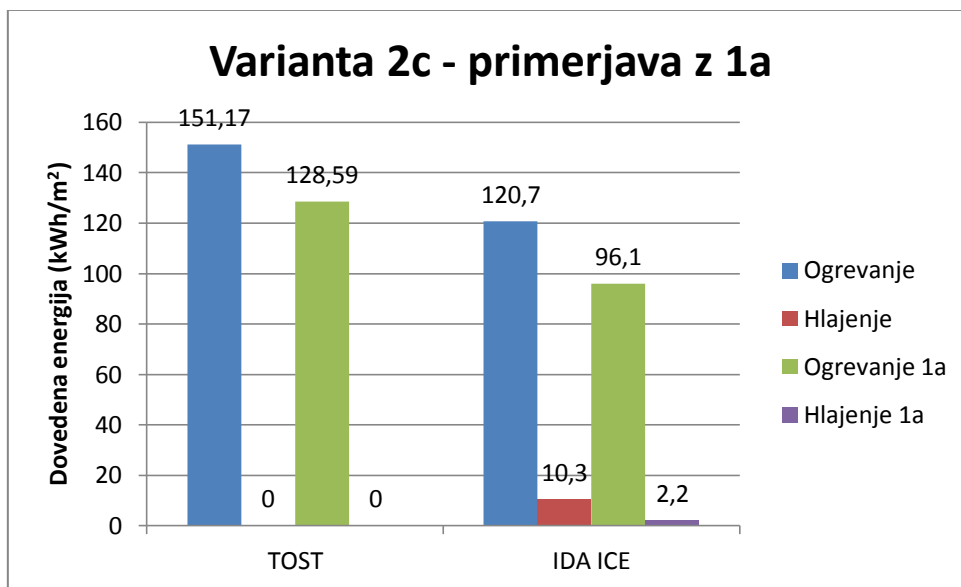
IDA zazna pičlega 0,3% ($0,8 \text{ kWh/m}^2$) več dovedene energije za ogrevanje, TOST pa 6,8% ($3,69 \text{ kWh/m}^2$). Razlika med izračunom ogrevanja v TOST in IDA tako znaša 26,3% ($17,16 \text{ kWh/m}^2$).

IDA izračuna povečanje potrebe po energiji za hlajenje za 7,69% ($0,8 \text{ kWh/m}^2$), omembe vredno pa je, da TOST za njim ne zaostaja veliko in prav tako izračuna minimalno vrednost te energije ($1,73 \text{ kWh/m}^2$).

Ob menjavi toplotne mase stavbnega ovoja se za 2,04% ($0,0056 \text{ W/m}^2\text{K}$) poveča koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub. Pri izračunu v programu TOST razlike ni.

4.6 Varianta 2c

Ta varianta je enaka prejšnji, le da je mehansko prezračevanje izključeno. $0,5\text{h}^{-1}$ izmenjave zraka se zagotavlja z infiltracijo, zato jo je smiselno primerjati z varianto 1a, ki ima enako konfiguracijo prezračevanja ter masiven konstrukcijski sistem. Rezultati so podani na grafikonu 8 in v preglednici 12.



Grafikon 8: Primerjava rezultatov variant

Preglednica 12: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Varianta 1a	Varianta 2c	Varianta 1a	Varianta 2c
$H'_T \text{ (W/m}^2\text{K)}$	0,28	0,28	0,2738	0,2736
	TOST		IDA ICE	

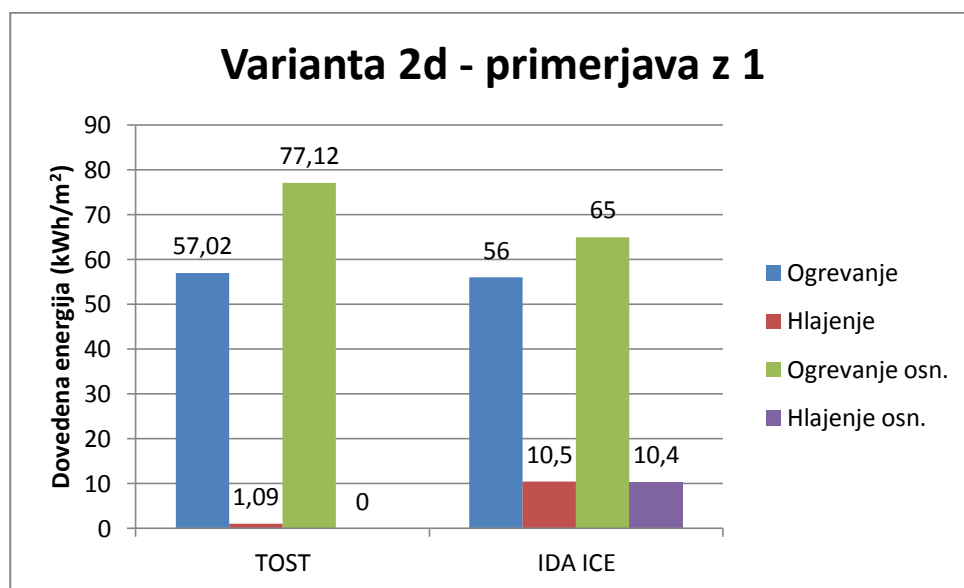
Opazimo relativno velik vpliv toplotne mase na potrebo po ogrevanju stavbe. TOST izračuna 17,56% ($15,87 \text{ kWh/m}^2$) več končne energije za ogrevanje, IDA pa 25,60% ($24,6 \text{ kWh/m}^2$). TOST v tej varianti izračuna 25,24% ($30,47 \text{ kWh/m}^2$) več končne energije kot IDA.

IDA izračuna 368,12% (8,1 kWh/m²) več dovedene energije za hlajenje, TOST pa potrebe po hlajenju ne zazna.

V nasprotju z varianto 2b se pri varianti 2c vrednost H'_T zmanjša za 0,07% (0,0002 W/m²K), TOST pa tudi tu ne zazna spremembe.

4.7 Varianta 2d

K osnovnemu stavbnemu ovoju je dodanih 100 mm toplotne izolacije (mineralna volna). S tem se močno zmanjša toplotna prehodnost stavbnega ovoja ($U_{\text{zunanji zid}}$ iz 0,1555 na 0,1057, U_{streha} iz 0,1719 na 0,1184 ter U_{tla} iz 0,1726 na 0,1187 W/m²K). Rezultati simulacij so podani na grafikonu 9 in v preglednici 13.



Grafikon 9: Primerjava rezultatov variant

Preglednica 13: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Osnovna varianta	Varianta 2d	Osnovna varianta	Varianta 2d
H'_T (W/m ² K)	0,28	0,21	0,2738	0,2335
	TOST		IDA ICE	

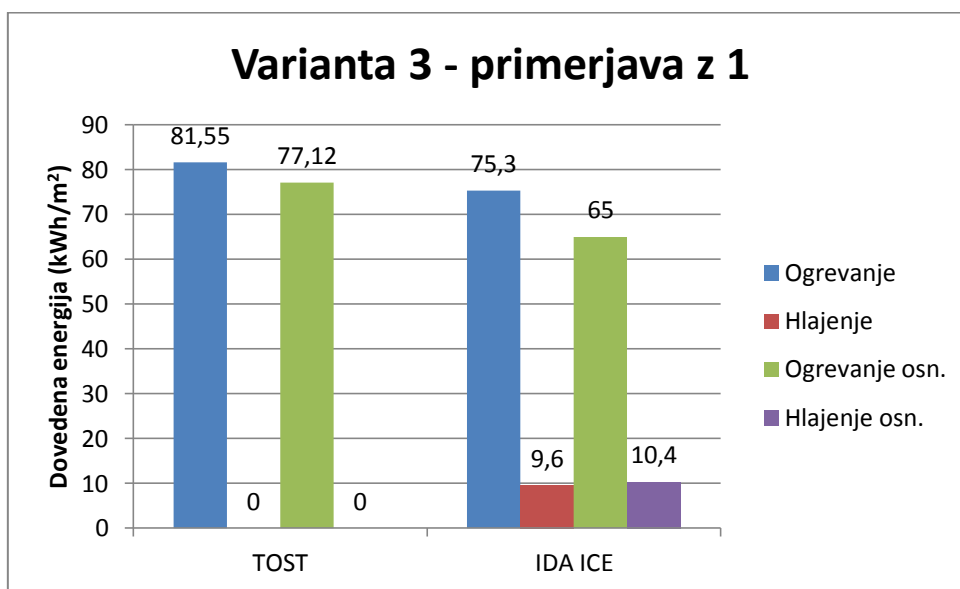
Dodatna toplotna izolacija po izračunu v programu IDA omogoči 13,8-odstoten (9 kWh/m²) prihranek energije za ogrevanje, TOST pa izračuna kar 26,1-odstotnega (14,12 kWh/m²). Rezultata v TOST in IDA sta v tem primeru skoraj enaka (odstopanje 1,8% oz. 1,02 kWh/m²).

IDA ob tem zazna za 1% (0,1 kWh/m²) več dovedene energije za hlajenje, TOST pa ponovno izračuna njeno minimalno vrednost (1,09 kWh/m²).

Iz primerjave koeficientov specifičnih transmisijskih toplotnih izgub sledi, da je ujemanje slučajno, vhodni podatki namreč odstopajo (H'_T , izračunan v TOST, je za kar 20% oz. za 0,5262 W/m²K večji od tistega, ki ga izračuna IDA).

4.7 Varianta 3

Osnovno varianto, kjer je večina bivalnih prostorov gledala na jug (bivalni prostor v pritličju, 2 sobi v prvem nadstropju), sem zasukal za 90⁰, tako da so ti prostori zdaj usmerjeni na vzhod. Rezultati izvedenih simulacij so prikazani na grafikonu 10 in v preglednici 14.



Grafikon 10: Primerjava rezultatov variant

Preglednica 14: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

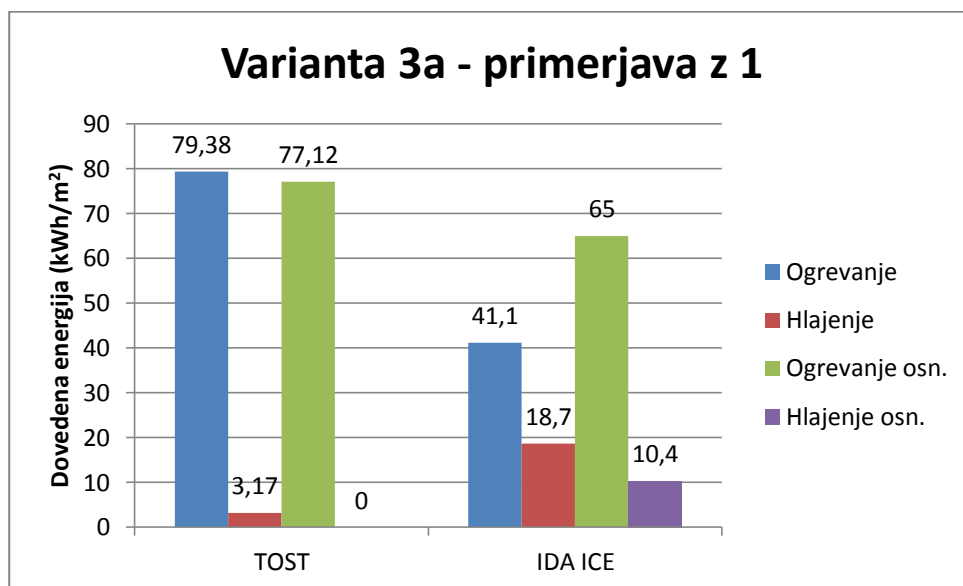
	Osnovna varianta	Varianta 3	Osnovna varianta	Varianta 3
H'_T (W/m ² K)	0,28	0,28	0,2738	0,2738
	TOST		IDA ICE	

TOST zazna 5,7% (3,12 kWh/m²) več končne energije za ogrevanje, IDA pa 15,8% (0,8 kWh/m²). Odstopanje v izračunu programov v tem primeru znaša 8,3% (4,43 kWh/m²).

Potrebe po hlajenju TOST ne zazna, medtem ko IDA izračuna za 7,7% (0,8 kWh/m²) več energije za hlajenje kot v varianti 1.

4.8 Varianta 3a

Stavba iz variante 1 je prestavljena v Portorož, in sicer v neposredno bližino Letališča Portorož v Sečovljah. Rezultati izvedenih simulacij so prikazani na grafikonu 11 in v preglednici 15.



Grafikon 11: Primerjava rezultatov variant

Preglednica 15: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Osnovna varianta	Varianta 3a	Osnovna varianta	Varianta 3a
H'_T (W/m²K)	0,28	0,29	0,2738	0,2738
	TOST		IDA ICE	

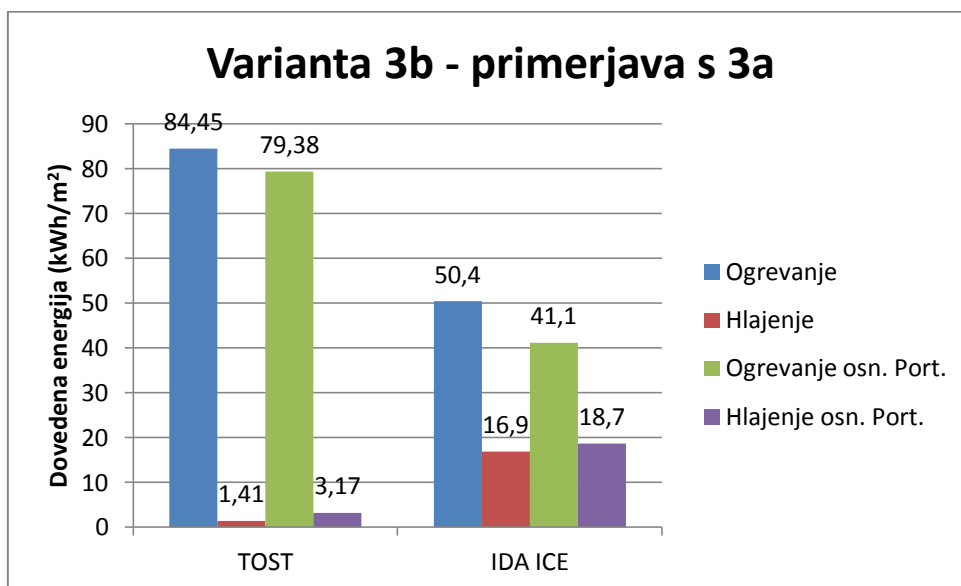
TOST skorajda ne zazna razlike pri ogrevanju (tj. le 2,9% oz. 1,6 kWh/m² manj), medtem ko IDA izračuna 36,8-odstoten (23,9 kWh/m²) prihranek. Odstopanje rezultata TOST od tistega iz programa IDA je potemtakem rekordnih 93,14% (38,28 kWh/m²).

H'_T se pri IDA glede na osnovno varianto ne spremeni, medtem ko TOST izračuna za 3,6% (0,01W/m²K) višjo vrednost.

TOST izračuna najvišjo vrednost končne energije za hlajenje med vsemi variantami, vendar pa je le-ta še vedno relativno majhna (tj. 3,17 kWh/m²). V IDA je vrednost hlajenja višja za 79,8% (8,3 kWh/m²).

4.9 Varianta 3b

Varianta 3a je za 90⁰ zasukana na vzhod. Tokrat rezultate primerjam z varianto 3a, saj sta pri njej spremenjena dva parametra – lokacija in orientacija. Rezultate simulacij podajam na grafikonu 12 in v preglednici 16.



Grafikon 12: Primerjava rezultatov variant

Preglednica 16: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Varianta 3a	Varianta 3b	Varianta 3a	Varianta 3b
H'_T (W/m²K)	0,28	0,29	0,2738	0,2738
	TOST		IDA ICE	

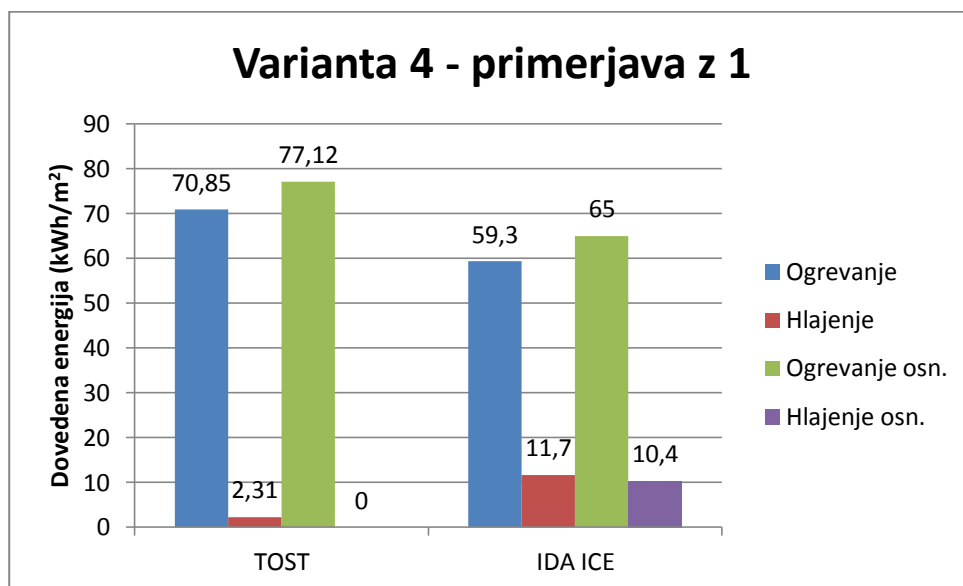
TOST izračuna 6,4% (3,56 kWh/m²) več končne energije za ogrevanje, IDA pa kar 22,6% (14,6 kWh/m²). Odstopanje med programoma znaša 67,56% oz. 34,05 kWh/m² v prid programu TOST.

Pri hlajenju gre v tem primeru za ugoden ukrep, saj se v programu IDA njegova vrednost zmanjša za 9,6% (6,5 kWh/m²), v programu TOST pa kar za 124,82% (1,76 kWh/m²).

Vrednosti H'_T v odnosu do prejšnje variante ostajajo nespremenjene.

4.10 Varianta 4

Na južno fasado, tj. na stran bivalnih prostorov variante 1, sem namestil dvojno število oken (sedaj $A_o=18,78m^2$). Rezultati izvedenih simulacij so prikazani na grafikonu 13 in v preglednici 17.



Grafikon 13: Primerjava rezultatov variant

Preglednica 17: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Osnovna varianta	Varianta 4	Osnovna varianta	Varianta 4
H'_T (W/m ² K)	0,28	0,3	0,2738	0,2948
	TOST		IDA ICE	

Povečanje površine oken se je odrazilo v povečanju transmisijskih izgub v obeh programih (TOST: 7,14%, IDA: 7,67%), pa tudi v več sončnih pribitkih.

IDA izračuna 19,5% (11,55 kWh/m²) več energije za ogrevanje kot TOST, in sicer za 8,8% (5,7 kWh/m²) manj kot pri osnovni varianti, TOST pa izračuna za 8,1% (4,4 kWh/m²) manjšo porabo.

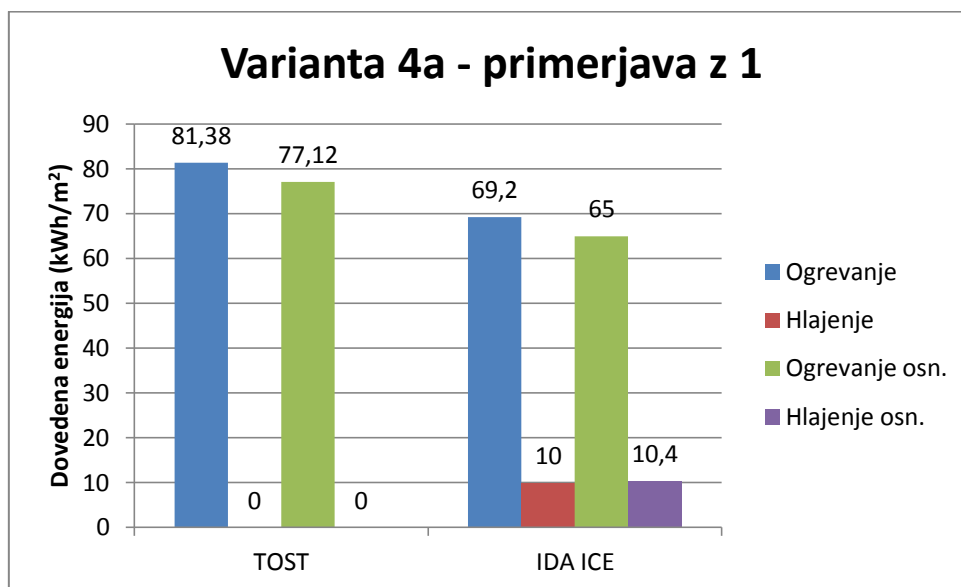
IDA poda za 12,5% (1,3 kWh/m²) večjo potrebo po hlajenju stavbe, medtem ko je ta vrednost v izračunu programa TOST, kot že v prejšnjih primerih, minimalna.

4.11 Varianta 4a

Ukrep, obraten prejšnjemu. Površino oken sem zmanjšal približno za polovico. Ker vseh modelov oken ni bilo v parnem številu na južni fasadi osnovne variante, sem le-to priredil tako, da celotna površina oken namesto 9,39m² znaša 4,25m² (razporeditev je podana v preglednici 18). Rezultati izvedenih simulacij so prikazani na grafikonu 14 in v preglednici 19.

Preglednica 18: Postavitev oken na južni fasadi variante 4a

fasada	število oken	model okna	A (m ²)	delež okv.
jug	2	okno1	2,24	0,36
	1	okno veliko	2,01	0,28



Grafikon 14: Primerjava rezultatov variant

Preglednica 19: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

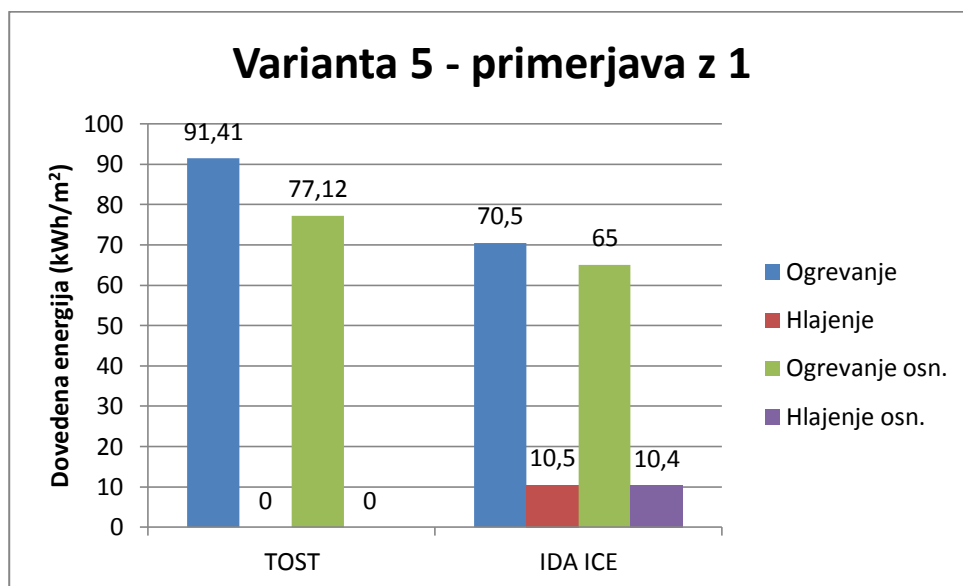
	Osnovna varianta	Varianta 4a	Osnovna varianta	Varianta 4a
H'_T (W/m ² K)	0,28	0,27	0,2738	0,2623
	TOST		IDA ICE	

Transmisijske izgube se v obeh programih zmanjšajo (H'_T v IDA je manjši za 4,2%, v TOST pa za 3,6%). 5,52% (3,0 kWh/m²) več končne energije za ogrevanje izračuna TOST, IDA pa 6,4% (4,2 kWh/m²).

IDA zazna nekoliko manj hlajenja (3,8% oz. 0,4 kWh/m²), TOST pa potrebe po hlajenju ne izračuna.

4.12 Varianta 5

Rekuperacija toplote odpadnega zraka, po priporočilih EQUA Simulations AB [18] privzeto nastavljen na 85%, je sedaj zmanjšana na 60%. Rezultate simulacij podajam na grafikonu 15 in v preglednici 20.



Grafikon 15: Primerjava rezultatov variant

Preglednica 20: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Osnovna varianta	Varianta 5	Osnovna varianta	Varianta 5
H'_T (W/m²K)	0,28	0,28	0,2738	0,2738
	TOST		IDA ICE	

Ogrevanje se v IDA poveča za 8,5% (5,5 kWh/m²), v TOST pa za 18,5% (10,05 kWh/m²). Odstopanje programov znaša 30% (20,91 kWh/m²).

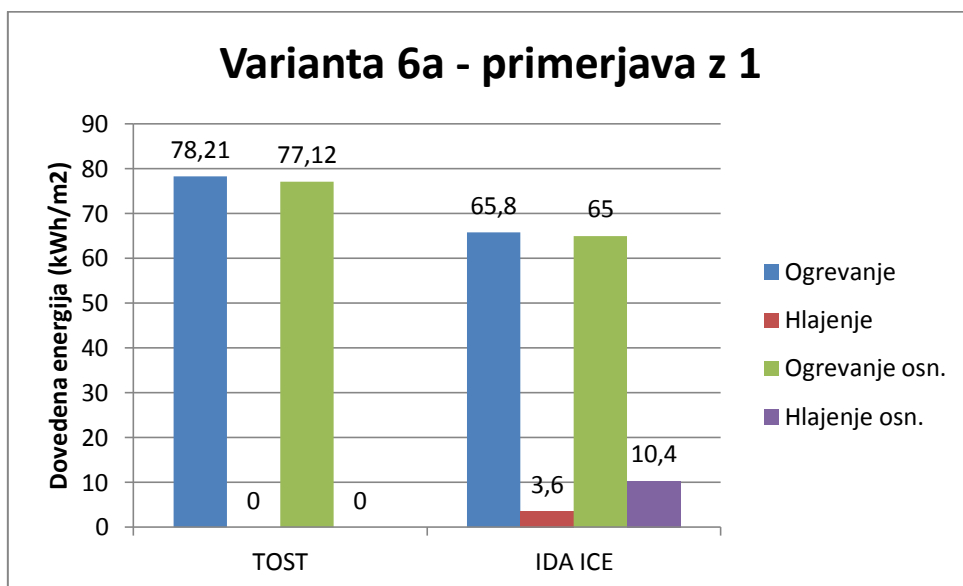
H'_T ostaja v obeh programih nespremenjen.

Potrebe po hlajenju TOST ne zazna, v IDA je v primerjavi z varianto 1 višja za 0,96% (0,1 kWh/m²).

4.13 Varianta 6a

Senčenje je v vsakem izmed programov obravnavano drugače. V programu TOST lahko izberemo le, v katerih mesecih si ga želimo, IDA pa ponuja veliko možnosti, med drugim tudi makro ukaze, ki so lahko odvisni od temperature notranjega zraka ali moči sončnega sevanja.

Sam sem izbral senčenje z vnaprej določenim urnikom. V programu IDA se tako okna senčijo med 15. aprilom in 14. majem med 11. in 17. uro. Od 15. maja do 30. avgusta se senčijo od 8. do 20. ure, od 31. avgusta do 15. septembra pa od 10. do 18. ure. Omenjen urnik sem oblikoval in optimiziral po navodilih programerjev EQUA Simulations AB [19]. V TOST sem izbral senčenje med aprilom in avgustom, da bi se čim bolj približal urniku, nastavljenem v IDA (senčila so v tem primeru spuščena 24 ur na dan). Rezultati izvedenih simulacij so prikazani na grafikonu 16 in v preglednici 21.



Grafikon 16: Primerjava rezultatov variant

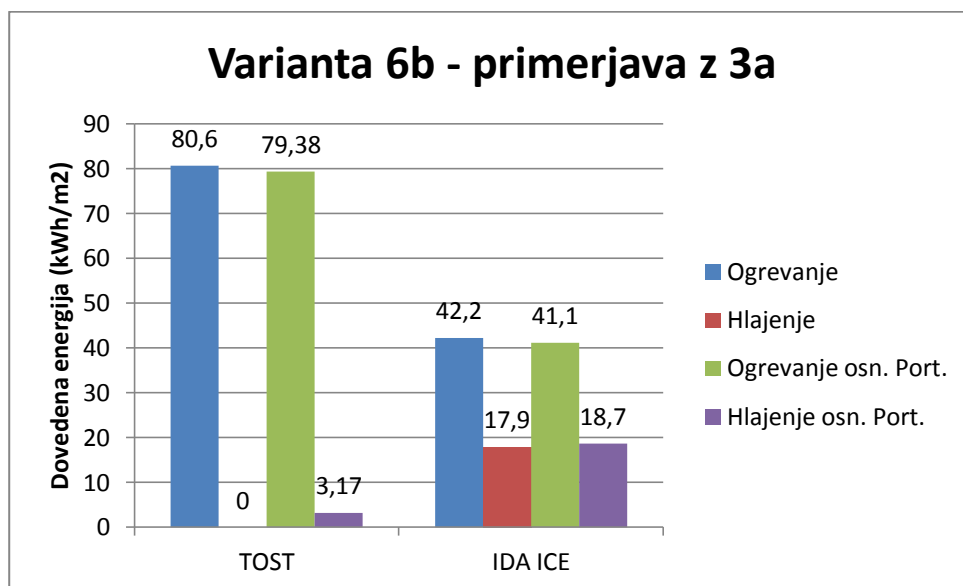
Preglednica 21: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Osnovna varianta	Varianta 6a	Osnovna varianta	Varianta 6a
H'_T (W/m²K)	0,28	0,28	0,2738	0,2738
	TOST		IDA ICE	

Senčenje le malenkost vpliva na ogrevanje, v programu TOST se poveča potreba po ogrevanju za 1,4% (0,8 kWh/m²). V IDA se ogrevanje poveča za 1,2% (0,8 kWh/m²), z učinkovitim urnikom pa prihranimo na hlajenju, in sicer kar za 65,4% (6,8 kWh/m²).

4.14 Varianta 6b

Senčenje portoroške variante 3a zahteva nekoliko spremenjen urnik. Okna se med 15. marcem in 14. aprilom v IDA senčijo med 11. in 17. uro, od 15. aprila do 15. septembra od 8. do 20. ure, od 16. septembra do 15. novembra pa od 10. do 18. ure. Rezultati simulacij so podani na grafikonu 17 in v preglednici 22.



Grafikon 17: Primerjava rezultatov variant

Preglednica 22: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijских izgub

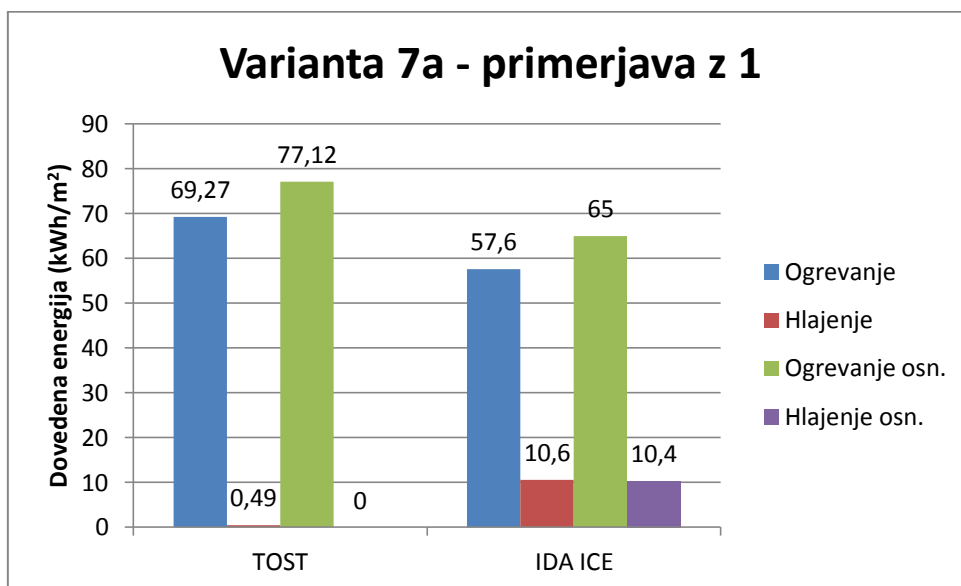
	Osnovna varianta	Varianta 6b	Osnovna varianta	Varianta 6b
H'_T (W/m²K)	0,28	0,29	0,2738	0,2738
	TOST		IDA ICE	

V programu IDA senčenje na hlajenje, v primeru, da nočemo pretirano povečevati potrebe po ogrevanju (povečanje za 2,67% oz. 1,1 kWh/m²), presenetljivo prihrani le 4,3% (0,2 kWh/m²).

V programu TOST je senčenje podaljšano od aprila do septembra. Taka nastavitev poveča potrebo po ogrevanju za 1,5% (0,9 kWh/m²), medtem ko eliminira minimalno potrebo po hlajenje iz variante 3a. Razlika med programoma v potrebi po ogrevanju tukaj znaša 90,9% (38,4 kWh/m²).

4.15 Varianta 7a

Ta varianta je akademske narave, saj se z današnjo tehnologijo zasteklitve s spreminjanje vrednosti U_w spreminja tudi g ; U_w je z 1,1 zmanjšan na 0,73 W/m²K. Ohranjena je bila vrednost koeficienta prepustnosti za celoten sončni spekter $g=0,62$. Z manjšanjem U_w bi se v realnosti zmanjšala tudi vrednost g . V tem primeru so transmisijске izgube manjše, v realnosti pa bi imeli tudi manj sončnih toplotnih prirbitkov. Rezultati izvedenih simulacij so prikazani na grafikonu 18 in v preglednici 23.



Grafikon 18: Primerjava rezultatov variant

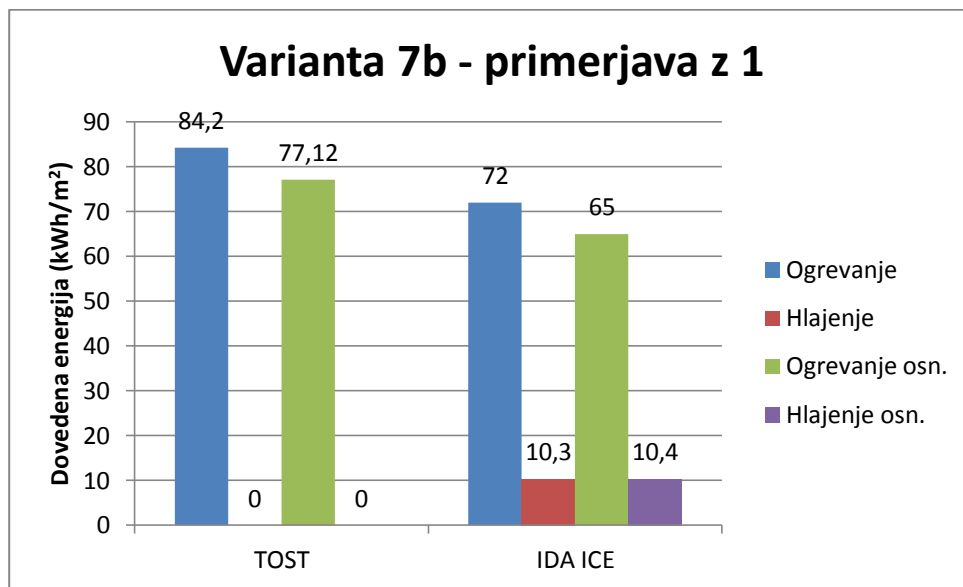
Preglednica 23: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Osnovna varianta	Varianta 7a	Osnovna varianta	Varianta 7a
H'_T (W/m ² K)	0,28	0,25	0,2738	0,2498
	TOST		IDA ICE	

Sprememba parametra se izkaže za ugodno; TOST izračuna 10,2% (5,51 kWh/m²), IDA pa 11,4% (7,4 kWh/m²) manj dovedene energije za ogrevanje pri minimalnem povečanju dovedene energije za hlajenje (IDA – 1,9% oz. 0,2 kWh/m²; TOST – 0,49 kWh/m²). H'_T se v obeh programih zmanjša (IDA – 8,8% oz. 0,024 W/m²K; TOST 10,7% oz. 0,3 W/m²K).

4.16 Varianta 7b

Gre za primer, obraten varianti 7a; sedaj je $U_w=1,5$ w/m²K, koeficient g ostane nespremenjen. Na ta način se povečajo transmisijske izgube, z današnjo tehnologijo zasteklitve pa bi bili zaradi posledičnega povečanja koeficienta g večji tudi sončni toplotni pribitki.



Grafikon 19: Primerjava rezultatov variant

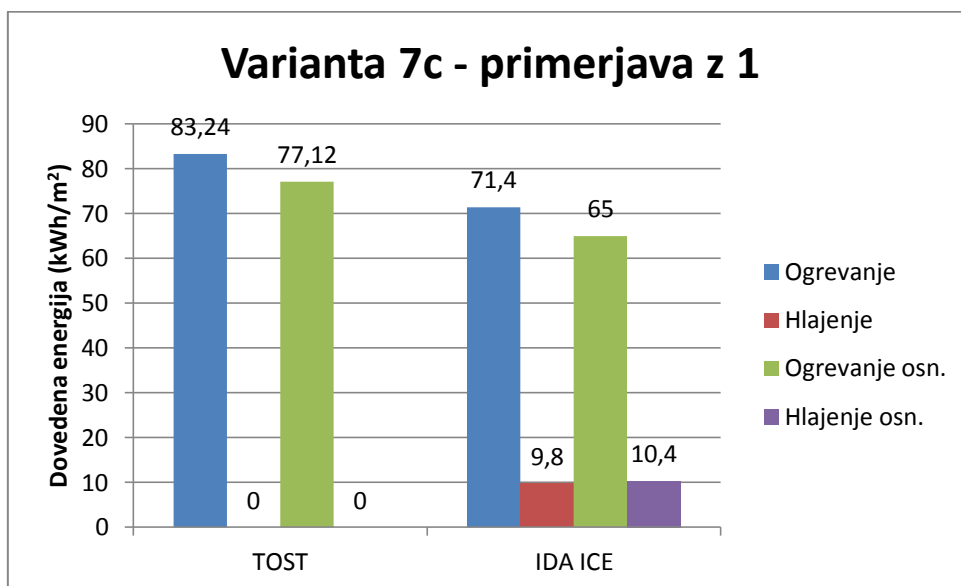
Preglednica 24: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Osnovna varianta	Varianta 7b	Osnovna varianta	Varianta 7b
H'_T (W/m ² K)	0,28	0,3	0,2738	0,2998
	TOST		IDA ICE	

Sprememba parametra se pokaže kot neugodna, TOST izračuna 9,2% (4,98 kWh/m²), IDA pa 10,8% (7,4 kWh/m²) več dovedene energije za ogrevanje pri minimalnem zmanjšanju dovedene energije za hlajenje v IDA (1% oz. 0,1 kWh/m²). H'_T se v obeh programih zmanjša (IDA – 9,5% oz. 0,026 W/m²K; TOST 7,1% oz. 0,2 W/m²K).

4.17 Varianta 7c

Zmanjšanje koeficienta g z 0,62 na 0,49.



Grafikon 20: Primerjava rezultatov variant

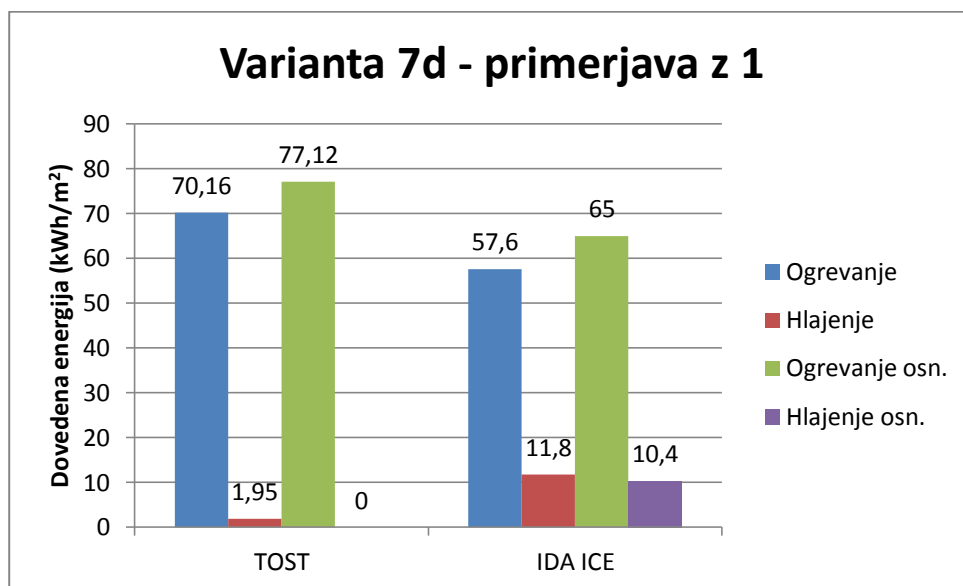
Preglednica 25: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Osnovna varianta	Varianta 7c	Osnovna varianta	Varianta 7c
H'_T (W/m²K)	0,28	0,28	0,2738	0,2738
	TOST		IDA ICE	

Potreba po hlajenju se v programu IDA minimalno zmanjša (5,77% oz. 0,6 kWh/m²), medtem ko se potreba po ogrevanju okrepi za 9,85% (6,4 kWh/m²), v programu TOST pa za 7,94% (4,31 kWh/m²).

4.18 Varianta 7d

Povečanje koeficienta g z 0,62 na 0,80 pomeni zmanjšanje vrednosti ogrevanja v obeh programih (TOST - 9% oz. 4,89 kWh/m², IDA – 11,38% oz. 7,4 kWh/m²). Vrednost hlajenja se sicer v programu IDA zviša za 13,46% (1,4 kWh/m²).



Grafikon 21: Primerjava rezultatov variant

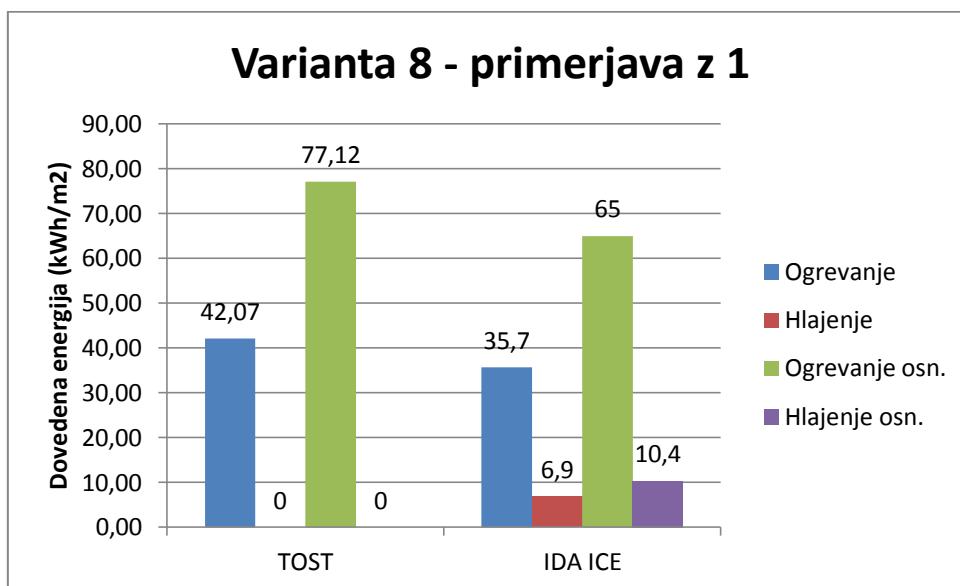
Preglednica 26: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Osnovna varianta	Varianta 7d	Osnovna varianta	Varianta 7d
H'_T (W/m ² K)	0,28	0,28	0,2738	0,2738
	TOST		IDA ICE	

V programu IDA se minimalno poveča potreba po hlajenju (13,5% oz. 1,4 kWh/m²); potreba po ogrevanju se zmanjša za 11,4% (7,4 kWh/m²), v programu TOST pa za 9% (4,89 kWh/m²).

4.19 Optimizirana varianta (Varianta 8)

Optimizirana varianta obsega vse posege, ki so se v predhodnih variantah znotraj celotne porabe energije izkazali za ugodne. Hiša je lahko veliko bolj varčna, če je locirana v Portorožu, če je v stavbnem ovojju osnovne variante dodanih 100 mm toplotne izolacije, ter če je uporabljen optimiziran urnik senčenja.



Grafikon 22: Primerjava rezultatov variant

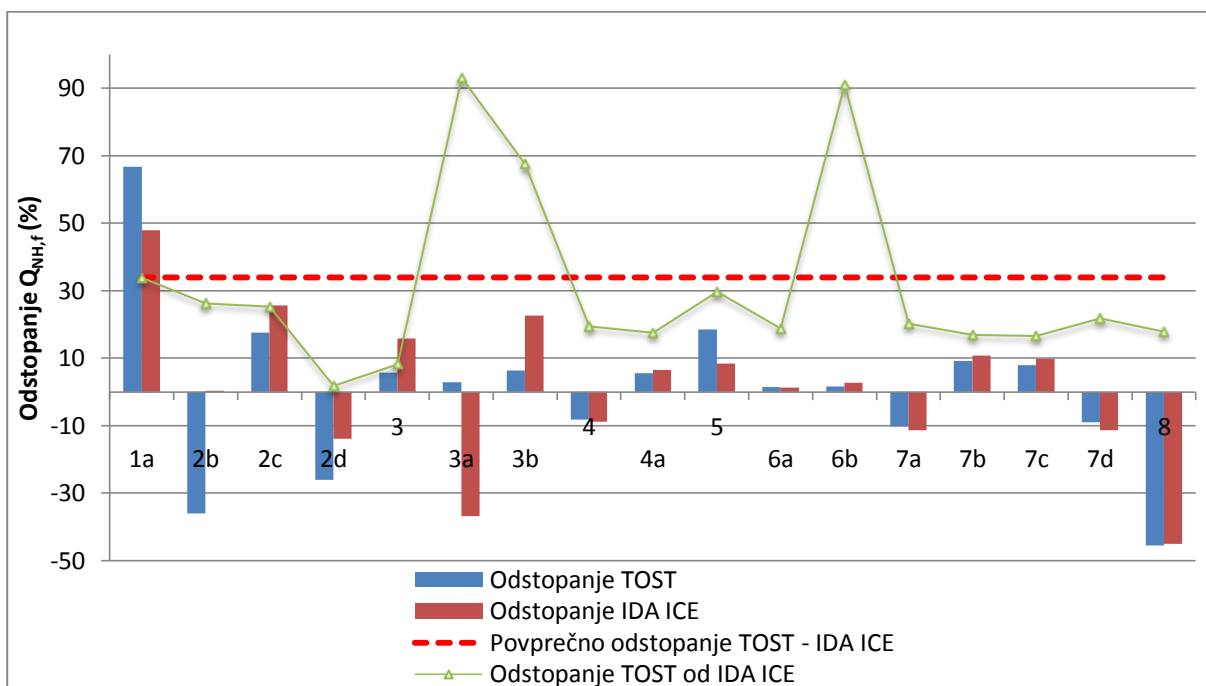
Preglednica 27: Primerjava vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih izgub

	Osnovna varianta	Optimizirana var.	Osnovna varianta	Optimizirana var.
H'_T (W/m²K)	0,28	0,24	0,2738	0,2335
	TOST		IDA ICE	

Prihranek na ogrevanju v optimizirani varianti v obeh programih procentualno znaša približno enako, in sicer v TOST 45,4% (24,63 kWh/m²), v IDA 45,1% (29,3 kWh/m²). Razmak med izračunanima vrednostima obeh programov je tu 17,84-odstoten (6,37 kWh/m²), v izhodiščni varianti pa je odstopanje nanese 18,6% (12,12 kWh/m²). Hlajenja v tem primeru TOST ne zazna, IDA pa glede na varianto 1 izračuna 33,65-odstoten (3,5 kWh/m²) prihranek.

5. RAZPRAVA

TOST ob upoštevanju vseh variant v povprečju izračuna za 31,9% višje vrednosti dovedene energije za ogrevanje kot IDA. Največja odstopanja se pojavijo pri variantah lokacije Portorož (povprečno 83,9%); do manjših razlik pride pri variantah z masivnim konstrukcijskim sistemom ter lokacijo Ljubljana (povprečno 18,6%). Malenkost večji, povprečno 25,8-odstoten razkorak nastopi pri lahkem konstrukcijskem sistemu, odstopanje pa je najmanjše pri dodatno izolirani osnovni varianti (1,8%), kar potrjuje ugotovitve A. Gasparelle in G. Permigotta [6], da metoda kvazistacionarnega stanja preceni transmisijske izgube slabo izoliranih stavb.



Grafikon 23: Odstopanje variant od osnovne (odstopanje 2c od 1a ter odstopanje 3b in 6b od 3a) - ogrevanje

Primerjava in vrednotenje rezultatov tako različno definiranih metod sta mnogo bolj kompleksna kot izgleda na prvi pogled. Problem se pojavi že pri zelo različnih klimatskih vhodnih podatkih (TOST jih nalaga avtomatsko, njihov vir je zakonsko predpisan in zato jih ni mogoče uvoziti od drugod). Kot že rečeno, količina prejetega globalnega sevanja po IDA ICE v Portorožu v povprečju odstopa za kar 32,1%. Vrednosti dovedene energije za ogrevanje, ki jih po obeh metodah izračunamo za variante na lokaciji Portorož, odstopajo od 67,6% do 93,1% (zgornje odstopanje namreč pripada varianti 1 prestavljeni v Portorož), kar je jasen pokazatelj, da na podlagi teh primerov ne moremo ugotavljati podobnosti in razlik uporabljenih programov.

Za lokacijo Ljubljana podatki o globalnem sevanju odstopajo za 9,2% v prid IDA ICE. Odstopanja rezultatov dovedene energije za ogrevanje obeh programov segajo od 1,8% pa do 39,5%, vendar pa je pri tem pomembno poudariti, da močno odstopajo vrednosti variant, pri katerih je bilo izključeno mehansko prezračevanje in je bilo za potrebe zagotavljanja kvalitete notranjega zraka določeno naravno prezračevanje oz. infiltracija. Več kot očitno je, da sta pristopa uporabljenih programov do računa, ki predvideva takšen način prezračevanja, popolnoma različna, saj so rezultati treh variant odstopali med 25,2 in 39,5%.

Drugi ukrep, kjer se je že tekom postavitve simulacije pojavil dvom o usklajenosti programov, je senčenje. Senčenje, kot je definirano v programu TOST, kjer izberemo mesece, v katerih so senčila spuščena 24 ur dnevno, ne more najbolje odražati realnega stanja na stavbi. Nastavitve v programu dinamične metode so precej bolj izdelane in pristneje zastopajo dejansko uporabo senčil na stavbah.

Zaradi omenjenih razlik se rezultati v senčenih variantah razlikujejo za 33,9% v Ljubljani in za 91,0% v Portorožu.

Takšne ugotovitve mečejo senco dvoma tudi na presenetljivo dobro ujemajočo se optimizirano varianto stavbe, kjer oba programa zaznata cca. 45% manj dovedene energije za ogrevanje kot v osnovni varianti. Takšno podobnost lahko zaradi tako različnih klimatskih podatkov lokacij in različnih nastavitvev senčenja razumemo kot slučajno.

Analiza je potrdila tudi predhodne predpostavke, da metoda, ki jo uporablja TOST, ni povsem primerna za izračun dovedene energije za hlajenje stavbe. Vrednosti se namreč s tistimi, izračunanimi po dinamični metodi, razlikujejo za najmanj 75%, velikokrat pa je vrednost v TOST izračunana kot 0.

6. ZAKLJUČKI

Na podlagi opravljene analize je težko presoditi, kateri izmed uporabljenih programov se bolje obnese. Ker gre za programa zaprtega tipa, nisem imel podrobnega vpogleda v račun, ki se skriva za grafičnim vmesnikom vsakega izmed njiju. Težko je tudi presoditi, kateri bi se bolj približal vrednostim, izmerjenim na dejansko obstoječem objektu, vendarle pa lahko pričakujemo, da bi se dinamični izračun bolj približal realnim vrednostim, saj omogoča bolj natančno simulacijo.

Izbran problem morda ni enostaven za preučevanje, vendar pa bo igral v gradbeni industriji še kako pomembno vlogo. Potrebno se je zavedati, da licenca za program, kot je IDA ICE, stane nekaj tisoč evrov letno, medtem ko so enostavnejši programi mnogo cenejši, kar pa je v industriji, predvsem med manjšimi podjetji, ki jih je v Sloveniji še kako veliko, zelo pomemben dejavnik.

Hipoteze, da so rezultati, izračunani po metodologiji programa TOST, primerljivi s tistimi, pridobljenimi po dinamični metodi, niti po analizi ne morem ne potrditi ne ovreči.

Kot sem že napovedal v začetku, primernost programa IDA ICE vidim predvsem v optimizaciji objektov, recimo pri izdelavi prototipov tipskih stavb. Velik potencial se programom tipa IDA ICE obeta z vedno pogostejšim vpeljevanjem tehnologije BIM, s katero je IDA ICE kompatibilen, v vsakdanjik načrtovanja stavb. Seveda postavitve takega modela zahteva veliko časa in znanja, poleg tega pa simulacija velikih stavb z današnjimi računalniki za vsakdanjo rabo ni mogoča oz. lahko traja več dni. Na Švedskem se zato za izvedbo velikih projektov tovrstne programe uporablja za simulacijo posameznih kritičnih con.

Prednost programa TOST zato vidim v njegovi enostavnosti. Če želimo hitro priti do rezultata in so nam na voljo vsi potrebni vhodni podatki, je TOST uporabniku bolj prijazen.

V prihodnje razreševanje tovrstnih vprašanj bi se po mojem mnenju morale vključiti tudi natančno meteorološko študijo, ki bi ovrednotila ustreznost klimatskih podatkov, pridobljenih po različnih

metodah, vzporedne meritve na izbrani obstoječi stavbi v daljšem časovnem obdobju pa bi raziskovalce lahko vodile k odgovoru, katera od metod je zanesljivejša.

VIRI

- [1] Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (prenovitev). Uradni list Evropske unije, 18. 6.2010.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:SL:PDF>
(Pridobljeno 25.5.2014.)
- [2] Energetski zakon (EZ-1). Uradni list RS, št. 17/2014
<http://www.uradni-list.si/1/content?id=116549> (Pridobljeno 20. 6. 2014.)
- [3] EQUA Simulations AB. IDA Indoor Climate and Energy 4.6.1. 2014.
<http://www.equa-solutions.co.uk/en/software/idaice> (Pridobljeno 13. 6. 2014.)
- [4] Standard SIST EN 13790:2008. Energijske lastnosti stavb – Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov
- [5] Krainer, A., Perdan, R. 2012. Računalniški program, TOST, Uporabniški priročnik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- [6] A. Gasparelle, G. Permigotto, 2012. Comparison of Quasy Steady State And Dynamic Simulation Approaches For The Calculation Of Building Energy Needs. Purdue University.
<http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1087&context=ihpbc> (Pridobljeno 20. 5. 2014)
- [7] Tehnična smernica TSG-1-004:2010. 2014. Učinkovita raba energije. Ministrstvo za okolje in prostor.
http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf
(Pridobljeno 25. 5. 2014.)
- [8] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS, št. 52/2010
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=201052&stevilka=2856>
(Pridobljeno 25. 5. 2014.)
- [9] Boverket - The Swedish National Board of Housing, Building and Planning 2002. Swedish Building Code, BBR 2002 (BSF 1998:35).
- [10] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Uradni list RS, št. 42/2002, 29/2004
<http://www.uradni-list.si/1/content?id=36371> (Pridobljeno 25. 5. 2014.)

[11] Autodesk. 2014. Revit 2014

<http://www.autodesk.com/products/revit-family/overview> (Pridobljeno 15. 5. 2014)

[12] Solibri. 2014. Solibri Model Viewer v9

<http://www.solibri.com/products/solibri-model-viewer/> (Pridobljeno 15. 5. 2014.)

[13] EQUA Simulations, švedsko podjetje, ki je avtor programa IDA Indoor Climate and Energy

<http://www.equa.se/> (Pridobljeno 25. 5. 2014.)

[14] Tipska montažna hiša Cube 153. 2014.

<http://www.jelovica-hise.si/montazne-hise/hise-cube/hisa-cube-153.html> (Pridobljeno 25. 5. 2014.)

[15] Klimatski podatki za pravilnik o učinkoviti rabi energije. 2014.

<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/pravilnik-ucinkoviti-rabi-energije/> (Pridobljeno 1. 6. 2014.)

[16] Konstrukcijski sistem Marles Pasiv natura. 2014.

<http://www.marles.com/sl/sistem-pasiv-natura-celuloza> (Pridobljeno 23. 6. 2014.)

[17] Zasteklitev Pilkington. 2014.

<http://www.pilkington.com/europe/uk+and+ireland/english/products/bp/bybenefit/thermalinsulation/in-sulighttherm/default.htm> (Pridobljeno 14. 6. 2014.)

[18] Pasivna vhodna vrata Jelovica. 2014.

<http://jelovica-vrata.si/pasivna-vhodna-vrata.html> (Pridobljeno 25. 5. 2014.)

[19] Termo elektrarna toplarna Ljubljana

http://www.te-tol.si/index.php?sv_path=2455 (Pridobljeno 30. 5. 2014)

[22] Gradbeni inštitut ZRMK

<http://www.gi-zrmk.si/ZRMKinstitut/> (Pridobljeno 30. 7. 2014)

[21] Klimatski podatki za testno referenčno leto

http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/test_ref_year/ (Pridobljeno 30. 7. 2014.)

OSTALI VIRI

Medved, S. 2010. Gradbena fizika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo.

EQUA Simulations 2013. Getting Started, IDA Indoor Climate and Energy version 4.5.

EQUA Simulations 2013. User Manual, IDA Indoor Climate and Energy version 4.5.

Hens, H 2007. Building Physics - Heat, Air and Moisture. Leuven, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH.

Pravilno zračenje in prezračevanje. 2014.

<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Publikacije/URE/URE1-11.htm> (Pridobljeno 10. 6. 2014)

Prezračevanje z izkoriščanjem odpadne toplote zraka. 2014.

<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT23.htm> (Pridobljeno 10. 6. 2014)

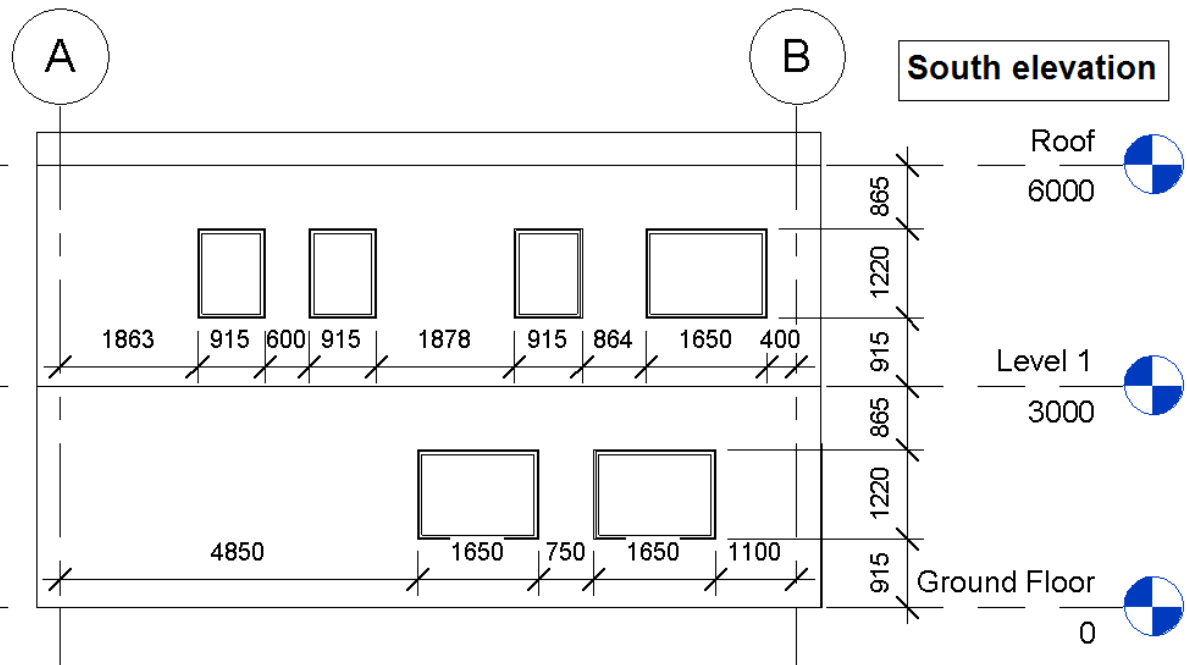
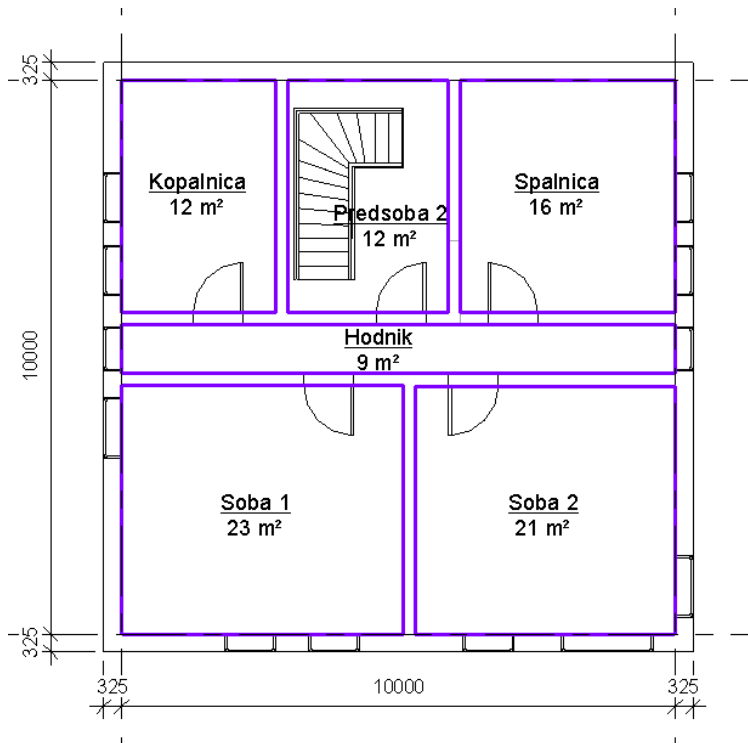
Načrtovanje centralnega sistema za prisilno prezračevanje. 2014.

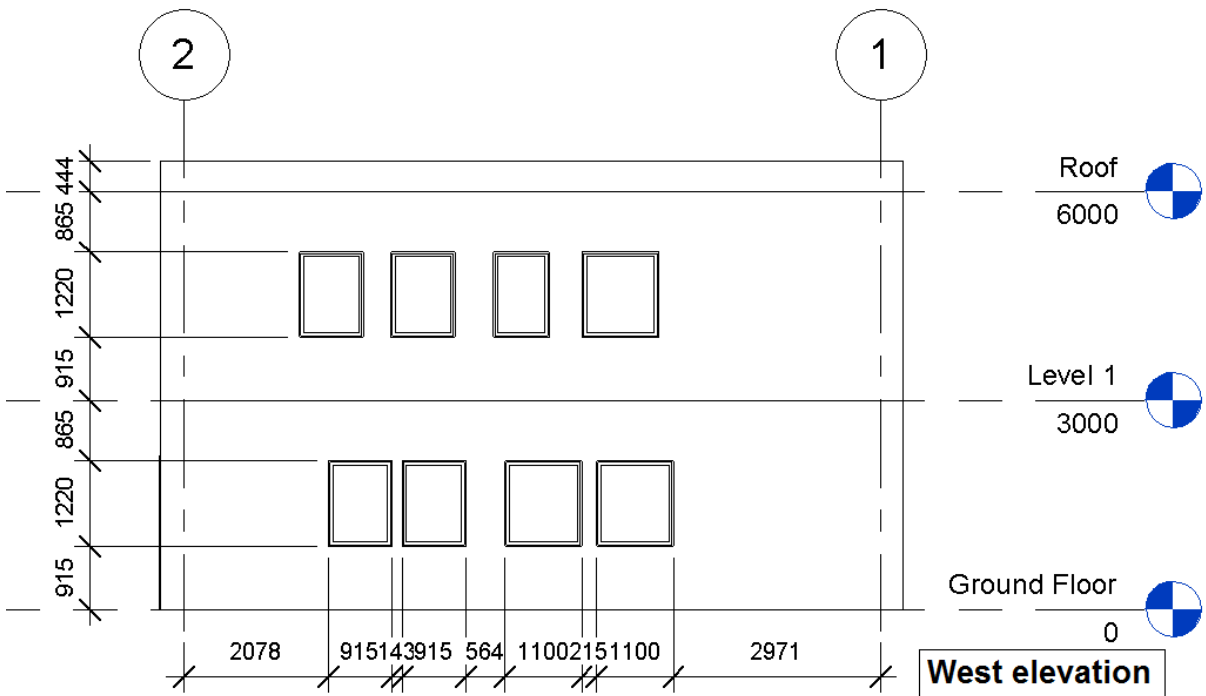
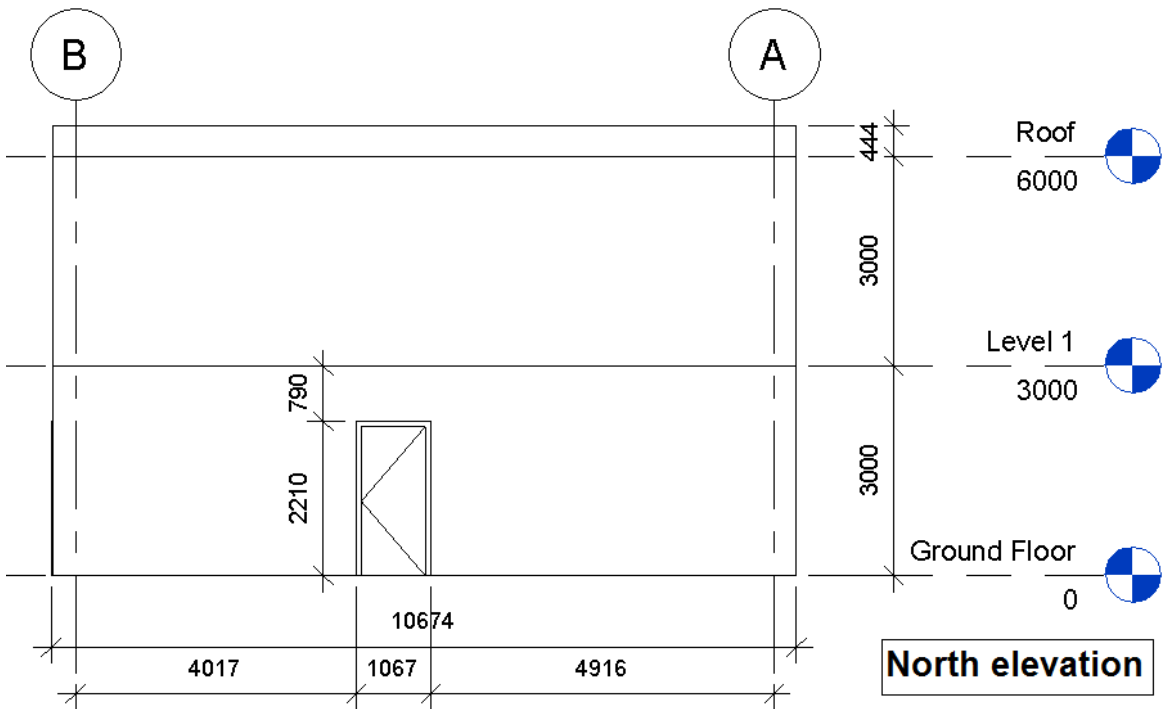
<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT278.htm> (Pridobljeno 10. 6. 2014)

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: OSTALI NAČRTI STAVBE	A1
PRILOGA B: CELOTNA TABELA VARIANT	B1
PRILOGA C: ZASTEKLITEV	C1
PRILOGA D: DIMENZIONIRANJE MEHANSKEGA PREZRAČEVANJA	D1
PRILOGA E: OSTALI PODATKI ZA SIMULACIJO	E1
PRILOGA F: POROČILO TOST (OSNOVNA VARIANTA)	F1
PRILOGA G: POROČILO IDA (OSNOVNA VARIANTA)	G1

PRILOGA A: OSTALI NAČRTI





PRILOGA B: CELOTNA TABELA VARIANT

Varianta	ime	spremenjen parameter	TOST		IDA		TOST		Abs		IDA ICE		Δ		Δ		Atost-ida	
			H ⁺	H ⁻	Qpotr	Qkonč	QHI	Δ	Qkonč [%]	QHI	Qdel	Qdel:cool	Qdel (%)	Qdel:cool	Qkonč [%]	QHI [%]		
1	Osnovna	/	0,28	0,2738	54,2	77,12	0	0	66,740	0	65	10,4	47,846	-78,846	18,64615	-100		
1a		brez preir.	0,28	0,2738	90,38	128,59	0	0	6,795	0	96,1	2,2	0,308	-7,692	33,80853	-100		
2b		lesen KS - zvišan U	0,28	0,2794	57,89	82,36	1,73	0	96,019	0	65,2	11,2	0,308	-7,692	26,31902	-84,5536		
2c		lesen KS - zvišan U - brez preir.	0,28	0,2736	106,25	151,17	0	0	-26,063	100	120,7	10,3	85,692	-0,962	25,24441	-100		
2d		dod. 100mm izolacije	0,21	0,2335	40,08	57,02	1,09	0	5,744	0	56	10,5	-13,846	0,962	1,821429	-89,619		
3		orientacija V	0,28	0,2738	57,32	81,55	0	0	2,930	100	41,1	18,7	-36,769	-7,692	8,300133	-100		
3a		Portorož	0,29	0,2738	55,8	79,38	3,17	0	6,387	-124,823	50,4	16,9	22,628	-9,626	67,55952	-91,6568		
3b		Portorož orientacija V	0,29	0,2738	59,36	84,45	1,41	0	-8,130	100	59,3	11,7	-8,769	12,500	19,47723	-80,2564		
4		x2 okna na J	0,3	0,2948	49,8	70,85	2,31	0	5,524	0	69,2	10	6,462	-3,846	17,60116	-100		
4a		manj oken J	0,27	0,2623	57,2	81,38	0	0	18,530	0	70,5	10,5	8,462	0,962	29,65957	-100		
5		rekuperacija 60%	0,28	0,2738	64,25	91,41	0	0	14,251	0	65,8	3,6	1,231	-65,385	33,90578	-100		
6a		senčenje	0,28	0,2738	61,93	88,11	0	0	13,089	0	42,2	17,9	2,676	-4,278	112,7251	-100		
6b		opt. Senč. + lokacija Portorož	0,29	0,2738	63,1	89,77	0	0	-10,179	100	57,6	10,6	-11,385	1,923	20,26042	-95,3774		
7a		Uw=0,73	0,25	0,2498	48,69	69,27	0,49	0	9,180	0	72	10,3	10,769	-0,962	16,94444	-100		
7b		Uw=1,5	0,3	0,2998	59,18	84,2	0	0	7,936	0	71,4	9,8	9,846	-5,769	16,58263	-100		
7c		g=0,49	0,28	0,2738	58,51	83,24	0	0	-9,025	100	57,6	11,8	-11,385	13,462	21,80556	-83,4746		
7d		g=0,8	0,28	0,2738	49,31	70,16	1,95	0	0	35,7	6,9	-45,077	-33,654	17,84314	-100			
8	Optimizirana	Portorož, dod. TI, senčenje	0,24	0,2335	29,57	42,07	0	0	-45,449	0								

H⁺ - podan v W/m²K

Q - podani v kWh/m²

PRILOGA C: ZASTEKLITEV

Shading coefficients	Description
<input type="radio"/> Absolute value	Pilkington Insulight 4S(3)-15Ar-4-15Ar-S(3)4 (3-glass) with outer glass Optitherm
<input type="radio"/> Single pane reference	
<input type="radio"/> Double pane reference	
g, Solar Heat Gain Coef (SHGC)	Glazing U-value
<input type="text" value="0.62"/>	<input type="text" value="0.6"/> W/(m ² *K)
T, Solar transmittance	Internal emissivity
<input type="text" value="0.54"/>	<input type="text" value="0.837"/> 0-1
Tvis, Visible transmittance	External emissivity
<input type="text" value="0.8"/>	<input type="text" value="0.837"/> 0-1

PRILOGA E: OSTALI PODATKI ZA SIMULACIJO

Ogrevanje	Daljinska toplota s kogeneracijo
Generacija	0,86
Distribucija	0,8
Emisija	0,96
Hlajenje	vsi faktorji 1
Neto prostornina cone	788,7 m ³
Uporabna površina	198 m ²
Vrsta konstrukcije glede na toplotno kapaciteto	zelo težka (masiven KS), zelo lahka (lahek KS)
Proj. notr. temp. pozimi	21
Proj. notr. temp. poleti	26
Urna izmenjava zraka pri tlačni razliki 50 Pa	1,1
Koef. zaščite proti vetru	0,07
Koef- izpostavljenosti vetru	15
A _{zunjanja stena}	233,03 m ²
A _{streha}	118,75 m ²
tla na tefenu A _f	118,75 m ²

PRILOGA F: POROČILO TOST (OSNOVNA VARIANTA)

IZKAZ ENERGIJSKIH LASTNOSTI STAVBE

- za PGD
 izvedeno

Investitor (naziv oz. ime, naslov)	<i>INVESTITOR</i>
Stavba	<i>stavba</i>
Lokacija stavbe (naselje, ulica, kraj)	<i>lokacija</i>
Katastrska(e) občina(e)	<i>katastrska</i>
Parcelna(e) številka(e):	<i>parcelna</i>
Koordinate lokacije stavbe (X, Y)	<i>X = 102488 km Y = 462649 km</i>
Vrsta stavbe	<i>Šifra: 1111 Enostanovanjska stavba</i>
Etažnost (št. kleti, pritličje, št. nadstropij, mansarda,...):	<i>etažnost</i>

Projektant	<i>Klemen Domjan</i>
Odgovorni vodja projekta (ime in priimek, strokovna izobrazba, osebni žig, podpis)	<i>odgovorni</i>
Izdelovalec izkaza (naziv oz. ime, naslov)	<i>izdelovalec</i>
Izdelano na podlagi izkaza	<i>izdelano</i>
Datum izdelave izkaza	<i>datum</i>
Izjavljam, da iz izkaza energijskih lastnosti stavbe izhaja, da stavba dosega predpisano raven učinkovite rabe energije.	
Podpis izdelovalca izkaza:	

Neto uporabna površina stavbe (za stanovanjske stavbe)	$A_u =$	198,00	m^2
Kondicionirana prostomina stavbe	$V_e =$	788,70	m^3
Površina toplotnega ovoja stavbe	$A =$	501,90	m^2
Oblikovni faktor	$f_o = AV_e =$	0,64	m^{-1}

Temperaturni primanjkljaj (za ogrevanje $DD_{20/12}$)	$DD =$	3300	K dni
Temperaturni presežek (za hlajenje)	$DH =$		K ur
Povprečna letna temperatura zunanjega zraka T_L	$T_L =$	9,9	$^{\circ}C$

Stavba	stavba				
Vrsta stavbe	Enostanovanjska stavba				

kWh/m^2	Ogrevanje	Hlajenje	Topla voda	Razsvetljava	Cona skupaj
1. kondicionirana cona	77,12	0,00	0,00	0,00	77,12
2. kondicionirana cona	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3. kondicionirana cona	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kondicionirana cona s kon. kletjo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1. nekondicionirana cona			0,00	0,00	0,00
2. nekondicionirana cona			0,00	0,00	0,00
3. nekondicionirana cona			0,00	0,00	0,00
4. nekondicionirana cona			0,00	0,00	0,00
5. nekondicionirana cona			0,00	0,00	0,00
Nekondicionirana cona z nekon. kletjo			0,00	0,00	0,00
Steklenjak			0,00	0,00	0,00
Stavba skupaj	77,12	0,00	0,00	0,00	77,12

potrebna končna primarna
 kWh kWh/m^2 kWh/m^3

KSKE diplome 2013/2014

Natisni Končaj

Stavba	stavba				
Vrsta stavbe	Enostanovanjska stavba				

kWh/m ²	1. kondicionirana cona	2. kondicionirana cona	3. kondicionirana cona	Kondicionirana cona s Kf	Stavba
Transmisijske izgube	60,03	0,00	0,00	0,00	60,03
Ventilacijske izgube	13,46	0,00	0,00	0,00	13,46
Skupne izgube	73,49	0,00	0,00	0,00	73,49
Notranji dobitki	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Solarni dobitki	19,60	0,00	0,00	0,00	19,60
Skupni dobitki	19,60	0,00	0,00	0,00	19,60

<input checked="" type="checkbox"/> Ogrevanj	<input type="checkbox"/> Hlajenje	<input type="checkbox"/> kWh	<input checked="" type="checkbox"/> kWh/m ²	<input type="checkbox"/> kWh/m ³
--	-----------------------------------	------------------------------	--	---

KSKE diplome 2013/2014

Natisni Končaj

PRILOGA G: POROČILO IDA (OSNOVNA VARIANTA)

IDA Indoor Climate and Energy vers. 4.61

License: IDA40:14SEP/V5O1V (trial license)

Simulated by Klemen Domjan

Date 31.7.2014 21:05:42 [534]



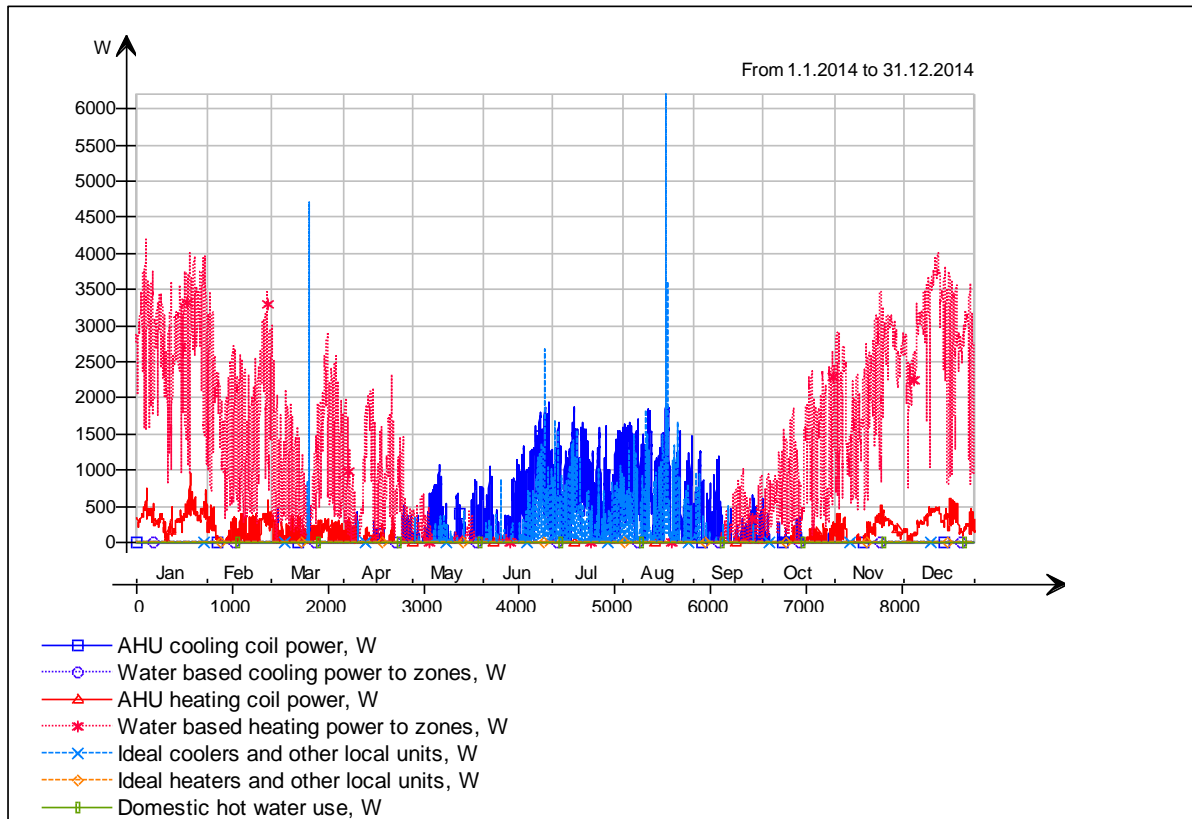
SIMULATION TECHNOLOGY GROUP

Project Data

Project name	1. Masiven KS - OSNOVNA
Customer	
Description	
Location	Ljubljana1
Climate	Climate file test-ref-year_ljubljana.PRN
Simulation type	Custom simulation
Simulation period	1.1.2014 - 31.12.2014

Simulation results

Total heating and cooling



Delivered Energy Report

Building Comfort Reference

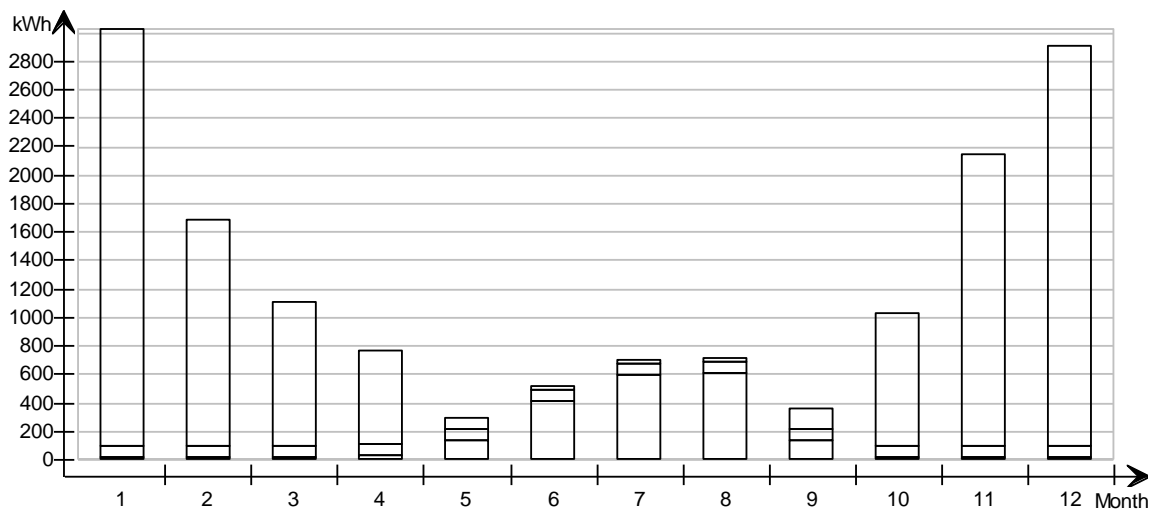
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	0 %
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	0 %
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	0 %

Delivered Energy Overview

		Delivered energy		Demand
		kWh	kWh/m ²	kW
■	Lighting, facility	0	0.0	0.0
■	Electric cooling	1971	10.4	3.6

■	HVAC aux	967	5.1	0.12
	Total, Facility electric	2938	15.5	
■	District heating	12279	65.0	5.78
	Total, Facility district	12279	65.0	
	Total	15217	80.5	
□	Equipment, tenant	0	0.0	0.0
	Total, Tenant electric	0	0.0	
■	CHP electricity	0	0.0	0.0
	Total, Produced electric	0	0.0	
	Grand total	15217	80.5	

Monthly Delivered Energy








Month	Facility electric			Facility district	Tenant electric	Produced electric
	Lighting, facility	Electric cooling	HVAC aux	District heating	Equipment, tenant	CHP electricity
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)

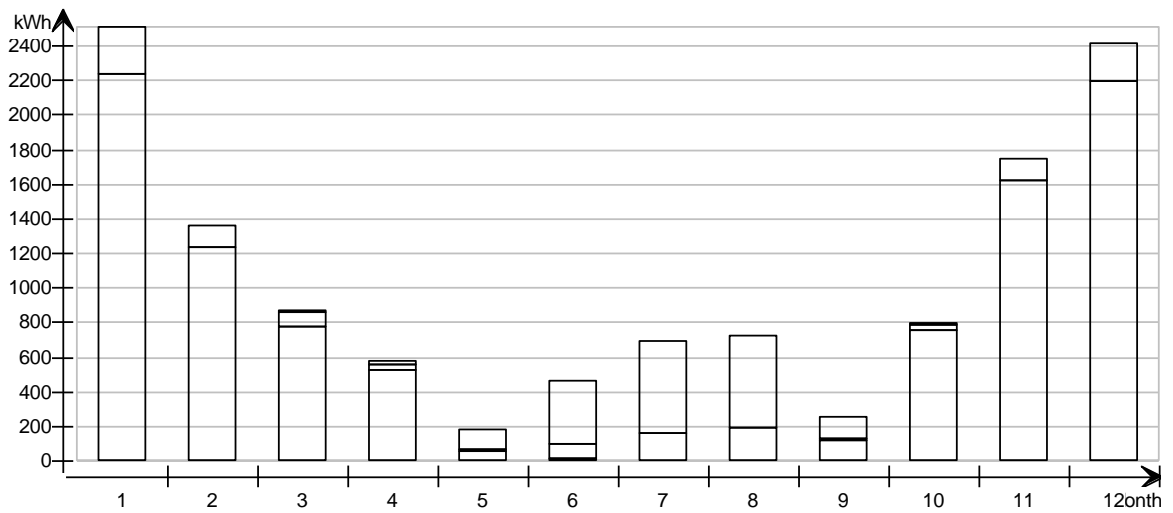
1	0.0	8.3	82.1	2932.0	0.0	0.0
2	0.0	7.5	74.0	1596.0	0.0	0.0
3	0.0	17.6	81.3	1014.0	0.0	0.0
4	0.0	29.1	79.0	653.0	0.0	0.0
5	0.0	129.3	81.4	81.8	0.0	0.0
6	0.0	407.4	79.7	25.8	0.0	0.0
7	0.0	593.2	82.9	20.1	0.0	0.0
8	0.0	609.1	82.9	19.8	0.0	0.0
9	0.0	134.7	79.1	147.5	0.0	0.0
10	0.0	18.7	82.5	928.5	0.0	0.0
11	0.0	7.8	80.1	2048.0	0.0	0.0
12	0.0	8.2	82.5	2813.0	0.0	0.0
Total	0.0	1970.9	967.3	12279.4	0.0	0.0

Systems Energy

Used energy

kWh (sensible and latent)

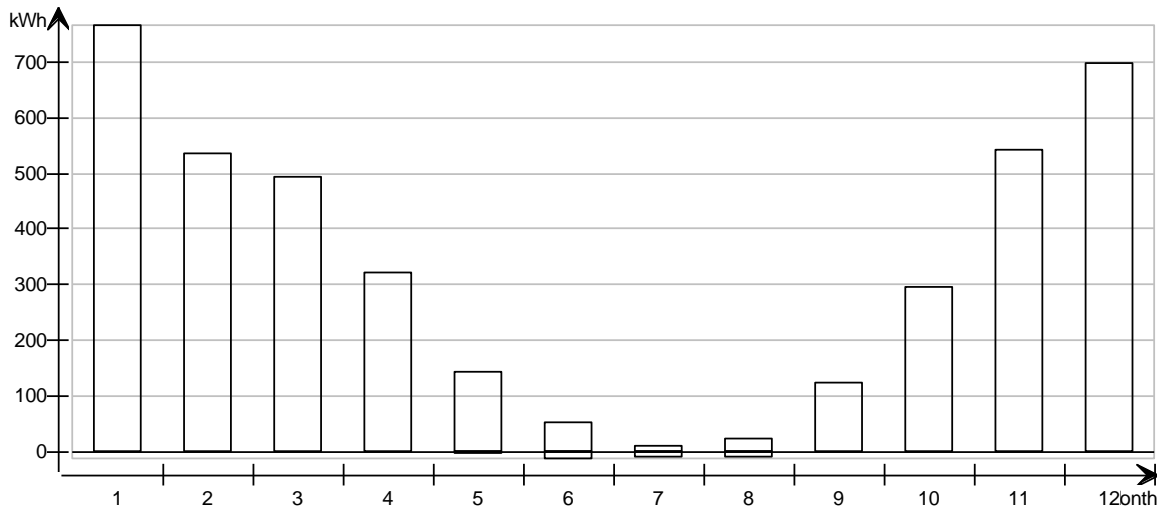
Month	Zone heating	Zone cooling	AHU heating	AHU cooling	Dom. hot water
					
1	2235.0	0.0	270.2	0.0	0.0
2	1236.0	0.0	124.4	0.0	0.0
3	774.5	3.7	85.3	6.4	0.0
4	521.9	0.1	28.1	18.5	0.0
5	57.3	6.7	0.7	116.2	0.0
6	6.8	82.5	0.2	368.6	0.0
7	0.0	152.0	0.0	530.5	0.0
8	0.0	192.1	0.0	533.1	0.0
9	116.5	6.2	0.5	122.3	0.0
10	756.3	0.0	27.8	9.6	0.0
11	1620.0	0.0	125.2	0.0	0.0
12	2188.0	0.0	216.3	0.0	0.0
Total	9512.4	443.3	878.8	1705.2	0.0



Utilized free energy

kWh (sensible and latent)

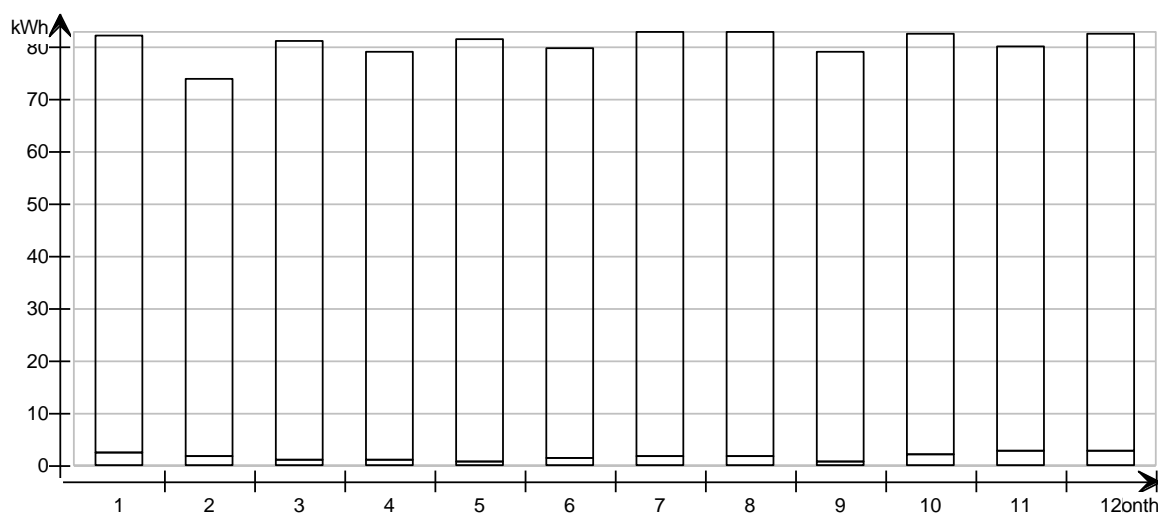
Month	AHU heat recovery	AHU cold recovery	Plant heat recovery	Plant cold recovery	Solar heat	Ground heat	Ground cold	Ambient heat	Ambient cold
1	764.5	0.0	-0.0	-0.6					
2	533.3	0.0	-0.0	-0.5					
3	491.4	-0.0	-0.0	-0.3					
4	318.9	-0.0	-0.0	-0.3					
5	142.7	-2.6	-0.0	-0.3					
6	49.8	-13.5	-0.0	-0.3					
7	8.2	-11.6	-0.0	-0.2					
8	20.9	-12.1	-0.0	-0.3					
9	123.1	-0.3	-0.0	-0.4					
10	293.1	-0.0	-0.0	-0.5					
11	542.3	0.0	-0.0	-0.6					
12	697.2	0.0	-0.0	-0.6					
Total	3985.4	-40.0	-0.0	-5.0					



Auxiliary energy

kWh

Month	Humidification	Fans	Pumps
1		79.7	2.4
2		72.3	1.7
3		80.2	1.1
4		77.9	1.1
5		80.9	0.5
6		78.5	1.2
7		81.2	1.7
8		81.1	1.7
9		78.3	0.8
10		80.6	1.9
11		77.5	2.6
12		79.8	2.8
Total		947.8	19.5



Distribution Losses

kWh

Month	Domestic hot water circuit	Heating	Cooling*	Air ducts*
1	0.0	447.0		0.0
2	0.0	247.1		0.0
3	0.0	154.9		0.0
4	0.0	104.4		0.0
5	0.0	11.5		0.0
6	0.0	1.4		0.0
7	0.0	0.0		0.0
8	0.0	0.0		0.0
9	0.0	23.3		0.0
10	0.0	151.3		0.0
11	0.0	324.1		0.0
12	0.0	437.6		0.0
Total	0.0	1902.5	0.0	0.0

*positive loss when conduit is cooler than building

Input data Report

Wind driven infiltration airflow rate

173.243 l/s at 50.000 Pa

Building envelope	Area [m ²]	U [W/(K m ²)]	U*A [W/K]	% of total
Walls above ground	201.58	0.16	31.35	27.13
Walls below ground	0.00	0.00	0.00	0.00
Roof	92.97	0.17	15.98	13.83
Floor towards ground	96.07	0.09	9.56	8.27
Floor towards amb. air	0.00	0.00	0.00	0.00
Windows	27.45	1.10	30.20	26.14
Doors	3.91	0.81	3.15	2.72
Thermal bridges			25.32	21.91
Total	421.97	0.27	115.55	100.00

Thermal bridges	Area or Length	Avg. Heat conductivity	Total [W/K]
External wall / internal slab	77.65 m	0.000 W/(K m)	0.000
External wall / internal wall	66.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
External wall / external wall	24.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
External windows perimeter	97.87 m	0.000 W/(K m)	0.000
External doors perimeter	12.20 m	0.000 W/(K m)	0.000
Roof / external walls	38.50 m	0.000 W/(K m)	0.000
External slab / external walls	39.14 m	0.000 W/(K m)	0.000
Balcony floor / external walls	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
External slab / Internal walls	36.34 m	0.000 W/(K m)	0.000
Roof / Internal walls	65.10 m	0.000 W/(K m)	0.000
External walls, inner corner	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Total envelope area	421.97 m ²	0.060 W/(K m ²)	25.318
Extra losses	-	-	0.000

Sum	-	-	25.318
-----	---	---	--------

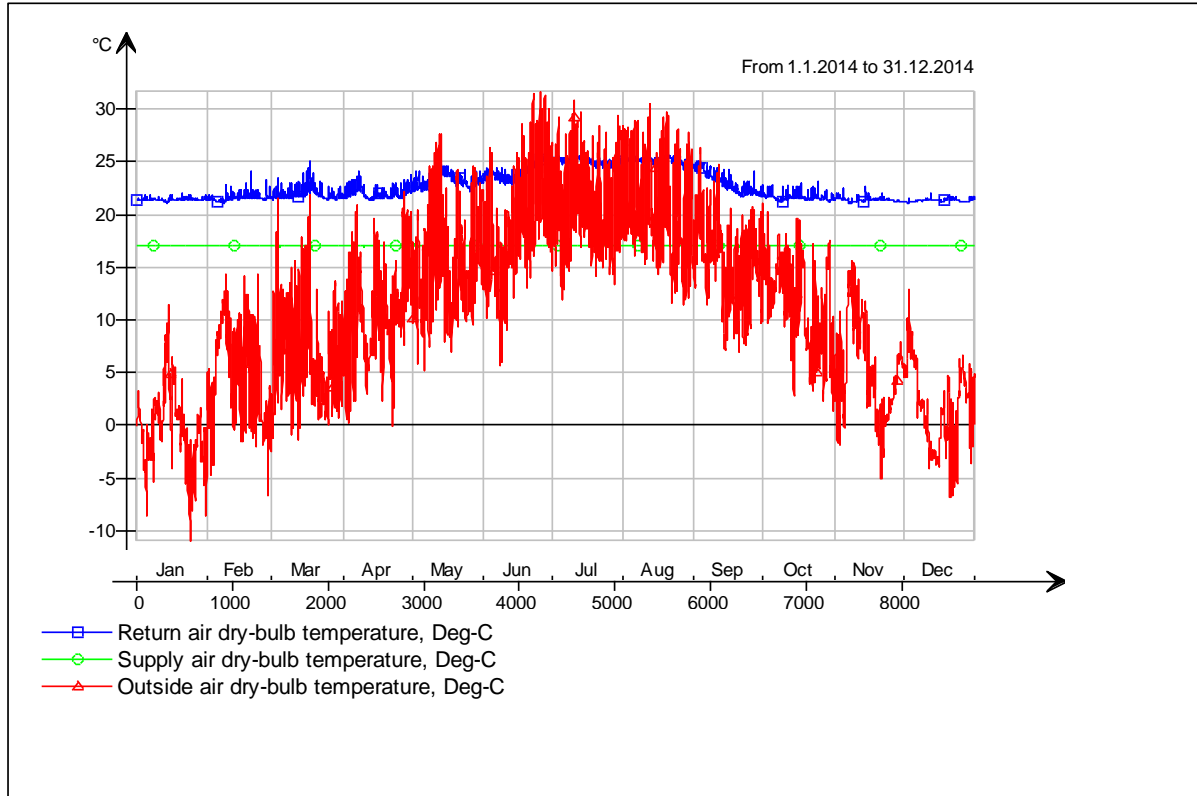
Windows	Area [m ²]	U Glass [W/(K m ²)]	U Frame [W/(K m ²)]	U Total [W/(K m ²)]	U*A [W/K]	Shading factor g
E	8.60	0.60	2.00	1.10	9.46	0.62
S	9.39	0.60	2.22	1.10	10.33	0.62
W	9.47	0.60	2.03	1.10	10.42	0.62
Total	27.45	0.60	2.08	1.10	30.20	0.62

Air handling unit	Pressure head supply/exhaust [Pa/Pa]	Fan efficiency supply/exhaust [-/-]	System SFP [kW/(m ³ /s)]	Heat exchanger temp. ratio/min exhaust temp. [-/°C]
AHU	600.00/400.00	0.60/0.60	1.00/0.67	0.85/1.00

DHW use	L/per occupant and day	No. of persons	Total, [l/s]
	0.000	18.903	0.000

Air Handling Unit

AHU temperatures



Energy report for "Air Handling Unit"

kWh (sensible and latent)

Month	Heating	Cooling	AHU heat recovery	AHU cold recovery	Humidification	Fans
1	270.2	0.0	764.5	0.0	0.0	79.7
2	124.4	0.0	533.3	0.0	0.0	72.3
3	85.3	6.4	491.4	0.0	0.0	80.2
4	28.1	18.5	318.9	0.0	0.0	77.9
5	0.7	116.2	142.7	2.6	0.0	80.9
6	0.2	368.6	49.8	13.5	0.0	78.5
7	0.0	530.5	8.2	11.6	0.0	81.2
8	0.0	533.1	20.9	12.1	0.0	81.1
9	0.5	122.3	123.1	0.3	0.0	78.3

10	27.8	9.6	293.1	0.0	0.0	80.6
11	125.2	0.0	542.3	0.0	0.0	77.5
12	216.3	0.0	697.2	0.0	0.0	79.8
Total	878.8	1705.2	3985.4	40.0	0.0	947.8

