

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:

Zupan, N., 2015. Energetska učinkovitost stavbe UL FGG na Hajdrihovi ulici 28. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Jagličič, Z., somentorica Cotič, P.): 70 str.

Datum arhiviranja: 18-09-2015

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:

Zupan, N., 2015. Energetska učinkovitost stavbe UL FGG na Hajdrihovi ulici 28. Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Jagličič, Z., co-supervisor Cotič, P.): 70 p.

Archiving Date: 18-09-2015

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

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM DRUGE STOPNJE  
GRADBENIŠTVO  
GRADBENE KONSTRUKCIJE**

Kandidatka:

**NINA ZUPAN**

**ENERGETSKA UČINKOVITOST STAVBE UL FGG NA  
HAJDRIHOVI ULICI 28**

Magistrsko delo št.: 12/II.GR

**ENERGY EFFICIENCY OF BUILDING UL FGG AT  
HAJDRIHOVA ULICA 28**

Graduation – Master Thesis No.: 12/II.GR

**Mentor:**

izr. prof. dr. Zvonko Jagličić

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentorica:**

asist. dr. Patricia Cotič

Ljubljana, 04. 09. 2015

## **STRAN ZA POPRAVKE**

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

**IZJAVE**

Podpisana Nina Zupan izjavljam, da sem avtorica magistrskega dela z naslovom »Energetska učinkovitost stavbe UL FGG na Hajdrihovi ulici 28«.

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

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

Ljubljana, 14.8.2015

Nina Zupan

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>UDK: 620.91:697(497.4)(043.3)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Nina Zupan, dipl. inž. grad. (UN)</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Zvonko Jagličić</b>
<b>Somentor:</b>	<b>asist. dr. Patricia Cotič</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Energetska učinkovitost stavbe UL FGG na Hajdrihovi ulici 28</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Magistrsko delo – B.</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>70 str., 33 pregl., 34 sl., 9 graf., 23 en., 8 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>energetska učinkovitost, termografija, toplotni tok, energetska sanacija</b>

### **Izvleček**

Analizirala sem energetska učinkovitost stavbe UL FGG na Hajdrihovi ulici 28. Na objektu smo dvakrat izvedli pregled s termokamero. Iz termografskih posnetkov stavbe sem ugotovila pomanjkljivosti stavbe, ki s prostim očesom niso bile vidne. Pri ugotavljanju sestave sten sem si pomagala z opisom predvidenih del v projektu del iz leta 1955. Za kontrolo dejanske sestave sten sem na štirih karakterističnih mestih zunanega ovoja stavbe izvedla meritev toplotnega toka s termočlenom. Na podlagi podatkov o toplotnem toku sem nato izračunala toplotno prehodnost stene, ki sem jo primerjala s toplotno prehodnostjo dobljeno računsko na podlagi ocenjenih debelin in karakteristik posameznih plasti materialov. Za linijske toplotne mostove sem izračunala linijsko toplotno prehodnost s pomočjo programa THERM. Dejanske dimenzije stavbe sem dobila z lasersko izmero objekta. S programom Gradbena fizika URSA 4.0 sem izdelala računsko energetska izkaznico stavbe in dobljene rezultate primerja z merjeno energetska izkaznico, ki je bila za objekt že izdelana. Ob upoštevanju dejstva, da stavba spada med objekte kulturne dediščine sem predlagala ukrepe za sanacijo objekta, s katero bi se zmanjšale toplotne izgube in povečala energetska učinkovitost. Dodatno sem predlagala uporabo obnovljivih virov energije za proizvodnjo potrebne energije za delovanje stavbe. Ocenila sem stroške izvedbe vseh predlaganih ukrepov. Najučinkovitejši in najbolj potreben ukrep je toplotna izolacija stropa proti neogrevanemu podstrešju, ki sem ga ocenila na 20 tisoč EUR. Stroški izolacije stropa bi se zaradi privarčevane energije povrnili v 4 letih.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDC:</b>	<b>UDK: 620.91:697(497.4)(043.3)</b>
<b>Author:</b>	<b>Nina Zupan, B. Sc.</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>assoc. prof. dr. Zvonko Jagličić, Ph. D.</b>
<b>Cosupervisor:</b>	<b>assist. dr. Patricia Cotič, Ph. D.</b>
<b>Title:</b>	<b>Energy efficiency of building UL FGG at Hajdrihova ulica 28</b>
<b>Document type:</b>	<b>Master Thesis – B.</b>
<b>Scope and tools:</b>	<b>70 p., 33 tab., 34 fig., 9 graph., 23 eq., 8 ann.</b>
<b>Keywords:</b>	<b>energy efficiency, thermography, heat flux, energy-saving building renovation</b>

**Abstract**

Energy efficiency of building UL FGG at Hajdrihova ulica 28 has been analysed. Two examinations with a thermal camera were performed. The thermograms revealed failures in the structure that could not be noticed visually before. The walls' structure was obtained from the project description from year 1955. In order to check the walls' actual composition, the heat flux was measured with a thermocouple at four characteristic points of the building envelope. Thermal transmittance was calculated from the measured heat flux and compared with the thermal transmittance gained through the estimated thicknesses and physical properties of the walls' layers. For the longitudinal thermal bridges, longitudinal thermal transmittance was calculated with a computer program THERM. The outer and inner dimensions of the building were acquired with a laser measurement. With the program Gradbena fizika URSA 4.0, an energy performance certificate was prepared and the results were compared with the results from the energy performance certificate that already existed for the building. Taking into account that the building belongs to cultural heritage, measures for energy-saving renovation were proposed, which would reduce heat losses and increase energy efficiency. In addition, measures were proposed for the use of renewable energy resources that would provide the energy required for the functioning of the building. The costs for the proposed measures were estimated. The most efficient and also the most required measure is the thermal insulation of the ceiling toward unheated attic, which was estimated to be 20 thousand EUR. The investment would be repaid in 4 years time.

## **ZAHVALA**

Za pomoč in podporo pri nastajanju magistrskega dela se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Zvonku Jagličiću in somentorici asist. dr. Patricii Cotič. Zahvaljujem pa se tudi družinskim članom in fantu Davidu, ki so mi v času študija in v času nastajanja magistrskega dela stali ob strani.

**KAZALO VSEBINE**

STRAN ZA POPRAVKE.....	I
IZJAVE .....	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	IV
ZAHVALA.....	V
1 UVOD .....	1
2 INFORMACIJE O OBJEKTU .....	3
3 MERITVE S TERMOKAMERO.....	6
3.1 Termokamera.....	6
3.2 Meritve .....	7
3.3 Rezultati.....	8
4 MERITVE TOPLOTNEGA TOKA.....	11
4.1 Termočlen.....	12
4.2 Meritve .....	14
4.3 Rezultati.....	15
4.4 Uporaba rezultatov .....	19
5 ENERGETSKA IZKAZNICA .....	22
5.1 Zakonske zahteve v RS .....	22
5.2 Metoda.....	24
5.3 Predstavitev izračunov.....	25
5.4 Vhodni podatki izračuna.....	26
6 PRIMERJAVA REZULTATOV.....	53
6.1 Računska energetska izkaznica .....	53
6.2 Primerjava rezultatov merjene in računske energetske izkaznice .....	57
7 PREDSTAVITEV UKREPOV.....	59
7.1 Osveščanje uporabnikov in sprotno spremljanje porabe energije .....	59
7.2 Toplotna izolacija stropne plošče proti prezračevanemu podstrešju .....	59
7.3 Toplotna izolacija sten in stropa, ki delijo ogrevano cono od neogrevanih con.....	61
7.4 Toplotna izolacija zunanjih sten .....	62
7.5 Menjava stavbnega pohištva.....	65
7.6 Namestitev prezračevalnega sistema z rekuperacijo toplote .....	65
7.7 Zagotavljanje obnovljivih virov energije .....	66
7.8 Zaključki glede sanacije .....	66



8	ZAKLJUČEK.....	67
VIRI	.....	69

**KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Gostota toplotnega toka, stena v pritličju .....	15
Grafikon 2: Temperature, stena v pritličju .....	15
Grafikon 3: Gostota toplotnega toka, stena v nadstropju.....	16
Grafikon 4: Temperature, stena v nadstropju .....	16
Grafikon 5: Gostota toplotnega toka, strop 2. nadstropja .....	17
Grafikon 6: Temperature, strop 2. nadstropja .....	17
Grafikon 7: Gostota toplotnega toka, stena kleti .....	18
Grafikon 8: Temperature, stena kleti .....	18
Grafikon 9: Temperatura v tleh v odvisnosti od globine .....	19

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Prostori v kleti .....	28
Preglednica 2: Prostori v pritličju .....	28
Preglednica 3: Prostori v 1. nadstropju .....	29
Preglednica 4: Prostori v 2. nadstropju .....	30
Preglednica 5: Površine sten zunanjega ovoja .....	31
Preglednica 6: Površine zasteklitve in vrat .....	31
Preglednica 7: Površina stropa proti podstrešju in sten in stopnišča na podstrešje .....	32
Preglednica 8: Površina zunanjega ovoja ogrevane kleti .....	32
Preglednica 9: Zunanji ovoj neogrevane kleti 1 .....	32
Preglednica 10: Stiki med neogrevano kletjo 1 in ogrevano cono .....	33
Preglednica 11: Zunanji ovoj neogrevane kleti 2 .....	33
Preglednica 12: Stiki med neogrevano kletjo 2 in ogrevano cono .....	33
Preglednica 13: Tla na terenu .....	34
Preglednica 14: Medetažna konstrukcija .....	35
Preglednica 15: Strop drugega nadstropja proti podstrešju .....	36
Preglednica 16: Stene kleti .....	37
Preglednica 17: Stene pritličja .....	38
Preglednica 18: Stene pritličja .....	39
Preglednica 19: Površine notranjih sten in medetažnih konstrukcij .....	51
Preglednica 20: Primarna energija .....	54
Preglednica 21: Geometrijske lastnosti stavbe .....	54
Preglednica 22: Toplotne izgube skozi ovoj .....	55
Preglednica 23: Toplotne izgube .....	56
Preglednica 24: Primarna energija in emisije CO <sub>2</sub> v računski EI .....	57
Preglednica 25: Primarna energija in emisije CO <sub>2</sub> v merjeni EI .....	57
Preglednica 27: Strošek toplotnega izoliranja podstrešja .....	60
Preglednica 28: Povračilna doba izolacije stropa .....	60
Preglednica 29: Strošek toplotnega izoliranja površin proti neogrevanim prostorom .....	62
Preglednica 30: Povračilna doba izolacije tal nad neogrevano kletjo .....	62
Preglednica 31: Strošek izoliranja zunanje stene .....	65
Preglednica 32: Povračilna doba izolacije fasade .....	65
Preglednica 33: Povračilna doba namestitve prezračevalnega sistema z rekuperacijo toplote .....	66

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Vzhodna fasada .....	3
Slika 2: Južna fasada .....	4
Slika 3: Severna fasada .....	4
Slika 4: Zahodna fasada .....	5
Slika 5: Termokamera FLIR A320 [8].....	7
Slika 6: Severna fasada, 1. meritev .....	8
Slika 7: Severna fasada, 2. meritev .....	9
Slika 8: Zahodna fasada, 2. meritev.....	9
Slika 9: Južna fasada, 2. meritev .....	10
Slika 10: Stropna plošča proti prezračevanemu podstrešju, 2. meritev.....	10
Slika 11: Toplotni tok skozi steno .....	11
Slika 12: Merilna ploščica prilepljena na steno .....	13
Slika 13: Pretvornik in računalnik za zapisovanje meritev .....	13
Slika 14: Aristos opeka.....	14
Slika 15: Izsek obravnavane stavbe iz Atlasa okolja .....	26
Slika 16: Podnebni podatki v programu URSA.....	27
Slika 17: Okno PVC.....	40
Slika 18: Okno les.....	40
Slika 19: Vhodna vrata les.....	41
Slika 20: Vrata na podstrešje .....	41
Slika 21: Prerez stavbe.....	43
Slika 22: Temperaturni potek po steni in plošči za most 1 s programom Therm.....	44
Slika 23: U faktorji za most 1 .....	44
Slika 24: Temperaturni potek po steni in plošči za most 2.....	45
Slika 25: U faktorji za most 2 .....	45
Slika 26: Temperaturni potek po steni in plošči za most 3 .....	46
Slika 27: U faktorji za most 3 .....	46
Slika 28: Temperaturni potek po steni in plošči za most 4.....	47
Slika 29: U faktorji za most 4 .....	47
Slika 30: Ploskovni radiator .....	48
Slika 31: Primerjava izkoristka pri ločeni proizvodnji in sproizvodnji.....	49
Slika 32: Slika razsvetljave .....	49
Slika 33: Račun razsvetljave.....	50
Slika 34: Klimatska naprava .....	52

## 1 UVOD

Problem globalnega segrevanja in klimatskih sprememb je posledica velike porabe fosilnih goriv. Kjotski sporazum je mednarodni dogovor o zmanjšanju izpustov toplogrednih plinov v ozračje. Sprejelo ga je 141 držav na svetu, med njimi tudi Slovenija. Države so se zavezale, da bodo zmanjšale izpuste toplogrednih plinov. Trenutno v Evropski uniji stavbe porabijo za svoje delovanje okoli 40 % celotne proizvedene energije in prispevajo približno enak delež k izpustu ogljikovega dioksida. Za transport se porabi 25-30 %, preostanek pa v industriji. Očitno je, da zmanjšanje porabe energije v stavbah močno pripomore k zahtevanemu zmanjšanju celotne porabe. Fosilna goriva so nam na voljo v omejenih količinah, njihova zaloga pa je že v veliki meri izčrpana, zato se je potrebno preusmeriti k uporabi čim večje količine obnovljivih virov energije. Zaradi rasti cen fosilnih goriv postajajo obnovljivi viri energije, kot so sončna energija, vodna energija, energija vetra, geotermalna energija in biomasa vedno bolj zanimivi.

Energijo v stavbah porabljamo za ogrevanje, pripravo tople sanitarne vode, razsvetljava in delovanje ostalih električnih naprav. Napredek na področju materialov, načina gradnje in številne evropske direktive na področju energetske učinkovitosti stavb imajo za posledico znižanje porabe energije v novozgrajenih stavbah. V Evropi je število starejših stavb, ki so potrebne obnove, veliko v primerjavi s številom novo zgrajenih stavb. Ena od evropskih direktiv določa, da morajo imeti stavbe energetske izkaznice [1]. Energetska izkaznica nam pove koliko energije stavba porabi za svoje delovanje, kolikšen del te energije je proizvedene iz obnovljivih virov energije, ter kako energetsko učinkovita je stavba. Na podlagi dobljenih rezultatov in strokovnega pregleda predlagajo ukrepe za sanacijo in za uporabo obnovljivih virov energije, ki je potrebna za delovanje stavbe.

Energetska sanacija obstoječih stavb je pomembna za zmanjšanje potrebne energije in energetske učinkovitost stavb. V Sloveniji za spodbujane energetskih sanacij in sistemov za izkoriščanje obnovljivih virov energije skrbi Slovenski okoljski javni sklad, ki povrne del investicijskih sredstev in nudi ugodne kredite za tovrstne investicije. Število energetskih sanacij se je zaradi teh denarnih sredstev močno povečalo, pojavil pa se je problem, da pogosto prihaja do nestrokovne izvedbe ukrepov in degradacije prvotnega videza stanovanjskih sosesk. Pri pridobivanju teh sredstev so na slabšem tudi objekti kulturne dediščine, ker pri njih pogosto ni mogoče doseči zahtevanih toplotnih prehodnosti, za katere se sredstva dodeljujejo, saj posegi v zunanji izgled stavbe niso dovoljeni. Potrebno bo spremeniti način ocenjevanja in tovrstnim objektom dodeliti nek faktor kulturne dediščine, ki bo omogočil pridobivanje sredstev tudi tem objektom. Hkrati bi moral Eko sklad večjo pozornost in spodbudo namenjati tudi kvaliteti in ekološki vrednosti vgrajenih materialov, ter tako še dodatno spodbujati varovanje okolja.

Zato sem se odločila, da v okviru magistrske naloge obravnavam energijsko učinkovitost objekta s seznama objektov kulturne dediščine (stavba UL FGG na Hajdrihovi ulici 28) in pripravim seznam ukrepov za izboljšanje energijske učinkovitosti. Pri predlaganih ukrepih se bom omejila le na tiste, ki so dovoljeni za obnovo stavb kulturne dediščine.

## 2 INFORMACIJE O OBJEKTU

Vodogradbeni inštitut, ki se nahaja na Hajdrihovi ulici 28 v Ljubljani je delo arhitekta Janeza Valentinčiča in je bil zgrajen leta 1955. Vodogradbeni inštitut je sestavljen iz šolskega dela, višinskega laboratorija in srednjetačnega laboratorija. Investicija v izgradnjo objekta je imela velik gospodarski pomen, saj je bil njen namen raziskava smotrnega izkoriščanje vodnega bogastva kot neusahljivega naravnega vira. S tem se je omogočila elektrifikacija obsežnih predelov takratne Jugoslavije, ki je bila predpogoj za razvoj industrije. Z namenom izvajanja hidrotehničnega gospodarskega načrta so pod eno streho združili vse znanstvene inštitucije ter laboratorije, ki so delali na tem projektu. Zgrajeni laboratorij skupaj z znanstvenimi ustanovami je izobraževal in še danes izobražuje kadre za izvedbo hidrotehničnih projektov in reševanje zahtevnih hidrotehničnih problemov. V nadaljevanju bom obravnavala le šolski del, v katerem se nahajajo prostori UL FGG. Objekt spada med profano stavbno dediščino pod okriljem Zavoda za varstvo kulturne dediščine Ljubljana. Stavba ima pilastersko členjeno fasado, kar je razvidno na slikah 1, 2, 3 in 4.



Slika 1: Vzhodna fasada



Slika 2: Južna fasada



Slika 3: Severna fasada





Slika 4: Zahodna fasada

Ker je objekt vpisan v Register kulturne dediščine, je potrebno pred obnovo, prenovo in vzdrževalnimi deli objekta pridobiti soglasje Zavoda za varstvo kulturne dediščine Slovenije. Pred posegom je potrebno predložiti informacije o vrsti posega, načinu izvedbe, osnovne podatke o legi objekta in vso ostalo zahtevano dokumentacijo. Zavod na osnovi teh podatkov izda kulturno-varstvene pogoje ali smernice, ki določajo zahteve, ki jih mora izpolnjevati projektna dokumentacija. Varuje se zunanost objekta kot tudi notranjost, v smislu posebnih detajlov, interierja in uporabljenih materialov, ki dajejo objektu značaj. V primeru obravnavanega objekta bi izpostavila stopnišče iz naravnega kamna s prvotno razsvetljavo in hodnike z lesenimi klopmi, medtem ko so predavalnice moderno opremljene.

Zavod za varstvo kulturne dediščine zelo omejuje in natančno določa dovoljene posege v fasado, ki je eden najpomembnejših elementov stavbe in izraža njen značaj in pomen [2]. Pred prenovo vsake fasade Zavod zahteva sondažne raziskave. Na podlagi rezultatov se izdela barvna študija, ki jo pripravi za to pristojna služba za varstvo kulturne dediščine. Priporočljivo je, da se pri prenovi uporabijo tradicionalni materiali. Delni posegi na fasadi, na primer pleskanje le dela fasade in podobno, niso sprejemljivi. Fasadni okras, kiparski ali slikarski, je sestavni del fasade in ga je treba ohranjati in prenavljati v skladu z restavratorskimi principi. Če je poškodovan ali uničen, ga je potrebno obnoviti oziroma rekonstruirati. Okna in vrata so pomemben element fasade, zato jih je potrebno varovati in prenavljati v originalnih oblikah, dimenzijah, materialih in barvah, določenih na podlagi sondažnih raziskav. Zamenjati jih je dopustno le v primeru poškodb, ki jih ni mogoče sanirati. V tem primeru mora biti novo stavbno pohištvo natančna replika originalnega, narejeno v enakih dimenzijah, obliki, detajlih, materialih in barvah. Pri oknih ni dovoljeno spreminjati načina odpiranja okenskih kril in tudi ne menjati tradicionalne zasteklitve z novo, ki bi zahtevala kakršnokoli spremembo oblike, velikosti in debeline okenskih okvirov. Zahteva po ohranjanju prvotnega videza in uporabljenih materialov se nanaša tudi na streho.

### 3 MERITVE S TERMOKAMERO

#### 3.1 Termokamera

Toplotna kamera ali termokamera [3] deluje tako, da najprej izmeri gostoto energijskega toka v infrardečem delu spektra med valovnima dolžinama 7.5 in 13 mikrometri, nato na podlagi Stefan-Boltzmanovega zakona določi pripadajočo temperaturo črnega telesa, ki nazadnje ob upoštevanju koeficienta emisivnosti  $\varepsilon$  pretvori v površinsko temperaturo realnega telesa. Kamera pokaže sevanje kot spremembo temperature po površini telesa. Emisivnost  $\varepsilon$  je razmerje med izsevanim tokom realnega telesa  $j_{RB}$  in izsevanim tokom črnega telesa  $j_{BB}$  pri dani temperaturi in valovni dolžini

$$\varepsilon = \frac{j_{RB}}{j_{BB}}. \quad (1)$$

Temperaturna občutljivost kamere običajno omogoča zaznavanje temperature z natančnostjo manjšo od  $\pm 1$  °C. Sevajo vsa telesa, ki imajo temperaturo nad absolutno ničlo, količina sevanja pa narašča z večanjem temperature.

Komponente termokamere so:

- leče, izdelane iz germanija in silicija, ki bolje prepuščajo infrardečo svetlobo;
- detektor občutljiv na infrardečo svetlobo;
- elektronika za obdelavo podatkov;
- programska oprema za procesiranje in prikaz slike.

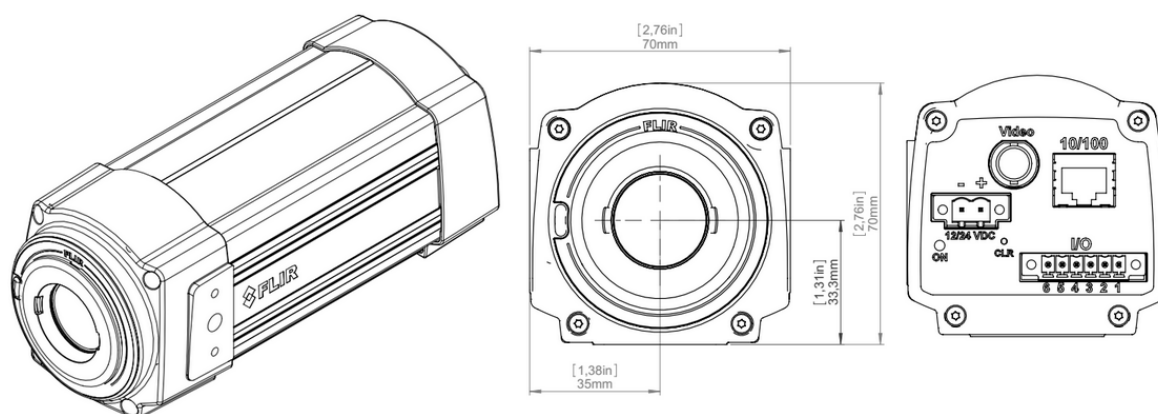
Infrardeča termografija je uveljavljena metoda za neporušna testiranja [4]. Omogoča neinvazivno in nekontaktno meritev temperature in prikaz porazdelitve temperature po objektu.

Uporaba termokamere v gradbeništvu [5]:

- lociranje toplotnih mostov, ki nastanejo pri stikih različnih konstrukcijskih elementov;
- izvajanje pregledov objektov (npr. energetskih), iskanje pomanjkljivosti v ovojju stavbe, zagotavljanje kvalitetne izvedbe;
- pridobivanje pomembnih podatkov pred sanacijo stavb in spomenikov;
- ugotavljanje nepravilnosti v konstrukciji;
- ugotavljanje kvalitete izolacijskih materialov;
- ugotavljanje netesnosti stavbnega pohištva;
- ugotavljanje obnašanja konstrukcije in njenih delov v požaru;
- lociranje vlage v konstrukciji;

- odkrivanje pomanjkljivosti na inštalacijah in njihovega poteka (električna napeljava, sistem talnega ogrevanja, odtoki, toplovodne cevi);
- neporušne preiskave gradbenih materialov in konstrukcijskih elementov.

Pri snemanju obravnavane stavbe sem uporabila termokamero FLIR A320 (slika 5) (največja frekvenca zajemanja slik je 30 Hz) s širokokotnim objektivom. Širokokotni objektiv je omogočil širši vidni kot, tako smo pri enem posnetku lahko zajeli večjo površino fasade. Uporabljena kamera lahko deluje pri temperaturah od  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , merjeni predmeti imajo lahko površinsko temperaturo od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Za snemanje je potrebno kamero najprej povezati z računalnikom. Slika, ki jo posname kamera se prikazuje v programu FLIR ResearchIR Max 3.2 [6]. Preko tega programa upravljamo s kamero, jo umerimo in fokusiramo. V programu nastavimo vhodne parametre: temperaturo zraka, površinsko temperaturo okoliških stavb, vlago ozračja, emisivnost površine in oddaljenost od posnete površine. Emisivnost določimo na podlagi podatkov iz literature. Za omet je enaka  $\varepsilon = 0,94$  [7]. Posnetke lahko nadalje obdelujemo s programom Matlab.



Slika 5: Termokamera FLIR A320 [8]

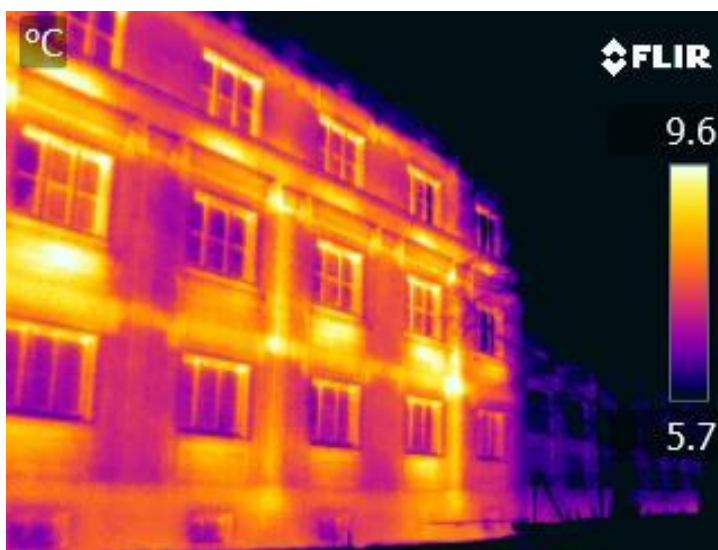
### 3.2 Meritve

Na objektu smo opravili dve meritvi s termokamero. Temperaturna ločljivost kamere je 50 mK pri  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , prostorska ločljivost pa 1,36 mrad [8]. Prva meritev je potekala 8.12.2014. Pričetek snemanja je bil ob 17. uri pri zunanji temperaturi  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  in relativni vlažnosti zraka 65 %. Ker pred meritvijo zunanje temperature še niso padle pod  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pri meritvah razlike temperatur na fasadi še niso bile zelo jasne. Za boljše določanje položaja linijskih toplotnih mostov smo meritve ponovili. Druga meritev je potekala 9.2.2015 ob 5.30 zjutraj pri zunanji temperaturi  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  in vlažnosti zraka 64 %. Pred meritvijo so bile temperature že več dni pod  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tako da je bila zunanost stavbe dobro ohlajena. Stavbo smo s termokamero posneli z vseh dostopnih strani. Pri tej meritvi smo posneli tudi stropno ploščo proti

podstrešju, za katero smo sklepali, da ima velike toplotne izgube. V času meritev je potrebno odstraniti čim več motečih dejavnikov na meritve, izključiti luči v stavbi in zapreti okna. Težave je povzročal zunanji reflektor, ki je povezan s senzorjem gibanja. Reflektor je bil tudi po izklopu še vedno zelo segret in je nekoliko vplival na temperaturno skalo posnetkov.

### 3.3 Rezultati

Na sliki 6 je prikazana severna fasada pri prvi meritvi. Na sliki je vidno, da je temperatura po medetažnih ploščah višja od temperature na stenah. Pasovi z višjo temperaturo v vertikalni smeri se ujemajo s položajem razvodnega sistema centralnega ogrevanja, ki je nameščen v stenah. Lise pod okni pa so na mestu grelnih teles nameščenih pod okni. Če primerjamo rezultate dobljene na severni fasadi pri prvi meritvi (slika 6) in drugi meritvi (slika 7) vidimo, da so temperature na fasadi pri drugi meritvi za približno 10 °C nižje kot pri prvi. Ponovno so bili lepo vidni položaji medetažnih konstrukcij. Zaradi pilasterske zasnove fasade se na fasadi ob pilastrih pojavljajo temperaturne razlike. Te temperaturne razlike je težje razložiti, eden od možnih vzrokov za ta pojav je vpliv prehodne zračne plasti.



Slika 6: Severna fasada, 1. meritev



Slika 7: Severna fasada, 2. meritev

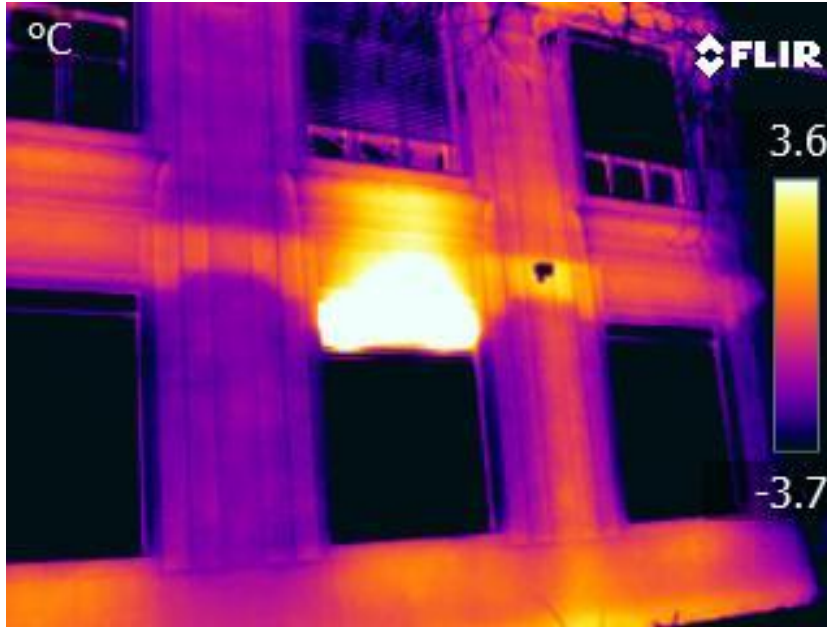
Na sliki 8 zahodne fasade, na kateri je viden zadnji vhod v stavbo, je opazna velika razlika med temperaturo stekla oken, ki so bila zamenjana in imajo toplotno prehodnost  $U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ , in vrati, ki so še vedno prvotna, vgrajena ob izgradnji objekta in so lesena z delno zasteklitvijo, ter imajo večjo toplotno prehodnost od že zamenjanih oken.



Slika 8: Zahodna fasada, 2. meritev

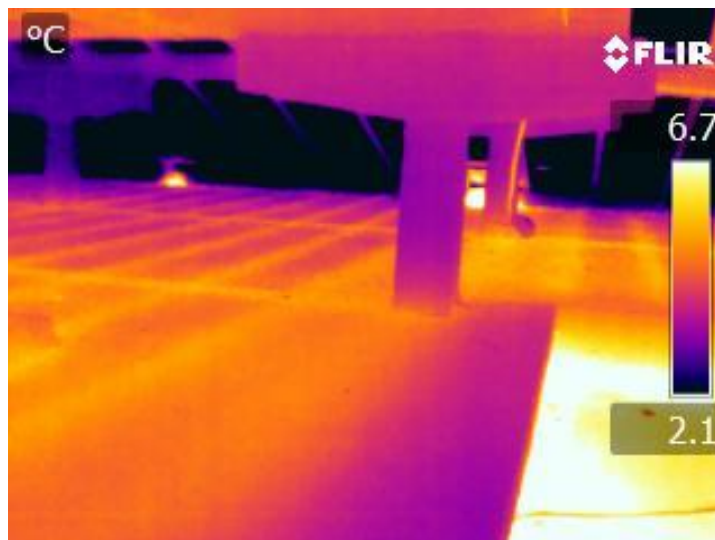
Slika 9 prikazuje odprto okno v Laboratoriju za tekočine. V tem laboratoriju delajo poizkuse z vodo, posledica katerih je velika količina vlage v prostoru. Ker v prostoru ni nameščenega prezračevalnega sistema, se prostor zrači z odpiranjem oken. V nadaljevanju bom pri predlaganih ukrepih ocenila velikost investicije in smiselnost namestitve prezračevalnega sistema z rekuperacijo toplote glede na velikost trenutnih ventilacijskih izgub.





Slika 9: Južna fasada, 2. meritev

Pri drugi meritvi je bila posneta tudi stropna plošča proti prezračevanemu podstrešju. Strop je rebričast, kar je lepo vidno tudi na sliki 10. Stropna plošča in rebra so armiranobetonska. S spodnje strani je strop zaprt, tako da rebra niso vidna. V prostorih med rebri so nastali neprezračevani prostori zraka, ki imajo večjo toplotno izolativnost od armiranobetonskega rebra. Kljub temu, da je podstrešje prezračevano, so temperature tu za približno 3 °C višje kot na fasadi stavbe, ki je bolj izpostavljena zunanjim vremenskim vplivom.



Slika 10: Stropna plošča proti prezračevanemu podstrešju, 2. meritev

#### 4 MERITVE TOPLOTNEGA TOKA

Gostota toplotnega toka  $q$  skozi steno je sorazmerna z gradientom temperature  $dT/dx$  in s toplotno prevodnostjo stene  $\lambda$ ,

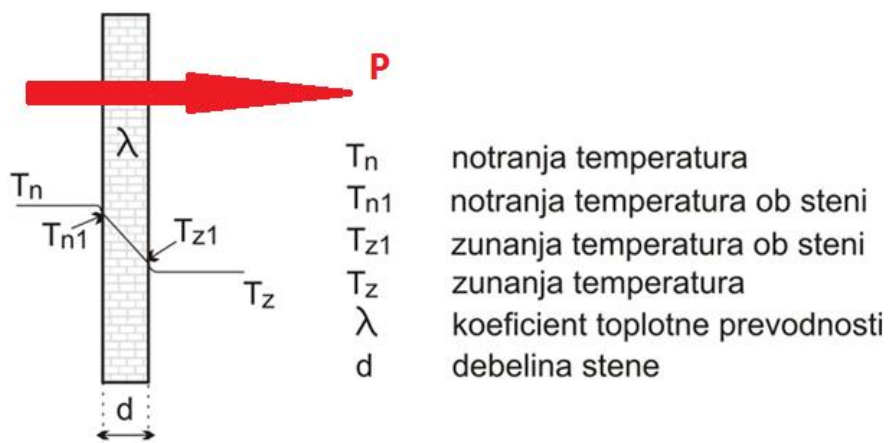
$$q = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx}. \quad (2)$$

Predznak minus nas opozori, da toplota teče v smeri pojanja temperature. Če se temperatura opazovanega dela stene s časom ne spreminja, se ne spreminja njegova notranja energija, kar pomeni, da je prihajajoči toplotni tok enak odhajajočemu. Če to velja za vse dele stene pomeni, da skozi steno teče konstanten energijski tok in govorimo o stacionarnem stanju. Obravnavajmo najprej steno iz enega samega materiala s toplotno prevodnostjo  $\lambda$  (slika 11). Na začetku razmere v steni še niso stacionarne. Topla stran stene se segreje na notranjo temperaturo, hladna stran stene pa se ohladi na zunanjo temperaturo. Ko se v steni vzpostavi stacionarno stanje, skozi steno teče konstanten toplotni tok in temperatura pada linearno od toplejše strani proti hladnejši strani. Tolikšen tok, kot v steno prihaja na notranji strani, jo tudi zapušča.

Toplotni tok za stacionarno stanje:

$$P = \frac{\lambda \cdot S}{d} \cdot (T_{n1} - T_{z1}). \quad (3)$$

Toplotni tok je premo sorazmeren s temperaturno razliko med toplo in hladno stranjo stene in površino stene  $S$ , ter obratno sorazmeren z debelino stene  $d$ . Odvisen je tudi od materiala, iz katerega je narejena stena, to podaja koeficient toplotne prevodnosti  $\lambda$ . S  $T_{n1}$  označimo temperaturo na notranji površini stene in s  $T_{z1}$  na zunanji površini. Pri dobrih prevodnikih teče pri majhni temperaturni razliki velik toplotni tok, posledično ustreza dobremu prevodniku velik  $\lambda$ . Snovem, ki slabo prevajajo toploto in imajo majhen  $\lambda$ , pravimo izolatorji. Dobri izolatorji so predvsem tiste snovi, ki vsebujejo ali zadržujejo veliko zraka ali katerega drugega plina.



Slika 11: Toplotni tok skozi steno

Gradbeni konstrukcijski sklopi so sestavljeni iz več materialov, npr. opeka, omet in izolacija. V takšnih primerih definiramo toplotno prehodnost  $U$ :

$$q = \frac{P}{S} = U \cdot (T_n - T_z), \quad (4)$$

kjer je  $T_n - T_z$  razlika temperatur zraka v notranjosti prostora in zunanosti. V zgornji enačbi že upoštevamo tudi toplotne mejne plasti, ki nastopijo zaradi prestopa toplote ob površini konstrukcijskega sklopa.

Toplotne prehodnosti gradbenih konstrukcijskih sklopov na zgrajenih objektih lahko zaradi nepoznanosti lastnosti materialov ali pa načina vgradnje odstopajo od računskih vrednosti. Standard SIST EN ISO 9869 opredeljuje preizkus za preverjanje toplotne prehodnosti. Meritev poteka s termočlenom v daljšem časovnem obdobju, v katerem  $n$ -krat v enakih časovnih intervalih izmerimo trenutni toplotni tok, ki prehaja skozi gradbeno konstrukcijo, ter temperaturi zraka v prostoru  $T_n$  in okolici  $T_z$  [9]. Merjeno toplotno prehodnost gradbene konstrukcije  $U_{mer}$  določimo iz povprečja vseh izmerkov:

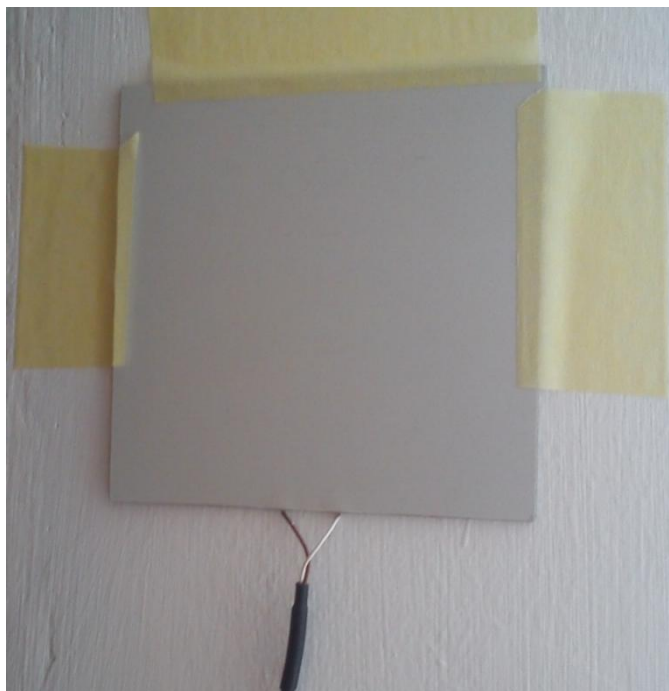
$$U_{mer} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{q_j}{(T_{n,j} - T_{z,j})} \quad \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (5)$$

#### 4.1 Termočlen

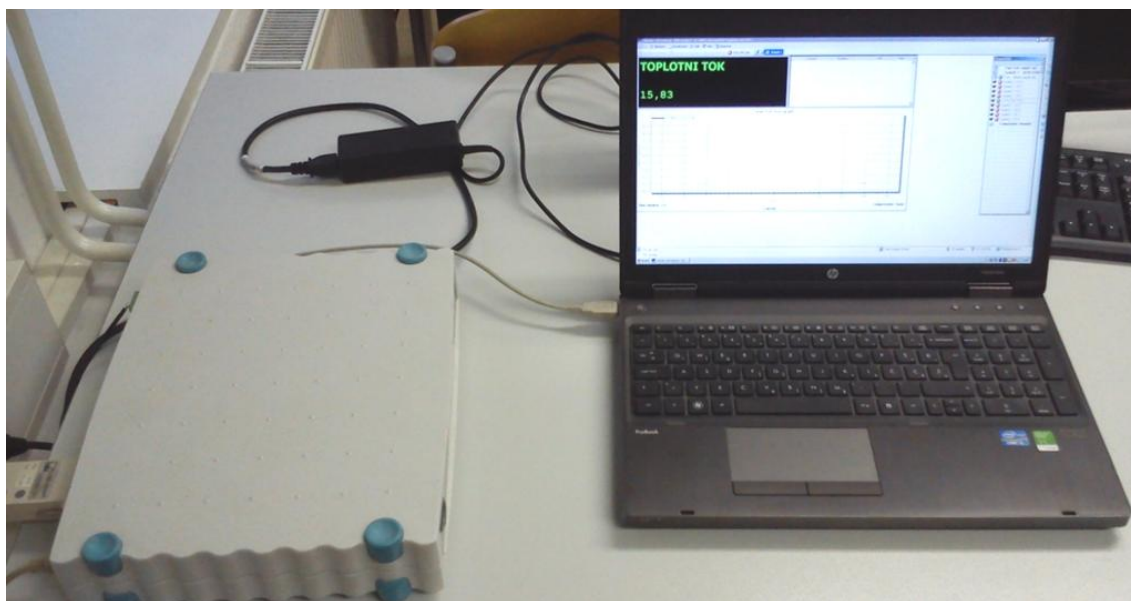
Toplotni tok je bil merjen s senzorjem toplotnega toka ALMEMO tip 118, FQA018C [10], ki deluje po principu termočlena. Sestavlja ga tanka ploščica, za katero je znana debelina in toplotna prevodnost materiala iz katerega je narejena. Zunanje dimenzije ploščice so  $120 \times 120 \times 1,5 \text{ mm}^3$ , merilno območje ploščice meri  $90 \times 90 \text{ mm}^2$ . Delovno območje senzorja je med  $-40 \text{ °C}$  in  $80 \text{ °C}$ . Ploščico (slika 12) je potrebno pred meritvijo stabilizirati tako, da ima na obeh straneh enako temperaturo. Nato se jo premaže s posebno pasto za boljši prenos toplote in nalepi na notranjo stran zunanje stene. Ploščica je preko pretvornika-voltmetra povezana z računalnikom (slika 13), ki zapisuje meritve toplotnega toka vsakih 50 sekund.

Termočlen meri diferenčno temperaturo po merilni ploščici, preko katere se meri gostota toplotnega toka. Termočlen generira majhne izhodne napetosti, prenosorazmerne z gostoto toplotnega toka. Za odčitek meritve potrebujemo natančen voltmeter, ki deluje v območju milivoltov. Za izračun toplotnega toka napetost delimo z občutljivostjo, to je konstanto, ki je odvisna od inštrumenta. Za ugotovitev stabilne in ustrezne vrednosti toplotne prehodnosti je potrebno, da je razlika med zunanjo in notranjo temperaturo vsaj  $20 \text{ °C}$ . Spremembe zunanje in notranje temperature morajo biti v času meritve kar se da majhne. Za izračun toplotne prehodnosti stene je potrebno uporabiti povprečje daljše meritve, da se tako lahko zanemari vpliv toplotne kapacitete stene.





Slika 12: Merilna ploščica prilepljena na steno



Slika 13: Pretvornik in računalnik za zapisovanje meritev

## 4.2 Meritve

Meritve toplotnega toka so bile narejene na štirih reprezentativnih delih zunanje ovoja stavbe. Prva meritve toplotnega toka je bila izvedena v kabinetu gostujočega profesorja v pritličju (kabinet ni oštevilčen zato ga bom v nadaljevanju imenovala kar *kabinet gostujočega profesorja*), na zunanji steni iz polne opeke. V drugem nadstropju v kabinetu 33 sta bili izvedeni meritvi toplotnega toka na steni iz Aristos opeke (slika 14) [11] in na stropu. V računalniški učilnici v kleti je bil merjen toplotni tok skozi armiranobetonsko steno proti vkopanim tlom.



Slika 14:Aristos opeka

Zunanja temperatura zraka je bila dobljena za lokacijo v centru Ljubljane [12], ki je približno 1 km zračne razdalje oddaljena od mesta meritve toplotnega toka. Temperatura je bila izmerjena na vsakih 5 minut. Temperatura tal je bila dobljena iz meteorološke postaje v Ljubljani za dan meritve toplotnega toka stene v kleti. Notranja temperatura je bila izmerjena vsakih 15 minut v kabinetu številka 33 v drugem nadstropju, medtem ko je bila v ostalih prostorih izmerjena le na začetku in koncu meritve.

Za oceno napake toplotne prehodnosti izračunane iz izmerjene gostote toplotnega toka upoštevamo:

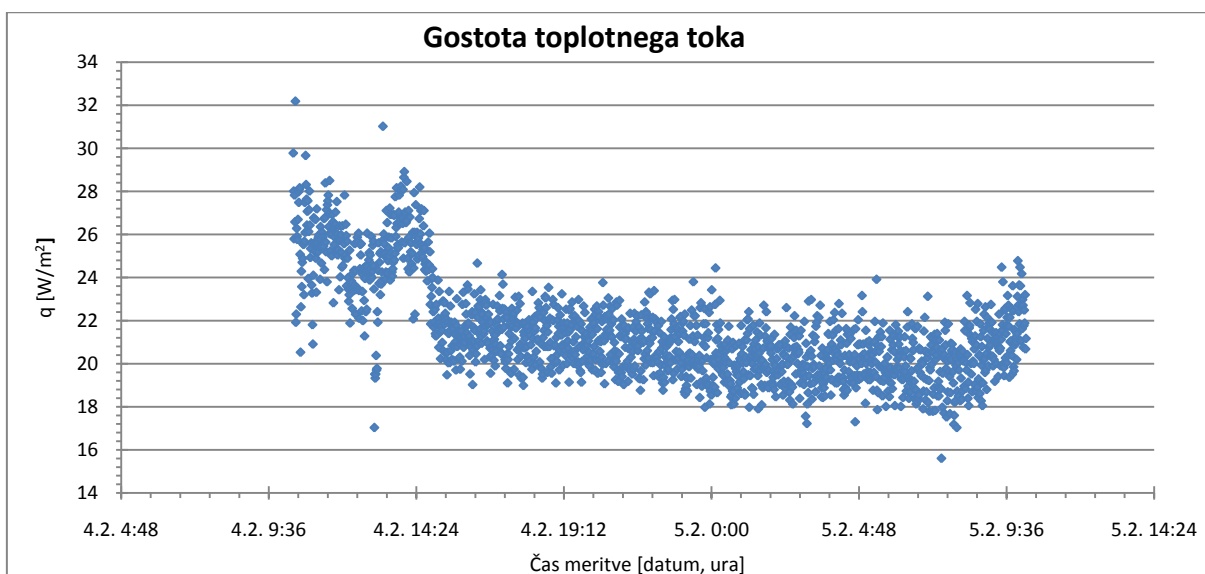
- $\Delta T$  za  $\pm 1$  °C napaka pri meritvi notranje in zunanje temperature,
- $q$  za  $\pm 1$  W/m<sup>2</sup> napaka pri meritvi gostote toplotnega toka.

Napako izračunane toplotne prehodnosti  $U$  sem ocenila na približno 10 %.

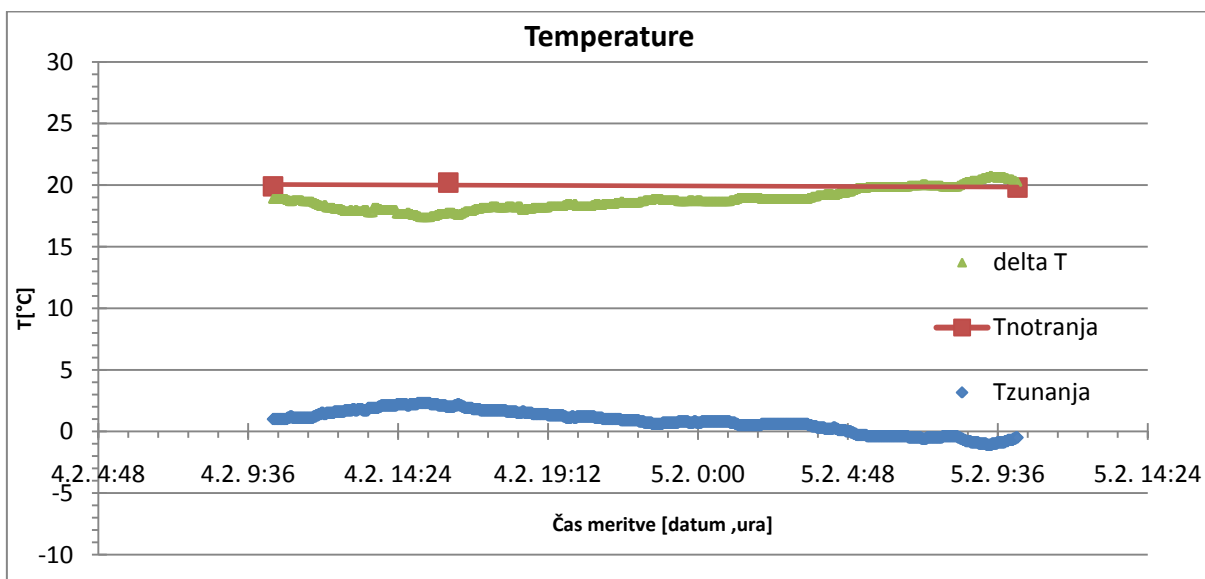
### 4.3 Rezultati

#### Stena v pritličju

Prva meritev toplotnega toka je potekala od 4.2.2015 ob 10:23 do 5.2.2015 ob 10:13. Izvedena je bila v kabinetu gostujočega profesorja v pritličju, na zunanji steni iz polne opeke. Rezultati meritve so prikazani na grafikonu 1, kjer se lepo vidi, da se merjena gostota toplotnega toka s časom razmeroma umiri, ter niha okoli določene vrednosti. Začetna nihanja so povezana z nihanji notranje temperature zaradi odpiranja vrat in okna kabineta. Na grafikonu 2 lahko vidimo potek zunanje in notranje temperature ter razliko med njima (grafikon notranje temperature je interpoliran na podlagi začetne in končne merjene točke in ne upošteva nihanj notranje temperature zaradi odpiranja vrat in okna).



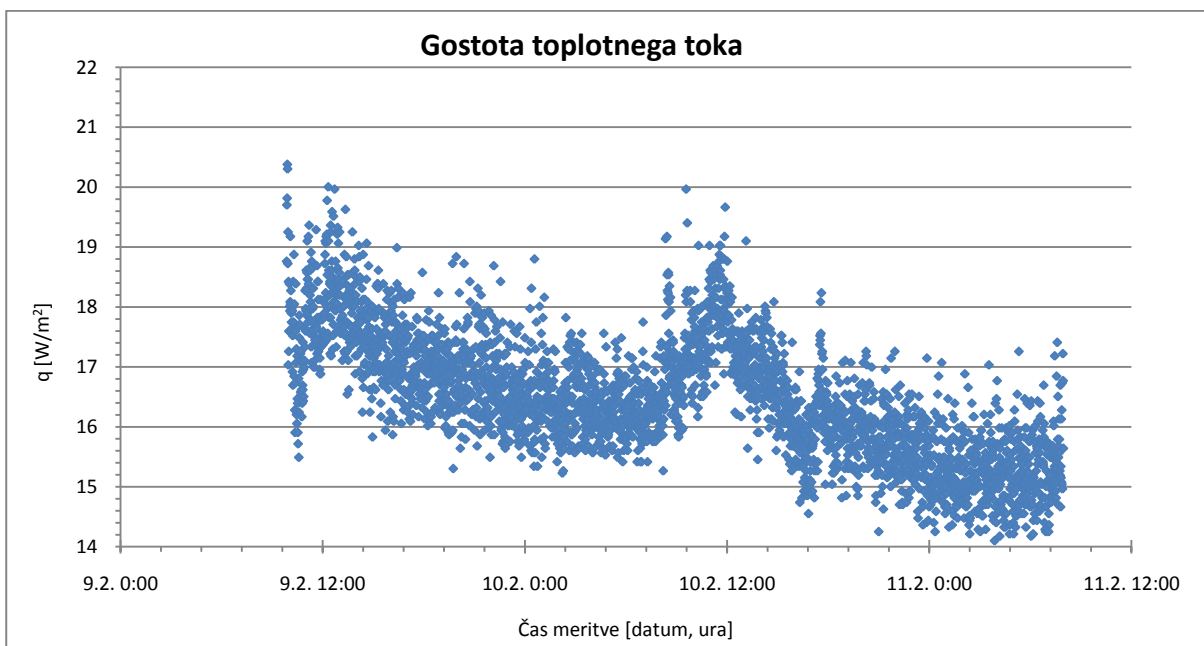
Grafikon 1: Gostota toplotnega toka, stena v pritličju



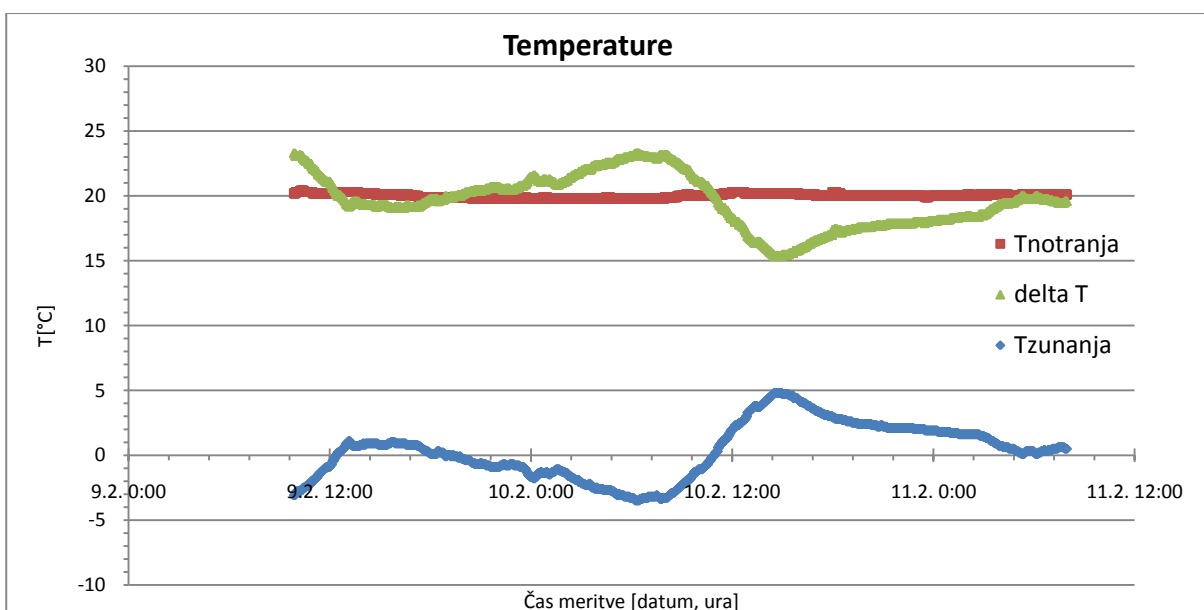
Grafikon 2: Temperature, stena v pritličju

### Stena v nadstropju

Meritve so potekale od 9.2.2015 ob 9:51 do 11.2.2015 ob 7:57. Lokacija meritve je bila stena iz Aristos opeke v drugem nadstropju v kabinetu 33. Na grafikonu 3 je prikazana gostota toplotnega toka na že opisani lokaciji za interval meritve. Že takoj se vidi, da je merjena količina pri tej meritvi nekoliko nižja kot pri prvi meritvi na steni v pritličju. Na grafikonu 4 pa so prikazane temperature. Zunanje temperature so se precej spreminjale, čez noč so padale do jutra, nato pa čez dan naraščale. Vpliv temperature je lepo viden tudi pri toplotnem toku.



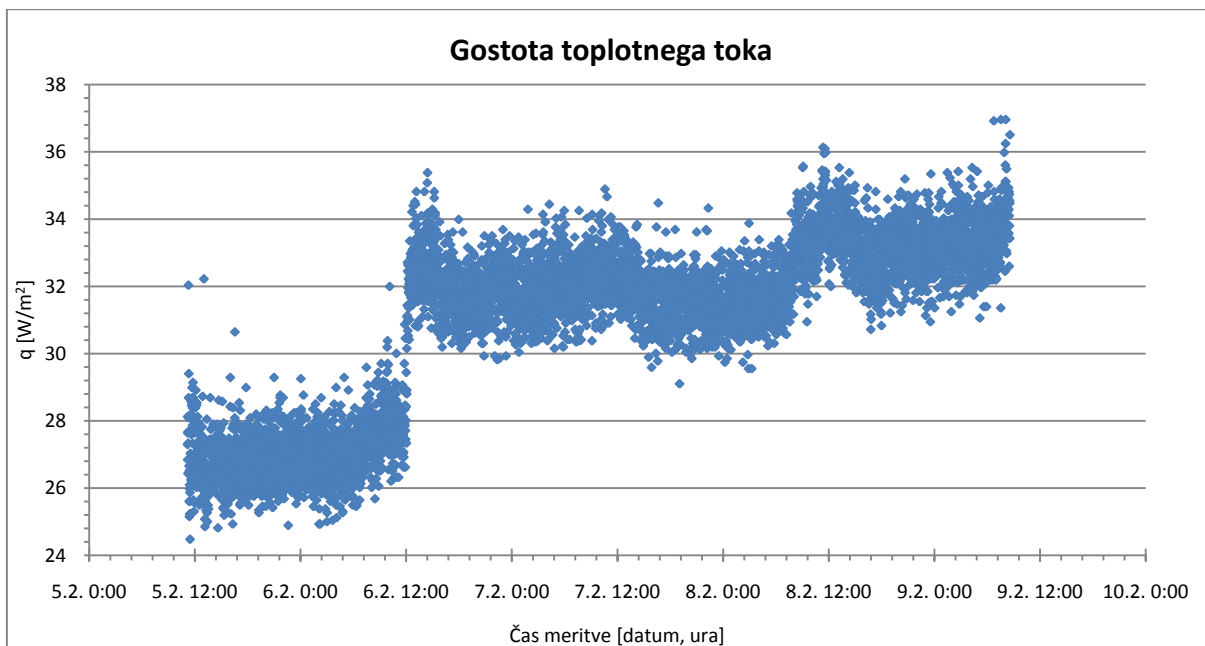
Grafikon 3: Gostota toplotnega toka, stena v nadstropju



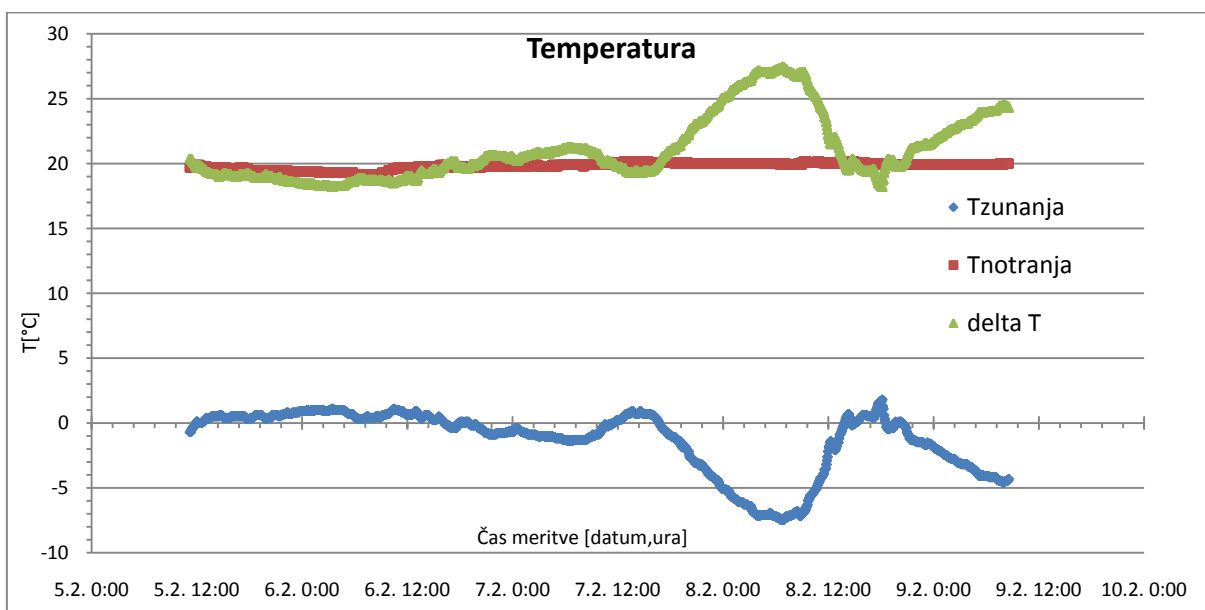
Grafikon 4: Temperature, stena v nadstropju

## Strop 2. nadstropja

Meritve so potekale od 5.2.2015 ob 11.10 do 9.2.2015 ob 8.34. Lokacija meritve je bila rebričast strop v drugem nadstropju v kabinetu 33. Meritev je tukaj potekala kar štiri dni. Nenaden skok vrednosti gostote toplotnega toka na grafikonu 5 ob 12:00 ne vemo zanesljivo pojasniti, saj se temperature takrat ali prej niso znatno spremenile. Ena od možnih razlag je sprememba toplotne mejne plasti ob merilni ploščici. Na grafikonu 6 so prikazane temperature.



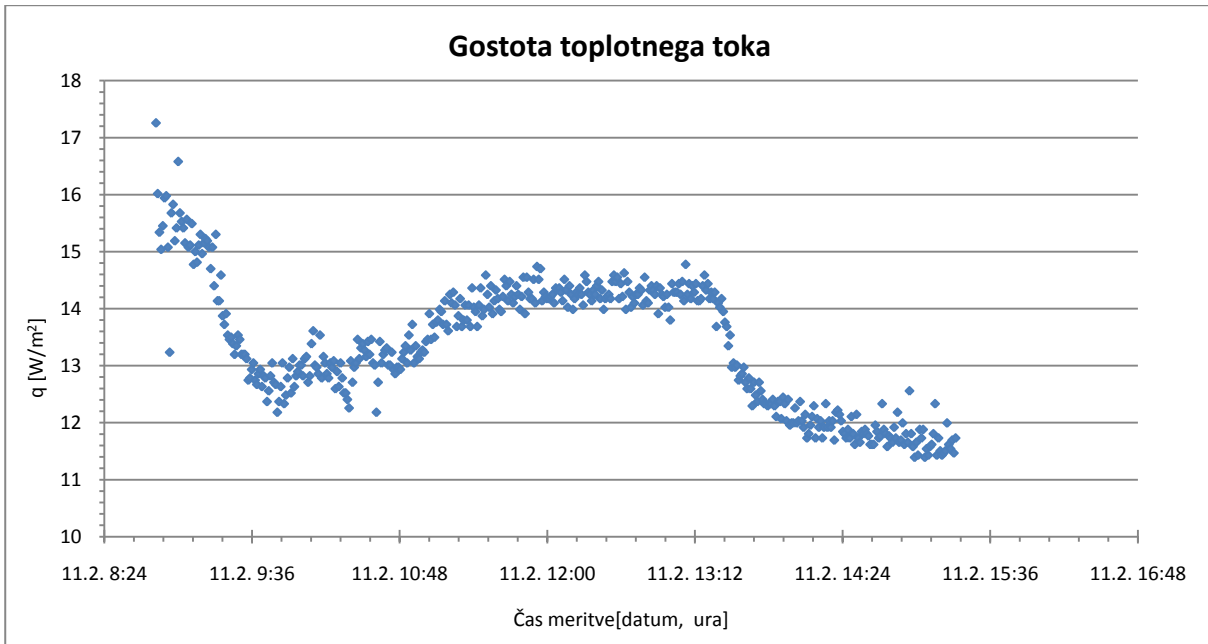
Grafikon 5: Gostota toplotnega toka, strop 2. nadstropja



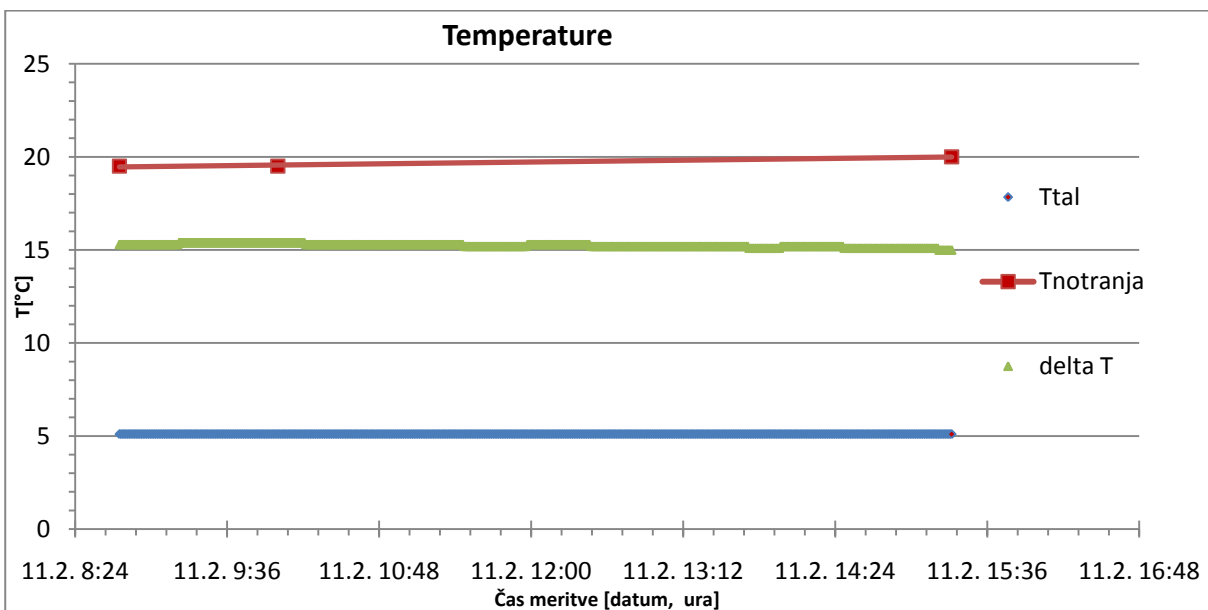
Grafikon 6: Temperature, strop 2. nadstropja

## Stena kleti

Meritve so potekale od 11.2.2015 ob 8.45 do 11.2.2015 ob 15.19. V računalniški učilnici v kleti je bil merjen toplotni tok na armiranobetonski steni proti tlom. Gostota toplotnega toka je bila tukaj merjena najmanj časa. Dvig merjenih vrednosti na grafikonu 7 v času med 12.00 in 13.00 bi lahko razložili s povečano uporabo računalniške učilnice, pri čemer se je povečala notranja temperatura zaradi delovanja računalnikov in v prostoru prisotnih študentov. Na grafikonu 8 to žal ni razvidno, saj smo notranjo temperaturo neprekinjeno merili le v kabinetu 33.

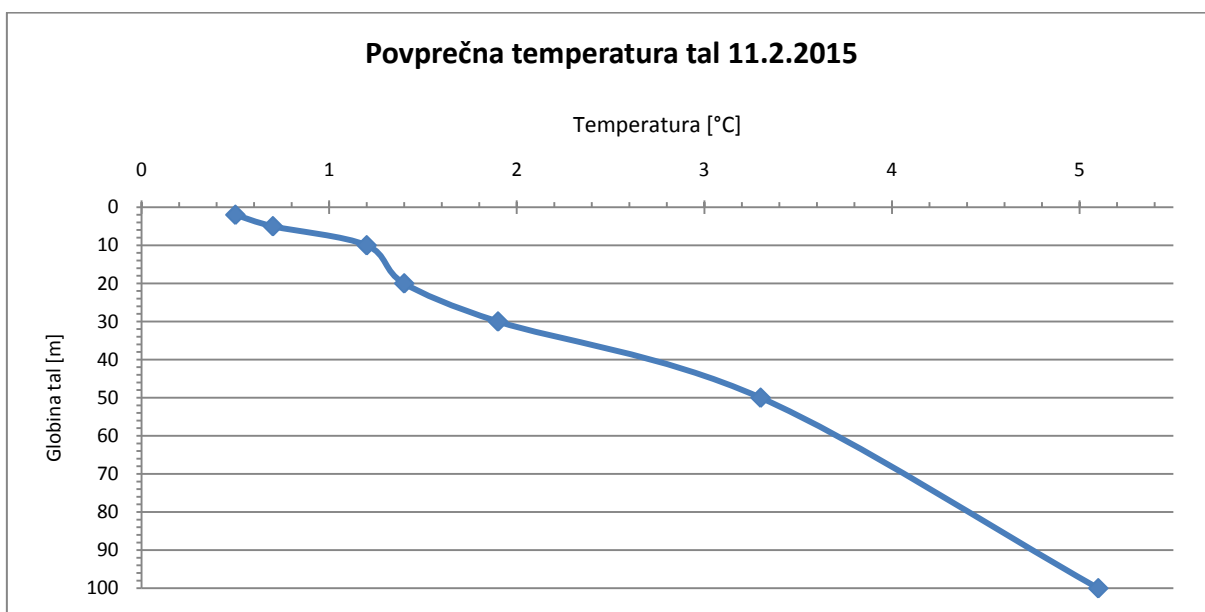


Grafikon 7: Gostota toplotnega toka, stena kleti



Grafikon 8: Temperature, stena kleti

Temperatura tal, ki je prikazana na grafikonu 9 za različne globine je bila dobljena iz meteorološke postaje v Ljubljani, kjer izvajajo ročne meritve temperature tal na globinah 5, 10, 20, 50 in 100 cm trikrat dnevno ob 7., 14. in 21. uri. Zanimala me je temperatura na globini enega metra, ki pa je merjena le enkrat dnevno ob 14. uri. Temperatura na globini 50 cm je bila merjena trikrat v dnevu, a je bila ob vseh meritvah enaka, iz tega sklepam, da se tudi temperatura na globini 100 cm ni spreminjala tekom dneva.



Grafikon 9: Temperatura v tleh v odvisnosti od globine

#### 4.4 Uporaba rezultatov

Za stacionarno stanje sem iz gostote toplotnega toka izračunala toplotno prehodnost stene. To vrednost sem nato upoštevala pri ugotavljanju sestave konstrukcijskih sklopov. Za izračun toplotne prehodnosti sem upoštevala časovno omejen interval, na katerem sem povprečila izmerjene gostote toplotnega toka, saj sem imela za izmerjeno temperaturo le en podatek. Uporabljeni termočlen ne omogoča istočasno z meritvijo toplotnega toka še meritve temperatur, zato nisem izračunala toplotne prehodnosti s povprečenjem vseh dobljenih toplotnih prehodnosti, kot je to določeno v standardu. Za vse rezultate toplotne prehodnosti velja ocenjena napaka 10 %.

#### Stena v pritličju

Stena v pritličju je zgrajena iz polne opeke v debelini 49 cm. Toplotna prehodnost je izračunana za stacionarno stanje, katerega privzamemo, ko se umiri nihanje gostote toplotnega toka. Dne 4.2. ob 16:00 sem izmerila notranjo in zunanjo temperaturo na mestu meritve. Notranja temperatura je bila 20,2 °C, zunanja pa 2 °C, razlika temperatur je torej 18,2 K. Za toplotni tok sem vzela povprečje

izmerjenih vrednosti v časovnem intervalu 10 minut, med 15:55 in 16:05, 22 W/m<sup>2</sup>. Izračunana toplotna prehodnost znaša 1,2 W/m<sup>2</sup>K.

$$U = \frac{q \left[ \frac{W}{m^2} \right]}{(T_n - T_z)[K]} = \frac{22 \text{ W}}{m^2(20,2 - 2)K} = 1,2 \frac{W}{m^2K} \quad (6)$$

### Stena v 2. nadstropju

Stena v 2. nadstropju je zgrajena iz Aristos opeke v debelini 49 cm. Aristos opeka ima horizontalne praznine, zaradi katerih je bolj izolativna od polne opeke. Toplotna prehodnost je izračunana za stacionarno stanje. Dne 9.2. ob 14:00 sem izmerila notranjo in zunanjo temperaturo na mestu meritve. Notranja temperatura je bila 18,5 °C, zunanja pa 1 °C, razlika temperatur znaša 17,5 K. Za toplotni tok sem vzela povprečje izmerjenih vrednosti na časovnem intervalu 10 minut, med 13:55 in 14:05, 17,6 W/m<sup>2</sup>. Izračunana toplotna prehodnost je 1,0 W/m<sup>2</sup>K.

$$U = \frac{q \left[ \frac{W}{m^2} \right]}{(T_n - T_z)[K]} = \frac{17,6 \text{ W}}{m^2(18,5 - 1)K} = 1,0 \frac{W}{m^2K} \quad (7)$$

### Strop v 2. nadstropju

Strop v 2. nadstropju je rebričast zgrajen iz armiranega betona. Toplotna prehodnost je izračunana za stacionarno stanje. Dne 5.2. ob 12:00 sem izmerila notranjo in zunanjo temperaturo na mestu meritve. Notranja temperatura je bila 18,5 °C, zunanja pa 3 °C, razlika temperatur je torej 15,5 K. Zunanja temperatura je nekoliko višja, saj je podstrešje nekoliko toplejše od zunanosti, čeprav je delno prezračevano. Za toplotni tok sem vzela povprečje izmerjenih vrednosti na časovnem intervalu 10 minut, med 11:55 in 12:05, 27 W/m<sup>2</sup>. Izračunana toplotna prehodnost znaša 1,7 W/m<sup>2</sup>K. Ker se sestava stropu spreminja glede na lokacijo, ne moremo zagotovo vedeti ali je bil toplotni tok merjen na rebri ali v vmesnem prostoru med rebri. Po primerjavi termografskega posnetka podstrešja sem sklepala, da je meritev res potekala na rebri.

$$U = \frac{q \left[ \frac{W}{m^2} \right]}{(T_n - T_z)[K]} = \frac{27 \text{ W}}{m^2(18,5 - 3)K} = 1,7 \frac{W}{m^2K} \quad (8)$$

### Stena v kleti

Stena v kleti je zgrajena iz armiranega betona z debelino 51 cm. Toplotna prehodnost je izračunana za stacionarno stanje, katerega privzamemo, ko se umiri nihanje gostote toplotnega toka. Dne 11.2. ob 10:00 sem izmerila notranjo temperaturo. Podatek o temperaturi tal na mestu meritve sem pridobila pri Agenciji Republike Slovenije za okolje. Notranja temperatura je bila 19,5 °C, temperatura tal pa 5,1 °C, razlika temperatur je torej 14,4 K. Za toplotni tok sem vzela povprečje izmerjenih vrednosti na časovnem intervalu 10 minut, med 9:55 in 10:05, 13 W/m<sup>2</sup>. Izračunana toplotna prehodnost znaša



0,9 W/m<sup>2</sup>K. Ker zemljina deluje kot dodatna izolacija, se toplotni tok skozi vkopano konstrukcijo razlikuje od toplotnega toka skozi enako gradbeno konstrukcijo, ki pa ni vkopana. Toplotne izgube proti tlom so v programu ustrezno izračunane in so manjše, kot bi bile proti zraku.

$$U = \frac{q \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]}{(T_n - T_z)[\text{K}]} = \frac{13 \text{ W}}{\text{m}^2(19,5 - 5,1)\text{K}} = 0,9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (8)$$

## 5 ENERGETSKA IZKAZNICA

### 5.1 Zakonske zahteve v RS

Energetski zakon (EZ-1) [13] predpisuje obveznost energetske izkaznice. Energetsko izkaznico morajo zagotoviti lastniki stavb ali posameznih delov stavb, za stavbe ali posamezne dele stavb, ki se zgradijo, prodajo ali oddajo v najem. Za stavbe, ki se zgradijo na podlagi predpisov s področja graditve objektov in se ne prodajo ali oddajo v najem, se šteje, da je obveznost iz prejšnjega stavka izpolnjena z izkazom o energetskih lastnostih stavbe.

Izkaznice za stavbo ali njen posamezni del ni potrebno predložiti pri:

- oddaji v najem za obdobje, krajše od enega leta;
- prodaji v primeru izkazane javne koristi za razlastitev;
- prodaji v postopku izvršbe ali v stečajnem postopku;
- prodaji ali oddaji nepremičnine, ki je v last Republike Slovenije ali lokalne skupnosti prešla na podlagi sklepa o dedovanju.

Energetska izkaznica je obvezna sestavina projekta izvedenih del. Energetska izkaznica nove stavbe mora izkazovati izpolnjevanje zahtev predpisa, ki ureja učinkovito rabo energije v stavbah. Pri prodaji in oddaji stavbe ali njenega posameznega dela v najem mora lastnik zagotoviti, da se pri oglaševanju navedejo energijski kazalniki energetske učinkovitosti stavbe ali njenega posameznega dela iz energetske izkaznice.

Zahteve glede energetske izkaznice ter izkaza o energijskih lastnostih stavbe navedene zgoraj se ne nanašajo na:

- stavbe, ki so varovane v skladu s predpisi o varstvu kulturne dediščine;
- stavbe, ki se uporabljajo za obredne namene ali verske dejavnosti;
- industrijske stavbe in skladišča;
- nestanovanjske kmetijske stavbe, če se v njih ne uporablja energija za zagotavljanje notranjih klimatskih pogojev;
- enostavne in nezahtevne objekte;
- samostojne stavbe s celotno uporabno tlorisno površino, manjšo od 50 m<sup>2</sup>.

Obravnavana stavba je varovana v skladu s prepisom o varstvu kulturne dediščine, zato zanjo energetska izkaznica ni potrebna, je pa bila vseeno narejena. Energetska izkaznica je priporočljiva, saj z njeno pomočjo lažje ugotovimo probleme glede energetske učinkovitosti stavbe in najdemo rešitve le teh.

Ločimo dve vrsti energetske izkaznice:

- računsko energetska izkaznica, ki se izda za novozgrajene stavbe in novozgrajene dele stavb, obstoječe stanovanjske stavbe in stanovanja.
- merjena energetska izkaznica, ki se izda za obstoječe nestanovanjske stavbe ali nestanovanjske dele stavb.

Namesto merjene energetske izkaznice se izda računsko energetska izkaznica, če neodvisni strokovnjak oceni, da podatki o dejanski rabi energije niso zanesljivi.

Računska energetska izkaznica se izdelava na podlagi izračunanih energijskih kazalnikov rabe energije stavbe. Energijski kazalniki se določijo po računski metodologiji, ki temelji na pravilniku, ki ureja metodologijo učinkovite rabe energije v stavbah. Postopek izdelave energetske izkaznice obsega pregled stavbe in naprav, analizo podatkov o stavbi in rabi energije, izračun potrebnih energijskih kazalnikov in vpis podatkov v register. Podlaga za izdelavo energetske izkaznice je dokumentacija, ki odraža dejansko stanje stavbe in predstavlja izkaz energijskih lastnosti stavbe, kot je npr. elaborat o energetski učinkovitosti stavbe, načrt stavbe, projekt izvedenih del ter druga razpoložljiva dokumentacija in podatki o stavbi. Če podatki o lastnostih obstoječe stavbe, ki so potrebni za izdelavo energetske izkaznice niso na voljo, se upoštevajo podatki iz projektne dokumentacije in zahteve iz predpisov, ki so veljali v času izdaje gradbenega dovoljenja.

Merjena energetska izkaznica se izdelava na podlagi meritev rabe energije. Energijski kazalniki se določijo na podlagi izmerjenih vrednosti porabe energije za zadnja tri končana koledarska leta pred letom izdelave energetske izkaznice v skladu s standardom SIST EN 15603 in registrom. Če podatki o porabljeni energiji iz prejšnjega odstavka za zadnja tri leta niso na voljo, se uporabijo podatki za zadnji dve ali za zadnje končano koledarsko leto pred letom izdelave izkaznice. Podatki o porabi energije se določijo na podlagi podatkov, na podlagi katerih se izdajo računi za porabljeno energijo, ali drugih evidenc po posameznih energentih. Podlaga za izdelavo energetske izkaznice so podatki o rabi energije v stavbi ali njenem posameznem delu, splošni podatki o stavbi, vključno s podatkom o kondicionirani površini in razpoložljiva dokumentacija o stavbi. Neodvisni strokovnjak v postopku izdelave energetske izkaznice opravi pregled stavbe ali njenega posameznega dela ter pregled naprav.

Energetska izkaznica se izda z vpisom v register. V registru se v elektronski obliki hranita izdana energetska izkaznica in poročilo o določitvi energijskih kazalnikov stavbe. Najmanj prva stran energetske izkaznice mora biti nameščena na vidnem mestu v stavbi ali delu stavbe, ki je v lasti ali uporabi javnega sektorja in je v skladu z uredbo, ki ureja uvedbo in uporabo enotne klasifikacije vrst objektov in določitev objektov državnega pomena, uvrščena v podrazrede standardne klasifikacije stavb ali delov stavb z naslednjimi oznakami:

– 12201 Stavbe javne uprave;

- 12630 Stavbe za izobraževanje in znanstvenoraziskovalno delo;
- 12640 Stavbe za zdravstvo;
- 12610 Stavbe za kulturo in razvedrilo.

Povzeto po pravilniku o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb [14].

Za obravnavani objekt, ki spada med stavbe za izobraževanje je bila leta 2014 že izdelana merjena energetska izkaznica, ki je javno vidna v pritličju (Priloga A1). Sama sem izdelala računsko energetska izkaznico in rezultate obeh primerjala med seboj. V nadaljevanju so vse informacije navezujejo na računsko energetska izkaznico.

Pravilnik o učinkoviti rabi energije [15] v stavbah določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ali njihove kombinacije, priprave tople vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije za delovanje sistemov v stavbi ter metodologijo za izračun energetskih lastnosti stavbe v skladu z Direktivo 31/2010/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maj 2010 o energetski učinkovitosti stavb (UL L št. 153 z dne 18. 6. 2010, str. 13).

Zakonska podlaga, ki se nanaša na energetske izkaznice je Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije [16], ki jo določa Zakon o graditvi objektov. Tehnična smernica določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za doseganje zahtev iz tega pravilnika in določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe. Uporaba tehnične smernice je obvezna.

## 5.2 Metoda

Za izdelavo računske energetske izkaznice se v praksi uporablja eden od naslednjih programov:

- ARCHIMAID (Fibran)
- Gradbena fizika URSA 4.0
- KI ENERGIJA (Knauf)

Sama sem se odločila za program Gradbena fizika URSA 4.0 saj sem ta program že večkrat uporabljala. Vsi trije programi imajo že vnesene slovenske klimatske podatke in privzete vrednosti, ter naredijo izračune po evropskih standardih. Programe ves čas še izboljšujejo in popravljajo manjše napake. Zaradi zapletenosti objektov je ročni račun po enačbah navedenih v Tehnični smernici TSG-1-004:2010 prezamuden za splošno uporabo.

### 5.3 Predstavitev izračunov

Potrebno energijo za ogrevanje/hlajenje določimo na osnovi toplotne bilance na nivoju cone. Cona zajema del stavbe, za katerega lahko rečemo, da ima enake projektne pogoje, podnebje, toplotne vire, masivnost gradnje in način prezračevanja.

V izračunu so upoštevani

- transmisijski toplotni tokovi med cono in zunanjim zrakom.;
- ventilacijski toplotni tokovi med cono in zunanjim zrakom;
- transmisijski in ventilacijski toplotni tokovi med posameznimi conami;
- notranji toplotni dobitki/izgube;
- toplotni dobitki zaradi sončnega sevanja tako skozi zastekljene površine kot tudi skozi ostale elemente gradbene konstrukcije;
- akumulacija toplote zaradi mase stavbe;
- potrebna energija za ogrevanje – dovedena toplota za vzdrževanje minimalne temperature ogrevanja v coni;
- potrebna energija za hlajenje – odvedena toplota za vzdrževanje maksimalne temperature hlajenje v coni.

Glavni vhodni podatki:

- transmisijske in ventilacijske lastnosti;
- toplotni dobitki notranjih virov, lastnosti glede sončnega sevanja;
- meteorološki podatki;
- opis stavbe in sistemov, koriščenja (uporaba);
- zahteva za toplotno ugodje (temperature, izmenjava zraka);
- podatki o sistemih za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, razsvetljava, pripravo tople vode;
- podatki o conah (različni sistemi so lahko v različnih conah);
- izgube energije, vrnjene in nevrnjene izgube;
- pretok zraka, temperatura zraka;
- regulacija.

## 5.4 Vhodni podatki izračuna

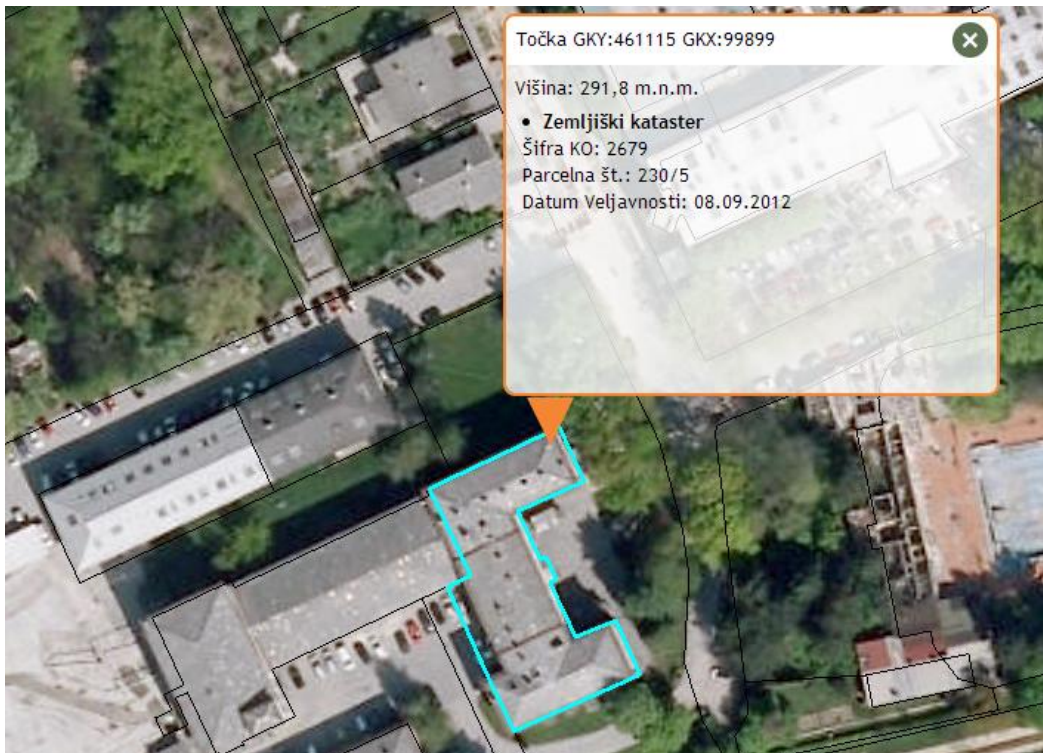
### 5.4.1 Osnovni in klimatski podatki

Na spletni strani Geodetske uprave Republike Slovenije je omogočen javni vpogled v nepremičnine [17], kjer se pridobijo osnovni podatki o stavbi. Od 12.05.2015 so za stavbe, za katere so energetske izkaznice že izdelane, le te vidne tudi v javnem vpogledu. Zaradi številnih nepravilnosti v vpogledu in različnih definicij uporabnih površin, podatki o površinah pogosto niso primerni za uporabo pri izdelavi energetskih izkaznic.

Obravnavana stavba je del Fakultete za gradbeništvo in geodezijo in stoji na Hajdrihovi ulici 28 v Ljubljani. Nahaja se v katastrski občini 2679 Gradišče, na parceli 230/5. Številka stavbe je 1384, vrsta stavbe je nestanovanjska stavba, spada med stavbe splošnega družbenega pomena, s šifro 12630 stavbe za izobraževanje in znanstvenoizobraževalno delo. Pri izračunu se upošteva, da je način gradnje težka gradnja z gostoto zunanjih zidov večjo od  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

S podatki o katastrski občini in parcelni številki se nato na spletni strani Agencije za okolje, Atlas okolja [18] poišče obravnavana stavba in se odčitajo GK koordinate objekta, kot je razvidno na sliki 15.

- Koordinate: GKY: 461115 GKX:99899



Slika 15: Izsek obravnavane stavbe iz Atlasa okolja

GK koordinate nato uporabimo za določitev podnebnih podatkov, na spletni strani Agencije Republike Slovenije za Okolje (Podatki za pravilnik o učinkoviti rabi energije) [19]. Gradbena fizika URSA 4.0 ima te podatke že v svoji bazi podatkov, slika 16, zato je potrebno v program vpisati samo GK koordinate. Preverila sem, če so podatki v programu res isti kot na spletni strani ARSO.

Začetek kurilne sezone je 270. zaporedni dan oz. 27.9., konec kurilne sezone pa 135 zaporedni dan oz. 15.5.. Temperaturni primanjkljaj določimo kot zmnožek števila dni, ko stavbo ogrevamo in razliko med temperaturo v stavbi in povprečno dnevno temperaturo okolice v obdobju, ko stavbo ogrevamo. Za Ljubljano je temperaturni primanjkljaj enak 3300 K dni. Povprečna letna zunanja temperatura znaša 9,7 °C, najnižja zunanja projektna temperatura je temperatura, pri kateri načrtujemo velikost ogrevalnega sistema in znaša -13 °C. Povprečna mesečna najnižja temperatura je -1 °C, povprečna mesečna najvišja temperatura pa 20 °C. Povprečna računaska notranja temperatura znaša 20 °C pozimi in 26 °C poleti. Notranja vlažnost zraka uporabljena v računu je 65 %.

Podatki o projektu in stavbi

Podatki o projektu | Klimatski podatki | Komentar

Temperaturni primanjkljaj (K-dan)  Projektna temperatura (°C)

Začetek kurilne sezone (dan)   Povprečna letna temperatura (°C)

Konec kurilne sezone (dan)   Povprečna mesečna najnižja zunanja temperatura (°C)

Energija sončnega obsevanja (kWh/m<sup>2</sup>)  Povprečna mesečna zunanja temperatura najhladnejšega meseca (°C)

Povprečna mesečna zunanja temperatura najtoplejšega meseca (°C)

	θ <sub>mm</sub> (°C)	φ <sub>mm</sub> (%)	Ogr. (dan)	Hla. (dan)
Jan	-1,0	82,0	31	0
Feb	1,0	77,0	28	0
Mar	6,0	72,0	31	0
Apr	9,0	71,0	30	0
Maj	14,0	73,0	15	16
Jun	18,0	72,0	0	30
Jul	20,0	74,0	0	31
Avq	19,0	76,0	0	31
Sep	15,0	80,0	4	26
Okt	10,0	82,0	31	0
Nov	4,0	84,0	30	0
Dec	1,0	85,0	31	0
Pov/Sk	9,7	77,3	231	134

Globalno sončno sevanje (W/m<sup>2</sup>)

	Orientacija								
	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	
Januar	257	264	466	943	1401	1220	673	281	
Februar	410	436	803	1474	2134	1941	1206	540	
Marec	634	805	1344	1912	2334	2196	1611	898	
April	1027	1364	1948	2282	2329	2351	2041	1427	
Maj	1200	1698	2301	2386	2129	2320	2250	1693	
Junij	1417	1841	2322	2288	2026	2363	2451	1948	
Julij	1270	1738	2359	2425	2154	2493	2541	1928	
Avqust	1040	1471	2149	2448	2413	2570	2330	1606	
September	787	974	1514	2058	2400	2276	1743	1080	
Oktober	526	585	907	1420	1821	1595	1040	599	
November	324	340	532	896	1126	913	542	336	
December	226	232	394	748	997	804	433	230	

naklon  0  15  30  45  60  75  90

θ<sub>mm</sub> - povprečna mesečna zunanja temperatura (°C)  
φ<sub>mm</sub> - povprečna mesečna relativna vlažnost (%)

Slika 16: Podnebni podatki v programu URSA

### 5.4.2 Cone in zunanji ovoj

Študentje geodezije so pri pouku naredili laserski posnetek objekta na Hajdrihovi 28. Posnetek je sestavljen iz množice točk v prostoru. Iz ustrezno obdelanih točk bi se lahko izdelal prostorski model objekta, s katerim bi se nato lahko določile zunanje mere objekta. Ker je izdelava tovrstnega modela zaenkrat še zahteven in dolgotrajen postopek sem si za določitev dejanskih zunanjih mer objekta pomagala z laserskim merilnikom. Kljub natančnim načrtom so dejanske mere objekta nekoliko odstopale od načrtov.

Za izdelavo računske energetske izkaznice so potrebni podatki o ogrevanih, neogrevanih conah, uporabni površini stavbe, ter površinah zunanjega ovoja stavbe. Obravnavano stavbo lahko razdelimo na eno ogrevano cono, ki jo sestavlja celotno pritličje, prvo in drugo nadstropje ter ogrevan del kleti in dve neogrevani coni, oziroma dva ločena dela neogrevane kleti. V preglednicah 1, 2, 3 in 4 so navedene površine, višine in prostornine ogrevanih prostorov.

Preglednica 1: Prostori v kleti

KLET	A [m <sup>2</sup> ]	h [m]	V[m <sup>3</sup> ]
Računalniška učilnica	72,08	2,56	184,52
Knjižnični arhiv	36,14	2,56	92,52
Hodnik	30,36	2,56	77,72
Stopnišče	26,02	2,56	66,61
Kurilnica	42,96	2,56	109,98
<b>SUM</b>	<b>207,56</b>		<b>531,35</b>

Preglednica 2: Prostori v pritličju

PRITLIČJE	A [m <sup>2</sup> ]	h [m]	V[m <sup>3</sup> ]
Laboratorij za mehaniko tekočin	140,78	3,58	503,99
Delavnica	46,23	3,58	165,50
WC	13,17	3,58	47,15
Predavalnica H10	77,44	3,58	277,24
Hodnik	82,01	4,00	328,04
Veža	12,25	4,00	49,00
Soba gostujočega profesorja	15,79	4,00	63,16
Stopnišče	52,42	2,34	122,66
Shramba	11,23	4,00	44,92
Hidroinštitut	245,27	2,72	667,13
<b>SUM</b>	<b>696,59</b>		<b>2268,80</b>



Preglednica 3: Prostori v 1. nadstropju

<b>1. NADSTROPJE</b>	<b>A [m<sup>2</sup>]</b>	<b>h [m]</b>	<b>V[m<sup>3</sup>]</b>
Učilnica H28	69,71	3,58	249,56
Knjižnica	57,16	3,58	204,63
Hodnik	14,49	3,58	51,87
Kabinet 30	23,34	3,58	83,56
Kabinet 31	22,89	3,58	81,95
WC	13,17	3,58	47,15
Računalniška učilnica H26	23,68	2,59	61,33
Predavalnica H25	51,48	2,59	133,33
Čajna kuhinja	14,28	3,00	42,84
Predavalnica H17	27,73	3,00	83,19
Hodnik	95,63	3,00	286,89
Stopnišče	41,20	3,00	123,60
WC	11,26	3,00	33,78
Kabinet 16	12,71	2,72	34,57
Kabinet 19	23,51	2,72	63,95
Kabinet 20	23,84	2,72	64,84
Kabinet 21	23,84	2,72	64,84
Kabinet 22	23,84	2,72	64,84
Kabinet 23	23,84	2,72	64,84
Kabinet 24	23,30	2,72	63,38
WC	12,44	2,72	33,84
Hodnik	66,89	2,72	181,94
<b>SUM</b>	<b>700,23</b>		<b>2120,74</b>

Preglednica 4: Prostor v 2. nadstropju

<b>2. NADSTROPJE</b>	A [m <sup>2</sup> ]	h [m]	V[m <sup>3</sup> ]
Kabinet 48	10,08	2,73	27,52
Kabinet 46,47	48,55	2,73	132,54
Kabinet 45	25,26	2,73	68,96
Katedra za mehaniko tekočin	84,89	2,73	231,75
Hodnik	29,59	2,73	80,78
Predavalnica H40	81,13	3,08	249,88
Hodnik	86,64	3,08	266,85
Stopnišče	41,20	3,08	126,90
Kabinet 33	43,17	3,08	132,96
WC	11,26	3,08	34,68
Kabinet 32	12,79	2,72	34,79
Kabinet 34	23,51	2,72	63,95
Kabinet 35	23,84	2,72	64,84
Kabinet 36	23,84	2,72	64,84
Kabinet 37	23,84	2,72	64,84
Kabinet 38	47,14	2,72	128,22
Hodnik	66,89	2,72	181,94
WC	12,44	2,72	33,84
<b>SUM</b>	<b>696,06</b>		<b>1990,09</b>

### Ogrevana cona (toplotne izgube proti zunanosti)

- **Zunanja ogrevana prostornina (bruto kondicionirana prostornina)**

$$V_e = A_{\text{pritli čje}} \cdot h_{\text{pritli čje}} + A_{1.\text{nadstropje}} \cdot h_{1.\text{nadstropje}} + A_{2.\text{nadstropje}} \cdot h_{2.\text{nadstropje}} + A_{\text{klet}} \cdot h_{\text{klet}} \quad (10)$$

$$V_e = 848,82 \cdot 4,7 + 848,82 \cdot 3,3 + 842,53 \cdot 3,3 + 262,95 \cdot 3,45 = \mathbf{10480 \text{ m}^3}$$

- **Neto ogrevana prostornina**

Neto ogrevana prostornina stavbe  $V$  [m<sup>3</sup>] 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 ISO 9836, točka 5.2.5.

$$V = V_{\text{pritli čje}} + V_{1.\text{nadstropje}} + V_{2.\text{nadstropje}} + V_{\text{klet}} \quad (11)$$

$$V = 2268,80 + 2120,74 + 1990,09 + 531,35 = \mathbf{6910 \text{ m}^3}$$

- **Neto ogrevana površina**

Uporabna površina stavbe  $A_u$  [m<sup>2</sup>] je kondicionirana zaprta uporabna površina stavbe v skladu s standardom SIST EN ISO 13789 in SIST ISO 9836.

$$A_u = A_{\text{pritličje,ogrevano}} + A_{1,\text{nadstropje,ogrevano}} + A_{2,\text{nadstropje,ogrevano}} + A_{\text{klet,ogrevana}} \quad (12)$$

$$A_u = 696,06 + 700,23 + 696,59 + 207,56 = \mathbf{2300 \text{ m}^2}$$

- **Zunanji ovoj ogrevane cone**

Zunanja površina stavbe  $A$  [m<sup>2</sup>], ki omejuje bruto kondicionirano prostornino stavbe in skozi katero prehaja toplota v okolico se določi z upoštevanjem zahtev standarda SIST EN ISO 13790 za stavbe z eno toplotno cono, ki zajema najmanj vse kondicionirane prostore. Pri določanju površine je treba upoštevati standard SIST EN ISO 13789, dodatek B, zunanji sistem določanja mer. V preglednici 5 so prikazane površine sten zunanjega ovoja glede na orientacijo in položaj stene ter uporabljen material. V preglednici 6 pa so navedene površine stavbnega pohištva glede na vrsto in orientacijo. Površine iz preglednic 5, 6, in 7 sem vnesla v program Ursa pod rubriko zunanji ovoj, podatke o ogrevani kleti iz preglednice 8 pa sem upoštevala v izračunu toplotnih izgub proti tlom.

Preglednica 5: Površine sten zunanjega ovoja

vrsta stene/orientacija		Avzhod [m <sup>2</sup> ]	A sever [m <sup>2</sup> ]	Ajug [m <sup>2</sup> ]	Azahod [m <sup>2</sup> ]
<b>Pritličje</b> <b>(polna opeka)</b>	49 cm	147,06	117,47	81,36	184,07
	62 cm	32,94	24,16	52,68	
<b>Nadstropje</b> <b>(Aristos opeka)</b>	49 cm	230,75	172,90	148,49	264,77
	62 cm	24,02	13,74	30,55	

Preglednica 6: Površine zasteklitve in vrat

vrsta okna/orientacija	Avzhod [m <sup>2</sup> ]	A sever [m <sup>2</sup> ]	Ajug [m <sup>2</sup> ]	Azahod [m <sup>2</sup> ]
Okna	80,53	97,18	112,45	63,54
Vrata les	7,76			
Vrata les+steklo				10,70

Preglednica 7: Površina stropu proti podstrešju in sten in stopnišča na podstrešje

<b>STROP PROTI PODSTREŠJU [m<sup>2</sup>]</b>	848,93
---	--------

<b>STOPNIŠČE NA PODSTREHO</b>	
Vrata les [m <sup>2</sup> ]	3,60
Stena 43 cm [m <sup>2</sup> ]	6,24
Stena 30 cm [m <sup>2</sup> ]	22,26

Preglednica 8: Površina zunanjega ovoja ogrevane kleti

<b>OGREVANA KLET</b>		
tip površine/površina(orientacija)	Avzhod	Azahod
Okno [m <sup>2</sup> ]	7,28	6,12
Vrata [m <sup>2</sup> ]		2,67
Stena 51 cm proti zraku [m <sup>2</sup> ]	5,47	
Stena 51 cm proti tlom [m <sup>2</sup> ]	26,17	80,94
Višina stene v tleh [m]	2,87	
Dolžina stene v tleh [m]	37,29	
Tla na terenu [m <sup>2</sup> ]	263,42	

**Neogrevani coni (toplotne izgube proti neogrevanim prostorom)**

Neogrevane cone se v programu posebej definirajo s površino njihovega zunanjega ovoja in volumnom (preglednica 9, 11). Definira se tudi stik neogrevane cone z ogrevano (preglednica 10, 12). Iz vnesenih podatkov se izračunajo toplotne izgube skozi neogrevane prostore.

Preglednica 9: Zunanji ovoj neogrevane kleti 1

<b>NEOGREVANA KLET 1</b>				
tip površine/površina(orientacija)	Avzhod	Ajug	Azahod	A sever
Okno [m <sup>2</sup> ]	2,04	6,12	2,04	
Okno les [m <sup>2</sup> ]				2,32
Vrata ALU [m <sup>2</sup> ]		2,67	2,67	
Stena 51 cm proti zraku [m <sup>2</sup> ]	2,78		5,30	6,04
Stena 51 cm proti tlom [m <sup>2</sup> ]	10,02		26,53	33,32
Stena 62 cm proti zraku [m <sup>2</sup> ]	7,85	12,32		
Stena 62cm proti tlom [m <sup>2</sup> ]	26,20	63,89		
Višina stene v tleh 51 cm [m]	2,60			
Dolžina stene v tleh 51 cm [m]	159,96			
Volumen [m <sup>3</sup> ]	669,80			
Površina tal [m <sup>2</sup> ]	318,67			

Preglednica 10: Stiki med neogrevano kletjo 1 in ogrevano cono

<b>Stiki orgebane kleti z neogrevano kletjo</b>	
Vrata ALU [m <sup>2</sup> ]	2,67
Vrata les [m <sup>2</sup> ]	4,24
Stena 41 cm [m <sup>2</sup> ]	43,35
Stena 56 cm [m <sup>2</sup> ]	17,14
<b>Stik pritličja z neogrevano kletjo</b>	
Strop [m <sup>2</sup> ]	318,67

Preglednica 11: Zunanji ovoj neogrevane kleti 2

<b>NEOGREVANA KLET 2</b>				
tip površine/površina(orientacija)	Avzhod	Ajug	Azahod	A sever
Okno [m <sup>2</sup> ]		2,23		3,72
Vrata ALU [m <sup>2</sup> ]	2,67			
Stena 51 cm proti zraku [m <sup>2</sup> ]	6,15	4,71	7,13	10,46
Stena 51 cm proti tlom [m <sup>2</sup> ]	28,09	36,03	28,00	70,32
Višina stene v tleh 51 cm [m]	2,73			
Dolžina stene v tleh 51 cm [m]	59,55			
Volumen [m <sup>3</sup> ]	600,83			
Površina tal [m <sup>2</sup> ]	266,84			

Preglednica 12: Stiki med neogrevano kletjo 2 in ogrevano cono

<b>Stik orgebane kleti z neogrevano kletjo</b>	
Stena 56 cm [m <sup>2</sup> ]	29,54
<b>Stik pritličja z neogrevano kletjo</b>	
Strop [m <sup>2</sup> ]	266,84

### 5.4.3 Konstrukcijski sklopi

Glede sestave sten in medetažnih konstrukcij sem si pomagala z načrti, dimenzijami dobljenimi z izmero na objektu in popisom gradbenih del. Če so bili materiali navedeni v popisu gradbenih del dejansko vgrajeni, ne moremo biti povsem prepričani. Za kontrolo sem naredila primerjavo med toplotno prehodnostjo stene dobljeno računsko in toplotno prehodnostjo izmerjeno iz toplotnega toka za stacionarno stanje. Zunanji ovoj ogrevane cone tvorijo zunanje stene, strop proti prezračevanemu podstrešju, tla na terenu, strop in stene proti neogrevanim delom kleti. Konstrukcijske sklope je potrebno vnesti v program, ki nato glede na izbran material sam izračuna toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa.

### Predelne stene

Predelne stene so različnih debelin 17, 30, 43 in 56 cm. Stene so grajene iz polne opeke in ometane s podaljšano apneno malto. Njihova sestava ni pomembna za zunanji ovoj stavbe, se pa upošteva pri akumulaciji toplote.

### Tla na terenu

Konstruktivski sklop tal na terenu (preglednica 13) sestavlja izravnalni beton za tla v kleti, debeline 15 cm, na katerega je položena izolacija. Hidroizolacijo sestavljajo cementni estrih debeline 2 cm z dodatkom Isola, premaz z vročim bitumnom, plast bitumenske lepenke prekrivane na stikih in pas jute premazan z vročim bitumnom. Nad hidroizolacijo so tla iz phanega betona debeline 6 cm in fina prevleka iz cementne malte. Finalna obdelava v večini ogrevanih prostorov v kleti je linolej. Sestava je vidna tudi v tabeli spodaj. Na podlagi te sestave sem v programu Ursa izračunala toplotno prehodnost  $U$ .

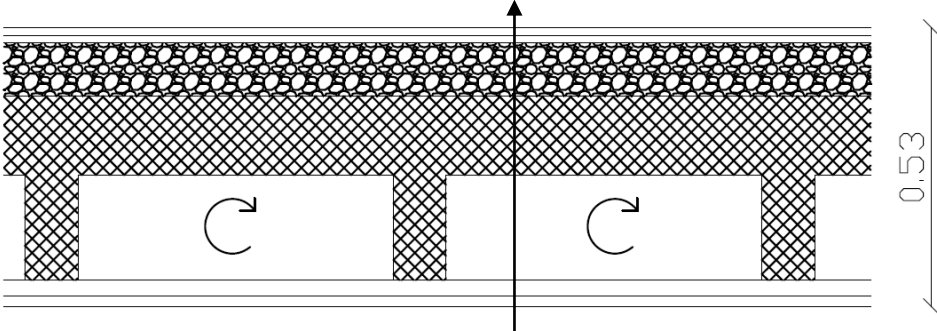
Preglednica 13: Tla na terenu

<b>Tla na terenu</b>
<p><b>Sestava medetažne konstrukcije od notranjosti proti zunanosti:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- linolej 2 cm</li> <li>- cementni estrih 6 cm</li> <li>- bitumenska lepenka 1 cm</li> <li>- bitumen 2 cm</li> <li>- cementni estrih z dodatkom Isola 2 cm</li> <li>- armiran beton 15 cm</li> <li>- gramozno nasutje 20 cm</li> </ul>
<p><b>Računska toplotna prehodnost:</b></p> <p><math>U = 1,22 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>
<p><b>Največja dovoljena toplotna prehodnost [16]</b></p> <p><math>U_{max} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}</math> (tla nad neogrevano kletjo)</p>

### Medetažne konstrukcije

Nosilna konstrukcija medetažnih plošč (preglednici 14 in 15) so armiranobetonske rebraste plošče konstrukcijske višine 35 cm, betonirane na pločevinastih modelih. Ponekod so konstrukcijske višine plošče (višine rebra) povečane na 45 ali 50 cm. Na plošči je nasip s čistim, suhim, dobro presejanim prodcem brez organskih primesi debeline 10 cm. Na spodnji strani plošče je izdelan opažni strop, ki je grobo in fino ometan z apneno malto. Na hodniku je finalna obdelava naravni kamen, v učilnicah in kabinetih pa je talna obloga lesena (gotovi parket). Na stropni plošči proti prezračevanemu podstrešju je na plošči izveden tlak iz betona debeline 5 cm, katerega površina je zglajena s plazmo. Betonski tlak je deljen na plošče cca 100x100 cm<sup>2</sup> z dilatacijami naknadno zalitimi s cementno malto.

Preglednica 14: Medetažna konstrukcija

Medetažna konstrukcija

<b>Sestava medetažne konstrukcije od notranjosti proti zunanosti:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- cementna malta 2 cm</li><li>- lesene deske 3 cm</li><li>- neprezračevan sloj zraka 20 cm</li><li>- armiran beton 15 cm</li><li>- nasutje peska in drobnega gramoza 10 cm</li><li>- lesene deske 1,5 cm</li><li>- finalna obdelava 1,5 cm</li></ul>
<b>Računska toplotna prehodnost:</b> $U = 1,03 \text{ W/m}^2\text{K}$
<b>Največja dovoljena toplotna prehodnost [16]</b> $U_{max} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ (tla nad neogrevano kletjo)
Konstrukcijski sklop se bo uporabil tudi za izračun akumulacije toplote.

Preglednica 15: Strop drugega nadstropja proti podstrešju

<b>Strop drugega nadstropja proti podstrešju</b>	
<b>Sestava medetažne konstrukcije od notranjosti proti zunanosti:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- cementna malta 2 cm</li> <li>- lesene deske 3 cm</li> <li>- neprezračevan sloj zraka 20 cm</li> <li>- armiran beton 15 cm</li> <li>- nasutje peska in drobnega gramoza 10 cm</li> <li>- PVC folija 0,02 cm</li> <li>- betonski tlak 5 cm</li> </ul>	
<b>Računska toplotna prehodnost:</b>	
$U = 1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$	
<b>Toplotna prehodnost dobljena iz meritve toplotnega toka:</b>	
$U = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	
<b>Največja dovoljena toplotna prehodnost [16]</b>	
$U_{max} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	

Računska toplotna prehodnost je za  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$  nižja od tiste dobljene preko meritve toplotnega toka. Eden od možnih razlogov je, da je bila meritev toplotnega toka izvedena ravno na rebri. Vrednost dobljeno iz toplotnega toka bom uporabila za izračun velikosti linijskega toplotnega mostu po rebrih.

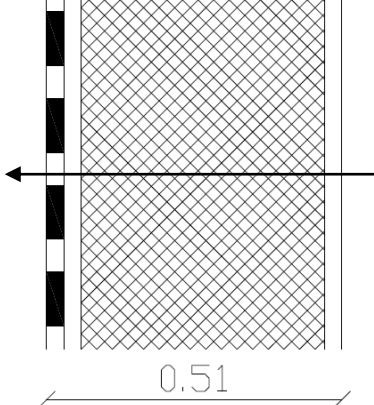
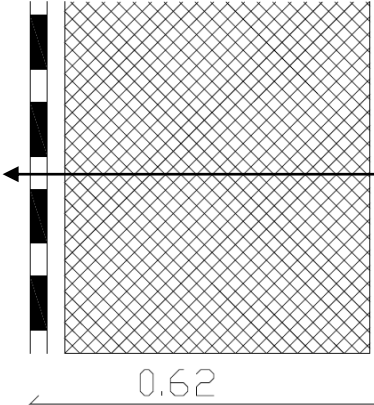
$$\psi = U \cdot \text{širina rebra} = 1,7 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 0,15 \text{ m} = 0,26 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad (13)$$



## Stene kleti

Kletno zidovje (preglednica 16) je debeline 51 cm in 62 cm iz phanega betona, ki po višini sega od temeljev do armiranobetonskih plošč nad kletjo. Vertikalna izolacija kletnega zidovja je iz fino zglajene cementne prevleke, z vodi dodanim Isolom, stena je nato premazana z vročim bitumnom. Na nekaterih delih kleti je zid od tal do stropa obložen s Porolit ploščami debeline 2,5 cm, ki imajo funkcijo toplotne izolacije. Stene so grobo in fino ometane z apneno malto.

Preglednica 16: Stene kleti

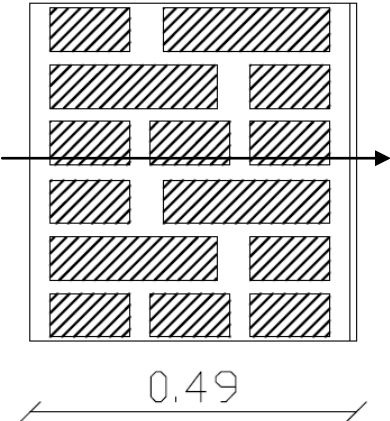
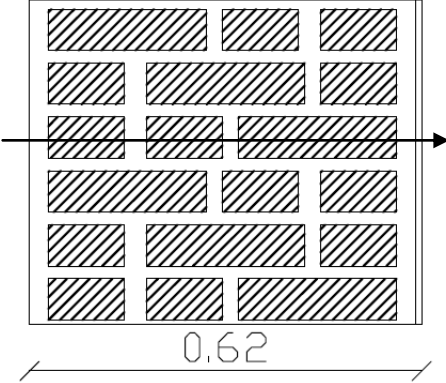
Stena kleti 51 cm	Stena kleti 62 cm
	
<p><b>Sestava stene od notranjosti proti zunanosti:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- apneno malta 3 cm</li> <li>- armiran beton 42 cm</li> <li>- podaljšana apnena malta 3 cm</li> <li>- bitumen 3 cm</li> </ul>	<p><b>Sestava stene od notranjosti proti zunanosti:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- apneno malta 3 cm</li> <li>- armiran beton 53 cm</li> <li>- podaljšana apnena malta 3 cm</li> <li>- bitumen 3 cm</li> </ul>
<p><b>Računska toplotna prehodnost:</b> <math>U = 1,59 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>	<p><b>Računska toplotna prehodnost:</b> <math>U = 1,46 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>
<p><b>Toplotna prehodnost dobljena iz meritve toplotnega toka:</b> <math>U = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>	
<p><b>Največja dovoljena toplotna prehodnost [16]</b> <math>U_{max} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>	

Razlika med računsko vrednostjo toplotne prehodnosti in tisto dobljeno iz meritve toplotnega toka je razumljiva, saj se pri računski ne upošteva vpliv zemljine, ki ima višjo temperaturo od zraka v okolici in zmanjša toplotni tok.

## Stene pritličja

Zidovje pritličja (preglednica 17) je iz polne zidne opeke v apneni malti debeline 49 in 62 cm, grobi in fini omet sten z apneno malto, ter grobi in fini omet fasade.

Preglednica 17: Stene pritličja

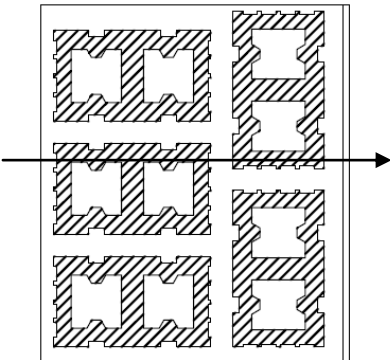
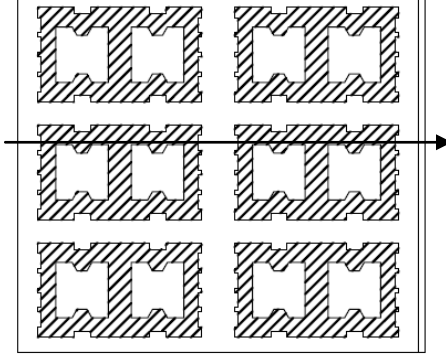
Stena pritličja 49 cm	Stena pritličja 62 cm
	
<p><b>Sestava stene od notranjosti proti zunanosti:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- podaljšana apnena malta 3 cm</li> <li>- polna opeka 42 cm</li> <li>- podaljšana apnena malta 3 cm</li> <li>- pigmentna fasadna malta 1 cm</li> </ul>	<p><b>Sestava stene od notranjosti proti zunanosti:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- podaljšana apnena malta 3 cm</li> <li>- polna opeka 55 cm</li> <li>- podaljšana apnena malta 3 cm</li> <li>- pigmentna fasadna malta 1 cm</li> </ul>
<p><b>Računska toplotna prehodnost:</b></p> <p><math>U = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>	<p><b>Računska toplotna prehodnost:</b></p> <p><math>U = 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>
<p><b>Toplotna prehodnost dobljena iz meritve toplotnega toka:</b></p> <p><math>U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>	
<p><b>Največja dovoljena toplotna prehodnost [16]</b></p> <p><math>U_{max} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>	

Računska toplotna prehodnost in toplotna prehodnost dobljena iz meritve toplotnega toka se dobro ujemata. Iz tega lahko sklepam, da so bili v popisu del navedeni materiali in njihove debeline tudi izvedeni, enako velja tudi za steno v nadstropju.

## Stene nadstropij

Zidovje (preglednica 18) je izdelano iz Aristos zidakov v apneni malti debeline 25, 38, 51 cm, grobi in fini omet sten z apneno malto, ter grobi in fini omet fasade. Aristos zidaki so zidaki dimenzije  $14,5 \times 25 \times 25 \text{ cm}^3$  s horizontalnimi prazninami. Uporabljati so se začeli po drugi svetovni vojni, kot posledica pomanjkanja materiala za gradnjo. Zaradi horizontalnih odprtin v katerih je ujet zrak ima večjo izolativno sposobnost od polne opeke.

Preglednica 18: Stene pritličja

Stena nadstropja 49 cm	Stena nadstropja 62 cm
 <p style="text-align: center;">0,49</p>	 <p style="text-align: center;">0,62</p>
<p><b>Sestava stene od notranjosti proti zunanosti:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- podaljšana apnena malta 3 cm</li> <li>- opeka Aristos 42 cm</li> <li>- podaljšana apnena malta 3 cm</li> <li>- pigmentna fasadna malta 1 cm</li> </ul>	<p><b>Sestava stene od notranjosti proti zunanosti:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- podaljšana apnena malta 3 cm</li> <li>- opeka Aristos 55 cm</li> <li>- podaljšana apnena malta 3 cm</li> <li>- pigmentna fasadna malta 1 cm</li> </ul>
<p><b>Računska toplotna prehodnost:</b> <math>U = 1,06 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>	<p><b>Računska toplotna prehodnost:</b> <math>U = 0,87 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>
<p><b>Toplotna prehodnost dobljena iz meritve toplotnega toka:</b> <math>U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>	
<p><b>Največja dovoljena toplotna prehodnost [16]</b> <math>U_{max} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}</math></p>	

### Stavbno pohištvo

Prvotna okna so bila škatlasta z lesenimi okvirji. Okna so bila leta 2005 že zamenjana z novimi, ki imajo dvojno zasteklitev in PVC okvirje (slika 17). Ob menjavi oken je bila zahteva spomeniškega varstva ohranitev prvotne oblike oken z vmesno letvico in ustreznim odpiranjem. Za celotno okno sem v računu privzela vrednost toplotne prehodnosti  $U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Na oknih so zunanje žaluzije, ki zmanjšujejo vstop sončnega sevanja v prostor ter s tem znižajo potrebno energijo za hlajenje poleti. Nekaj oken v kleti je še prvotnih lesenih škatlastih (slika 18), z ocenjeno toplotno prehodnostjo  $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Vhodna vrata v pritličju (slika 19) so prvotna na glavnem vhodu in na zadnji strani stavbe in so lesena, delno s stekleno površino s toplotno prehodnostjo  $U=2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Vrata v kleti so iz aluminija s prehodnostjo  $U=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Vrata, ki vodijo na podstrešje (slika 20) so lesena in zelo slabo tesnijo, ocenjen  $U=2 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Za oceno toplotnih prehodnosti stavbnega pohištva sem si pomagala z brošuro Tipologija stavb: energetska učinkovitost tipične stavbe v Sloveniji, ki jo je izdelal Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o. [20].



Slika 17: Okno PVC



Slika 18: Okno les



Slika 19: Vhodna vrata les



Slika 20: Vrata na podstrešje

#### 5.4.4 Toplotni mostovi

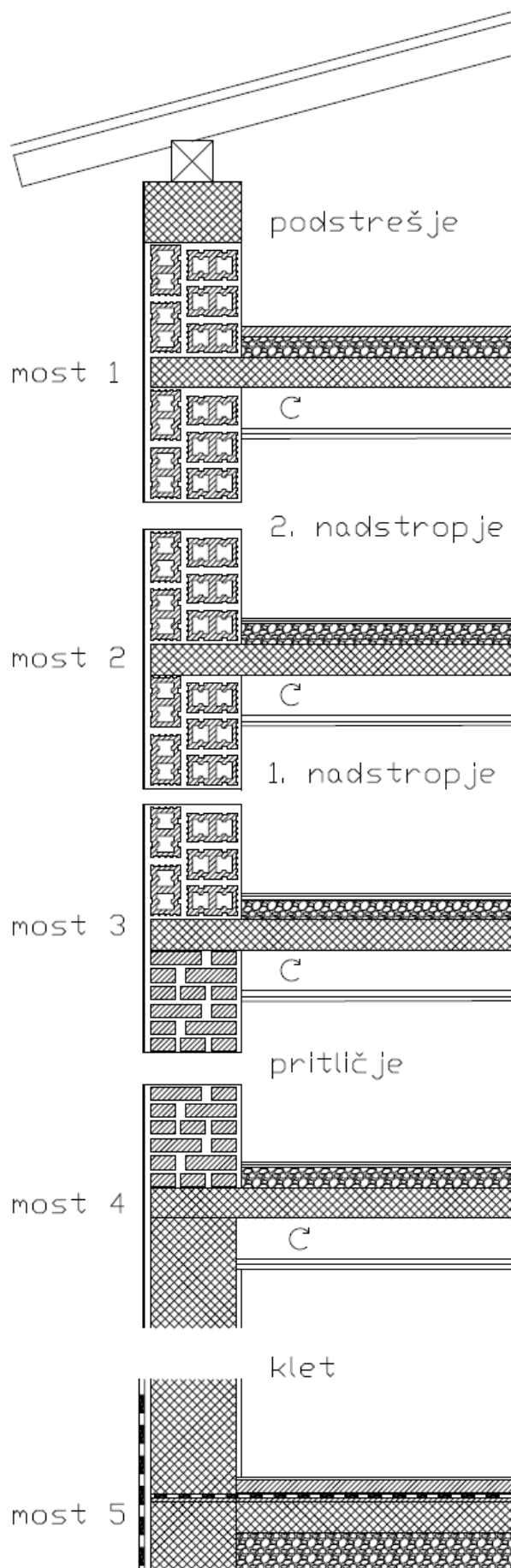
Vpliv toplotnih mostov lahko upoštevamo na različne načine:

- EN ISO 13789, SIST EN ISO 146830,
- SIST EN ISO 10211,
- s katalogi, računalniškimi simulacijami,
- na poenostavljen način, s povečanjem toplotne prehodnosti celotnega stavbnega ovoja stavbe za  $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Toplotne mostove sem v programu Ursa v prvem koraku upoštevala na poenostavljen način s povečanjem toplotne prehodnosti celotnega stavbnega ovoja stavbe za  $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ , kot je to določeno v Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah. Ta način vrednotenja vpliva toplotnih mostov lahko uporabimo, če so vse linijske toplotne prehodnosti  $\psi_e$  manjše od  $0,2 \text{ W/mK}$ . Izkustveni računski dodatek za vrednotenje vpliva toplotnih mostov  $\Delta\psi$  je za masivno grajene in slabše toplotno izolirane stavbe je  $0,1-0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$  [9]. Za obravnavano stavbo bi bil bolj ustrezen ta dodatek kot pa  $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ki ga upošteva program Ursa.

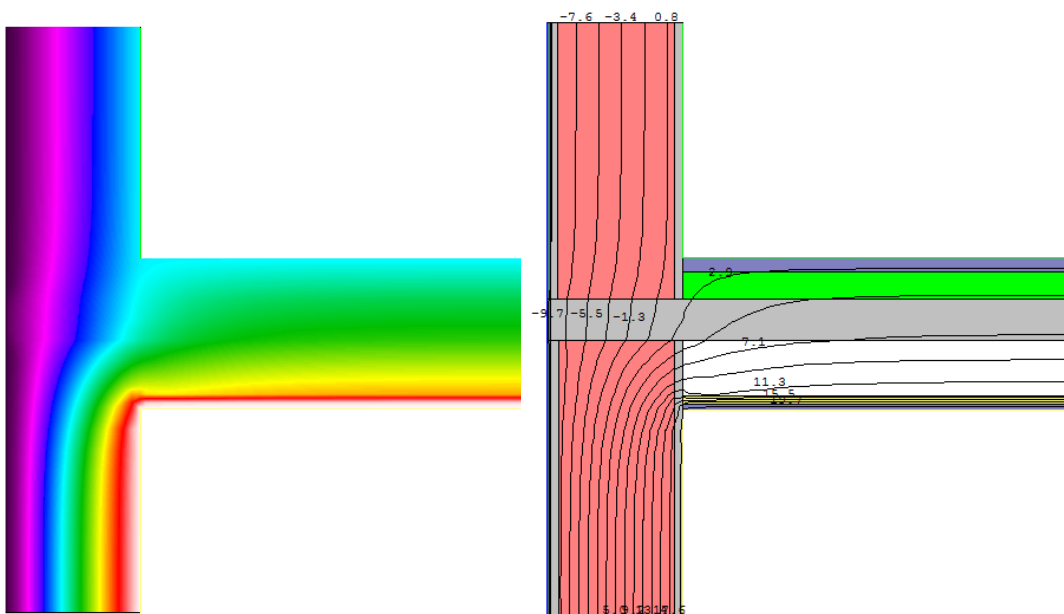
V drugem koraku sem s programom Therm [21] simulirala temperaturni potek po prerezu na stičišču zunanje stene in medetažne plošče. Na sliki 21 je izrisan prerez stavbe, na katerem so označeni položaji posameznih toplotnih mostov. Zaradi različnih uporabljenih materialov za stene po nadstropjih sem obravnavala 5 različnih toplotnih mostov.

Slika 21: Prerez stavbe



## Most 1

Stena zgoraj in spodaj sta iz Aristos opeke, plošča drugega nadstropja meji na hladno delno prezračevano podstrešje (slika 22). Sestava stene in plošče sta natančneje opisani v poglavju 5.4.1.. Linijska toplotna prehodnost toplotnega mostu  $\psi$  je izračunana iz toplotne prehodnosti stene na mestu medetažne plošče (slika 23) in debeline plošče. Linijska toplotna prehodnost toplotnega mostu znaša 0,27 W/Km njegova dolžina je enaka celotnemu obsegu stavbe, ki znaša 168 m.



Slika 22: Temperaturni potek po steni in plošči za most 1 s programom Therm

	U-factor W/m <sup>2</sup> -K	delta T C	Length mm	Rotation	
Most	1.8268	30.0	150	N/A	Projected Y
Stena sp	1.1529	30.0	999.982	N/A	Projected Y
Stena zg	N/A	30.0	0	N/A	Projected X
% Error Energy Norm					8.60%

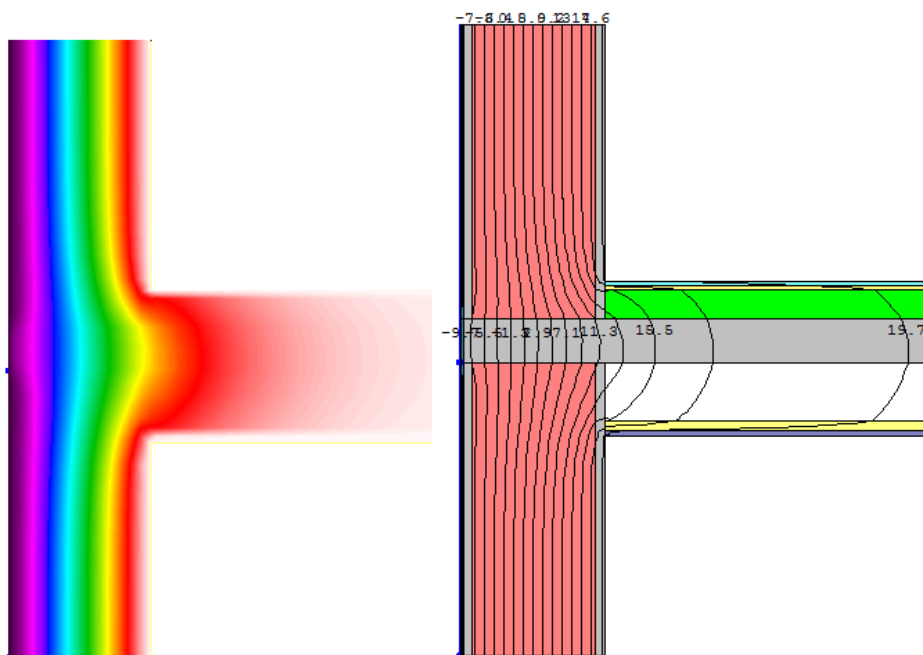
Slika 23: U faktorji za most 1

$$\psi = U \cdot \text{širina AB plošče} = \frac{1,82 \text{ W}}{\text{Km}^2} \cdot 0,15\text{m} = 0,27 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad (14)$$



## Most 2

Stena zgoraj in spodaj je iz Aristos opeke (slika 24). Linijska toplotna prehodnost toplotnega mostu je izračunana iz toplotne prehodnosti stene na mestu medetažne plošče (slika 25) in debeline plošče. Toplotni most znaša 0,45 W/Km njegova dolžina je enaka celotnemu obsegu stavbe, ki znaša 168 m.



Slika 24: Temperaturni potek po steni in plošči za most 2

	U-factor W/m2-K	delta T C	Length mm	Rotation	
Most	2.9853	30.0	150	N/A	Projected Y
Stena sp	1.2679	30.0	999.982	N/A	Projected Y
Stena zg	1.2828	30.0	1000	N/A	Projected Y

% Error Energy Norm 7.57%

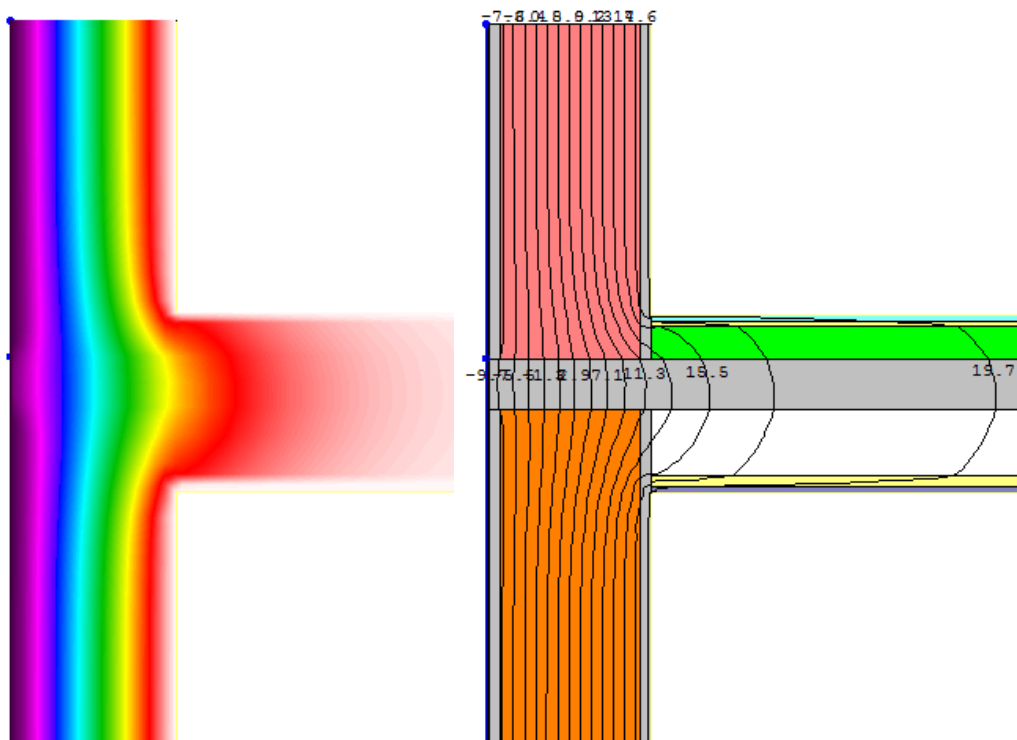
Export OK

Slika 25: U faktorji za most 2

$$\psi = U \cdot \text{širina AB plošče} = 2,99 \frac{\text{W}}{\text{Km}^2} \cdot 0,15\text{m} = 0,45 \frac{\text{W}}{\text{Km}} \quad (15)$$

### Most 3

Stena zgoraj je iz Aristos opeke, stena spodaj pa iz polne opeke (slika 26). Linijska toplotna prehodnost toplotnega mostu  $\psi$  je izračunana iz toplotne prehodnosti stene na mestu medetažne plošče (slika 27) in debeline plošče. Linijska toplotna prehodnost toplotnega mostu znaša 0,45 W/Km njegova dolžina je enaka celotnemu obsegu stavbe, ki znaša 168 m.



Slika 26: Temperaturni potek po steni in plošči za most 3

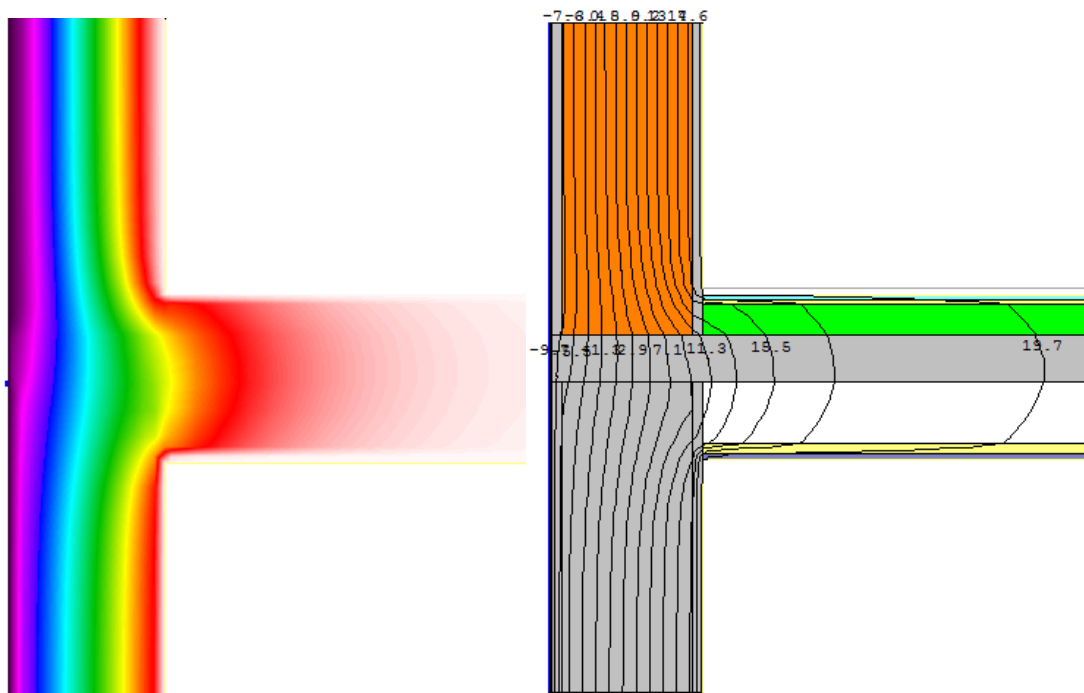
	U-factor W/m <sup>2</sup> K	delta T C	Length mm	Rotation	
Most	2.9913	30.0	150	N/A	Projected Y
Stena sp	1.3190	30.0	999.982	N/A	Projected Y
Stena zg	1.2827	30.0	1000	N/A	Projected Y
% Error Energy Norm					7.58%

Slika 27: U faktorji za most 3

$$\psi = U \cdot \text{širina AB plošče} = \frac{2,99\text{W}}{\text{Km}^2} \cdot 0,15\text{m} = 0,45 \frac{\text{W}}{\text{Km}} \quad (16)$$

### Most 4

Stena zgoraj je iz polne opeke, spodaj pa iz betona (slika 28). Linijska toplotna prehodnost toplotnega mostu  $\psi$  je izračunana iz toplotne prehodnosti stene na mestu medetažne plošče (slika 29) in debeline plošče. Linijska toplotna prehodnost toplotnega mostu znaša 0,52 W/Km njegova dolžina je enaka celotnemu obsegu stavbe, ki znaša 168 m.



Slika 28: Temperaturni potek po steni in plošči za most 4

U-Factors					
	U-factor W/m2-K	delta T C	Length mm	Rotation	
Most	3.4687	30.0	150	N/A	Projected Y
Stena sp	3.4611	30.0	999.982	N/A	Projected Y
Stena zg	1.3399	30.0	1000	N/A	Projected Y
% Error Energy Norm					8.11%

Slika 29: U faktorji za most 4

$$\psi = U \cdot \text{širina AB plošče} = \frac{3,45\text{W}}{\text{Km}^2} \cdot 0,15\text{m} = 0,52 \frac{\text{W}}{\text{Km}} \quad (17)$$

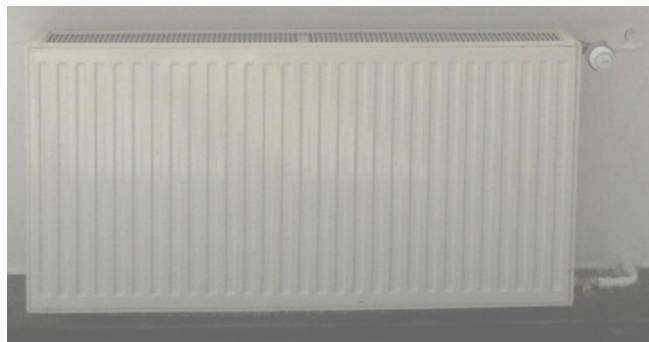
## Most 5

Most 5 se nahaja v tleh in ga ne bom upoštevala. Stena in plošča v tleh sta obe zgrajeni iz armiranega betona, ter mejita na zemljino, ki ima na tej globini celo leto temperaturo nad nič. Na izgube proti tlu oziroma izgube skozi neogrevane prostore, ki mejijo proti tlu, je vpliv toplotnega mostu 5 zelo majhen.

Dodatno bom pri mostovih še upoštevala izgube skozi rebra rebričaste plošče in sicer z  $\psi = 0,26 \text{ W/Km}$ , dolžina reber je ocenjena na 750 m.

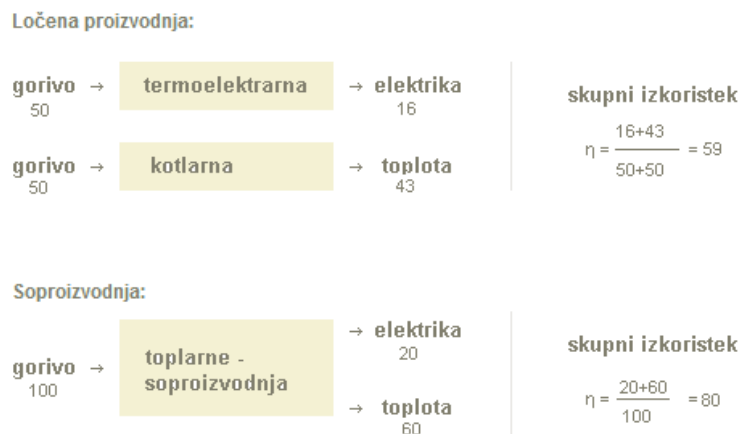
### 5.4.5 Ogrevanje

Tip ogrevala so prostostoječa ogrevala, ploščati radiatorji s termoventili in stranskimi priklopi (slika 30), ki so nameščeni v kabinetih, učilnicah in na hodnikih ob zunanji steni pod okni. Vrsta sistema za dovod tople vode do radiatorjev je dvocevni sistem, vezava grelnih teles je zaporedna. Razvod je toplotno izoliran in ni viden, saj poteka po notranjosti sten. Ogrevanje je daljinsko, za oskrbo s toploto skrbi Energetika Ljubljana [22]. Nosilec tople vode v vročevodnem sistemu je kemično pripravljena vroča voda. Toplotna postaja je nameščena v kotlovnici in ima priklonno moč 256,93 kW. V kotlovnici se nahaja tudi plinski kotel, ki služi za ogrevanje sosednje stavbe Hidroinštituta.



Slika 30: Ploskovni radiator

Energetika Ljubljana od leta 2002 uporablja izključno indonezijski premog, z ustrezno visoko kurilno vrednostjo ter nizko vsebnostjo žvepla (pod 0,2 %) in pepela (1-3 %). Od leta 2008 uporabljajo tudi lesne sekance, ki nadomeščajo 20 % premoga. Iz obnovljivega vira proizvedejo okoli 8 % toplotne in električne energije. Soproizvodnja ali kogeneracija pomeni, da se pri proizvodnji električne energije istočasno proizvede tudi toplota in s tem se preprečuje odvajanje toplotne energije v okolico. Na tak način se doseže večji skupni izkoristek goriv in posledično sorazmerno manjša obremenitev okolja s škodljivimi emisijami, predvsem ogljikovega dioksida. Na sliki 31 je prikazan izračun izkoristka energenta pri proizvodnji elektrike in toplote. V primeru, da se elektrika in toplota proizvajata ločeno, je izkoristek energenta 59 %, v primeru kogeneracije pa je izkoristek 80 %.



Slika 31: Primerjava izkoristka pri ločeni proizvodnji in soproizvodnji

#### 5.4.6 Sanitarna topla voda

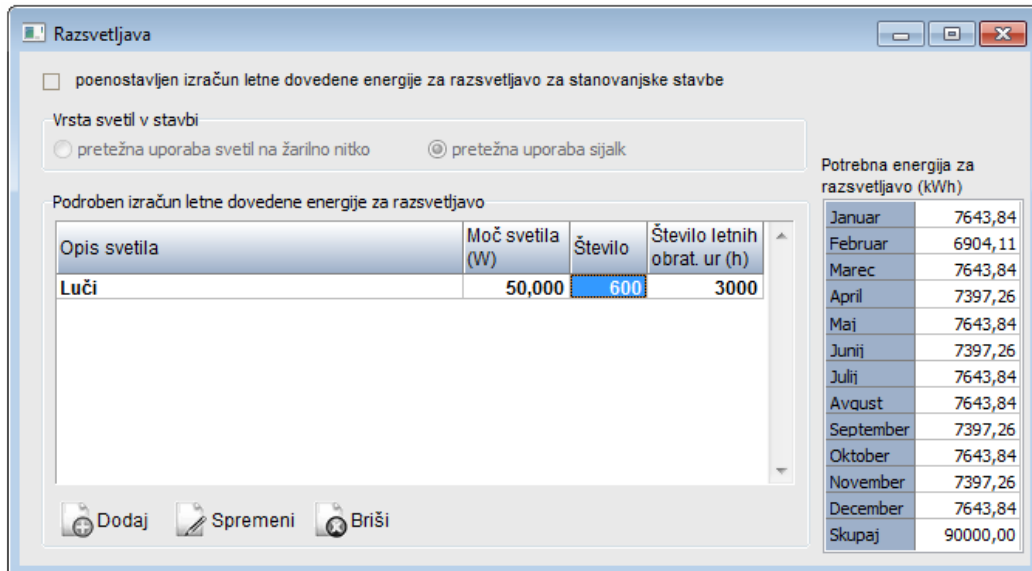
Za pripravo tople sanitarne vode v sanitarijah se uporabljajo nizekotlačni pretočni električni grelniki. Ob prehodu ogrevanja stavbe na vročevod je bila narejena presoja, da inštalacija razvoda za toplo vodo v sanitarijah cenovno ni upravičena. V stavbi se nahaja 11 električnih grelnikov moči 2 kW.

#### 5.4.7 Razsvetljava

Učinkovita raba energije za razsvetljavo se zagotavlja s čim večjo uporabo naravne svetlobe, če to ni mogoče pa je treba uporabiti energijsko učinkovita svetila in pripadajoče elemente ter ustrezno regulacijo. Pri tem je treba upoštevati velikost prostora in število njegovih uporabnikov. V učilnicah in na hodnikih so nameščene cevaste neonke (slika 32). V sanitarijah so varčne sijalke. Na stopnišču je bila obnovljena prvotna razsvetljava. Zunanja razsvetljava stavbe je opremljena s senzorji prisotnosti, ki z nastavljivo zakasnitvijo ugašajo svetila, kadar ni prisotnih uporabnikov. Dovoljena povprečna moč vgrajenih svetilk na enoto uporabne površine za stavbe za izobraževanje je  $13 \text{ W/m}^2$ , kar določa Tehnična smernica učinkovita raba energije [16]. Toplota, ki jo oddajajo svetila, doprinese k notranjemu toplotnemu toku. Poraba energije za razsvetljavo se lahko v programu izračuna na poenostavljen način, ki pa je ustrezen le za stanovanjske stavbe. V tem primeru je potrebno uporabiti podrobnejši izračun. V tem izračunu sem le ocenila število svetil, saj do vseh prostorov nisem imela dostopa, in upoštevala povprečno moč svetil in število obratovalnih ur. Kot je razvidno na sliki 33 sem v program vnesla 600 svetil z močjo 50 W in s 3000 obratovalnimi urami.



Slika 32: Slika razsvetljave



Slika 33: Račun razsvetljave

#### 5.4.8 Notranji toplotni viri

Dobitki notranjih virov vsebujejo:

- dobitke metabolizma prisotnih oseb in toploto, ki jo oddajajo naprave;
- toploto, ki jo oddajajo svetila;
- toploto, ki jo oddajajo ali absorbirajo sistemi za pripravo tople vode, vodovodno omrežje in kanalizacija;
- toploto, ki jo oddajajo ali absorbirajo ogrevalni, hladilni in prezračevalni sistemi;
- toploto iz proizvodnih procesov ali proizvodov.

Prispevek notranjih toplotnih virov pri potrebni toploti za ogrevanje stavbe se določi po poenostavljeni metodi in znaša  $4 \text{ W/m}^2$  na enoto uporabne površine stavbe. Ker je v stavbi veliko virov toplotne energije, kot so računalniki, tiskalniki, projektorji, hladilniki, črpalke itd., sem poleg toplotnih virov  $4 \text{ W/m}^2$  upoštevala še notranje toplotne dobitke, ki jih prispevajo računalniki. Število stacionarnih računalnikov je ocenjena na 130 enot, zaradi uporabe dodatnih prenosnih računalnikov sem število povečala na 150 kosov. Vsak računalnik prispeva 200 W in dela povprečno 8 ur, približno 250 dni, ob predpostavki, da so za vikende računalniki ugasnjeni.

#### 5.4.9 Toplotna kapaciteta stavbe

Sodelujoča toplotna kapaciteta stavbe za izračun izkoristka toplotnih dobitkov v stavbi se lahko določi po naslednjem postopku [16]:

- standard SIST EN ISO 13790 ali
- po poenostavljenem izrazu, kjer je  $V_e$  bruto kondicionirana prostornina stavbe,  $C$  pa sodelujoča toplotna kapaciteta stavbe.
  - za lahke stavbe (lesene, montažne stavbe brez bistvenih masivnih elementov v notranjosti, masivne stavbe z visečimi stropov in pretežno lahkimi predelnimi stenami).

$$C [\text{Wh/K}] = 15 * V_e [\text{m}^3] \quad (18)$$

- za težke stavbe (med težke stavbe uvrščamo stavbe z masivnimi zunanji in notranji gradbenimi elementi, stavbe z velikim delom zunanjih in notranjih masivnih gradbenih elementov s plavajočim estrihom in brez visečega stropa.).

$$C [\text{Wh/K}] = 50 * V_e [\text{m}^3] \quad (19)$$

V programu sem izbrala, da se kapacitivnost stavbe določi po standardu SIST EN ISO 13790. Podala sem površino notranjih sten in medetažnih konstrukcij, ki so podane v preglednici 19, ter njihovo sestavo.

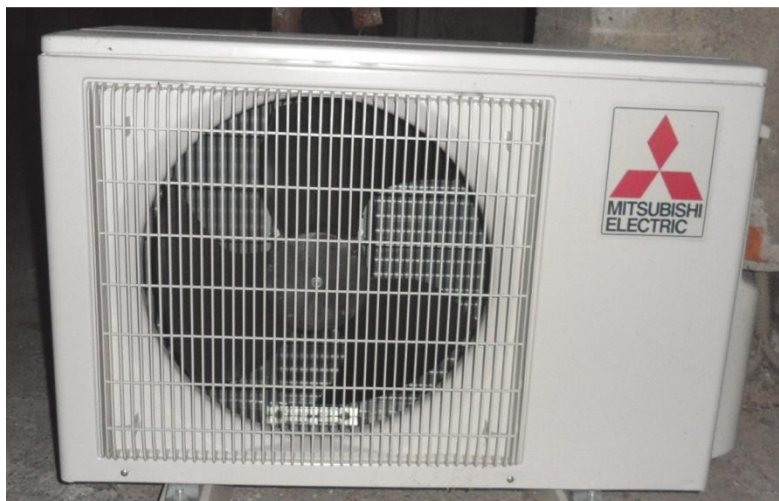
Preglednica 19: Površine notranjih sten in medetažnih konstrukcij

NOTRANJE STENE	
Stena debeline 17 cm [m <sup>2</sup> ]	601,50
Stena debeline 30 cm [m <sup>2</sup> ]	240,78
Stena debeline 43 cm [m <sup>2</sup> ]	535,17
Stena debeline 56 cm [m <sup>2</sup> ]	220,15
Mesetažne plošče [m <sup>2</sup> ]	3395,71

#### 5.4.10 Prezračevanje in hlajenje

Prezračevanje in hlajenje je naravno v učilnicah, hlajenje nekaterih kabinetov in laboratorijev pa je preko električnih klim, katerih zunanja enota je nameščena na prezračevanem podstrešju. Skupno število klimatskih naprav (slika 34) je 12, od tega 2 s 5,4 kW in 10 s 3 kW. Predavalnica H10 v pritličju je bila leta 2012 prenovljena, urejeno je bilo prezračevanje preko prezračevalne naprave stropne izvedbe z vgrajenim rekuperatorjem toplote. Maksimalna hladilna moč naprave znaša 14 kW. Tudi ogrevanje je tu preko prezračevalne naprave. Prezračevanje je električno vodeno in ima detektor količine CO<sub>2</sub> v zraku, tudi žaluzije so električno vodene. Za izračun potrebne toplote za kondicioniranje stavbe se v programu upošteva urna izmenjava notranjega zraka z zunanjim, računana

na neto ogrevano prostornino stavbe, ki znaša najmanj  $n=0,5 \text{ h}^{-1}$ . V program sem vnesla tudi podatke za izračun dovedene energije za hlajenje. Glede na položaj zunanjih enot klim sem ocenila neto tlorisno površino hlajene cone, ki znaša  $500 \text{ m}^2$ , skupna moč klimatskih naprav pa znaša  $54,8 \text{ kW}$ .



Slika 34: Klimatska naprava



## 6 PRIMERJAVA REZULTATOV

Energijski kazalniki za računsko energetska izkaznico so naslednji:

- letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe  $Q_{NH}/A_k$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)];
- letna dovedena energija za delovanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe  $Q/A_k$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)];
- letna primarna energija za delovanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe  $Q_p/A_k$  [kWh/(m<sup>2</sup>a)];
- letne emisije CO<sub>2</sub> zaradi delovanja stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe [kg/(m<sup>2</sup>a)].

Energijski kazalniki za merjeno energetska izkaznico so naslednji:

- letna dovedena energija na enoto kondicionirane površine stavbe [kWh/(m<sup>2</sup>a)];
- letna dovedena električna energija na enoto kondicionirane površine stavbe [kWh/(m<sup>2</sup>a)];
- letna primarna energija za delovanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe [kWh/(m<sup>2</sup>a)];
- letne emisije CO<sub>2</sub> zaradi delovanja stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe  $A_k$  [kg/(m<sup>2</sup>a)].

### 6.1 Računska energetska izkaznica

Najprej sem naredila osnovni model za stavbo, nato pa sem mu posamično dodajala različne komponente, da bi videla koliko posamezni vnosi vplivajo na končni rezultat. Modelu sem dodala delno klimatizacijo stavbe, akumulacijo notranjih sten, toplotne dobitke zaradi električnih naprav, razsvetljavo in linijske toplotne mostove. Končna računsko energetska izkaznica je vsebovala vse dejavnike iz preglednice 20 in je vidna v prilogi A2.

Primarna energija je energija primarnih energijskih virov, kot so premog na izkopu, zemeljski plin na črpališču, uranova ruda, energija sončnega sevanja, geotermalna energija, biomasa, kinetična energija vetra in potenciala energija vode [9]. Na velikost potrebne primarne energije za ogrevanje vplivajo akumulacija, dobitki notranjih virov in toplotni mostovi. Vpliv toplotne kapacitete stavbe je v izračunu zelo majhen, poleg tega so pri akumulaciji upoštevane samo notranje stene, ne pa tudi zunanje. Dejansko je verjetno vpliv akumulacije večji, še bolj ugoden pa je učinek masivnih sten preko faznega zamika, za katerega nisem zasledila, da bi ga standard kakorkoli upošteval. Notranji dobitki povečani za toplotne dobitke zaradi računalnikov zmanjšajo potrebno toploto za 11 %. Vpliv toplotnih mostov določen preko linijskih mostov je dvakrat večji od tistega določenega s poenostavljenim izračunom (približno glede na površino), zato so tudi potrebe po toploti nekoliko večje. Potrebna primarna energija za ogrevanje z upoštevanjem vseh zgoraj navedenih dejavnikov znaša okoli 382.000 kWh.

Potrebna primarna energija za elektriko se poveča zaradi upoštevanja klimatskih naprav za 30 %. Vpliv toplotnih dobitkov vpliva na zmanjšanje primarne energije za elektriko, kot posledica zmanjšanja potreb po ogrevanju, saj sistem ogrevanja za delovanje potrebuje električno energijo. Natančnejše upoštevanje porabe električne energije za razsvetljavo močno poveča potrebo po elektriki, saj program omogoča avtomatski izračun potrebne energije za razsvetljavo le za stanovanjske stavbe, obravnavana stavba pa je nestanovanjska in je v njej nameščenih občutno več svetil. Primarna energija se tako poveča za skoraj 4-krat. Toplotni mostovi minimalno povečajo potrebno energijo. Skupno tako znaša primarna energija za elektriko 307.000 kWh in je le malo manjša od primarne energije za ogrevanje.

Preglednica 20: Primarna energija

[kWh]	Toplota PE	Elektrika PE
osnovno	402.754	72.061
osnovno+klima	402.754	93.993
osnovno+akumulacija	402.498	72.055
osnovno+dobitki	358.947	71.827
osnovno+razsvetljava	402.754	275.499
osnovno+ mostovi	426.808	72.257
<b>vse skupaj</b>	<b>381.957</b>	<b>306.808</b>

Preglednica 21 prikazuje glavne geometrijske količine uporabljene v računu. Površina toplotnega ovoja stavbe znaša 3850 m<sup>2</sup>, kondicionirana prostornina stavbe je velikosti 10478 m<sup>3</sup>. Faktor oblike je koeficient med površino ovoja stavbe in njeno kondicionirano prostornino in je enak 0,37. Uporabna površina stavbe, na katero so preračunane potrebne količine energije na kvadratni meter površine, je 2300 m<sup>2</sup>. Površina oken predstavlja 10 % površine toplotnega ovoja stavbe.

Preglednica 21: Geometrijske lastnosti stavbe

Površina toplotnega ovoja stavbe A [m <sup>2</sup> ]	3850
Kondicionirana prostornina stavbe V <sub>e</sub> [m <sup>3</sup> ]	10478
Faktor oblike f <sub>o</sub> [m <sup>-1</sup> ]	0,37
Uporabna površina A <sub>u</sub> [m <sup>2</sup> ]	2300
Razmerje med površino oken in površino toplotnega ovoja stavbe Z	0,10

Celotne transmisijske izgube so vsota izgub skozi ovoj stavbe, izgub skozi tla in izgub skozi neogrevane prostore. Toplotne izgube skozi ovoj stavbe predstavljajo izgube skozi zunanje stene,

strop, okna in vrata in so prikazane v preglednici 22. Približno polovico (49 %) toplotnih izgub zunanjega ovoja predstavljajo izgube skozi stene, 15 % predstavljajo izgube skozi stavbno pohištvo, to je okna in vrata. Delež izgub skozi strop je 36 %. Skupna vsota teh izgub znaša 3402 W/K, kar je 80 % celotnih transmisijskih toplotnih izgub.

Preglednica 22: Toplotne izgube skozi ovoj

Toplotne izgube skozi ovoj	[W/K]	[%]	
stene pritličja 49 cm	582,97	17,13	48,91
stene pritličja 62 cm	98,69	2,90	
stene nadstropja 49 cm	867,57	25,50	
stene nadstropja 62 cm	59,16	1,74	
stene kleti proti zraku 49 cm	11,9	0,35	
stene stopnišča	43,76	1,29	
strop proti podstrešju	1240,29	36,45	36,45
okna PVC	440,3	12,94	14,63
vhodna vrata les-steklo	46,15	1,36	
vrata v kleti ALU	4,27	0,13	
vrata les -stopnišča	7,2	0,21	
<b>SUM</b>	<b>3402</b>		

Toplotnim izgubam skozi ovoj stavbe je potrebno prišteti še dodatne izgube zaradi linijskih toplotnih mostov. Linijski toplotni mostovi so bili sprva upoštevani na poenostavljen način, s povečanjem toplotne prehodnosti celotnega ovoja stavbe za 0,06 W/m<sup>2</sup>K.

$$Izgube\ skozi\ toplotne\ mostove\ (Ursa) = A \cdot 0,06 = 3850m^2 \cdot 0,06 \frac{W}{m^2K} = 231\ W/K \quad (20)$$

Nato sem toplotne mostove upoštevala z izračunanimi vrednostmi za linijske mostove, skupna vrednost izgub skozi toplotne mostove je bila 479 W/K. Do razlike med ocenama pride, saj je zgornja ocena podana splošno in ne upošteva dejanske situacije na objektu. Na obravnavani stavbi je na primer velik delež toplotnih mostov preko reber rebričaste plošče. Če bi za računski dodatek za vrednotenje vpliva toplotnih mostov upoštevali dodatek za masivno grajene in slabše toplotno izolirane stavbe 0,12 W/m<sup>2</sup>K, bi bile izgube skozi toplotne mostove 462 W/K, kar bi bilo blizu vrednosti dobljeni z natančnejšim upoštevanjem linijskih mostov.

Skupno znašajo izgube skozi zunanji ovoj 3881 W/K, kar je 90 % celotnih transmisijskih izgub. Izgube skozi tla in zidove v zemlji znašajo 107 W/K. Izguba skozi neogrevano klet 1 je 200 W/K in 147 W/K skozi neogrevano klet 2. Skupno znašajo izgube skozi neogrevane prostore 347 W/K. Celotne transmisijske izgube so izračunane v preglednici 23, ter so velikosti 4335 W/K. Prezračevalne

izgube so izračunane na poenostavljen način. Stopnja izmenjave zraka znaša  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Neto ogrevana prostornina je velika  $6911 \text{ m}^3$ . Minimalni pretok zraka je  $3455 \text{ m}^3/\text{h}$ . Toplotne izgube zaradi prezračevanja v ogrevalni sezoni znašajo  $1175 \text{ W/K}$ . Skupne toplotne izgube so vsota transmisijskih izgub in prezračevalnih izgub, to je  $5510 \text{ W/K}$ . Od celotnih toplotnih izgub predstavljajo prezračevalne približno četrtno.

Preglednica 23: Toplotne izgube

	[W/K]
Toplotne izgube skozi ovoj stavbe	3402
Samo mostovi	479
Toplotne izgube skozi ovoj stavbe (skupaj z mostovi) $L_D$	3881
Toplotne izgube skozi tla $L_S$	107
Toplotne izgube skozi neogrevane prostore $H_U$	347
Transmisijske toplotne izgube $H_T=L_D+L_S+H_U$	4335
Prezračevalne izgube $H_V$	1175
Skupne toplotne izgube $H=H_T+H_V$	<b>5510</b>

Koeficient specifičnih transmisijskih izgub so transmisijske izgube izražene na površino toplotnega ovoja stavbe in znaša  $1,13 \text{ W/Km}^2$ .

$$H_T = \frac{H_T}{A} = \frac{4335 \text{ W}}{3850 \text{ K m}^2} = 1,13 \frac{\text{W}}{\text{Km}^2} \quad (21)$$

Notranji toplotni dobitki so izračunani po poenostavljeni metodi,  $4 \text{ W/m}^2$  na enoto površine, dodan jim je bil še vpliv računalnikov. Skupaj jih je  $88977 \text{ kWh}$  v ogrevalnem obdobju in  $51615 \text{ kWh}$  v neogrevalnem obdobju. Dobitki sončnega sevanja skozi steklene površine v mesecih od septembra do maja prispevajo k ogrevanju s  $41328 \text{ kWh}$ , od maja do septembra pa povečujejo potrebo po hlajenju za  $40369 \text{ kWh}$ . Za ogrevanje je potrebno  $324171 \text{ kWh}$  izhodne toplote.

$$\text{Letna potrebna toplota na enoto prostornine} = \frac{Q_{NH}}{V_e} = \frac{324171 \text{ kWh}}{10478 \text{ m}^3 \text{ a}} = 30,94 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \text{ a}} \quad (22)$$

Dovedena energija je energija, ki jo v želeni obliki oddajajo naprave, npr. toplota, ki jo v prostor odda ogrevalo. Primarno energijo za delovanje stavbe se določi tako, da se letna dovedena energija za delovanje sistemov v stavbi pomnoži z ustreznim faktorjem pretvorbe glede na vrsto energenta. Za električno energijo iz omrežja je faktor pretvorbe 2,5, za daljinsko ogrevanje s kogeneracijo pa 1,0. Emisijo  $\text{CO}_2$  kot posledico rabe energije za tehnične sisteme v stavbi izračunamo tako, da letno dovedeno energijo za delovanje sistemov v stavbi pomnožimo s specifično emisijo glede na vrsto energenta. Za daljinsko toploto je specifična emisija  $\text{CO}_2$   $0,33 \text{ kg/kWh}$ , za električno energijo pa  $0,53 \text{ kg/kWh}$ . Račun je narejen v preglednici 24, za dovedeno in primarno energijo celotne stavbe na letni ravni.

Preglednica 24: Primarna energija in emisije CO<sub>2</sub> v računski EI

	Dovedena energija [kWh/a]	Faktor pretvorbe fp	Primarna energija [kWh/a]	Specifična emisija CO <sub>2</sub> [kg/kWh]	Emisije CO <sub>2</sub> [kg/a]
Daljinska toplota s kogeneracijo	381.957	1	381.957	0,33	126.046
Električna energija	110.341	2,5	275.852	0,53	58.481
<b>Skupaj</b>	<b>492.298</b>		<b>657.809</b>		<b>184.526</b>

## 6.2 Primerjava rezultatov merjene in računske energetske izkaznice

Pri merjeni energetske izkaznici je za izračune uporabljena dejanska poraba energije za ogrevanje in električne energije, ki je dobljena iz izstavljenih računov za plačilo energentov. Razlika z računsko izkaznico se pojavi pri kondicionirani površini stavbe, ki je pri merjeni izkaznici 2852 m<sup>2</sup>, kar je za 552 m<sup>2</sup> več od vrednosti, ki sem jo uporabila sama. Razliki ustreza površina neogrevanega dela kleti, tako da sem sklepala, da so pri izdelavi merjene izkaznice tudi te prostore upoštevali, kot da so ogrevani. Zaradi večje ogrevalne površine imajo energetske kazalniki nižje vrednosti. Če primerjamo vrednosti iz preglednic 24 in 25, ki se nanašajo na celotno stavbo za obdobje enega leta, pridemo do sledečih ugotovitev. Dovedena energija daljinskega ogrevanja, oz. daljinska toplota je v računski izkaznici za 8 % večja od vrednosti v merjeni energetske izkaznici. Za preračun v primarno energijo je v merjeni izkaznici uporabljen faktor pretvorbe za daljinsko ogrevanje brez kogeneracije, ki je enak 1,2, zato je primarna energija v merjeni izkaznici za 10 % večja od vrednosti v računski. Do večje razlike pride pri dovedeni električni energiji, ki je v računski izkaznici za 30 % večja od dejanske količine dovedene energije. Razlog za to je lahko, da pri računski izkaznici nisem upoštevala zadostno zmanjšanja porabe energije za obratovanje v času zimskih in poletnih počitnic, ter izpitnih obdobj, ko je v stavbi zmanjšano število uporabnikov ali pa jih sploh ni. Izjema so prostori inštituta v pritličju, ki ima drugačen obratovalni čas od prostorov fakultete.

Preglednica 25: Primarna energija in emisije CO<sub>2</sub> v merjeni EI

	Dovedena energija [kWh/a]	Faktor pretvorbe fp	Primarna energija [kWh/a]	Specifična emisija CO <sub>2</sub> [kg/kWh]	Emisije CO <sub>2</sub> [kg/a]
Daljinska toplota s kogeneracijo	352.693	1,2	423.232	0,33	116.389
Električna energija	85.136	2,5	212.840	0,53	45.122
<b>Skupaj</b>	<b>437.829</b>		<b>636.072</b>		<b>161.511</b>

Kazalci merjene in računске izkaznice se med seboj nekoliko razlikujejo, zato lahko direktno primerjamo samo potrebno toploto za ogrevanje, primarno energijo in emisije CO<sub>2</sub>, medtem ko je dovedena energija za delovanje stavbe le kazalec računске energetske izkaznice, dovedena električna energija pa le kazalec merjene energetske izkaznice. Za primerjavo teh dveh kazalnikov sem sama izračunala vrednosti za primerjavo. Potrebna toplota za ogrevanje na kvadratni meter kondicionirane površine na leto je 141 kWh/m<sup>2</sup> a v računski in 124 kWh/m<sup>2</sup> a v merjeni izkaznici. Primarna energija znaša 286 kWh/m<sup>2</sup> a za računsko in 223 kWh/m<sup>2</sup> a za merjeno energetske izkaznico. Tudi emisije CO<sub>2</sub> so večje pri računski izkaznici in sicer za 23 kg/m<sup>2</sup> a v primerjavi z merjeno. Dovedena energija za delovanje stavbe je za računsko izkaznico 214 kWh/m<sup>2</sup> a, primerljiva vrednost izračunana iz podatkov dovedene energije za merjeno energetske izkaznico je 154 kWh/m<sup>2</sup> a. Dovedena električna energija je eden od kazalnikov merjene izkaznice in je enak 30 kWh/m<sup>2</sup> a za računsko pa je izračunan 48 kWh/m<sup>2</sup> a. Primerjava je prikazana v preglednici 26, kazalniki pa so razvidni tudi na energetskih izkaznicah v prilogah A1 in A2.

Preglednica 26: Primerjava kazalnikov računске in merjene EI

<b>Kazalci ki jih lahko direktno primerjamo</b>	Računska EI	Merjena EI
Potrebna toplota za ogrevanje [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>141</b>	<b>124</b>
Primarna energija [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>286</b>	<b>223</b>
Emisije CO <sub>2</sub> [kg/m <sup>2</sup> a]	<b>80</b>	<b>57</b>
<b>Dodatno izračunani kazalci</b>		
Dovedena energija za delovanje stavbe [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>214</b>	154
Dovedena električna energija [kWh/m <sup>2</sup> a]	48	<b>30</b>
Kondicionirana površina stavbe Ak [m <sup>2</sup> ]	2300	2852

## **7 PREDSTAVITEV UKREPOV**

Stavba je spomeniško zaščiten, zato posegi v zunanji izgled stavbe niso dovoljeni. Zahteve ZVKDS so natančneje povzete v poglavju 2. Informacije o objektu. Za izboljšanje energetske učinkovitosti so zato predlagani ukrepi, ki v zunanji izgled stavbe ne posegajo. Ogrevanje stavbe ne potrebuje posebnih ukrepov, saj je ogrevanje preko vročevoda cenovno ugodno in tudi vedno bolj ekološko, saj se kot energent za proizvodnjo tople vode delno uporabljajo lesni sekanci. Ogrevanje ima dnevni, nočni in vikend režim. Potrebno je paziti, da se ogrevanje v ponedeljek zjutraj začne dovolj zgodaj pred pričetkom uporabe stavbe, saj je pri masivnih stavbah potrebno več časa, da se prostor segreje. Pri ukrepih je potrebno misliti ne le na zmanjšanje porabe energije, ampak tudi na uporabo čim bolj naravnih materialov za doseganje tega cilja.

### **7.1 Osveščanje uporabnikov in sprotno spremljanje porabe energije**

Najprej bi predlagala, da se izvedejo ukrepi, ki finančno ne zahtevajo velikega vložka. Potrebno je izobraziti uporabnike stavbe. Več pozornosti bi bilo potrebno posvečati, da se električne naprave, računalniki, projektorji, klimatske naprave in razsvetljava ugašajo, ko prostori niso v uporabi. Potrebno se je izogniti nepotrebnemu delovanju naprav ponoči in za vikende. Izjema so nekateri računalniki, ki opravljajo stalne meritve ali pa izračuni na njih tečejo tudi, ko uporabnik ni prisoten. Za ugotavljanje mest in naprav, kjer se po nepotrebnem porablja energija je priporočljiva namestitev sistema za beleženje porabe tako električne energije kot tudi toplotne energije.

### **7.2 Toplotna izolacija stropne plošče proti prezračevanemu podstrešju**

Ukrep toplotne izolacije stropne plošče je bil že predlagan, a zaenkrat še ni bil izveden, saj je bilo predlagano višanje stavbe za eno nadstropje zaradi naraščanja števila študentov in vse večjih potreb po študijskih prostorih. Največja dovoljena toplotna prehodnost je v primeru medetažne konstrukcije med ogrevanim prostorom in neogrevanim podstrešjem  $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Izmerili in izračunali smo veliko večjo toplotno prehodnost  $1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Prostore proti hladnemu podstrešju je najbolje izolirati z zgornje oz. hladne strani, kjer se redko pojavijo težave s kondenzacijo, ter debelina izolacije ne predstavlja problema. Predlagala bi začasni ukrep polaganja toplotne izolacije po plošči, in sicer kamene volne zadostne trdote prekrute s sekundarno kritino paropropustno-vodonepropustno folijo in z deskami. Podstrešje ni v uporabi in zato ni potrebna izdelava finalne obdelave, potrebno je omogočiti le pohodnost za primer popravil strehe, čiščenje in servisiranje klimatov. Uporabljena toplotna izolacija bi se lahko pred začetkom gradnje nadvišanja odstranila, shranila v suhem prostoru in ponovno uporabila na novi strehi, ali pa na katerem drugem objektu UL FGG kjer je to potrebno.

Potrebno je omeniti tudi, da so trenutno za kritino na objektu uporabljene salonitne plošče, ki pa so že dotrajane, kar je škodljivo tudi za leseno ostrešje. Kritino bi bilo potrebno čim prej zamenjati, preden se ostrešje zaradi zamakanja poškoduje do te mere, da ga bo potrebno v celoti zamenjati. Tudi ta ukrep je v nasprotju s predvidenim nadvišanjem stavbe.

Ocenimo strošek polaganja izolacije na strop in prihranek energije za ogrevanje zaradi tega ukrepa. Na ploščo na podstrešju se namesti parna zapora, nanjo pa toplotna izolacija debeline približno 18 cm, to je ena plast debeline 10 cm in druga plast debeline 8 cm. Strošek izvedbe ukrepa (preglednica 27) je ocenjen na 23 €/m<sup>2</sup>. Toplotna prehodnost se z izvedbo ukrepa zmanjša na 0,19 W/m<sup>2</sup> K.

Cena toplote uporabljena v izračunu je dobljena iz cenika Energetike Ljubljana in znaša 57,1927 €/MWh, oziroma 0,057 €/kWh. Letni prihranek energije je razlika med porabo energije pred sanacijo in porabo energije po sanaciji, ter je izračunan v preglednici 28. Letni prihranek stroška energije znaša 5,7 €/m<sup>2</sup>. Povračilna doba ukrepa bi bila približno 4 leta. Celoten strošek za 850 m<sup>2</sup> stropa znaša 19.500 €, letni prihranek pa 4.800 €. Letni strošek ogrevanja znaša približno 20.000 €.

Preglednica 27: Strošek toplotnega izoliranja podstrešja

<b>Strošek toplotnega izoliranja podstrešja</b>	<b>[€/m<sup>2</sup>]</b>
Parna zapora	1,00
Kamena volna DDP ( $\lambda=0,04$ W/mK) debeline 8 cm	3,60
Kamena volna DDP ( $\lambda=0,04$ W/mK) debeline 10 cm	4,60
LDS 0,04 paropropustna sekundarna kritina	1,80
Smrekove deske 2,5 cm	2,00
Montaža	10,00
<b>SKUPAJ</b>	<b>23,00</b>

Preglednica 28: Povračilna doba izolacije stropa

<b>Izolacija stropu proti neogrevanemu podstrešju</b>	
Cena toplote [€/kWh]	0,057
Toplotna prehodnost stropu pred sanacijo [W/m <sup>2</sup> K]	1,46
Toplotna prehodnost stropu po sanaciji [W/m <sup>2</sup> K]	0,19
Specifični strošek investicije [€/m <sup>2</sup> ]	23
Temperaturni primanjkljaj [Kdni]	3.300
Poraba energije pred sanacijo [kWh/m <sup>2</sup> ]	116
Poraba energije po sanaciji [kWh/m <sup>2</sup> ]	15
Letni prihranek energije [kWh/m <sup>2</sup> ]	101
Letni prihranek stroška energije [€/m <sup>2</sup> ]	5,7
Povračilna doba [leta]	4,0



### *Poraba energije*

$$= \frac{\text{temperaturni primanjkljaj}[\text{Kdni}] \cdot 24 \cdot \text{toplotna prehodnost} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]}{1000} \quad (23)$$

Kot alternativo uveljavljenim izolacijskim materialom, katerih proizvodnja žal ni najbolj ekološka, bi predlagala okolju bolj prijazne izolacijske materiale. Vedno večji je poudarek na ekološki vrednosti posameznih vgrajenih materialov. Ekološka vrednost materiala je karakteristika materiala, ki se ocenjuje glede na obnovljivost materiala, trajnost, energijsko varčnost in odpadne snovi pri proizvodnji. Tako ima na primer steklena volna ekološko vrednost 0, medtem ko je za les in opeko ta vrednost enaka 3. Namesto kamene volne bi lahko na stropno ploščo namestili izolacijo iz konoplje, ki je dobavljiva v ploščah ali rolah in je primerna za izolacijo streh, sten in tal. Cena tovrstne izolacije je zaenkrat še precej višja od cene klasične kamene volne, za 18,5 €/m<sup>2</sup>, cena izvedbe bi se tako povečala za 16 tisoč EUR.

Prednosti izolacije iz konoplje [23]:

- material je naraven,
- obnovljiv,
- ima majhen CO<sub>2</sub> odtis,
- certificiran ekološki material, ki ne povzroča alergij,
- zagotovljena je dolgotrajna dimenzionalna stabilnost in mehanska odpornost,
- enostavna namestitev,
- dobro uravnavanje vlage.

### **7.3 Toplotna izolacija sten in stropa, ki delijo ogrevano cono od neogrevanih con**

Stene ogrevane kleti proti neogrevani kleti bi bilo potrebno obložiti z zadostno debelino toplotne izolacije. Tudi na strop neogrevane kleti je potrebno namestiti toplotno izolacijo, saj je nad njim ogrevano pritličje. Pri medetažni konstrukciji med neogrevano kletjo in ogrevanim prostorom nad njo, je največja dovoljena toplotna prehodnost 0,35 W/m<sup>2</sup> K, a smo glede na sestavo stene izračunali veliko večjo, 1,02 W/m<sup>2</sup>K. Spodnja stran očiščene površine stropa se najprej premaže z akrilno emulzijo za boljši oprijem fasadnega lepila. Vgradijo se lahke fasadne izolacijske plošče, ki jih drži že sama adhezija lepila. Ker toplotno izolacijo nameščamo znotraj stavbe, se ne moremo izogniti toplotnim mostovom na mestih, kjer nam namestitev toplotne izolacije onemogočajo stene.

S spodnje strani bi na strop prilepili 8 cm ekspandiranega polistirena, nato bi nanесли mrežico in fasadno lepilo ter strop ometali. Strošek investicije bi znašal 19,5 €/m<sup>2</sup> (preglednica 29). Če bi

toplotno izolacijo namestili na vseh stenah in stropovih, ki ločujejo ogrevane prostore od neogrevanih prostorov bi se toplotne izgube skozi neogrevane prostore zmanjšale za polovico. Letni prihranek stroška energije znaša 3 €/m<sup>2</sup>. Povračilna doba ukrepa bi bila približno 6 let. Celoten strošek za 670 m<sup>2</sup> sten in stropov znaša 13.000 €, letni prihranek pa 2.000 € (preglednica 30).

Preglednica 29: Strošek toplotnega izoliranja površin proti neogrevanim prostorom

<b>Strošek toplotnega izoliranja površin proti neogrevanim prostorm</b>	<b>[€/m<sup>2</sup>]</b>
Ekspandiran polistiren debeline 8 cm	4,50
Montaža TI in izdelava ometa	15,00
<b>SKUPAJ</b>	<b>19,50</b>

Preglednica 30: Povračilna doba izolacije tal nad neogrevano kletjo

<b>Izolacija stropu kleti proti ogrevanemu pritličju</b>	
Cena toplote [€/kWh]	0,057
Toplotna prehodnost stropu pred prenovo [W/m <sup>2</sup> K]	1,02
Toplotna prehodnost stropu po prenovi [W/m <sup>2</sup> K]	0,31
Specifični strošek investicije [€/m <sup>2</sup> ]	19,5
Temperaturni primanjkljaj [Kdni]	3.300
Poraba energije pred sanacijo [kWh/m <sup>2</sup> ]	81
Poraba energije po sanaciji [kWh/m <sup>2</sup> ]	25
Letni prihranek energije [kWh/m <sup>2</sup> ]	56
Letni prihranek stroška energije [€/m <sup>2</sup> ]	3
Povračilna doba [leta]	6,1

#### 7.4 Toplotna izolacija zunanjih sten

Namestitev toplotne izolacije na zunanjo stran stene ni možna saj je stavba spomeniško zaščiten. Alternativna rešitev je namestitev toplotne izolacije na notranji strani sten, ki pa ima več pomanjkljivosti.

Masivna konstrukcija, ki ni toplotno izolirana na zunanji strani je izpostavljena vplivom temperature zunanjega zraka, toplotna izolacija na notranji strani zato ne doseže povsem zelenega učinka. Poleti je vpliv pregrete masivne konstrukcije sten moč čutiti tudi ponoči zaradi temperaturnega časovnega zamika, obratno pozimi. Hkrati pa tako zaščitene stene ne absorbirajo toploto zimskega ogrevanja ali poletnega hlajenja, kar ne zagotavlja temperaturne stabilnosti.

Pri notranji izolaciji, ki ni izvedena celovito, obstaja nevarnost nastanka toplotnih mostov. Mesta toplotnih mostov je potrebno ustrezno izolirati, saj je na teh mestih poleg povečanja toplotne prehodnosti možna kondenzacija vodne pare in razvoj plesni. Velika je verjetnost, da toplotni mostovi ne bodo v celoti odpravljeni. Vzrok za to so lahko neizolirane betonske vezi, preklade in tudi različni načini gradnje stavb. Notranja izolacija mora biti izvedena celovito, to je po pravilu "pol metra čez". Pravilo določa, da se toplotno izolacijo položi tudi pol metra v notranjost ob predelnih stenah stropu in tleh, tako naj bi se izognili vplivu toplotnega mostu, a to hkrati močno vpliva na izgled prostora in samo funkcionalnost.

Če so stene v prostoru, ki ga nameravamo izolirati z notranje strani vlažne, je potrebno najprej odkriti vzroke navlaževanja. Vlažnih sten se ne sme zapirati, saj se s tem ne odpravi izvor težave, ampak se jo le prekrije. Navlažena toplotna izolacija ni učinkovita, hkrati se zaradi vlage razvijejo plesni, ki škodljivo vplivajo na zdravje. V prostorih s povišano vlago so potrebni sistemi toplotne izolacije s parno zaporo, ki prepreči kondenzacijo v toplotni izolaciji in na stikih s hladno steno. Največja napaka pri parni oviri je pri izvedbi. Vsi stiki med parno oviro in steno morajo biti zlepljeni, da zagotovimo 100 % zatesnjenost. Prostorov v katerih bi se pojavljala vlaga na stenah pri pregledu objekta nismo opazili. Ravno zaradi problema tesnjenja parne zapore sem se odločila, da je za obravnavani objekt bolj primerna toplotna izolacija, pri kateri le te ne potrebujemo.

Zaradi zmanjšanja uporabne površine prostora, je težko namestiti veliko debelino izolacije. Debelina izolacije mora biti skladna z zahtevami Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah [15], odvisno od obstoječe stene in vrste ter učinkovitosti izolacije. Novejša okna bolje tesnijo, zato je v prostoru bistveno več vlage, kot jo je bilo prej, zato se na stenah in špaletah lahko pojavi vlaga in plesen. Špalete in okenske police je potrebno ustrezno izolirati. Pri okenskem okvirju je prehod toplote povečan, zato ga je potrebno ločiti od ogrevanega dela konstrukcije. Špalete morajo biti po celotni površini prekrivane z izolacijo, to je treba namestiti tudi pod okenske police. Problem namestitve toplotne izolacije na notranji steni predstavljajo tudi grelna telesa, radiatorji, ki so nameščeni ob zunanji steni pod okni in jih je potrebno prestaviti. Za izvedbo notranje toplotne izolacije se lahko uporabijo različni materiali, ki so podrobneje opisani spodaj.

Za izolacijo se lahko uporabijo plošče iz ekstrudiranega ali ekspandiranega polistirena [24]. Plošče morajo imeti zaprto celično strukturo in biti dimenzijsko stabilne, da jih ni potrebno sidrati. Plošče se na hladne stene lepijo s posebej za to namenjenim lepilom (nizkoekspanzijskim poliuretanskim lepilom). Na prilepljene plošče se nato nanese lepilno malto, armirno mrežico, drugi sloj lepilne malte, izravnalni sloj in oplesk.

V primeru, da bodo stenske ali stropne površine obložene z mavčnokartonskimi ploščami, se za izolacijsko polnilo uporabi mineralna izolacija. Pri steni izolirani s kameno volno, se na notranjost stene najprej namesti ustrezna podkonstrukcija, nato izolacijske plošče iz mineralne volne, sledi parna zapora zatesnjena z ustreznimi lepili in trakovi, ter zaključna obloga iz mavčnokartonskih plošč.

Pri stenah izoliranih z lesnovlaknenimi ploščami se na zid nalepi lesnovlaknene plošče s paroprepustnim lepilom, tako da med ploščami in steno ni zračnih žepov, sledi parna ovira in mavčnokartonska obloga. Sestava stene je podobna kot pri vpihani izolaciji. Na zid z notranjim ometom se namesti podkonstrukcija, v katero se vpiha celulozna izolacija, sledi OSB-plošča, ki opravlja funkcijo parne ovire in mavčnokartonska obloga.

Toplotno izolativni belež, imenovan tudi protikondenzacijski belež, vsebuje izolativne mikro keramične kroglice. Prebeljena površina je zato bolj topla na dotik. Pričakujemo lahko do 2 °C višjo temperaturo na površini stene, kar zmanjša možnost nastanka kondenzata in s tem nastanek zdravju škodljive plesni. Na ta način se tudi izognemo večjim gradbenim posegom.

Za sanacijo starih, neravnih in vlažnih sten, kakršne so pogosto stene starejših objektov, je lahko dobra rešitev obzidava z izolacijskimi ploščami izdelanimi iz kalcijevega silikata (krede) s toplotno prevodnostjo primerljivo z ostalimi toplotno izolativnimi materiali. Industrijska imena teh plošč so Multipor Ytong in Promatect MC [25]. Poleg izolativnih lastnosti preprečujejo tudi nastajanje kondenzata. Plošče so alkalne s pH 10,5 do 12, kar preprečuje rast plesni, ki potrebujejo kislo ali nevtralno podlago s pH = 4,5 do 6. Plošče se na steno lepijo. Za lepljenje plošč je potrebno zagotoviti trdno podlago, odstraniti je potrebno ves omet, ki ni normalno trden in stenske tapete, večje vdolbine pa ometati z apnenim ali apnocementnim ometom. Barve za finalno obdelavo sten morajo biti difuzijsko odprte, na apneni ali silikatni osnovi.

Zaradi pomanjkanja prostora v stavbi, ni smiselno namestiti velike debeline toplotne izolacije, ravno tako je težko polagati izolacijo pol metra čez, saj bi dobili robove na stenah in podu. Ker so bila okna že zamenjana, bi bilo, če bi želeli ustrezno izolirati špalete okvirja, potrebno namestiti tudi novo okensko polico.

Odločila sem se za izolacijo zunanje stene na notranji strani z Multipor ploščami z  $\lambda = 0,042 \text{ W/mK}$ . Plošče se na steno lepi, nato pa se jih obdela z mrežico in ometom. Strošek izvedbe ukrepa je ocenjen na  $22,50 \text{ €/m}^2$  (preglednica 31). Toplotna prehodnost se z izvedbo ukrepa zmanjša z  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  na  $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Letni prihranek energije je razlika med porabo energije pred sanacijo in porabo energije po sanaciji. Letni prihranek stroška energije znaša 3 €/m<sup>2</sup>. Povračilna doba ukrepa bi bila približno 8 let. Celotna investicija za sanacijo vseh sten bi znašala 34.000 €, letni prihranek pri energiji pa 4.500 € (preglednica 32).

Preglednica 31: Strošek izoliranja zunanje stene

<b>Strošek izoliranja zunanje stene</b>	<b>[€/m<sup>2</sup>]</b>
Multipor plošča ( $\lambda=0,042$ W/m K) debeline 5 cm	10,50
Montaža in izdelava ometa	12,00
<b>SKUPAJ</b>	<b>22,50</b>

Preglednica 32: Povračilna doba izolacije fasade

<b>Izolacija fasade na notranji strani</b>	
Cena toplote [€/kWh]	0,057
Toplotna prehodnost stene pred prenovo [W/m <sup>2</sup> K]	1,1
Toplotna prehodnost stene po prenovi [W/m <sup>2</sup> K]	0,47
Specifični strošek investicije [€/m <sup>2</sup> ]	22,5
Temperaturni primanjkljaj [Kdni]	3.300
Poraba energije pred sanacijo [kWh/m <sup>2</sup> ]	87
Poraba energiji po sanaciji [kWh/m <sup>2</sup> ]	37
Letni prihranek energije [kWh/m <sup>2</sup> ]	50
Letni prihranek stroška energije [€/m <sup>2</sup> ]	3
Povračilna doba [leta]	7,9

## 7.5 Menjava stavbnega pohištva

Okna so bila že zamenjana leta 2005 s PVC okni z manjšo toplotno prehodnostjo. Ob menjavi oken so bile nameščene tudi zunanje žaluzije, ki zmanjšajo potrebo po hlajenju v poletnih mesecih. Vrata so stara in ne tesnijo, a so del fasade, tako bi bilo dovoljeno namestiti le repliko prvotnih vrat, ki pa verjetno ne bi imela dosti manjšo toplotno prehodnost. Predlagana je zamenjava tesnil na vratih.

## 7.6 Namestitev prezračevalnega sistema z rekuperacijo toplote

Glede na velikost ventilacijskih izgub, bi bila smiselna namestitev prezračevalnega sistema z rekuperatorjem toplote. Izdelava takega sistema je draga in v starih stavbah precej zahtevna. Potrebni bi bili posegi v nosilne stene, po stropu bi bilo mogoče za namestitev razvoda vsaj delno uporabiti prazen prostor med rebri rebričastega stropu. Prezračevalne izgube znašajo 1175 W/K

(preglednica 33). Letni strošek izgube zaradi prezračevanja je 5.300 €. V primeru namestitve prezračevalnega sistema z rekuperacijo 90 % toplote bi tako prihranili 4.770 € na leto. Ker je višina investicije v takšen sistem velika, bi bila povračilna doba ukrepa večja od 20 let. Uporabniki glede kakovosti zraka v stavbi niso imeli posebnih pripomb, stavba pa zaradi svoje starosti ni zrakotesna in se naravno prezračuje. Na podlagi teh ugotovitev in dolge povračilne dobe investicije se mi namestitev prezračevalnega sistema ne zdi smiselna.

Preglednica 33: Povračilna doba namestitve prezračevalnega sistema z rekuperacijo toplote

<b>Prezračevanje z rekuperacijo toplote</b>	
Prezračevalne izgube [W/K]	1175
Upoštevan temperaturni primanjkljaj [Kdni]	3300
Ocenjene realne letne toplotne izgube zaradi prezračevanja [kWh]	93060
Cena toplote trenutnega energenta [€/kWh]	0,057
Letni strošek izgub zaradi prezračevanja [€]	5304
Izkoristek rekuperatorja	90%
Letni prihranek z rekuperacijo [€]	4774

## 7.7 Zagotavljanje obnovljivih virov energije

Streha stavbe predstavlja veliko neizkoriščeno površino, na katero bi lahko namestili fotovoltaične celice in tako proizvajali električno energijo, ki bi delno pokrila potrebe stavbe po elektriki ali pa bi jo oddali v omrežje. Problem namestitve panelov je v tem, da bi bilo potrebno najprej zamenjati strešno kritino. Namestitev panelov bi bila tudi poseg v izgled strehe, ki ga more odobriti ZVKDS. Orientacija srednjega dela strehe je V-Z, pri stranskih delih pa je S-J. Ker so okoli stavbe posajena visoka drevesa bi bilo potrebno pred namestitvijo narediti sončno študijo in preprečiti senčenje panelov.

## 7.8 Zaključki glede sanacije

Izmed vseh zgornjih ukrepov se mi zdi najbolj nujna in tudi najbolj učinkovita za zmanjšanje porabe energije namestitev toplotne izolacije na stropno ploščo hladnega podstrešja. V prilogi A3 je vidna energetska izkaznica stavbe v primeru, da bi se ta ukrep izvedel. Razred energijske učinkovitosti se spremeni iz E v D. Tudi ostali kazalniki se znižajo za približno 25 %.

## 8 ZAKLJUČEK

Energijska učinkovitost stavbe, z energetskega razreda E, je glede na letnik stavbe presegla pričakovanja. Glavni razlog za to, da se stavba obnaša bolje od nje po letniku primerljivih stavb je uporaba opeke za izgradnjo zunanjih sten in ne armiranega betona, ki se je takrat že začel množično uporabljati v nekoliko višjih zgradbah. Z meritvijo toplotnega toka sem potrdila, da so bili materiali navedeni v popisu del v projektu iz leta 1955 dejansko tudi uporabljeni. Iz termografskih posnetkov stavbe sem identificirala toplotne mostove, ki sem jih upoštevala v računu.

Pri izdelavi računske energetske izkaznice stavbe sem upoštevala dejavnike kot so delna klimatizacija stavbe, toplotna kapacitivnost notranjih sten, toplotni dobitki zaradi električnih naprav, podrobno upoštevanje razsvetljave in natančnejše definiranje linijskih toplotnih mostov. Na ta način sem se v veliki meri približala rezultatom merjene energetske izkaznice, ki je bila za objekt že izdelana na podlagi podatkov o dejanski porabi toplote in električne energije. Glede na rezultate sem predlagala ukrepe za energetske sanacije, med katerimi se mi zdi posebej nujna in tudi najbolj smiselna toplotna izolacija stropa proti podstrešju, skozi katerega se izgublja zelo veliko toplote. Z investicijo ocenjeno na 20.000 €, ki bi se povrnila v le štirih letih, bi tako lahko izboljšali energetskega razreda z E v D. Ostali predlagani ukrepi bi le v manjši meri vplivali na ugodje bivanja v stavbi, hkrati pa predstavljajo velik investicijski strošek. Poudarila bi, da na ugodje bivanja v stavbi in zmanjšanje porabe energije uporabniki lahko vplivajo tudi sami z ustreznim zračenjem prostorov, uporabo zunanjih rolet, izklapljanjem električnih naprav in razsvetljave.

Pri sanaciji bi lahko naredili še korak naprej pri izbiri ekoloških materialov za njeno izvedbo. Izbira materialov za toplotne izolacije se je v zadnjem času na trgu močno povečala, med njimi je vedno več okolju bolj prijaznih materialov, kot so na primer izolacijske plošče iz konoplje, celulozna izolacija in plošče iz lesne volne, ki pa so zaenkrat še cenovno manj dostopne od najpogosteje uporabljenih mineralnih voln in polistirenov. Z ustreznimi subvencijami bi bilo potrebno začeti spodbujati uporabo teh materialov. Sodobni trend zmanjševanja porabe energije za ogrevanje pri obstoječih stavbah se v določeni meri vrši nestrokovno predvsem na račun stavbne dediščine. Potrebno bi bilo najti vmesno pot med ohranjanjem značaja stavb, stanovanjskih sosesk in sanacijami.

Na objektu so še v celoti neizkoriščene možnosti uporabe alternativnih virov energije za pridobivanje električne in toplotne energije. Mogoče bi lahko hkrati zadostili izboljšanju energetske učinkovitosti stavbe in ponudili dodatno znanje študentom, tako da bi na objektu namestili različne tehnologije, na primer fotovoltaične celice, sončne kolektorje za pripravo tople vode, toplotno črpalko itd.. Študentje bi lahko na tak način pridobili praktično znanje o tehnologijah, ki so jih do sedaj lahko spoznali le v literaturi. Na ta način bi bila fakulteta tudi vzgled, kako se lotiti celovite prenove stavbe s poudarkom na obnovljivih virih energije.

**»Ta stran je namenoma prazna.«**



## VIRI

1. Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta 19. 5. 2010, Energetski učinkovitosti stavb. UL L št. 153 z dne 18. 6. 2010: str. 13.
2. Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije.  
<http://www.zvkds.si/sl/zvkds/> (Pridobljeno 2.4.2015).
3. IR Termografija.  
<http://www.flir.si/ir-termografija/> (Pridobljeno 10.4.2015).
4. Maldague, X. P. V. 2001. *Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing.* John Wiley & Sons, Inc.
5. Termografske analize objektov. 2015. Ljubljana. Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o..  
<http://gcs.gi-zrmk.si/svetovanje/BOGFE/BOGFETermografskeanalize.pdf> (Pridobljeno 28.6.2015).
6. FLIR ResearchIR Max 3.2 . 2012. FLIR Systems. Inc.. Wilsonville.
7. Pušnik, I. 2008. Problematika merjenja s termografskimi kamerami pri ugotavljanju energetske učinkovitosti zgradb. *Elektrotehniški vestnik* 75, 4: 171-176.
8. FLIR A320 Technical Specifications. 2015. FLIR Systems. Inc.. Wilsonville.  
[http://www.flircameras.com/flir\\_a-series\\_a320.htm](http://www.flircameras.com/flir_a-series_a320.htm) (Pridobljeno 20. 4. 2015).
9. Medved, S. 2014. *Gradbena fizika II: toplota, vlaga, svetloba, zvok, požar, mikroklima v mestih.* Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo: 328 str. .
10. Hukseflux Thermal Sensors.  
<http://www.hukseflux.com/> (Pridobljeno 15.5. 2015).
11. Broch, R., Behrens, P. 2005. *Wohnungsbaukoncepte. Disertation.* Marburg, Uni
12. *Weather underground.*  
<http://www.wunderground.com/cgi-bin/findweather/getForecast?query=46.050412904942%2C14.495926870666&sp=ILJUBLJA3>  
(Pridobljeno 20.3.2015).
13. Energetski zakon. *Uradni list RS*, št. 17/2014: 538.
14. Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb. *Uradni list RS*, št. 92/2014:3699.
15. Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. *Uradni list RS* št. 52/2010:7840.
16. Tehnična smernica TSG-1-004:2010. *Učinkovita raba energije.*
17. Javni vpogled v nepremičnine.  
<http://prostor3.gov.si/javni/login.jsp?jezik=sl> (Pridobljeno 20.3.2015).

18. Atlas okolja.

[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso) (Pridobljeno 20.3.2015).

19. Podatki za pravilnik o učinkoviti rabi energije.

<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/pravilnik-ucinkoviti-rabi-energije/> (Pridobljeno 20.3.2015).

20. Zavrl, M., Rakušček, A., Stegnar, G. 2014. Tipologija stavb: energetska učinkovitost tipične stavbe v Sloveniji. Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o..

21. Mitchell, R., Kohler, C., Curcija, D. 2011. Therm 6.3. Barkley. Lawrence Berkeley National Laboratory.

22. Energetika Ljubljana.

[http://www.te-tol.si/index.php?sv\\_path=2455](http://www.te-tol.si/index.php?sv_path=2455) (Pridobljeno 20.3.2015).

23. Biofib hemp.

<http://www.biofib-isolation.com/biofib-chanvre.php?L=EN> (Pridobljeno 1.7.2015).

24. Fibran.

<http://www.fibran.si> (Pridobljeno 5.5.2015).

25. Ytong.

<http://www.ytong.si> (Pridobljeno 5.5.2015).

### **Ostali viri:**

Douglas, H. 2012. A Guide to Energy Management in Buildings. London, Spon:166 str..

Moss, K. J. 2006. Energy Management in Buildings. New York, Taylor & Francis: 255 str..

Peternelj, J., Jagličič, Z. 2015. Osnove gradbene fizike. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 161 str..

## **SEZNAM PRILOG**

Priloga A: Energetske izkaznice

Priloga A1: Merjena energetska izkaznica

Priloga A2: Računska energetska izkaznica

Priloga A3: Računska energetska izkaznica po izvedbi ukrepa

Priloga B: Tlorisi stavbe

Priloga B1: Tloris kleti

Priloga B2: Tloris pritličja

Priloga B3: Tloris 1. nadstropja

Priloga B4: Tloris 2. nadstropja

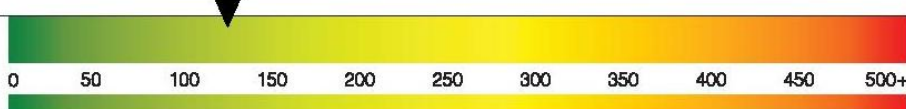
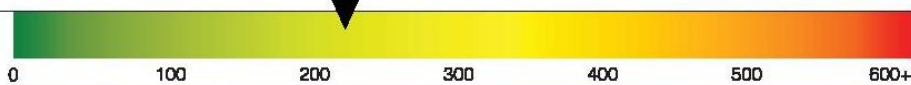
## Priloga A1: Merjena energetska izkaznica

**ENERGETSKA IZKAZNICA STAVBE****Podatki o stavbi**

Št. izkaznice: 2014-46-72-2026 Velja do: 15.08.2024

Identifikacijska oznaka stavbe,  
posameznega dela ali delov stavbe: katastrska občina 2679  
številka stavbe 1384Klasifikacija stavbe: 1263001  
Leto izgradnje: 1955  
Naslov stavbe: Hajdrihova ulica 28 , LjubljanaKatastrska občina: GRADIŠČE II  
Parcelna št.: 230/5  
Koordinati stavbe (X,Y): 99877,461107**Vrsta izkaznice: merjena**

Vrsta stavbe: nestanovanjska

**Dovedena energija, namenjena pretvorbi v toploto**124 kWh/m<sup>2</sup>a**Dovedena električna energija**30 kWh/m<sup>2</sup>a**Primarna energija in Emisije CO<sub>2</sub>**223 kWh/m<sup>2</sup>a57 kg/m<sup>2</sup>a**Izdajatelj**

ILKON inštitut za les in konstrukcije d. o. o. (46)

Ime in podpis odgovorne osebe: Miha Jakšič

Opcija: elektronski podpis,

Datum izdaje: 16.08.2014

**Izdelovalec**

Aleš Kroflič (72)

Ime in podpis: Aleš Kroflič

Opcija: elektronski podpis,

Datum izdaje: 16.08.2014

Izdelovalec te energetske izkaznice s podpisom potrjuje, da ne obstaja kakršna od okoliščin iz Energetskega zakona (Uradni RS 27/07 - uradno preč. besedilo s spremembami), ki bi mi preprečevala izdelavo energetske izkaznice.

Energetska izkaznica stavbe je izdana v skladu s Pravilnikom o metodologiji izdelave in izdaji energetske izkaznice stavbe in z Energetskim zakonom (Uradni RS 27/07 - uradno preč. besedilo s spremembami).

Priloga A2: Računska energetska izkaznica

# ENERGETSKA IZKAZNICA STAVBE

## Podatki o stavbi

Št.izkaznice: Velja do:

Identifikacijska oznaka stavbe, posameznega dela ali delov stavbe: **rEI, Hajdrihova\_11.7.2015**

Klasifikacija stavbe: **12630 Stavbe za izobraževanje in znanstvenoraziskovalne dejavnosti**  
Leto izgradnje: **1955**

Naslov stavbe: **LJUBLJANA  
Hajdrihova ulica 28, Ljubljana**

Kondicionirana površina stavbe  $A_k$  (m<sup>2</sup>): **2.300,00**  
Parcelna št.: **230/5**  
Katastrska občina: **GRADIŠČE II**

## Vrsta izkaznice: računsko

Vrsta stavbe: **nestanovanjska stavba**  
Naziv stavbe: **rEI, Hajdrihova**

fotografija stavbe (obvezno vstaviti)



## Potrebna toplota za ogrevanje

Razred: **E** 140,944 kWh/m<sup>2</sup>a



## Dovedena energija za delovanje stavbe

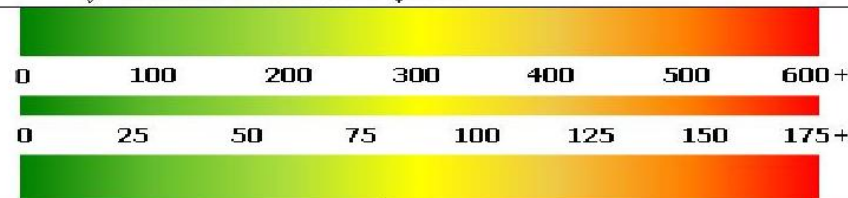
214,043 kWh/m<sup>2</sup>a



## Primarna energija in Emisija CO<sub>2</sub>

286,004 kWh/m<sup>2</sup>a

SKORAJ NIČ-ENERGIJSKA STAVBA (55,00 kWh/m<sup>2</sup>a)



80,229 kg/m<sup>2</sup>a

## Izdajatelj

Nina Zupan ()  
Ime in podpis odgovorne osebe:

Datum izdaje: 06.06.2015

## Izdelovalec

Nina Zupan ()  
Ime in podpis:  
Nina Zupan  
Datum izdaje: 06.06.2015

Izdelovalec te energetske izkaznice s podpisom potrjuje, da ne obstaja katera od okoliščin iz Energetskega zakona (Ur.list RS 17/14), ki bi mi preprečevala izdelavo energetske izkaznice.

Energetska izkaznica stavbe je izdana v skladu s Pravilnikom o metodologiji izdelave in izdaji energetske izkaznice stavbe in z Energetskim zakonom (Ur.list RS 17/14).

## Priloga A3: Računska energetska izkaznica po izvedbi ukrepa

**ENERGETSKA IZKAZNICA STAVBE****Podatki o stavbi**

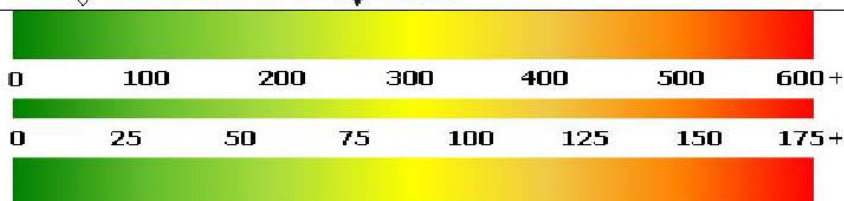
Št.izkaznice: Velja do:

Identifikacijska oznaka stavbe, posameznega dela ali delov stavbe: **ukrepi**Klasifikacija stavbe: **12630 Stavbe za izobraževanje in znanstvenoraziskovalne dejavnosti**  
Leto izgradnje: **1955**Naslov stavbe: **LJUBLJANA  
Hajdrihova ulica 28, Ljubljana**Kondicionirana površina stavbe  $A_k$  (m<sup>2</sup>): **2.300,00**Parcelna št.: **230/5**Katastrska občina: **GRADIŠČE II****Vrsta izkaznice: računska**Vrsta stavbe: **nestanovanjska stavba**Naziv stavbe: **rEI, Hajdrihova**

fotografija stavbe (obvezno vstaviti)

**Potrebna toplota za ogrevanje**Razred: **D** 102,854 kWh/m<sup>2</sup>a**Dovedena energija za delovanje stavbe**176,600 kWh/m<sup>2</sup>a**Primarna energija in Emisija CO<sub>2</sub>**259,755 kWh/m<sup>2</sup>a

SKORAJ NIČ-ENERGIJSKA STAVBA (&lt;math&gt;200 \text{ kWh/m}^2\text{a}&lt;/math&gt;)

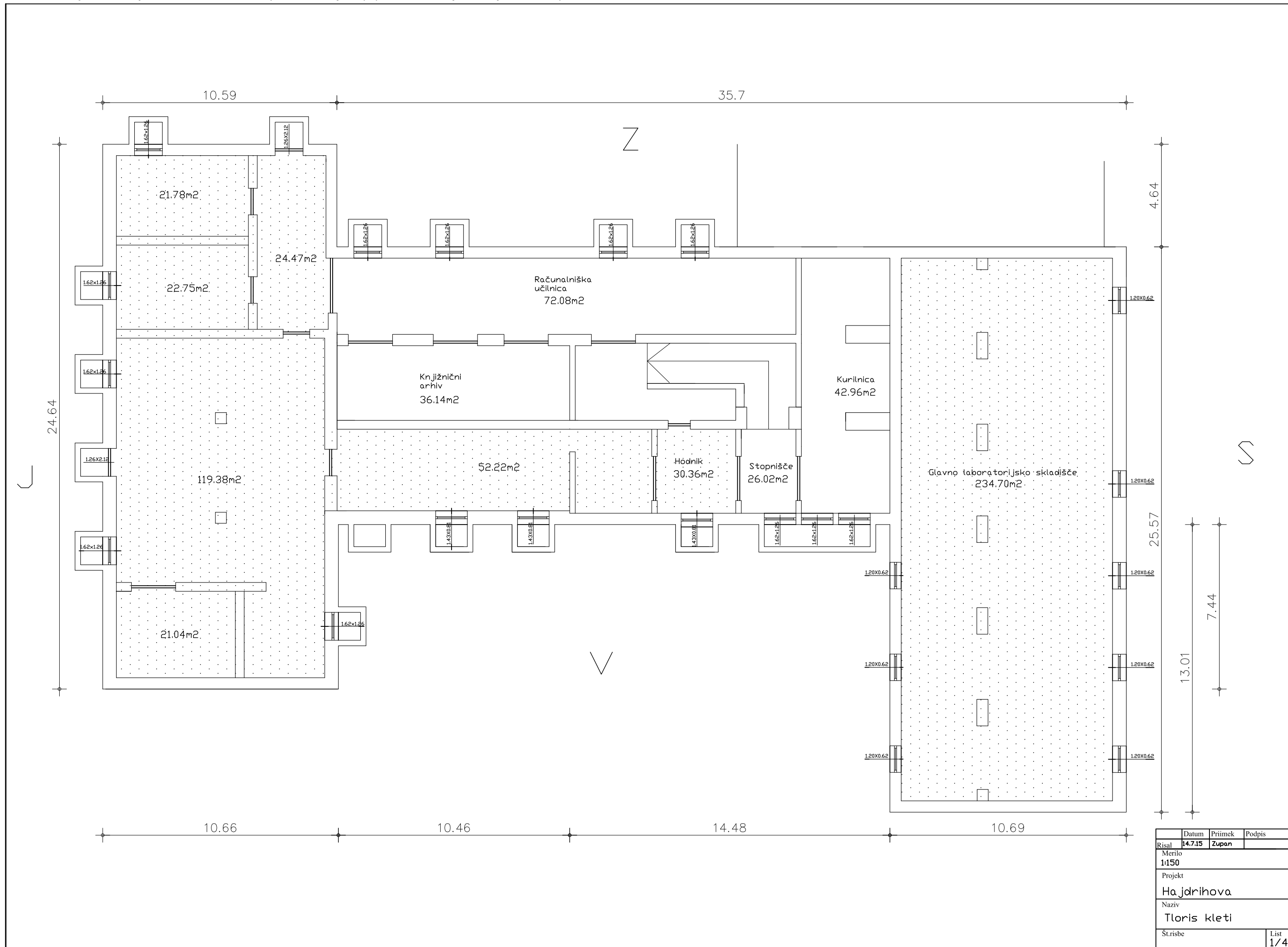
69,365 kg/m<sup>2</sup>a**Izdajatelj**Nina Zupan ()  
Ime in podpis odgovorne osebe:

Datum izdaje: 06.06.2015

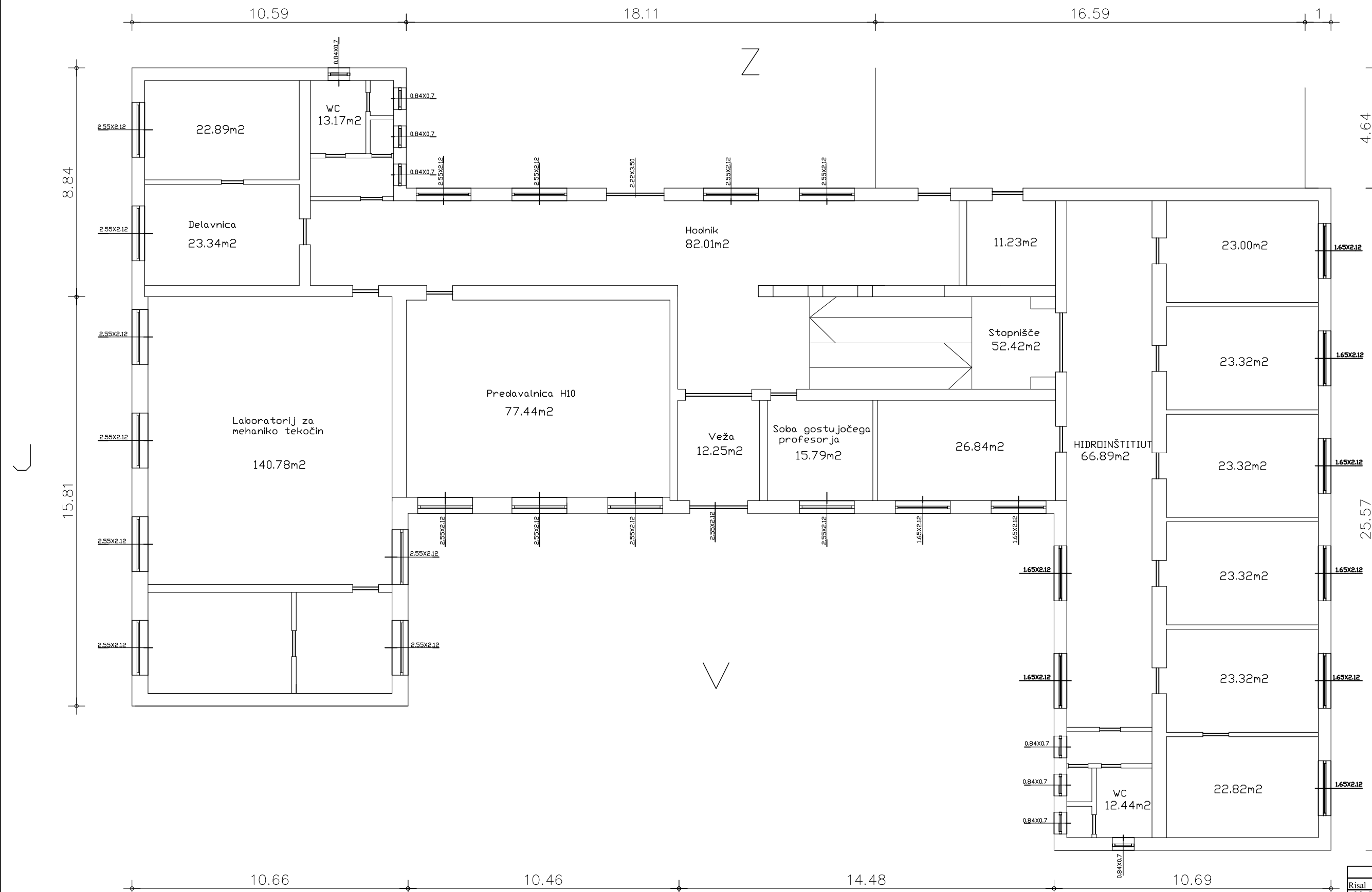
**Izdelovalec**Nina Zupan ()  
Ime in podpis:  
Nina Zupan  
Datum izdaje: 06.06.2015

Izdelovalec te energetske izkaznice s podpisom potrjuje, da ne obstaja katera od okoliščin iz Energetskega zakona (Ur.list RS 17/14), ki bi mi preprečevala izdelavo energetske izkaznice.

Energetska izkaznica stavbe je izdana v skladu s Pravilnikom o metodologiji izdelave in izdaji energetske izkaznice stavbe in z Energetskim zakonom (Ur.list RS 17/14).

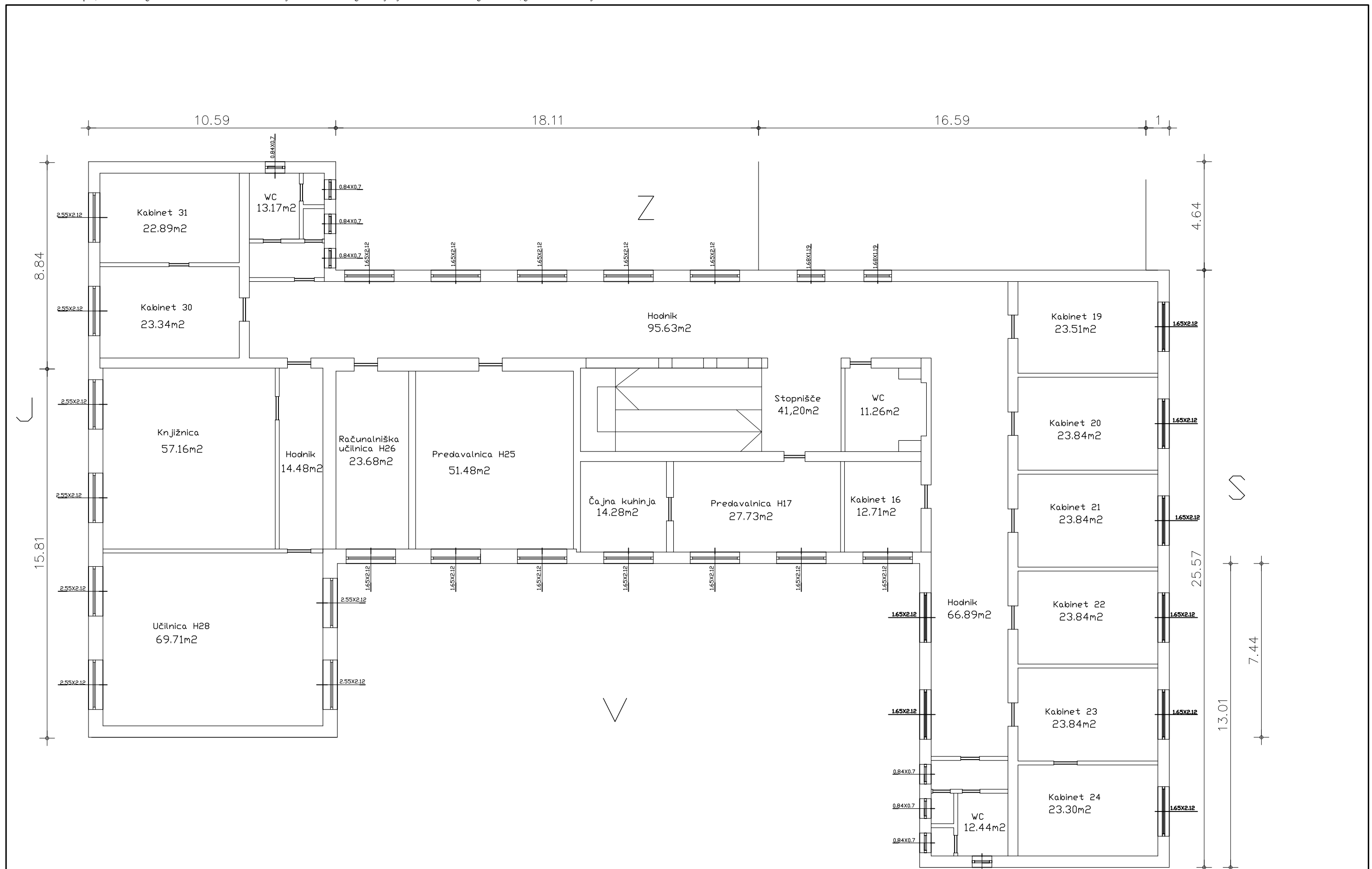


	Datum	Priimek	Podpis
Risal	14.7.15	Zupan	
Merilo	1:150		
Projekt	Hajdrihova		
Naziv	Tloris kleti		
Št.risbe			List 1/4

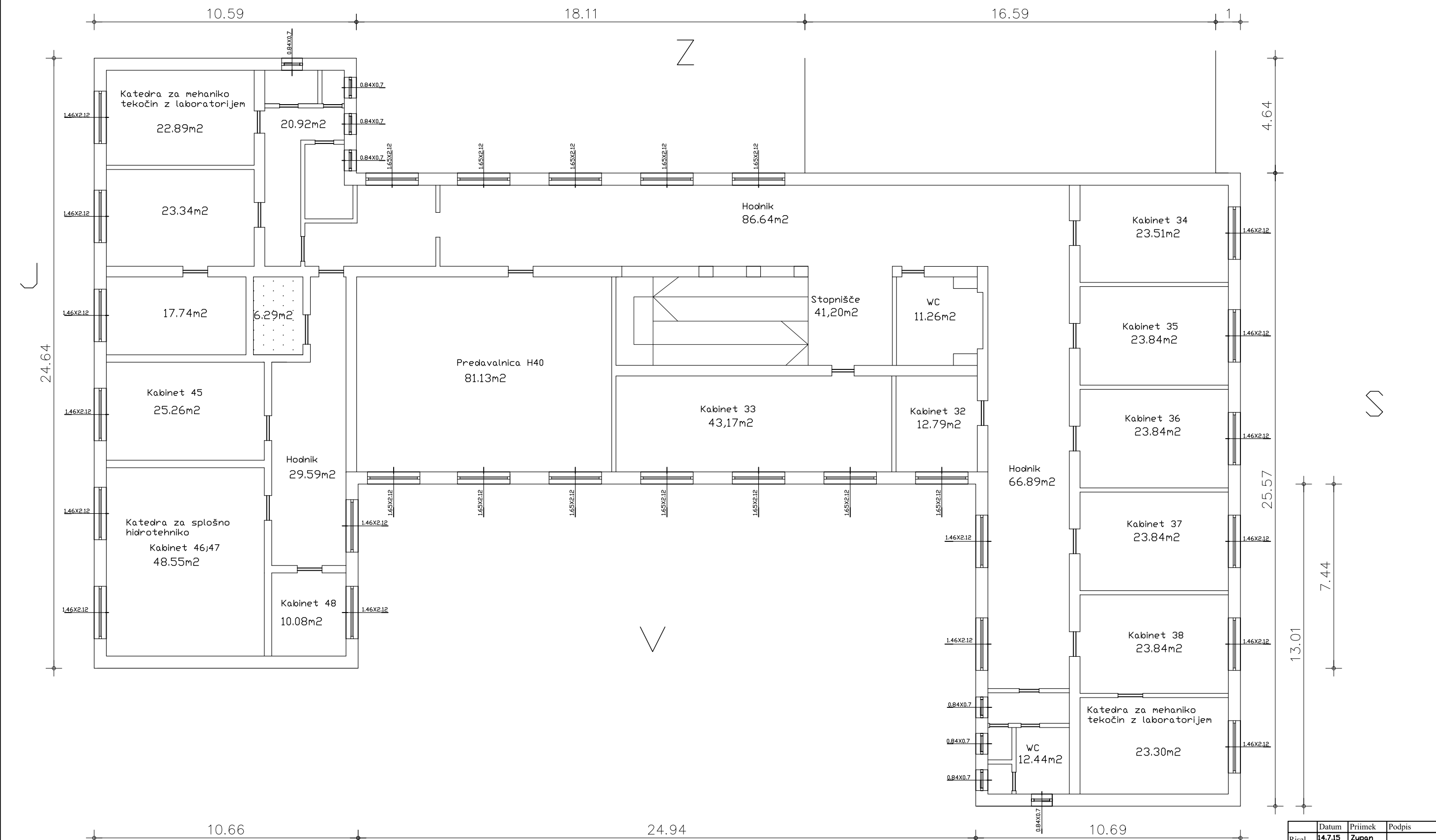


	Datum	Primek	Podpis
Risala	14.7.15	Zupan	
Merilo	1:150		
Projekt	Hajdrihova		
Naziv	Tloris pritličja		
Št.risbe		List	2/4





	Datum	Priimek	Podpis
Risal	14.7.15	Zupan	
Merilo	1:150		
Projekt	Hajdrihova		
Naziv	Tloris 1. nadstropja		
Št.risbe			List 3/4



	Datum	Priimek	Podpis
Risal	14.7.15	Zupan	
Merilo	1:150		
Projekt			
Naziv	Hajdrihova		
Št.risbe	Tloris 2. nadstropja		
	Št.risbe	List	4/4