

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:

Završki, J., 2014. BIM kot orodje za trajnostno gradbeništvo in energetska prenova. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Cerovšek, T., somentor Košir, M.): 43 str.

Datum arhiviranja: 20-10-2014

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:

Završki, J., 2014. BIM kot orodje za trajnostno gradbeništvo in energetska prenova. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Cerovšek, T., co-supervisor Košir, M.): 43 pp.

Archiving Date: 20-10-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidatka:

JERNEJA ZAVRŠKI

**BIM KOT ORODJE ZA TRAJNOSTNO
GRADBENIŠTVO IN ENERGETSKO PRENOVO**

Diplomska naloga št.: 131/B-GR

**BIM FOR SUSTAINABLE DESIGN AND ENERGY
EFFICIENCY IMPROVEMENTS**

Graduation thesis No.: 131/B-GR

Mentor:

doc. dr. Tomo Cerovšek

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

doc. dr. Mitja Košir

Ljubljana, 18. 09. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana Jerneja Završki izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »BIM kot orodje za trajnostno gradbeništvo in energetska prenova«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 15.09.2014

Jerneja Završki

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004:699.86(497.4)(043.2)
Avtor:	Jerneja Završki
Mentor:	doc. dr. Tomo Cerovšek
Somentor:	doc. dr. Mitja Košir
Naslov:	BIM kot orodje za trajnostno gradbeništvo in energetska prenova
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	43 str., 5 pregl., 20 sl., 7 pril.
Ključne besede:	BIM, trajnostna gradnja, energetska učinkovitost, dnevna svetloba

Izvleček

Diplomska naloga obravnava možnosti uporabe orodij BIM pri načrtovanju objektov v skladu z vidiki trajnostne gradnje in pri energetska prenovi. S tem namenom smo najprej preučili možnosti uporabe BIM in vidike trajnostne gradnje ter opredelili kriterije za vrednotenje trajnostnih stavb po metodi LEED. Pri obravnavi možnih uporab BIM pri trajnostnem gradbeništvo smo se osredotočili predvsem na okoljske vidike v smislu analize orientacije objekta na zemljišču, zadostne osvetljenosti prostorov, energetske učinkovitosti in emisij CO₂.

V nadaljevanju naloge smo za izbran objekt izdelali informacijski model in izvedli različne analize osončenja in osenčenja, zadostne osvetljenosti, vpliva mikroklima lokacije in rabe energije v stavbi. Program SketchUp smo uporabili za izdelavo poenostavljenega 3D modela stavbe, ki je primeren za uporabo na v idejni zasnovi projekta. Z uporabo vtičnikov smo na njem izvedli analize osenčenja, navidezno pot sonca po nebu ter vidljivost neba. Izdelan model smo uvozili tudi v program Velux Daylight Visualizer, kjer se izvedejo analize osvetljenosti prostorov. V programu ArchiCAD smo naredili informacijski model stavbe, ki bi bil primeren za uporabo v PGD in PZI stopnjah projekta. Tak model vsebuje podatke o sestavah konstrukcijskih sklopov in uporabljenih sistemih ogrevanja, prezračevanja ter hlajenja (HVAC). Uporabili smo ga za izvedbo energetske analize v programu ArhiCAD z vtičnikom Energy Evaluation. Energetska analiza se ponovi tudi v programih Knauf Insulation Energija, TEDI in TOST. Ti programi ne temeljijo na informacijskem modelu stavbe, je pa njihova obravnava značilnosti HVAC sistemov v stavbi bolj podrobna. Zaradi različnih vhodnih podatkov v programih, lahko prihaja do razlik med rezultati. Izvedli smo primerjavo dobljenih rezultatov iz obravnavanih programov.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 004:699.86(497.4)(043.2)
Author: Jerneja Završki
Supervisor: assist. prof. Tomo Cerovšek, Ph. D.
Cosupervisor: assist. prof. Mitja Košir, Ph. D.
Title: BIM for sustainable design and energy efficiency improvements
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 43 p., 5 tab., 20 fig., 7 ann.
Key words: BIM, sustainable design, energy efficiency, daylight

Abstract

This graduation thesis focuses on the possibilities of BIM uses for sustainable design and energy efficiency improvements. First, we address possible uses of BIM in general, and continue with aspects of sustainable design in-line with LEED rating systems. In this process we predominantly studied environmental aspects, such as building massing studies and building orientation, sufficient daylight, exposure to the sun, energy efficiency and CO₂ emissions.

For a selected case study we also developed a building information models (BIM) at different levels of details. In the first step we developed a simplified BIM in Sketchup, which was found useful for conceptual design phase to determine the impact on the location and orientation. Using available plugins we did a shadow analysis and determined sun path along with visibility of the sky. The model was also imported into Velux Daylight Visualizer, in which daylight analysis was made. A detailed building information model using ArchiCAD was created. The model contains information about building envelope, including composite structures and building systems - heating, ventilation and air conditioning (HVAC). Based on this building information model a detailed semi dynamic energy analysis was performed using the plugin Energy Evaluation. The energy analysis was also calculated with other software programs that were not directly connected with the model, only relevant data was used, these are: Knauf Insulation Energija, TEDI and TOST. Because input data for each program is different, the results may also vary. Thus, a comparison of results between used programs was made.

ZAHVALA

Za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Tomu Cerovšku in somentorju doc. dr. Mitji Koširju.

Zahvaljujem se tudi podjetju Projekta inženiring Ptuj d.o.o., da so mi omogočili dostop do potrebne projektne dokumentacije.

Posebna zahvala gre staršem, ki so mi omogočili študij in mi tekom študija stali ob strani. Hvala tudi sestri in Tadeju za moralno podporo.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
1.1 Opis problema	1
1.2 Namen in cilj	2
1.3 Metoda dela	2
2 INFORMACIJSKO MODELIRANJE ZGRADB IN TRAJNOSTNA GRADNJA	3
2.1 INFORMACIJSKO MODELIRANJE ZGRADB	3
2.1.1 Vidiki informacijskega modeliranja stavb	3
2.1.2 Metode uporabe BIM	3
2.2 Trajnostni razvoj, trajnostna gradnja	5
2.2.1 Vidiki trajnostne gradnje	5
2.2.2 Metode vrednotenja trajnostne gradnje	8
3 UPOŠTEVANJE VIDIKOV TRAJNOSTNE GRADNJE Z BIM	11
3.1 Možnosti uporabe BIM v procesu trajnostnega načrtovanja stavbe	11
3.2 Programska oprema	15
4 PRIMER PRIKAZA UPORABE BIM V OKVIRU TRAJNOSTNE GRADNJE	17
4.1 Opis objekta	17
4.2 Analiza lokacije umestitve objekta v prostor	18
4.2.1 Izbira lokacije	18
4.2.2 Lokalni geo-meteorološki pogoji	19
4.2.3 Obstoječa infrastruktura	20
4.3 Izdelava modela	21
4.3.1 Analiza zasnove s programom SketchUp	21
4.3.2 Izdelava modela v ArchiCAD-u	25
4.4 Energetska analiza objekta	28
4.4.1 Program ArchiCAD	29

4.4.2	Program Knauf Insulation Energija	30
4.4.3	V programu TOST in TEDI	31
4.5	Ugotovitve in primerjava rezultatov	33
4.5.1	Izbira debeline toplotne izolacije	35
5	SKLEP	38
VIRI		40

KAZALO PREGLEDNIC

Tabela 1: Primerjava stopnje podrobnosti modela v programih.....	16
Tabela 2: Povprečne vrednosti osvetljenosti in KDS v obravnavanih prostorih določene v opoldanskem času.....	25
Tabela 3: Sestave konstrukcijskih sklopov	28
Tabela 4: Primerjava rezultatov.....	34
Tabela 5: Začetna investicija v TI in letni stroški ogrevanja.....	36

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz tlorisa pritličja z zunanjimi dimenzijami	17
Slika 2: Položaj obravnavane lokacije v Sloveniji.....	18
Slika 3: Verjetnost pojava erozije tal	19
Slika 4: Verjetnost pojava plazov	19
Slika 5: Prikaz glavnih cest (označene z rdečo barvo).....	20
Slika 6: Obstoječa infrastruktura	21
Slika 7: Konceptualni model	22
Slika 8: Prikaz okolice	22
Slika 9: Pot sonca.....	23
Slika 10: Vidnost neba in pot Sonca	23
Slika 11: Levo - izbrana orientacija objekta, desno - 15° zasuk v smeri urinega kazalca.....	24
Slika 12: Pogled na zahodno in južno fasado	26
Slika 13: Pogled na vzhodno in južno fasado	26
Slika 14: Pogled na vzhodno in severno fasado	26
Slika 15: Prikaz vpada sončnih žarkov v igralnice	27
Slika 16: ArchiCAD – rezultati	30
Slika 17: KI Energija – rezultati	31
Slika 18: TOST - rezultati	32
Slika 19: Vpliv debeline toplotne izolacije na letne stroške ogrevanja.....	36
Slika 20: Letna poraba energije za ogrevanje v odvisnosti od debeline izolacije.....	37

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

BIM – Informacijsko modeliranje zgradb, *angl. Building Information Modeling*

BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

CAD – *angl. Computer Aided Design*, računalniško podprto načrtovanje

CASBEE – *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*

CH₄ – metan

CFC - klorofloroogljikovodik

CO₂ – ogljikov dioksid

DGNB – *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*

HVAC – sistemi ogrevanja, prezračevanja in klimatske naprave, *angl. Heating, ventilation and air conditioning*

KDS – količnik dnevne svetlobe

LCA – analiza življenjskega cikla stavbe, *Life-cycle analysis*

LCC – stroškovna analiza življenjskega cikla stavbe, *Life-cycle costing*

LEED – *Leadership in Energy and Environmental design*

LOD – *Level of development*

N₂O – dušikov oksid

PURES 2010 – Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, Uradni list RS, št. 52/2010.

SBS – sindrom bolne stavbe, *angl. Sick building syndrome*

1 UVOD

1.1 Opis problema

Posameznik v vsakodnevnem delovanju upošteva posledice, ki jih ima na sebe in na soljudi ter izloči tiste, ki bi nanje imele negativen vpliv, medtem ko pozabi na vpliv, ki ga ima na okolje. Šele posledice v obliki podnebnih sprememb in pomanjkanje neobnovljivih virov energije so privedli do začetka iskanja alternativnih rešitev.

Razvoj, ki poleg gospodarskega in družbenega vključuje tudi okoljski vidik, se imenuje trajnostni razvoj. »Trajnostni ali vzdržni razvoj je težnja po izboljšanju kakovosti življenja tako, da bomo živeli v okviru zmogljivosti podpornih ekosistemov« [1].

Celosten pristop k načrtovanju objektov zahteva obravnavo estetske vrednosti objekta, stroškovne uspešnosti projekta, varnost in zanesljivost objekta, dostopnost, funkcionalnost, produktivnost in udobje uporabnikov, varovanje kulturne dediščine in trajnostno gradnjo. S celostnim pristopom je mogoče zasnovati visokoučinkovite stavbe [2]. V diplomski nalogi se bomo osredotočili na načrtovanje v skladu s trajnostnimi rešitvami. V okviru trajnostnega načrtovanja se stremi k optimizaciji objekta v celotnem življenjskem ciklu, kar pomeni čim višjo kakovost zgradbe in udobje uporabnikov pri hkratnem čim manjšem vplivu na okolje in čim nižjo porabo energije.

Obravnavati je potrebno emisije toplogrednih plinov, kar 80% jih predstavlja ogljikov dioksid – CO₂, saj prevelike količine v ozračju povzročajo globalno segrevanje ozračja. Pri stavbah se izpusti CO₂ proizvajajo s pridobivanjem, predelavo in transportom materialov za gradnjo, s porabo energije potrebne za obratovanje stavbe in z gradnjo stavb na oddaljenih območjih. Emisije se lahko zmanjša z uporabo lokalnih materialov, z dostopnostjo javnih prevoznih sredstev in z zmanjšanjem energetskih potreb stavbe. Energetske potrebe stavbe in njen vpliv na okolje se simulira s primernimi računalniškimi programi [3].

Informacijsko modeliranje zgradb (*angl. Building information modeling*, v nadaljevanju BIM) »je digitalni zapis in predstavitev informacij o konkretni stavbi za komunikacijo med udeleženi v gradbenem projektu. Model BIM vsebuje geometrijske in negeometrijske informacije. Geometrijske informacije določajo digitalni 3D model stavbe, sestavljen iz elementov, ki so digitalni ekvivalent pravih elementov stavb. Negeometrijski del določa dodatne informacije o stavbi in njenih elementih ter lastnostih, ki se nanašajo na funkcijo, obliko in materiale« [4].

1.2 Namen in cilj

V diplomski nalogi se ukvarjamo s tem kako uporabiti orodja BIM pri trajnostnem načrtovanju stavb. Pri načrtovanju v skladu s trajnostnimi kriteriji je potrebno preučiti različne možnosti in poiskati rešitev, ki bo okolju prijazna in hkrati zadostila potrebam uporabnikov stavbe. Namen uporabe BIM v procesu načrtovanja je poenostavitev in pospešitev iskanja optimizirane rešitve. Zanima nas kako podroben informacijski model je potreben v posameznih fazah načrtovanja in katere vidike trajnostne gradnje lahko z njim obravnavamo ter kakšne so možnosti uporabe BIM za izboljšanje energetske učinkovitosti stavb. S tem namenom se v nalogi najprej opredeli relevantne pojme – BIM, trajnostna gradnja.

Cilji diplomske naloge so:

- Preučitev možnosti uporabe BIM pri projektiranju v skladu z okoljskimi kriteriji trajnostne gradnje.
- Preučitev možnosti uporabe BIM pri energetske analizi objekta.
- Prikaz na praktičnem primeru.

1.3 Metoda dela

V diplomski nalogi se uporabi metoda »*learning by doing*«, kjer se študij obstoječe literature in programske opreme istočasno poveže z delom na praktičnem primeru. Diplomska naloga tako obsega teoretični in praktični del.

- V teoretičnem se izdela študija literature, definirajo ključni pojmi (BIM, trajnostna gradnja) in teoretični vidiki doseganja ciljev.
- Praktični del se izvede z uporabo različnih računalniških programov (SketchUp, ArchiCAD). Izdela se model izbranega objekta, ki se uporabi za preučitev in optimizacijo njegove energetske učinkovitosti. Energetske potrebe objekta se določijo v programu ArchiCAD z vtičnikom Energy Evaluation ter s programoma Knauf Insulation Energija (v nadaljevanju KI Energija), TEDI [5] in TOST [6]. V omenjena programa se podatki vnesejo ročno, medtem ko Energy Evaluation sam pridobi večino podatkov iz informacijskega modela izdelanega v programu ArchiCAD.

2 INFORMACIJSKO MODELIRANJE ZGRADB IN TRAJNOSTNA GRADNJA

2.1 INFORMACIJSKO MODELIRANJE ZGRADB

Stavbe so vedno bolj kompleksne, s čimer prihaja do zahteve po bolj obsežni projektni dokumentaciji. Z razvojem računalniške opreme se je uveljavil CAD (*Computer Aided Design*) pristop k načrtovanju stavb, ki je pospešil proces izdelave projektne dokumentacije. S tem se je spremenil način izdelave risb, končni izdelek pa so še vedno posamezne 2D risbe (tlorisi, prerezi, detajli, ipd.), ki med sabo niso povezane. Ker pri projektih sodeluje več udeležencev – strokovnjaki različnih strok, investitorji, izvajalci – in se tekom projekta podatki pogosto spreminjajo, je dosleden nadzor ustreznosti podatkov na risbah zahteven. Potrebno je zagotoviti primerno komunikacijo med sodelujočimi v projektu in zastaviti jasne cilje projekta [7].

2.1.1 Vidiki informacijskega modeliranja stavb

Informacijsko modeliranje zgradb, BIM (*angl. Building information modeling*), predstavlja alternativo klasičnemu CAD pristopu, saj omogoča celosten pristop k načrtovanju objekta. Rezultat takšnega pristopa je informacijski model zgradbe [3] »To je digitalni zapis geometrijskih in funkcionalnih karakteristik stavbe. Omogoča celosten pregled nad stavbo in projektno dokumentacijo ter lažjo komunikacijo med udeleženci v vseh fazah življenjskega cikla zgradbe« [8]. Geometrijske karakteristike zajemajo elemente, ki sestavljajo 3D model in so digitalni ekvivalent fizičnih elementov stavb. Funkcionalne pa se nanašajo na informacije o lastnostih stavbe (funkcija, oblika, materiali). [4]

Gre za modeliranje s parametričnimi knjižnicami digitalnih elementov stavb. Vsi podatki o modelu so zapisani v eni zbirki podatkov [3]. »Pri klasičnem tehničnem risanju je 2D risba en sam statičen pogled na stavbo, medtem ko lahko v modelu BIM izdelamo več pogledov, prerezov, izvlečkov količin, dimenzij« [4]. S tem se izboljša nadzor nad projektom in časovna učinkovitost, saj so morebitni popravki in spremembe takoj opazni v vseh pogledih [3].

2.1.2 Metode uporabe BIM

BIM je primeren za uporabo v vseh fazah življenjskega cikla stavbe. Pogoste uporabe BIM so vizualizacija objekta, preverjanje križanj med gradniki modela (ali se ujemajo geometrijsko), izdelava risb za projektno dokumentacijo, izdelava virtualnega modela stavbe (podrobno definirane vse lastnosti, kot bi bil zgrajen), izdelava terminskih planov, analize oblike in velikosti stavbe, določanje stroškov povezanih z gradnjo in uporabo stavbe, iskanje alternativnih rešitev, obravnava okoljskih vplivov, pridobitev certifikatov (na primer LEED) [9]. Informacijski model je uporaben tudi za izvedbo različnih

analiz, ki so potrebne pri projektiranju v skladu s trajnostno gradnjo. Pri zasnovi objekta se lahko uporabi za določanje oblike in velikosti stavbe ter primerne orientacije objekta na zemljišču. Na modelu se lahko z uporabo primernih vtičnikov in programov izvedejo analize osvetljenosti, osončenosti. V nadaljnjih fazah, ko je o objektu določenih več podatkov, pa lahko model uporabimo za določanje primerne sestave konstrukcijskih sklopov (z računom toplotne prehodnosti) in izvedbo energetskih analiz. Vse analize in odločitve sprejete v fazi zasnove, se lahko ponovijo v kasnejših fazah načrtovanja z namenom preverjanja začetnih odločitev [3].

Modeli naj bi vsebovali le informacije, ki so potrebne za izvedbo analiz v fazah načrtovanja, gradnje in uporabe stavbe. Nepotrebne dodatne informacije naredijo model bolj kompleksen, s čimer se podaljša čas izvajanja analiz. Zato je potrebno stopnjo podrobnosti modela prilagoditi posamezni fazi procesa načrtovanja gradnje in upoštevati čemu bo model namenjen [9].

Potrebna stopnja podrobnosti modela se lahko opredeli z uporabo LOD specifikacij (*angl. Level of development*), ki določa pet stopenj razvitosti modela [10]:

- **LOD 100.** Posamezen element stavbe je v modelu prikazan shematsko, ne ustreza pa zahtevam za doseganje stopnje LOD 200 (elementi so določeni s črtami ali prostorskimi conami).
- **LOD 200.** Element stavbe je v modelu shematsko prikazan v 3D. Določene so približna velikost, oblika, lokacija in orientacija elementa.
- **LOD 300.** Element je prikazan v modelu z natančno določenimi dimenzijami, vrsto elementa, stiki med elementi in lokacijo elementa.
- **LOD 400.** Element je prikazan z natančno določenimi dimenzijami, stiki, lokacijo elementa. Določene so tudi informacije o detajlih, proizvodnji, sestavi in vgradnji elementov.
- **LOD 500.** Model je izdelan z natančnostjo dejanske stavbe. Elementi v modelu so prikazani na nivoju dejanskih lastnosti v smislu velikosti, oblike, lokacije, količine in orientacije.

Dosežena stopnja LOD predstavlja pričakovano zanesljivost rezultatov, glede na informacije, ki jih model vsebuje. Stopnje LOD določajo okvirne meje in obseg informacij, ki jih mora model vsebovati za doseganje posameznega nivoja razvitosti. S tem se izognemo prekomernemu vnosu (nepotrebnih) informacij in nepotrebnemu vlaganju časa v izdelavo modela [10].

2.2 Trajnostni razvoj, trajnostna gradnja

Pojem trajnostnega razvoja je sicer prisoten že več desetletij, zavedanje o njegovi pomembnosti pa je naraslo v zadnjem času, ko so se začele kazati posledice onesnaževanja okolja in prekomerne rabe naravnih virov. Trajnostni razvoj je po definiciji tak, da »zadovoljuje potrebe sedanjega človeškega rodu, ne da bi pri tem ogrožal možnost prihodnjih rodov, da bi zadovoljili svoje potrebe« [11].

Načela trajnostnega načrtovanja so v splošnem zmanjšanje porabe virov, ponovna uporaba virov, uporaba materialov primernih za recikliranje, varstvo narave, omejevanje uporabe toksičnih elementov, apliciranje stroškov življenjske dobe objekta in osredotočenost na kvaliteto [12].

V Evropi stavbe porabijo več kot 40% proizvedene energije, proizvodnja in transport gradbenih materialov ter uporaba stavbe (fosilna goriva) pa so tudi razlog za 36% izpustov CO₂ v ozračje [13]. Evropski svet je leta 2007 sprejel cilj, da bi do leta 2020 povečali energetska učinkovitost stavb in zmanjšali emisije toplogrednih plinov za 20% ter zagotovili vsaj 20% delež energije iz obnovljivih virov [14]. Ta cilj je zakonsko podkrepjen z »Direktivo 31/2010/EU o energetska učinkovitosti stavb – prenovitev« [15]. Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010) »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 energijskih lastnosti stavbe v skladu z Direktivo 31/2010/EU« (UL RS št. 52/2010) [16]. Za izpolnjevanje predpisanih zahtev, ki jih definira PURES 2010, se uporabi Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010. Njena uporaba je obvezna in »določa gradbene rešitve za doseg zahtev iz tega pravilnika in metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe« [17].

2.2.1 Vidiki trajnostne gradnje

Pri načrtovanju trajnostne stavbe je potrebno obravnavati štiri vidike [12]:

- okoljski,
- ekonomski,
- družbeni in
- zdravstveni vidik.

Okoljski vidik. Vzpodbuja se razbremenitev okolja, skrbno ravnanje in ohranjanje naravnih virov, zmanjšanje izpustov CO₂, porabe energije in količine odpadkov, varčevanje s pitno vodo in reciklaža materialov [3]. Za določanje vplivov na okolje se lahko izvede analiza LCA – *Life-cycle assessment*, ki obravnava okoljske vplive uporabljenih materialov ali celotne stavbe v njenem življenjskem ciklu. V sklopu te analize se preuči porabljena energija, onesnaženje zraka, vode in zemljišč. Obravnava se pridobivanje materialov, njihova predelava, vgradnja, transport in recikliranje oziroma odlaganje na smetišča [12].

Okoljski vidiki gradnje, ki jih je potrebno preučiti so lokacija gradnje, zmanjšanje porabe energije in izpustov CO₂, poraba vode in primerna izbira materialov:

- **Izbira zemljišča za gradnjo:** Pri izbiri zemljišča se mora preučiti topografske lastnosti lokacije (nagnjenost terena, vrsta zemljine, ipd.) ter klimatske pogoje izbrane lokacije (vpliv na količino padavin, osončenje) in možnosti opremljenosti zemljišča s priključki na javno komunalno infrastrukturo. Obravnavajo se tudi možnosti razvoja lokacije na mikro nivoju v smislu ohranjanja naravnih ekosistemov, ohranjanja in zasajanja vegetacije, širjenja kolesarskih in peš poti ter pridelovanja hrane, kjer je to mogoče. Pred izbiro lokacije gradnje je potrebno preučiti bližino šol, trgovin, zdravstvene oskrbe in podobnih objektov ter bližino javnih prevoznih sredstev in možnosti uporabe kolesarskih in pešpoti kot vrste transporta. Vzpodbuja se tudi ponovna uporaba opuščanih zemljišč [3].
- **Energija in emisije CO₂:** Uporaba in pridobivanje neobnovljivih virov energije, kot so fosilna goriva, ima negativen vpliv na okolje, saj se pri tem sproščajo toplogredni plini, ki povzročajo segrevanje ozračja. Pričakovane posledice so med drugim dvig morske gladine, močnejše nevihte, taljenje ledu, suša, zmanjšanje količine pridelane hrane, vse pa bodo imele negativen vpliv na kakovost življenja ljudi. Toplogredne pline večinoma sestavlja ogljikov dioksid (CO₂), ostali pa so še metan (CH₄), dušikovi oksidi (N₂O) in klorofloroogljikovodiki (CFC). Njihovo prisotnost v ozračju izrazimo z njihovo vsebnostjo CO₂. Porabljena energija v stavbah se lahko zniža z ustreznim načrtovanjem – s pasivnimi strategijami, ki upoštevajo orientacijo in obliko stavbe za optimizacijo osvetljenosti in izkoriščanja vetra za naravno prezračevanje, z izboljšanjem fasadnega ovoja stavbe, z vgradnjo energetske učinkovitih sistemov ogrevanja, prezračevanja in hlajenja (HVAC, *angl. Heating, ventilation and air conditioning systems*) in z uporabo obnovljivih virov [12].
- **Varčevanje z vodo:** V stavbah se večinoma uporablja pitna voda tudi tam, kjer to ni potrebno. Ker so njene količine na Zemlji omejene, se lahko njena uporaba zamenja z deževnico in z

odpadno sivo vodo. Siva voda je uporabljena voda iz tušev, umivalnikov, pralnih strojev, ipd. Deževnica se lahko zbira iz streh, dvorišča, parkirišč. Zagotoviti je potrebno primeren zbiralnik in po potrebi filtriranje. Takšna voda se lahko uporabi za zalivanje vrtov, hlajenje, uporabo v straniščih, za gašenje v primeru požara, ipd. [12].

- **Izbira materialov:** Stavba bi naj bila načrtovana tako, da bi bile potrebne količine materialov čim manjše. Pri izbiri primernih materialov za gradnjo se vzpodbuja ponovna uporaba že vgrajenih materialov, uporaba materialov, ki se lahko reciklirajo in izdelkov narejenih iz obnovljivih virov ter uporaba lokalno pridobljenih materialov (krajši transport) [12].

Ekonomski vidik. Energetsko učinkoviti mehanski sistemi običajno zahtevajo večjo začetno investicijo, vendar so posledično letni stroški obratovanja nižji. S stroškovno analizo življenjskega cikla stavbe (LCC – *Life-cycle costing*) se preveri, ali je začetna investicija upravičena, glede na letni prihranek stroškov obratovanja. Skupni stroški tekom življenjske dobe vgrajenega sistema se lahko primerjajo z energetsko manj učinkovitimi mehanskimi sistemi, ki so običajno na začetku cenejši, imajo pa višje letne stroške obratovanja [12].

Družbeni in zdravstveni vidik. Varnost, zdravje in udobje uporabnikov stavbe se zagotavlja s kakovostnim notranjim okoljem. To se lahko doseže s kvalitetnim notranjim zrakom, primerno osvetljenostjo, vzpostavljanjem povezave z zunanjim okoljem, s kontrolo hrupa in vibracij ter z zagotavljanjem toplotnega udobja uporabnikov [12].

Iz zdravstvenega vidika je potrebno obravnavati vpliv notranjega okolja stavbe na fizično in psihično počutje ljudi. Fizične motnje, kot so hrup, kvalitetna osvetljenost, toplotno okolje in neprijetne vonjave, lahko dolgoročno gledano vodijo do zdravstvenih težav uporabnikov, zato jih je potrebno odpraviti oziroma prilagoditi okolju. Bolj problematične pa so prisotnost strupenih snovi v gradbenih materialih, ki se sproščajo v obliki plinov ali prašnih delcev, in biološki onesnaževalci, kot so bakterije in mikroorganizmi. Temu se lahko izognemo tako, da se pri načrtovanju objekta izberejo okolju prijazni materiali in da se med uporabo zagotavlja primerno in zadostno prezračevanje objekta [12].

Posledica nekovostnega notranjega okolja je sindrom bolne stavbe (SBS, angl. *Sick building syndrome*). Gre za stanje, kjer ima vsaj 20% uporabnikov enake bolezenske simptome, ki trajajo več kot dva tedna, njihov vzrok pa ni natančno definiran. Pojavi se lahko zaradi neustreznega prezračevanja, škodljivih snovi, ki se sproščajo iz gradbenih materialov ter prisotnosti bakterij in mikroorganizmov (pogost primer je legionela). Simptomi, ki jih uporabniki doživijo so glavoboli, utrujenost, težave s koncentracijo, draženje oči, nosu in grla ter suha in srbeča koža [12].

2.2.2 Metode vrednotenja trajnostne gradnje

Z namenom, da se vzpodbudi načrtovanje, gradnja in uporaba stavb, ki so skladne s trajnostnimi kriteriji, se je razvilo več metod za ovrednotenje stavb. Na ta način se določi standardna merila, ki stavbo klasificirajo kot trajnostno, in omogočajo primerljivost predlaganih tehničnih rešitev (znotraj posamezne metode) [12].

Med najbolj uporabljanimi metodami trajnostnih kriterijev so ameriška LEED - Leadership in Energy and Environmental design, japonska CASBEE - Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency, britanska BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method in nemška DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen [3]

V nadaljevanju se bomo ukvarjali predvsem z okoljskimi vidiki trajnostne gradnje, ki jih pri vrednotenju stavb obravnava tudi ameriška metoda LEED. Za boljše razumevanje kaj se od trajnostne stavbe pričakuje, bomo to metodo opisali bolj podrobno. Pridobitev LEED certifikata ni obvezna, vrednotenje pa opravi pooblaščen strokovnjak. Znotraj LEED je razvitih več metod ocenjevanja. Glede na vrsto projekta (prenova, novogradnja) in namen stavbe se ocenjujejo različni kriteriji, sistem ocenjevanja pa temelji na istem principu [12].

Ocenjuje se pet kategorij [12]:

- **Trajnostni razvoj lokacije**, ki vključuje:
 - izbiro lokacije, gostoto prebivalstva in povezanost soseščine,
 - oživitev opuščениh stavb,
 - možnosti alternativnega transporta (javni prevoz, uporaba koles, uporaba električnih vozil, parkirna mesta),
 - ohranitev naravnih ekosistemov, odprtost lokacije,
 - upravljanje z meteorno vodo, ki je odvisna od lokacije in skupnega vpliva grajenega okolja (nadzor nad njeno količino in kvaliteto),
 - možnosti pojava urbanega toplotnega otoka (na strehi in na ostalih površinah),
 - zmanjšanje svetlobnega onesnaževanja.

- **Učinkovita raba voda**, ki vključuje:

- zmanjšano rabo vode,
- učinkovito ureditev krajinske arhitekture (manjša poraba vode za zalivanje, neuporaba pitne vode),
- uporabo inovativnih sistemov za ponovno rabo odpadne vode.
- **Energija in atmosfera**, ki vključuje:
 - minimalne zahteve za energetska učinkovitost,
 - optimizacijo energetske učinkovitosti stavbe,
 - uporabo obnovljivih virov energije,
 - nadzor nad energetska učinkovitostjo stavbe in organizacijo hlajenja,
 - meritve in njihovo verifikacijo,
 - uporabo električne energije, ki je pridobljena iz obnovljivih virov.
- **Materiali in njihovi viri**, ki vključuje:
 - zbiranje in hranjenje materialov za reciklažo,
 - ponovno rabo delov stavb,
 - upravljanje z gradbenimi odpadki,
 - ponovno rabo materialov,
 - uporabo lokalnih materialov,
 - uporabo hitro obnovljivih materialov,
 - uporabo lesa s certifikati.
- **Kakovost bivalnega okolja**, ki vključuje:
 - minimalno kakovost notranjega zraka,
 - učinkovito prezračevanje,

- upravljanje s kakovostjo zraka med gradnjo in pred uporabnim dovoljenjem,
- neuporabo zdravju škodljivih snovi med gradnjo (uporaba primernih lepil, barv, premazov),
- zagotavljanje toplotnega udobja,
- dnevno svetlobo in poglede.

Dodatna kategorija je inovativnost načrtovanja ter regionalne prednostne naloge [3].

Z zadoščanjem kriterijem v posameznih kategorijah stavba zbira točke na podlagi katerih nato pridobi določeno stopnjo certifikata – certificirana (26-32 točk), srebrna (33-38 točk), zlata (39-51 točk) in platinasta (52-69 točk) [3].

3 UPOŠTEVANJE VIDIKOV TRAJNOSTNE GRADNJE Z BIM

Tako kot pri metodi vrednotenja trajnostnih stavb LEED, se bomo tudi mi osredotočili predvsem na okoljski vidik trajnostne gradnje. Pri projektiranju se obravnava različne možnosti gradnje in poišče rešitev za umestitev objekta v prostor. Določijo se tudi oblikovni in funkcionalni kriterije za doseganje energetske učinkovitosti objekta. V ta namen se preuči podnebje in izvedejo študije osončenja, osvetlitve stavbe ter naredi celostno energetska analizo stavbe [3].

Za bolj celovit pristop k trajnostnemu načrtovanju se lahko uporabi model BIM. V fazi zasnove lahko služi kot osnova za določanje oblike stavbe in primerne umestitve na lokacijo, v nadaljnjih fazah pa se lahko uporabi kot osnova za študije osončenosti in energetske analize. S spreminjanjem potrebnih podatkov se lahko posamezne analize izvedejo večkrat, s primerjavo dobljenih rezultatov pa se lahko pride do bolj optimiziranih rešitev. Takšno »eksperimentiranje« je hitro in poceni izvedljivo, rezultati pa so vidni takoj [3].

3.1 Možnosti uporabe BIM v procesu trajnostnega načrtovanja stavbe

V fazi zasnove je veliko podatkov o stavbi še nedefiniranih. Znana je lokacija objekta in njegova namembnost, ostale karakteristike se določijo z dialogom med investitorjem in projektantom. Načela trajnostne gradnje je potrebno vpeljati v projekt že od samega začetka, kar nam načrtovanje z BIM tudi omogoča [3].

V izbranem računalniškem programu se pripravi konceptualni model objekta, ki služi kot podlaga za študije osončenosti oziroma osenčenosti stavbe, analizo prejetega sončnega sevanja in osvetlitve prostorov v fazi zasnove. Model je poenostavljen, saj večina podatkov o stavbi še ni znana in na tej točki še ni potrebe po detajlih. Znotraj programa se določi lokacija, po navadi z geografskimi koordinatami. Energetskim potrebam stavbe se poskuša čim bolj zadostiti z izkoriščanjem pasivnega ogrevanja in ohlajanja, s čimer se razbremenijo mehanski sistemi v stavbi. Za optimalno izrabo naravnih virov in zmanjšanja potreb po dovedeni energiji se na modelu izvedejo študije orientacije in oblike stavbe ter osončenja [3].

Orientacija stavbe. Orientacija stavbe se določi kot optimizirana umestitev stavbe v prostor glede na navidezno pot sonca po nebu. Pravilen položaj stavbe vpliva na kvaliteto in količino naravne svetlobe v stavbi, optimalno postavitve solarnih kolektorjev in fotovoltaičnih modulov ter na možnost pasivnega ogrevanja in hlajenja. V splošnem je stavba v zmernem klimatskem pasu optimalno orientirana takrat, ko ima daljšo fasado obrnjeno proti jugu oziroma je odklonjena pod kotom $\pm 20^\circ$ glede na to smer. Na

določitev primerne orientacije stavbe pa vpliva tudi njena neposredna okolica, predvsem večji sosednji objekti, vegetacija in topografija terena [3].

Pri orientiranju stavbe je potrebno obravnavati tudi izpostavljenost objekta sončnim žarkom. V splošnem imajo največji vpliv na osončenost objekta gostota naselitve, orientacija in oblika stavbe. Od orientacije stavbe je odvisno katere površine fasadnega ovoja bodo izpostavljene sončnim žarkom in koliko časa dnevno jim bodo izpostavljene [18].

Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 predpisuje minimalno izpostavljenost objekta sončnim žarkom. Z vidika učinkovite rabe energije je določeno, da mora biti »sončnemu sevanju izpostavljena površina zunanjega ovoja stavbe (zbiralna površina), ki opravlja toplotno energijsko funkcijo (zunanje stene in streha), osončena od povprečne višine 1 m nad terenom navzgor, v času:

- zimskega solsticija (21. 12.) najmanj 2 uri, upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju $\pm 30^\circ$ odstopanja od smeri jug,
- ekvinokcija (21. 03. in 23. 09.), najmanj 4 ure, upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju $\pm 60^\circ$ odstopanja od smeri jug,
- poletnega solsticija (21. 06.) najmanj 6 ur, upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju $\pm 110^\circ$ odstopanja od smeri jug« [17].

Z BIM se primerna orientacija stavbe določi tako, da se v programu definira lokacija modela. V program se vnesejo tudi sosednji objekti in vegetacija, ki vplivajo na osončenost obravnavanega objekta. Sosednje stavbe so lahko preprostih kubičnih oblik, pomembni so le njihova višina, širina in oddaljenost od objekta. Model se nato z daljšo fasado obrne proti jugu (v programu) in vrtil na mestu z manjšo spremembo kota (na primer 15°). Pri tem se opazuje osenčenost izbranega dela stavbe. V tem koraku se lahko v programu uporabijo vtičniki, ki izračunajo dnevno količino sonca/senc in rezultate podajo v grafični obliki. Dobljeni rezultati se uporabijo kot pomoč pri končni umestitvi stavbe v prostor [3].

Oblika stavbe. Objekt mora biti zasnovan tako, da omogoča dostop naravne svetlobe uporabnikom in hkrati zagotavlja njihovo udobje ter prihrani čim več energije. Pri določanju oblike se upošteva vrsta stavbe, podnebje, število uporabnikov in urnik uporabe. Na podlagi znanih podatkov se določi potrebna tlorisna površina stavbe. Nato se v računalniškem programu izdelava enostaven model, ki se mu spreminja oblika tlorisa in število nadstropij (uporabna tlorisna površina se ohranja). S tem se spreminja tudi površina ovoja stavbe, kar vpliva na stroške gradnje, potrebe po hlajenju in ogrevanju, na uporabo senčil, velikost odprtín, vrsto zasteklitve. Vsi ti faktorji se upoštevajo pri iskanju optimizirane oblike. S

pomočjo BIM se enostavno izdelava več modelov različnih oblik. Na podlagi teh modelov se lahko izvede energetska analiza, kjer se pri enakih mehanskih sistemih, odstotku zasteklitve, sestavi zunanjih konstrukcijskih sklopov in časih uporabe stavbe primerja energetske potrebe stavbe. Pri izbiri primerne oblike stavbe se poleg energetskih potreb upoštevajo tudi lokacijski pogoji, vrsta stavbe in želje investitorjev [3].

Dnevna svetloba. V okviru trajnostne gradnje se stremi k uporabi naravne svetlobe, ki bi naj predstavljala primaren vir osvetlitve. Z dostopom dnevne svetlobe v prostor se namreč zmanjša potreba po umetni razsvetljavi, kar zniža porabo električne energije, s tem povezane stroške in dobitke notranjih virov [3]. Dnevna svetloba vpliva tudi na počutje, storilnost in zdravje uporabnikov stavb [19]. Naravna svetloba ustvarja povezavo med uporabniki stavbe in zunanjo okolico. Hkrati pa je potrebno zagotoviti, da okna ne povzročajo vizualnega ali toplotnega neudobja in izgube zasebnosti uporabnikov stavbe [20]. To se zagotovi s primernimi senčili. Pomembno vlogo igra tudi nevizualni biološki učinek dnevne svetlobe, ki »zajema vpliv naravne svetlobe na fiziološko in psihološko delovanje človeškega telesa« [19]. Raziskave so namreč pokazale, da ima dostop dnevne svetlobe pozitiven vpliv na počutje in zdravje uporabnikov stavbe [19].

Potrebna osvetljenost prostorov se lahko delno ali v celoti zagotovi z dnevno svetlobo, s čimer se pripomore k prihrankom energije [20]. Učinkovita izraba dnevne svetlobe je odvisna predvsem od primerne orientacije in oblike stavbe ter od velikosti transparentnih površin fasadnega ovoja in oblikovanja notranjih prostorov [3].

Osvetljenost in njena razporeditev po prostoru ima velik vpliv na hitro, varno in udobno dojetje prostora ter na izvajanje vizualnih nalog uporabnikov. Ustrezati mora zahtevam vizualnih dejavnosti v prostoru. Standard SIST EN 12464-1:2011 predpisuje minimalne vrednosti osvetljenosti delovnih površin v različnih vrstah prostorov, ki so odvisne od zahtevnosti vizualnih nalog v teh prostorih. Če te vrednosti niso dosežene samo z dnevno svetlobo, se osvetlitev lahko kombinira z električno razsvetljavo [20].

S pomočjo orodij BIM z uporabo vtičnikov se lahko na modelu izvedejo analize dnevne osvetljenosti. Zadostna osvetljenost se lahko preveri z uporabo računalniških programov za simulacijo dnevne svetlobe (npr. Radiance, Velux Daylight Visualizer, ipd.). V večini primerov je dovolj, da se obravnavajo glavni dnevi sončevih obratov, ki predstavljajo ekstreme – poletni (21. junij) in zimski (21. december) solsticij ter ekvinokcij (21. marec ali 23. september). Glede na rezultate teh analiz se nato določi vrsto zasteklitve, velikost odprtín na posameznih fasadah objekta in senčenje [3].

Na podlagi izvedenih analiz se torej objekt umesti v prostor, določi se tlorisna oblika in etažnost stavbe ter velikost in pozicija odprtín na fasadnem ovoju. Definirati je treba še sestave konstrukcijskih sklopov in mehanske sisteme. Nato se lahko izdelata natančen informacijski model stavbe [3].

Energetska analiza. Določijo se predvidene energijske potrebe stavbe. Pri tem je potrebno upoštevati transmisijske in ventilacijske izgube ter toplotne dobitke. Transmisijske izgube nastanejo zaradi prehajanja toplote skozi konstrukcijske elemente in se zmanjšajo s povečanjem toplotne izolativnosti elementa in zmanjšanjem linijskih toplotnih mostov. Ventilacijske toplotne izgube pa nastanejo pri namenskem in nenamenskem prezračevanju stavbe. Namensko prezračevanje je naravno (skozi okna) in mehansko (z lokalnim ali centralnim prezračevalnim sistemom), nenamensko pa je posledica prehajanja zraka skozi tesnila in špranje. Te izgube se lahko zmanjša z uporabo oken z boljšimi tesnili in z uporabo prezračevalnih naprav z učinkovito rekuperacijo toplote. K toplotnim dobitkom spadajo solarni dobitki in dobitki notranjih virov. Solarni so posledica sončnega sevanja in vstopajo v objekt skozi transparentne dele ovoja. Dobitki notranjih virov pa nastanejo zaradi sproščanja toplote električnih naprav v zgradbi in metabolne toplote, ki jo oddajajo uporabniki [21].

Za potrebe energetske analize se model razdeli na toplotne cone (*angl. Zones*), glede na sisteme HVAC in namembnost prostorov. Nato se izvede energetska analiza objekta, pri čemer morajo biti definirani vsi mehanski sistemi. Podatki se lahko iz modela izvozijo tudi v drug program, primeren za analizo. Simulacija energetskega obnašanja stavbe pomaga opredeliti zahtevane kapacitete in moči mehanskih sistemov. Potrebe po energiji se zmanjšajo s primerno obliko in orientacijo stavbe ter z izboljšanjem toplotne izolativnosti fasadnega ovoja stavbe in z uporabo bolj učinkovitih prezračevalnih naprav. S spreminjanjem teh podatkov se poišče optimalno rešitev, ki je poleg energetske učinkovitosti odvisna tudi od začetnih stroškov investicije. Preučiti je potrebno v kakšnem časovnem obdobju se začetni stroški povrnejo in kolikšen je prihranek v času uporabe [3].

Zbiranje meteorne vode. Zmanjšati je potrebno uporabo čiste pitne vode, kjer ni nujno potrebna. Poskusi se jo nadomestiti z deževnico in s ponovno uporabo odpadne sanitarne vode (pitna voda, ki je bila uporabljena za tuširanje, umivanje, pranje perila, ipd.), ki se lahko uporabi v straniščih. Deževnica se zbira s streh, parkirišč in terena v sodih in cisternah. Z njo se poskusi pokriti potrebe vode za stranišča, zalivanje zunanje okolice objekta, za industrijske procese, hlajenje. S primernim sistemom filtracije in čiščenja vode se jo lahko uporabi tudi za pitje, vendar to zviša stroške investicije [3].

Z uporabo podatkov o povprečnih mesečnih padavinah za izbrano lokacijo se lahko izračuna količina deževnice, ki je na razpolago za zajetje. Informacijski model se uporabi za določanje količine meteorne vode, ki se jo lahko zbere s strehe (odvisna od površine strehe). Določi se tudi potrebna količina vode,

ki je odvisna od števila uporabnikov, dni uporabe stavbe (mesečno in letno) ter dnevne uporabe (v urah). Iz podatkov o porabi vode se izračuna tudi koliko odpadne sanitarne vode se lahko ponovno uporabi [3].

3.2 Programska oprema

Zaradi večjega števila uporabnikov BIM, je na tržišču tudi več računalniških programov, ki omogočajo projektiranje z BIM. Hkrati energetska varčna gradnja zahteva vrsto analiz in preučitve različnih vidikov, ki jih je potrebno upoštevati pri načrtovanju objektov. V skladu s tem se razvijajo računalniški programi, ki omogočajo preučitev energetskih karakteristik stavbe in takšni, ki združujejo oba vidika – omogočajo informacijsko modeliranje in izvedbo potrebnih analiz.

Med najbolj razširjenimi BIM programi so ArchiCAD (proizvajalec Graphisoft), Revit Architecture (Autodesk), Allplan Architecture (Nemetschek) in Vectorworks Architect (Nemetschek) [1]. Med programe, ki omogočajo informacijsko modeliranje in trajnostne analize stavbe, pa spadajo Ecotect Analysis (Autodesk), Green Building Studio (Autodesk), EcoDesigner Star (Graphisoft) in ostali.

V diplomski nalogi smo uporabili program ArchiCAD in njegov vgrajen vtičnik Energy Evaluation, ki omogoča energetska analizo izdelanega modela. Energy Evaluation je brezplačen vtičnik, lahko pa se ga nadomesti s plačljivim EcoDesigner Star, ki ponuja več funkcij in bolj podrobno analizo obnašanja stavbe. Konceptualni model in preliminarne analize smo naredili v programu SketchUp. Gre za brezplačen program (na voljo tudi v plačljivi verziji), je enostaven za uporabo in omogoča 3D modeliranje. Primerjava stopnje podrobnosti modelov izdelanih v SketchUp-u in v ArchiCAD-u je prikazana v tabeli 1. Energetska analizo obravnavanega objekta smo naredili še v programih Knauf Insulation (KI) Energija, TEDI [5] in TOST [6]. Ti programi na podlagi vnesenih podatkov o objektu preračunajo njegovo energetska učinkovitost v skladu s PURES 2010.

V nadaljevanju bomo uporabljali:

- SketchUp za izdelavo preprostega 3D modela. Obravnava se navidezna pot sonca po nebu in vidnost neba iz pritličnih prostorov, izvedejo se študije osenčenosti objekta z vtičnikom Shadow Analysis. Model se uvozi v program Velux Daylight Visualizer s katerim se naredi študija osvetljenosti prostorov.
- ArchiCAD za izdelavo informacijskega modela, ki ima definirane sestave konstrukcijskih sklopov, toplotne prehodnosti prosojnih površin. Ta model se uporabi za izvedbo energetske analize v programu z vtičnikom Energy Evaluation.
- Knauf Insulation Energija za določanje energetske učinkovitosti stavbe in toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov.

- TEDI za določanje toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov.
- TOST za izračun energetske učinkovitosti stavbe.

Tabela 1: Primerjava stopnje podrobnosti modela v programih

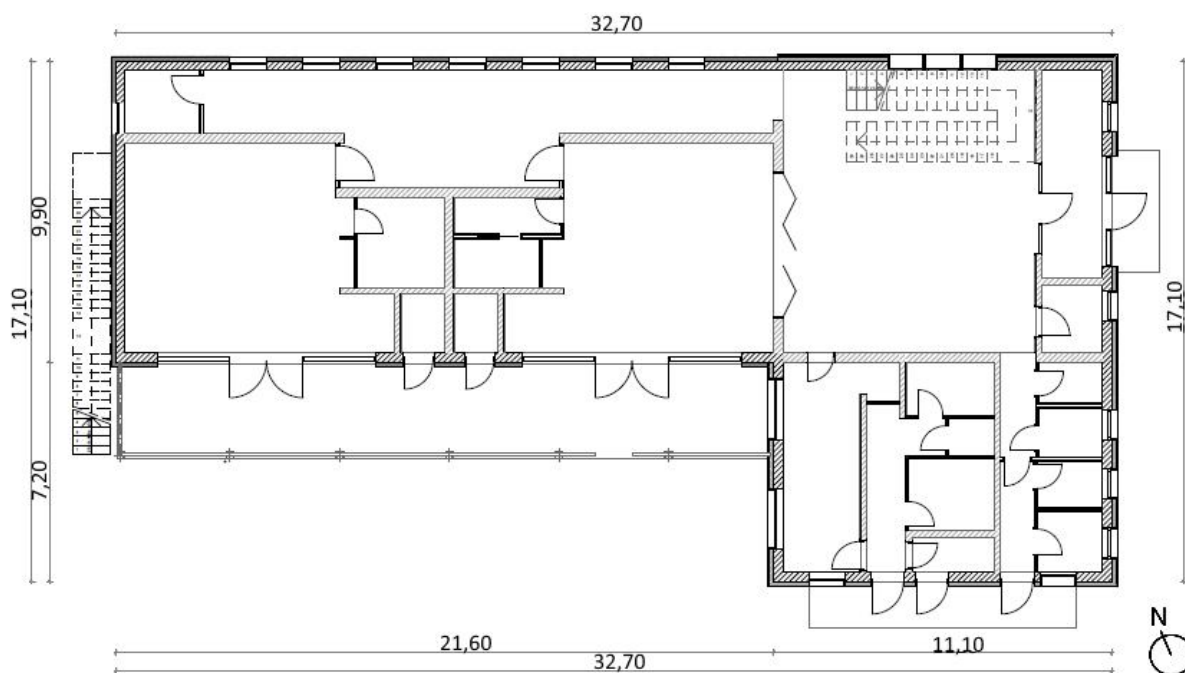
	SketchUp	LOD	ArchiCAD	LOD
Model	3D	200	informacijski	300-400
Teren	uvožen iz programa Google Earth	200	izdelan na podlagi geodetskega posnetka	200
Lokacija in umestitev v prostor	natančno določena z geografskimi koordinatami in smermi neba		natančno določena z geografskimi koordinatami in smermi neba	
Gostota naselitve – sosednje stavbe	so preprostih kubičnih oblik	100	so preprostih kubičnih oblik	100
Zunanja geometrija	dimenzije nosilne konstrukcije, brez	200	dimenzije in oblika stavbe so natančno določene	400
Notranja geometrija	približna	100	dimenzije so natančno določene	400
Konstrukcijski sklopi	se ne definirajo	100	sestavajo se definirajo, na podlagi tega se določi toplotna prehodnost ovoja stavbe	400
Transparentne površine	določene so samo njihova velikost in lokacija na ovoju stavbe	100	površine so natančno določene, definira se vrsta zasteklitve in okvir	400
HVAC sistemi	se ne obravnavajo		opredeljene so osnovne značilnosti	
Energetska učinkovitost	možna posplošena analiza z uporabo vtičnikov		se preverja	
Obnovljivi viri energije	se ne obravnava		se preverja	
Učinkovito prezračevanje	se ne obravnava		Se preverja, definirano s številom izmenjav zraka	
Dnevna svetloba in pogledi	z uporabo vtičnikov in programov v katere se model lahko uvozi	200	možne sončne študije, izdelani shematski prikazi	

4 PRIMER PRIKAZA UPORABE BIM V OKVIRU TRAJNOSTNE GRADNJE

4.1 Opis objekta¹

Predmet obravnave je izobraževalni objekt (vrtec) lociran v kraju Pekre pri Mariboru. Objekt še ni zgrajen, je pa pripravljena vsa potrebna projektna dokumentacija za izvedbo.

Objekt je v obliki črke L (slika 1), ima pritličje in nadstropje, ravno streho in je brez kleti. Zidan je iz opeke, ki je termoizolacijsko izboljšana. Streha je ravna (z minimalnim naklonom 2°) in ni pohodna. Zaradi razgibanega terena se na severni strani izvede oporni zid. Glavni vhod se nahaja na vzhodni strani objekta, na južni so dostop do garderobe in kuhinje. Igralnica so na južni strani objekta, iz njih je omogočen dostop na teraso. Na zahodni strani se nahajajo jeklene požarne stopnice, ki so dostopne iz igralnice. Načrti arhitekture so predstavljeni v prilogi A.



Slika 1: Prikaz tlorisa pritličja z zunanjimi dimenzijami

Vsi prostori so ogrevani s talnim gretjem. Ogrevanje in toplo vodo zagotavlja toplotna črpalka (zrak-voda), kadar pa temperatura pade pod bivalentno točko (4°C), se ogrevanje zagotavlja s plinom. Kotlarna se nahaja v nadstropju na vzhodni strani. Prezračevanje objekta je izvedeno mehansko s centralnim prezračevalnim sistemom.

¹ Vsi podatki o objektu so pridobljeni iz obstoječe projektne dokumentacije [22].

4.2 Analiza lokacije umestitve objekta v prostor

4.2.1 Izbira lokacije

Obravnavan objekt se bo nahajal v manjšem naselju Pekre pri Mariboru. Izbrana lokacija zazidave leži v pretežno stanovanjskem naselju. V bližini so gasilski dom, Kulturni dom Pekre in manjša trgovina. Na severni strani v bližini poteka Lackova cesta, ki povezuje Pekre z Mariborom, po njej vozi tudi mestni potniški avtobus. Po izbranem zemljišču poteka že obstoječi kanalizacijski sistem, priključitev na javno vodovodno omrežje in priključek na plin se izvedeta na Bezjakovi ulici, jugovzhodno od objekta. Predvidena je ločena kanalizacija za čisto padavinsko vodo iz strehe in onesnaženo padavinsko vodo utrjenih površin. Čista padavinska voda se spelje v bližnji Pekrski potok.

Objekt bo umeščen na zemljišče na katerem se nahaja urejen travnik z večjimi drevesi. Zelene površine v okolici objekta se bodo ohranile.



Slika 2: Položaj obravnavane lokacije v Sloveniji

4.2.2 Lokalni geo-meteorološki pogoji

V sklopu preučitve zemljišča smo obravnavali geološke in meteorološke značilnosti območja gradnje. Pri tem smo si pomagali z Atlasom okolja [23] in z uporabo različnih prikazov ugotovili naslednje:

- zemljišče leži na poplavno neogroženem območju (izven območja dosega 10, 100 in 500-letnih poplav),
- verjetnost pojava plazov je srednja, potrebni so običajni zaščitni ukrepi proti eroziji tal,



Slika 3: Verjetnost pojava erozije tal



Slika 4: Verjetnost pojava plazov

- projektni pospešek tal (povratna doba potresa 475 let) na obravnavanem območju je 0,1g,
- povprečna letna višina korigiranih padavin (v obdobju 1971-2000) je 1100 – 1200mm,
- povprečna skupna višina novozapadlega snega v sezoni 1971/72-2000/01 je 60 – 100cm;
največja snežna obtežba s povratno dobo 50 let (v obdobju 1951-2005) je $1,5 - 2 \text{ kN/m}^2$,
- povprečna letna hitrost vetra 10m nad tlemi (v obdobju 1994-2001) je $1 - 2 \text{ m/s}$,

- povprečno trajanje sončnega obsevanja območja (v obdobju 1971-2000) je pozimi 240 – 280 ur, pomladi 480 – 520 ur, poleti 740 – 780 ur in jeseni 400 – 420 ur.

Objekt je predviden na razgibanem terenu, s čimer je pogojena umeščenost objekta v prostor. Severno od objekta se izvede oporni zid za utrditev zemljine, saj je na tem delu teren nagnjen in obstaja možnost erozije. Orientacija objekta na zemljišču je, poleg terenu, prilagojena tudi sosednjemu objektu (Kulturni dom Pekre) in sicer tako, da imata daljši fasadi vzporedni.

4.2.3 Obstoječa infrastruktura

Glavne ceste ne potekajo v neposredni bližini objekta, so pa od izbrane lokacije do njih možne povezave po lokalnih cestah.



Slika 5: Prikaz glavnih cest (označene z rdečo barvo)

V bližini objekta se nahajata avtobusni postaji mestnega potniškega prometa in sicer na Lackovi cesti (pri gasilskem domu) za dostop na linijo, ki poteka na trasi Limbuš-Maribor in na Bezjakovi ulici (pri trgovini) za dostop na linijo, ki poteka na trasi Maribor-Pekre. Ob objektu se uredijo parkirna mesta za zaposlene in starše. Kolesarske poti na tem območju niso urejene.



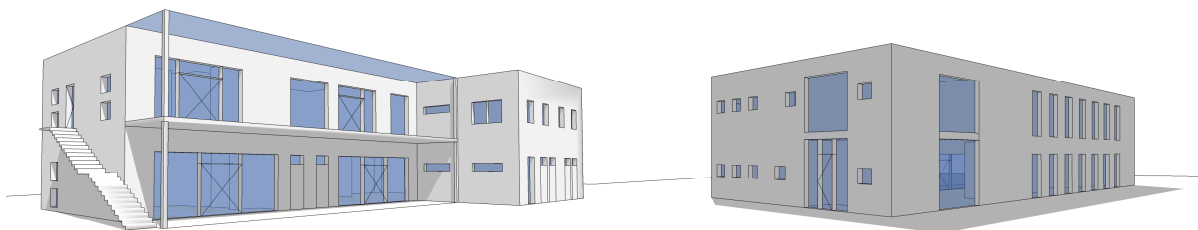
Slika 6: Obstoječa infrastruktura

4.3 Izdelava modela

Informacijski model objekta se izdelava na podlagi obstoječe projektne dokumentacije. Na podlagi tega modela bomo izvedli študije osončenja, dnevne svetlobe in energetska analizo objekta.

4.3.1 Analiza zasnove s programom SketchUp

Za analizo zasnove smo uporabili program SketchUp v katerem smo izdelali konceptualni model objekta (slika 7). V tej fazi je pomembna predvsem zunanja geometrija objekta, nakazane so transparentne površine fasadnega ovoja, posamezni detajli in notranja oprema pa niso pomembni. V program smo uvozili teren pridobljen s programom Google Earth. Na ta način se avtomatsko določi tudi geografska lokacija objekta. S tem se definirajo tudi podatki o podnebnju in pravilen kot sončnih žarkov. Na teren se umestijo preprosti sosednji objekti in vegetacija (drevesa), ki vplivajo na osončenost objekta (slika 8).



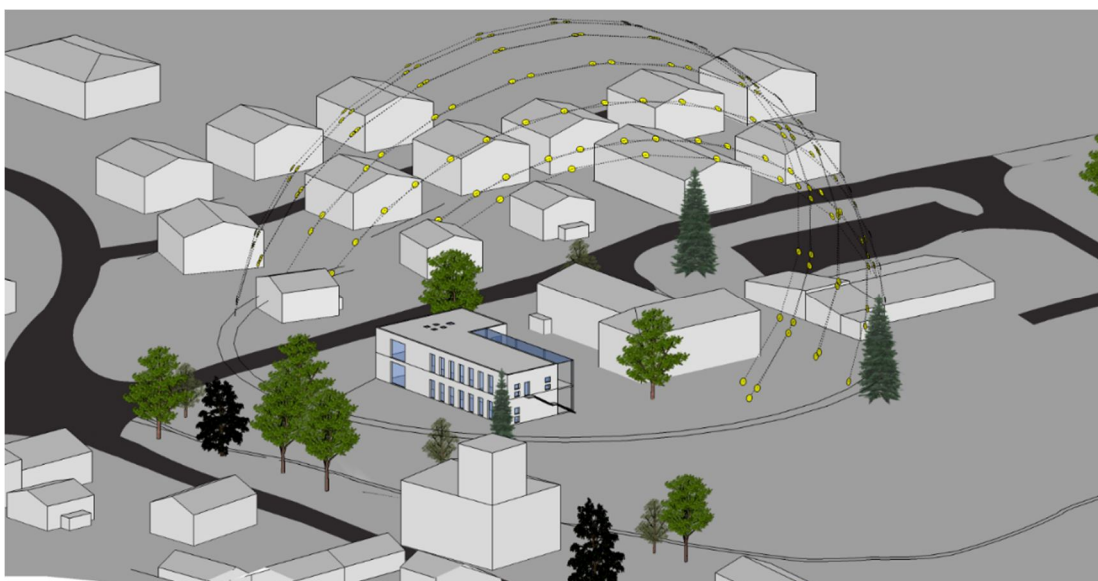
Slika 7: Konceptualni model



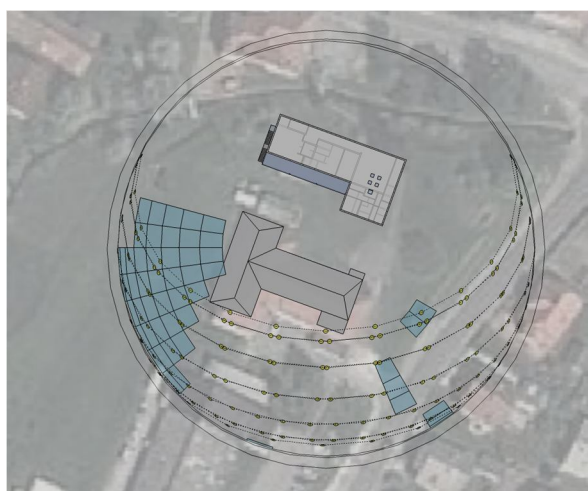
Slika 8: Prikaz okolice

Opazuje se vpliv okolice na objekt v celoti in njegova umestitev v prostor. Izvedli smo analize primerne umestitve stavbe v prostor v odvisnosti od Sonca. Pri tem smo uporabili vtičnika Sun Tools in Shadow analysis, za analizo osvetljenosti prostorov z dnevno svetlobo pa še program Velux Daylight Visualizer.

Sun Tools omogoča celoletni prikaz navidezne poti sonca po nebu. Primeren je za preverjanje ali sončni žarki dosežejo objekt (funkcija pasivnega ogrevanja) in notranjost objekta. Preučili smo pot sonca in del neba, ki je viden iz igralnic (slika 10 in 11). Vidnost neba je prikazana na podlagi referenčne točke ob oknu v pritlični igralnici. Opazimo, da je lega igralnice neugodna, saj bi pri pogledu skozi to okno bi videli le okoli 20% neba, pogled na preostali del neba pa je oviran s sosednjo stavbo in teraso nadstropja.



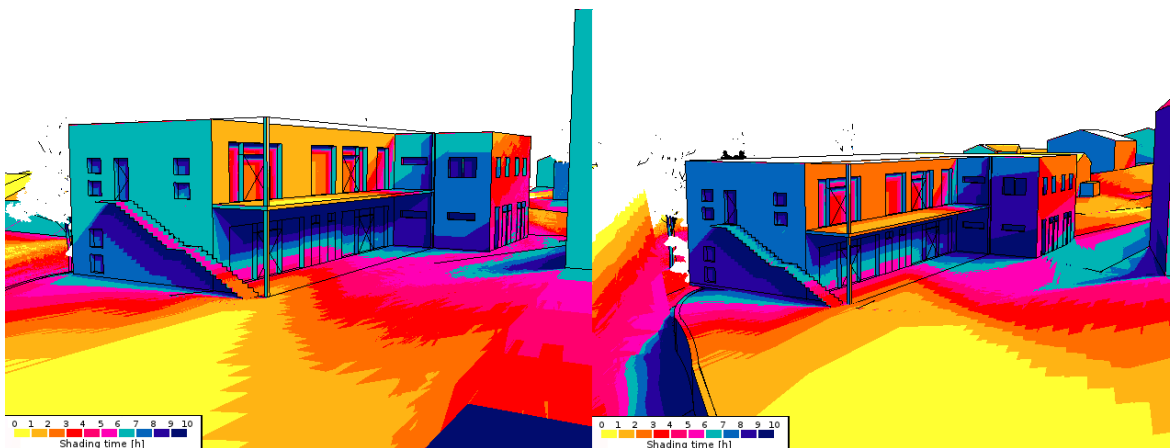
Slika 9: Pot sonca



Slika 10: Vidnost neba in pot Sonca

Z vtičnikom Shadow Analysis smo izvedli študijo senc. Objekt smo na predvideni lokaciji vrteli okoli navpične osi s spreminjanjem kota po 15° , za vsako postavitev se izvede dnevna analiza senc. Rezultati analize so grafični prikaz osenčenosti izbrane fasade (oziroma pogleda) – hladnejša barva pomeni večje število senčenih ur. Primerjava rezultatov med seboj pokaže optimalno postavitev objekta. Kot merilo za primerno postavitev smo opazovali osenčenost igralnic, ki se nahajajo ob daljši južni fasadi. Ugotovili smo, da bi bila stavba primerno orientirana, če bi jo glede na izhodiščno lego zavrteli okoli navpične osi za $\pm 15^\circ$. Ker se objekt nahaja na razgibanem terenu in v neposredni bližini Kulturnega doma Pekre, je njegova umestitev v prostor omejena tudi s tem. Z upoštevanjem tega je primerna postavitev, kar ta iz katere smo izhajali.

Podobna analiza bi se lahko izvedla tudi brez omenjenega vtičnika. Na izbrani fasadi bi pri vsaj treh različnih datumih (ekvinokcij, poletni in zimski solsticij) opazovali padanje senc v različnih urah dneva. Primerna pozicija objekta je tista, kjer so transparentne površine najmanj zasenčene.



Slika 11: Levo - izbrana orientacija objekta, desno - 15° zasuk v smeri urinega kazalca

Na podlagi modela izdelanega v SketchUp-u, smo naredili tudi analizo osvetljenosti z dnevno svetlobo v programu Velux Daylight Visualizer. Program sicer omogoča 3D modeliranje, vendar je hitreje vanj uvoziti že izdelan model. S tem namenom smo v SketchUp-u model prilagodili tako, da smo različnim materialom pripisali različne barve, saj se v programu Velux na podlagi uporabljenih barv določijo karakteristike materiala. V program smo poleg obravnavanega objekta uvozili tudi stavbo v njegovi neposredni bližini, ki vpliva na osvetljenost. Določili smo tudi lokacijo objekta z vnosom koordinat v program.

Nato smo izvedli študije osvetljenosti (*angl. Illuminance*, [lux]) in količnika dnevne svetlobe (*angl. Daylight factor*, [%]), v nadaljevanju KDS) v stavbi. KDS je razmerje med zunanjo neovirano in notranjo osvetljenostjo. Preverja se pri oblačnem nebu, saj je takrat svetloba najbolj enakomerno porazdeljena [6]. Priporočen KDS za učilnice je med 2 in 5% [24]. Pravilnik o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrta (UL RS, št. 73/00, 75/05, 33/08, 126/08, 47/10 in 47/13), 49. člen, pa predpisuje, da »naj bo naslednja osvetljenost:

- v igralnicah - 300 Lx,
- v prostoru za nego - 500 Lx,
- na delovnih površinah - 350 Lx,
- v drugih prostorih po veljavnem standardu (SIST EN 12464-1:2011)« [25].

Pri analizi smo se osredotočili na igralnice in opazovali dogajanje pri najbolj ugodnih in neugodnih razmerah (ekvinokcij, zimski in poletni solsticij). Analizo smo izvedli pri oblačnem nebu.

Grafični rezultati analize so prikazani v prilogi C, povprečne vrednosti pa so zbrane v tabeli 2.

Tabela 2: Povprečne vrednosti osvetljenosti in KDS v obravnavanih prostorih določene v opoldanskem času

	Osvetljenost [lux]	KDS [%]
Igralnica v pritličju		
21.marec	330,1	5,4
21.junij	501,8	5,5
21.december	193,1	5,5
Igralnica v nadstropju 1		
21.marec	560,5	9,2
21.junij	835,6	9,2
21.december	319,2	9,3
Igralnica v nadstropju 2		
21.marec	466,5	7,6
21.junij	701,7	7,6
21.december	268,6	7,8

KDS ustreza priporočenim vrednostim v vseh treh preverjanih časih. Kot pričakovano so vrednosti osvetljenosti pozimi najnižje v obeh nadstropjih. Vrednosti dobljene v pomladnem in poletnem času so ustrezne. Osvetljenost pritličja je sicer nekoliko nižja v primerjavi z nadstropjem, saj je bolj izpostavljeno sencam zaradi terase in sosednjega objekta. Pozimi pa osvetljenost dveh igralnic ne dosega minimalne vrednosti 300lx. V tem času bo potrebno naravno svetlobo kombinirati z umetno.

4.3.2 Izdelava modela v ArchiCAD-u

Za informacijsko modeliranje objekta smo uporabili program ArchiCAD. Na podlagi obstoječih risb in podatkov o objektu [22] smo izdelali natančen model stavbe (slika 12, 13 in 14). Stene, plošče in streha so kompoziti (večplastni konstrukcijski sklopi), ki smo jih predhodno definirali v programu. S koordinatami smo določili geografsko lokacijo objekta ter njegovo orientacijo glede na sever. Teren smo izdelali na podlagi geodetskega posnetka okolice in nanj umestili shematske sosednje objekte ter vegetacijo.



Slika 12: Pogled na zahodno in južno fasado



Slika 13: Pogled na vzhodno in južno fasado

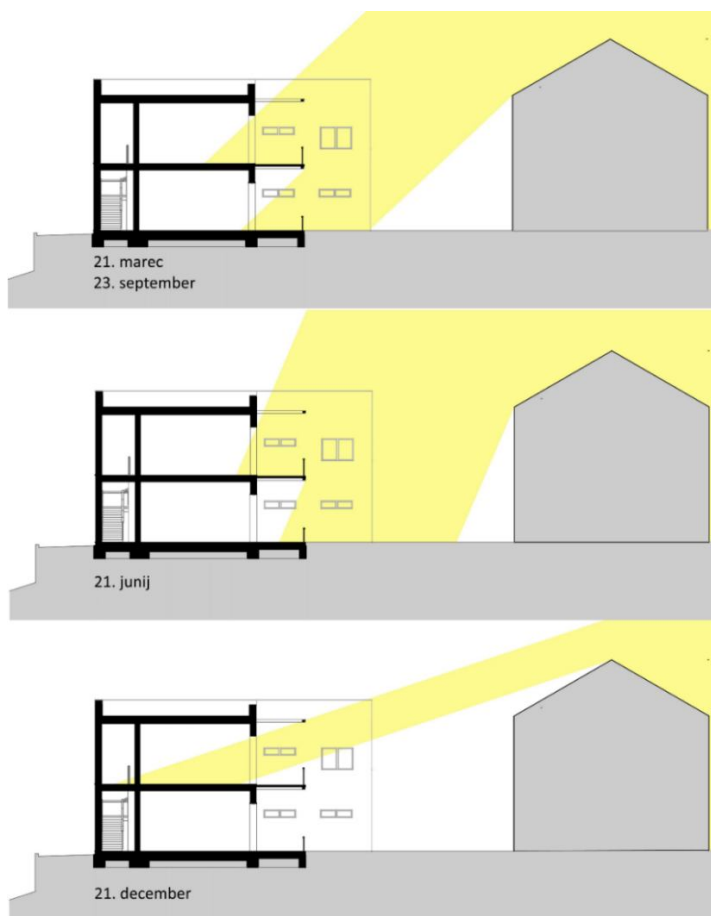


Slika 14: Pogled na vzhodno in severno fasado

Igralnice se nahajajo na južni strani objekta. Preverili smo direkten vstop sončnih žarkov v igralnice, ki v stavbo dostopajo skozi prosojne elemente. Uporabili smo podatke o dvižnem kotu sonca in opazovali dogajanje pri treh različnih datumih, ko nastopijo sončni ekstremi:

- poletni solsticij (21. junij),
- zimski solsticij (21. december) ter
- ekvinokcij (21. marec ali 23. september).

Direkten vstop v stavbo je pozimi zaželen, saj omogoča pasivno segrevanje in s tem zmanjša količino energije, ki je potrebna za ogrevanje objekta. Hkrati se poskuša zmanjšati pasivno ogrevanje poleti, kar se lahko doseže s primerno uporabo senčil [3]. Slika 15 prikazuje dostop sončnih žarkov v igralne prostore opoldne (12:00). Zdi se, da prostori v pritličju nimajo direktne sončne svetlobe, vendar je ta prikaz narejen na podlagi določene ure v dnevu in ne zajema sprememb dvižnega kota, ki se zgodijo tekom dneva.



Slika 15: Prikaz vpada sončnih žarkov v igralnice

4.4 Energetska analiza objekta

Zaradi cilja o zmanjšanju porabe energije v stavbah in njihovih izpustov toplogrednih plinov se izvajajo analize s katerimi se oceni energetska učinkovitost stavbe. Za izvajanje energetske analize je potrebno poznati lokacijo objekta (vpliv podnebja), sestavo fasadnega ovoja, geometrijske karakteristike (površina fasadnega ovoja, uporabna površina prostorov, bruto in neto ogrevana/prezračevana prostornina stavbe, velikost in orientacija transparentnih elementov) ter lastnosti HVAC sistemov [3].

Sestave konstrukcijskih sklopov, ki smo jih obravnavali v izračunih so prikazane v tabeli 3.

Tabela 3: Sestave konstrukcijskih sklopov

Tla na terenu	debelina [cm]
keramične ploščice	2
cementni estrih	6
PE folija	0,2
toplotno izolacijske plošče (EPS)	4
toplotno izolacijske plošče (XPS)	10
bitumenska hidroizolacija	1
podbeton	8
utrjeno nasutje	30
Zunanja stena	debelina [cm]
omet	1
opečno izolacijsko izboljššan modularni blok (npr. Porothem S P+E)	30
parna ovira	0,2
trda kamena volna	15
paroprepustna folija	0,2
sloj zraka	
vodoodporne panelne plošče	1
Ravna streha	debelina [cm]
mavčno-kartonska plošča	1,25
sloj zraka	
AB plošča	24
večplastna bitumenska hidroizolacija	1
PE folija	0,2
toplotno izolacijske plošče (XPS)	14
toplotna izolacija v naklonu	5 do 14
paroprepustna folija	0,2
geotekstil	0,2
prodec	8

Pri izračunih smo upoštevali naslednje karakteristike:

- ena toplotna cona,
- ogrevana prostornina 2248,33m³ (bruto) in 1798,66m³ (neto),
- neto uporabna površina 625,85m²,
- notranja temperatura pozimi 21°C in poleti 26°C,
- povprečni dobitki notranjih virov 4 W/m²,
- mehansko prezračevanje z vračanjem toplote odpadnega zraka (učinkovitost 90%), količina dovedenega zraka 3730 m³/h in odvedenega 4970 m³/h
- toplotna črpalka z nazivno močjo 22,1kW,
- kondenzacijski kotel (plin) z nazivno močjo 49kW,
- nazivna moč hladilne naprave 14kW, čas delovanja 4h/dan,
- razsvetljava: nazivna moč svetilk 10W/m² [18].

Energetska učinkovitost obravnavane stavbe smo preverili v programih ArchiCAD (Energy Evaluation), KI Energija in TOST. Podatki o sestavi konstrukcijskih sklopov in opremi HVAC so pridobljeni iz obstoječe projektne dokumentacije za obravnavano stavbo.

4.4.1 Program ArchiCAD

V programu ArchiCAD se energetska analiza izvede z vgrajenim dodatkom Energy Evaluation. Za potrebe analize smo objekt razdelili na cone (*angl. Zones*) glede na ogrevanje in namembnost prostorov. Pri definiranju con moramo paziti, da so stiki med posameznimi elementi natančno izvedeni. Program namreč na podlagi tega določi lokacijo elementa (notranji, zunanji), kar vpliva na površino in lastnosti fasadnega ovoja.

Posamezne cone se nato pripišejo toplotni coni. Toplotne cone se običajno delijo na ogrevane in neogrevane. V našem primeru so ogrevani vsi prostori. Glede na namembnost prostorov in različne termine zasedenosti, smo izbrali 4 toplotne cone. Definirati je potrebno HVAC sisteme ter jih pripisati primernim toplotnim conam. Določi se tudi urnik uporabe stavbe. Ker gre za vrtec, je med vikendi in ponoči nezaseden.

Za ogrevalni sistem smo izbrali opcijo »Ground heat pump« in definirali moč toplotne črpalke (22,1kW) ter koeficient učinkovitosti COP (4,6). Toplotna črpalka zagotavlja ogrevanje in sanitarno toplo vodo, kadar pa je to potrebno jo nadomesti plin. Pri analizi plina nismo upoštevali. Določili smo tudi mehansko prezračevanje z rekuperacijskim sistemom (90% učinkovitost vračanja toplote), pri čemer je potrebno definirati urnik prezračevanja. V program smo vnesli količino dovodnega zraka (3730m³/h) in odvodnega (4970m³/h). Hlajenje je zagotovljeno s klimatsko napravo (nazivna moč 14kW).

Toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov program izračuna sam na podlagi večplastnih konstrukcijskih sistemov (*angl. Composite*), ki smo jih definirali pred izdelavo modela. Določiti je potrebno še karakteristike oken in vrat. Izbrali smo lesene okvirje ($U = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$) in trojno zasteklitev ($U = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$). Transparentni elementi imajo vgrajena senčila v obliki rolojev.

Ko so vsi podatki definirani, zaženemo simulacijo. Podatke o uporabni površini, ovojju stavbe in prostornini program sam izračuna na podlagi izdelanega modela. Rezultati so podani v prilogi D.

Energy Consumption by Sources

Source Type	Energy				CO ₂ Emission kg/a
	Source Name	Quantity MWh/a	Primary MWh/a	Cost €/a	
Renewable	External Air	48	48	NA	0
Secondary	Electricity	27	68	2007	14587
Total:		76	117	2007	14587

Energy Consumption by Targets

Target Name	Energy			CO ₂ Emission kg/a
	Quantity MWh/a	Primary MWh/a	Cost €/a	
Heating	31	41	491	3573
Cooling	15	24	190	1387
Service Hot-Water	7	9	105	763
Ventilation Fans	5	12	368	2674
Lighting & Appliances	11	29	851	6189
Total:	71	117	2007	14587

Slika 16: ArchiCAD – rezultati

4.4.2 Program Knauf Insulation Energija

Program je izdelalo podjetje Knauf Insulation. Je brezplačen in omogoča celostno obravnavanje energetske učinkovitosti objekta in izračun toplotne prehodnosti posameznih konstrukcijskih sklopov. Rezultati so podani v tekstualni obliki, iz programa pa se lahko izvozijo v obliki elaborata gradbene fizike in kot energetska izkaznica stavbe.

Program KI Energija zahteva natančen vnos podatkov o objektu. Določi se vrsta objekta in lokacija, podatki o prostornini in potrebnih površinah ter osnovni geometrijski podatki (dolžina, širina in višina stavbe). Določijo se tudi notranji dobitki virov in urne menjave zraka. Nato se vnesejo podatki o posameznih konstrukcijskih sklopih in transparentnih površinah stavbe. Definirajo se tudi sistemi ogrevanja, prezračevanja, hlajenja in zagotavljanja tople vode. V programu so podane mejne vrednosti, ki so določene s PURES 2010 in ne smejo biti presežene.

Dobljeni rezultati so prikazani v prilogi E.

KAZALNIKI ENERGIJSKE UČINKOVITOSTI STAVBE			Ustreznost
H't - koeficient specifičnih transmisijskih izgub	W/m ² K	0,223	DA
H't dovoljeno	W/m ² K	0,391	
QNH - potrebna toplota za ogrevanje stavbe	kWh/a	10089	
QNH/Ve	kWh/m ² a	4,5	DA
QNH/Ve dovoljeno	kWh/m ² a	18,2	
Qf - toplota in hlad za delovanje stavbe	kWh/a	26415	
Wf - potrebna električna energija za delovanje stavbe	kWh/a	27219	
Qp - potrebna primarna energija za delovanje stavbe	kWh/a	70338	
Qp/Au	kWh/m ² a	112,4	DA
Qp/Au dovoljeno	kWh/m ² a	283,3	
f _{ove} - delež obnovljivih virov energije	%	37	DA
letni izpust CO ₂	kg/a	14843	
Ogrevana površina		626	m ²
Hlajena površina		626	m ²
Notranji dobitki pozimi		4	W/m ²
Specifična moč svetilk		10	W/m ²

Slika 17: KI Energija – rezultati

4.4.3 V programu TOST in TEDI

Programa TEDI [5] in TOST [6] je izdelala Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo. Izdelana sta v okolju MS Excel. S programom TEDI se določa toplotna prehodnost konstrukcijskih sklopov in difuzija vodne pare skozi večplastne konstrukcijske sklope. Račun se izvede v skladu s »PURES 2010, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002« [26]. S programom TOST pa se določa energetska učinkovitost stavbe. Izdelata se dokaz ustreznosti toplotne zaščite stavbe v skladu s PURES 2010. V računih je upoštevan tudi standard SIST EN ISO 13790:2008 (Energijske lastnosti stavb – Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov) [27].

V programu TEDI [5] smo preverili ustreznost sestave konstrukcijskih sklopov tal, zunanjih sten in strehe. S programom TOST [6] pa smo preverili energetska učinkovitost stavbe, tako da smo vanj vnesli osnovne podatke o objektu, lokacijo in lastnosti posameznih con (toplotne prehodnosti elementov, transparentne površine, podatke o prezračevanju, razsvetljavi, ipd.).

Obravnavan objekt ima za ogrevanje in toplo vodo zagotovljeno s toplotno črpalko in, kadar je to potrebno, s plinom. Program TOST [6] omogoča obravnavo le enega energenta tako, da smo pri računu upoštevali samo toplotno črpalko (energent – električna energija).

V programu smo definirali eno toplotno cono z bruto kondicionirano prostornino 2248,33 m³, notranjo projektno temperaturo 21°C pozimi in 26°C poleti ter povprečne dobitke notranjih virov 2503W (4W/m²). Določili smo tudi mehansko prezračevanje – doveden zrak 1,04 m³/s in odveden 1,33 m³/s (preračunano glede na vrednosti v m³/h, ki so podane na začetku poglavja). Vnesli smo tudi površine in toplotne prevodnosti transparentnih elementov ($U = 0,910 \text{ W/m}^2\text{K}$) za vsako fasado posebej, toplotne prehodnosti in površine zunanje stene, strehe in tal. Toplotne prehodnosti smo predhodno določili s programom TEDI [5], rezultati so podani v prilogi F. Na koncu pa določili še moč svetilk (10 W/m²).

PURES 2010 navaja, da mora biti »najmanj 25 odstotkov celotne končne energije za delovanje sistemov v stavbi zagotovljeno z uporabo obnovljivih virov energije v stavb«, da bo dosežena energijska učinkovitost stavbe [17]. V skladu s tem je potrebno v programu TOST [6] označiti kolikšen delež energije je zagotovljen iz obnovljivih virov. V našem primeru smo kot obnovljivi vir izbrali »toplota okolja« in delež okoli 50%, kar zadošča prej navedenemu pogoju. Izpis izračuna s programom TOST [6] je v prilogi G.

	Izračunan	Največji dovoljen
Koeficient specifičnih transmissijskih toplotnih izgub stavbe	$H_T' = 0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$	$H_{T\max}' = 0.43 \text{ W/m}^2\text{K}$
Letna raba primarne energije	$Q_p = 73,719 \text{ kWh}$	$Q_{p\max} = - \text{ kWh}$
Letna potrebna toplota za ogrevanje	$Q_{NH} = 25,454 \text{ kWh}$	$Q_{NH\max} = 29,959 \text{ kWh}$
Letni potrebni hlad za hlajenje	$Q_{NC} = 15,063 \text{ kWh}$	$Q_{NC\max} = - \text{ kWh}$
3 – javne stavbe	$Q_{NH}/A_u = 40.67 \text{ kWh/m}^2\text{a}$	-
	$Q_{NH}/V_e = 11.32 \text{ kWh/m}^3\text{a}$	$(Q_{NH}/V_e)_{\max} = 13.32 \text{ kWh/m}^3\text{a}$
Kazalniki letne rabe primarne energije za delovanje sistemov		
Letna raba primarne energije na enoto kondicionirane prostornine stavbe (2 – nestanovanjska stavba; 3 – javna stavba)		$Q_p/V_e = 32.79 \text{ kWh/m}^3\text{a}$
Kazalniki letnih izpustov CO₂ zaradi delovanja sistemov		
Letni izpusti CO ₂		36,138 kg
Letni izpusti CO ₂ na enoto kondicionirane prostornine stavbe (2 – nestanovanjska stavba; 3 – javna stavba)		16.07 kg/m ³ a

Slika 18: TOST - rezultati

4.5 Ugotovitve in primerjava rezultatov

Z vsemi tremi uporabljenimi programi se v splošnem izračuna enake lastnosti stavbe – potrebna letna energija za obratovanje stavbe, primarna energija in emisije CO₂.

Račun s programom ArchiCAD (z vtičnikom Energy Evaluation) temelji na izdelanem informacijskem modelu. Prednost takšne analize je, da se pri računu upošteva dejanska geometrija stavbe, ki je natančno definirana (oblika stavbe, površine zunanjih konstrukcijskih elementov, ipd.). Hkrati s spreminjanjem modela se lahko izvaja energetska analiza, njeni rezultati pa se sproti uporabijo pri nadaljnjem načrtovanju. Programa KI Energija in TOST ne omogočata natančnega definiranja oblike stavbe. Računi v teh dveh programih temeljijo na vneseni uporabni površini, prostornini stavbe in številu nadstropij. V KI Energija se lahko vnesejo podatki o širini in dolžini objekta, ne moremo pa definirati tlorisne oblike, kar predstavlja pomanjkljivost pri bolj kompleksnih geometrijah.

Za izvedbo energetske analize v programu ArchiCAD je potrebno definirati le osnovne podatke o HVAC sistemih v stavbi. Določi se nazivna moč uporabljenih naprav za ogrevanje in hlajenje, način prezračevanja (naravno ali mehansko), število izmenjav zraka in urnik uporabe stavbe. Definira se tudi cena energentov. Podatki o moči svetil v stavbi, dobitkih notranjih virov, času delovanja hladilne naprave niso zahtevani, ampak jih program določi sam. S to analizo lahko dobimo koristne informacije o pričakovani energijski porabi stavbe, vendar so ti rezultati zaradi pomanjkljivih vhodnih podatkov nenatančni.

Programa KI Energija in TOST zahtevata bolj natančno poznavanje HVAC sistemov v stavbi in več predznanja. Program KI Energija ponuja celostno obravnavanje stavbe, znotraj programa se določijo konstrukcijski sklopi in precej natančno definirajo mehanski sistemi. Program TOST [5] pa ne omogoča računa toplotnih prehodnosti posameznih konstrukcijskih sklopov, v ta namen se lahko uporabi program TEDI [5].

S posameznimi programi smo določili toplotne prehodnosti zunanjih sten, strehe in tal na terenu. Programa KI Energija in TEDI [5] preverjata ali so izračunane vrednosti ustrezne, glede na maksimalne dovoljene vrednosti, ki jih podaja TSG-1-004:2010:

- Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom $U_{max} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Tla na terenu in tla nad neogrevanim prostorom ali garažo pri panelnem – talnem ogrevanju (ploskovnem gretju) $U_{max} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Strop proti neogrevanemu prostoru, stropi v sestavi ravnih ali poševnih streh (ravne ali poševne strehe) $U_{max} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ [17].

Ker gre za novogradnjo (naveden pravilnik je bil upoštevan pri načrtovanju objekta), sklepamo, da bodo toplotne prehodnosti v okviru dovoljenih.

Vsak program ima svojo knjižnico materialov, ki jih uporabimo za sestavo posameznega konstrukcijskega sklopa. Iz nabora se izberejo materiali primerljivih lastnosti, zaradi česar lahko pride do razlik med izračunanimi toplotnimi prehodnostmi. Možen je tudi vnos svojih materialov, s čimer se zagotovi enaka toplotna prehodnost konstrukcijskih sklopov v posameznih programih. Program TEDI [4] ne omogoča ročnega vnosa materialov s toplotno prevodnostjo nižjo od $0,15 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$. Ker je v konstrukcijskem sklopu stene uporabljena trda kamena volna s toplotno prevodnostjo $0,022 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$, ki je ni med razpoložljivimi toplotnimi izolatorji v programu, smo izbrali kameno volno z nekoliko višjo toplotno prevodnostjo in temu primerno prilagodili debelino toplotne izolacije.

Tako ArchiCAD, kot tudi TOST pri računu upoštevata le en energent, zato je bila v računu upoštevana le toplotna črpalka, plin pa ne. V programu KI Energija pa sta bila upoštevana oba.

Tabela 4: Primerjava rezultatov

	ArchiCAD	KI Energija	TEDI in TOST
Toplotna prehodnost U [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$]			
Stena	0,110	0,114	0,113
Tla	0,220	0,215	0,218
Streha	0,130	0,129	0,125
Primarna energija [$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$]	169	112	118
Izpust CO₂ [$\frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{a}}$]	21	24	58

Vidimo, da je izpust CO₂, izračunan s programom TOST, precej večji od ostalih dveh vrednosti. Izračun smo preverili ročno z uporabo faktorjev, ki jih navaja TSG-1-004:2010 v dodatku 1 [17]. Iz vrednosti

primarne energije (74295kWh) smo preračunali izpust CO₂ glede na neto uporabno površino stavbe (625,85m²). Uporabili smo faktor 0,53 kg/kWh za izračun emisij CO₂ iz električne energije in 2,5 za pretvorbo iz letne primarne energije v letno dovedeno energijo.

$$\frac{74295kWh}{2,5} \cdot 0,53 \frac{kg}{kWh} = 15750 kg$$

$$\frac{15750 kg}{625,85 m^2} = 25,2 \frac{kg}{m^2a}$$

Dobili smo podobno vrednost kot pri v ostalih programih, zato sklepamo, da v programu TOST niso upoštevani enaki faktorji pretvorbe.

Opazimo tudi, da je primarna energija izračunana s programom ArchiCAD večja od ostalih. Sklepamo, da do tega pride zaradi manjšega števila podatkov, ki jih je potrebno vnesti program. Energijske potrebe razsvetljave so na primer izračunane brez, da bi definirali moč svetilk. Prav tako ni definiran čas delovanja hladilne naprave.

Ocenjujemo, da je program ArchiCAD primeren za izvedbo analiz v zgodnjih fazah načrtovanja, ko še niso poznane vse karakteristike HVAC sistemov v stavbi. Z vnosom le osnovnih podatkov o uporabljenih napravah se namreč lahko dobi podatke o pričakovanih energijskih potrebah stavbe. Na podlagi teh rezultatov se lahko poišče primernejša rešitev, na primer tako, da spremenimo vrsto energenta in opazujemo razlike v rezultatih, uporabimo učinkovitejše naprave, ipd.

Programa TOST in KI Energija sta primerna za energetska analizo, ko so karakteristike HVAC sistemov natančno definirane, saj se pri računih upošteva več faktorjev. Podajata tudi bolj razčlenjene rezultate kot ArchiCAD.

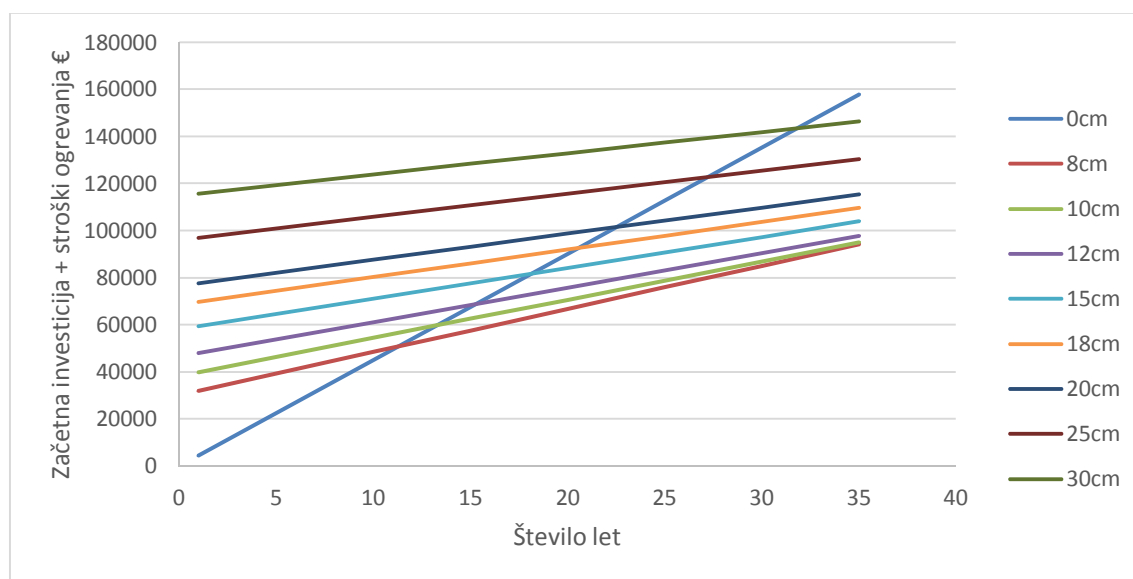
4.5.1 Izbira debeline toplotne izolacije

Eden izmed možnih ukrepov za zmanjšanje porabe energije v stavbi je dodatna toplotna izolacija. Debelejša toplotna izolacija pomeni višje stroške investicije, zato je potrebno preveriti njeno ekonomsko upravičenost. Z upoštevanjem še cene stroškov investicije v material, se lahko poišče optimalna debelina toplotne izolacije. V programu KI Energija smo spreminjali debelino toplotne izolacije in na podlagi rezultatov izračunali v kolikem času se povrne začetna investicija in kolikšen je prihranek energije. Analiza, ki smo jo naredili, je zelo poenostavljena, saj smo predpostavili fiksne stroške energije, čeprav lahko pričakujemo, da se bo cena energije z leti spreminjala. Pri računu smo tako upoštevali fiksno ceno električne energije 0,07293€/kWh [28] in ceno plina 0,05275€/kWh [29].

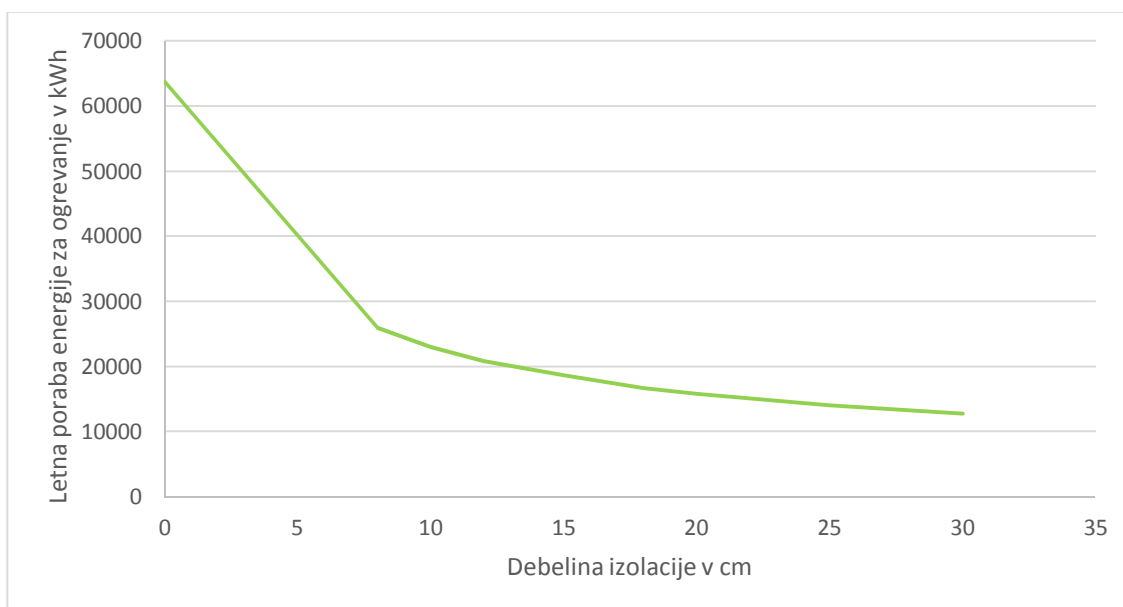
Tabela 5: Začetna investicija v TI in letni stroški ogrevanja

d [cm]	cena TI [€/m ²] [28]	začetna investicija [€]	letna poraba energije [kWh]		letni strošek ogrevanja [€]
			elektrika	plin	
0	0	0,0	56719	7152	4513,8
8	28,8	30603,2	22662	3280	1825,8
10	36,4	38679,0	20083	2967	1621,2
12	44,2	46967,4	18143	2727	1467,0
15	55,2	58656,1	16162	2476	1309,3
18	65,2	69282,2	14440	2253	1172,0
20	72,8	77358,0	13629	2146	1107,2
25	91,2	96910,0	12102	1937	984,8
30	109,2	116037,0	11021	1787	898,0

Prihranek letnih stroškov ogrevanja smo določili glede na neizolirano stavbo, saj obravnavan objekt še ni zgrajen. Predvidena debelina toplotne izolacije zunanjih sten je 15cm [22]. V primerjavi obstoječega objekta bi bilo bolj smiselno obravnavati razlike v stroških glede na dejansko debelino toplotne izolacije.



Slika 19: Vpliv debeline toplotne izolacije na letne stroške ogrevanja



Slika 20: Letna poraba energije za ogrevanje v odvisnosti od debeline izolacije

Iz grafov je razvidno, da pri manjših debelinah vsak dodaten centimeter vpliva na znižanje energije potrebne za ogrevanje. Od določene debeline naprej (20 cm) pa je prihranek energije nižji tako, da večanje debeline toplotne izolacije ni več smiselno. Razlika v začetnih stroških investicije je namreč prevelika v primerjavi s prihranjeno energijo.

5 SKLEP

Segrevanje ozračja, visoke ravni toplogrednih plinov v ozračju, velike količine odpadkov, neracionalno ravnanje s pitno vodo in okoljem, primanjkovanje virov fosilnih goriv ter večanje prebivalstva je prišlo do točke, ko so spremembe nujno potrebne. Potrebno je sanirati škodo narejeno okolju in sprejeti ukrepe za bolj racionalno ravnanje z naravnimi viri [31]. S tem v mislih si je Evropska unija zastavila cilj, zmanjšati izpuste toplogrednih plinov za 20% (glede na leto 1990), vsaj 20% energije naj bo pridobljene iz obnovljivih virov in 20% večja energetska učinkovitost do leta 2020 [13].

Skupaj z zanimanjem za energetska učinkovito gradnjo in uporabo BIM raste tudi potreba po programih, ki združujejo oboje. BIM programska oprema se je v zadnjih letih precej razvila in predstavlja učinkovito orodje za načrtovanje stavb. Posamezni programi za energetska analizo stavbe so tudi vedno bolj prisotni na tržišču in podajajo natančne rezultate. Programi, ki združujejo BIM in energetska analize pa so še v fazi razvoja. Ti, ki so trenutno na tržišču, imajo precej omejen vnos podatkov potrebnih za energetska analize stavbe. Rezultati teh analiz se lahko uporabijo kot smernice za nadaljnje delo [3].

V diplomski nalogi smo se ukvarjali z možnostmi uporabe BIM programskih orodij za načrtovanje objektov v skladu s kriteriji trajnostne gradnje in za preverjanje energetska učinkovitosti objekta. Obravnavali smo le okoljske vidike trajnostne gradnje, ki se osredotočajo na porabo energije in izpuste CO₂.

Informacijski model stavbe bi se lahko uporabil tudi za obravnavo ostalih vidikov trajnostne gradnje. Obravnavali bi lahko količine padavinskih voda, ki jih lahko zberemo iz strehe in zemljišča. Iz ekonomskega vidika bi bilo smiselno vključiti stroškovno analizo uporabljenih HVAC sistemov in uporabljenih materialov. Prav tako bi se lahko osredotočili na zdravstveni vidik, kjer bi lahko model BIM uporabili za ugotavljanje primerne naravne osvetljenosti in prezračevanja, ki vpliva na dobro počutje uporabnikov.

V okviru diplomske naloge smo obravnavali konkreten primer. Najprej smo izdelali 3D model v programu SketchUp, ki nam je služil kot osnova za analize osvetlitve in primerno umestitev stavbe v prostor. Nato smo s programom ArchiCAD izdelali natančen informacijski model zgradbe. Na podlagi tega modela program sam izračuna toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov (glede na definirane sestave) ter geometrijske karakteristike potrebne za energetska analizo (površina zunanega ovoja stavbe, površine transparentnih elementov, uporabna površina stavbe, bruto in neto prostornina, ipd.). Energetska analizo se v programu izvede z vtičnikom Energy Evaluation. Z vnosom osnovnih podatkov o HVAC sistemih (nazivna moč naprav in čas obratovanja) program določi okvirne vrednosti porabe

energije. Bolj natančno energetska analizo smo izvedli s programi KI Energija, TEDI [5] in TOST [6]. Ti programi ne temeljijo na informacijskem modelu objekta, ampak samo na ročno vnesenih podatkih. Izračunane vrednosti so v programih primerjane tudi z največjimi dovoljenimi glede na PURES 2010 [16].

Pri energetska analizi, ki je izvedena na podlagi informacijskega modela, opazamo pomanjkljivo obravnavanje sistemov HVAC. Pri energetskih analizah s programi KI Energija in TOST pa posplošenost geometrijskih podatkov o stavbi. Geometrijske podatke lahko sicer pridobimo iz modela BIM in jih uporabimo v programih, ki so namenjeni samo energetska analizi objekta, vendar je to časovno zamudno in zmanjša preglednost vnesenih podatkov. Ugotavljamo, da bi lahko dosegli boljše rezultate z integracijo bolj dovršenih energetskih orodij v programe BIM.

VIRI

[1] UNESCO. 2004. Sustainable Development an Evolving Concept

http://portal.unesco.org/education/en/files/30363/11035294683brief_Concept_of_ESD.pdf/brief%2BConcept%2Bof%2BESD.pdf (Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[2] Ožbolt, M., Cerovšek, T. 2010. Integrirano timsko delo za celostno zasnovo stavb. Gradbeni vestnik, letnik 59, april 2010, str. 83-96

[3] Krygiel, E., Nies, B. 2008. Green BIM : successful sustainable design with building information modeling. Indianapolis [etc.], Wiley: 241 str.

[4] Cerovšek, T. 2010. Intervju: V tujini investitorji že zahtevajo uporabo BIM. Finance

<http://www.finance.si/270866/Intervju-V-tujini-investitorji-%C5%BEE-zahtevajo-uporabo-BIM>
(Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[5] Krainer, A., Predan R. 2012. Računalniški program TEDI za analizo toplotnega prehoda, toplotne stabilnosti in difuzije vodne pare skozi večplastne KS. Ljubljana, UL FGG.

[6] Krainer, A., Predan R. 2012. Računalniški program TOST za izračun podatkov, potrebnih za končno poročilo oziroma dokaz o ustreznosti toplotne zaščite stavbe. Ljubljana, UL FGG.

[7] Levy, F. 2012. BIM in small-scale sustainable design. Chichester, Wiley: 312 str.

[8] About the National BIM Standard-United States, definition of BIM

<http://www.nationalbimstandard.org/about.php> (Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[9] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. 2008. BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Hoboken (NJ), Wiley: str. 149-206

[10] Bedrick, J. 2013. A level of development specification for BIM processes.

http://www.aecbytes.com/viewpoint/2013/issue_68.html (Pridobljeno dne 11.09.2014.)

[11] United Nations Documents. 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future

<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[12] Kibert, Charles J. 2013. Sustainable construction: green building and delivery. Hoboken (NJ), Wiley: 543 str.

[13] Levin, H. 1997. Systematic evaluation and assessment of building environmental performance

http://buildingecology.net/index_files/publications/SystemicEvaluationandAssessmentSEABEP.pdf

(Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[14] Komisija evropskih skupnosti. 2007. Sporočilo komisije svetu, evropskemu parlamentu, evropskemu ekonomsko-socialnemu odboru in odboru regij.

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52007DC0002&from=EN>

(Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[15] Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (prenovitev). UL Evropske unije, L 153, 18. 6. 2010: 13.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:SL:PDF>

(Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[16] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010). Uradni list RS, št. 52/2010.

<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=201052&stevilka=2856> (Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[17] Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010. Učinkovita raba energije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 106 str.

[http://www.mzip.gov.si/fileadmin/mzip.gov.si/pageuploads/zakonodaja/graditev/TSG-01-](http://www.mzip.gov.si/fileadmin/mzip.gov.si/pageuploads/zakonodaja/graditev/TSG-01-004_2010.pdf)

[004_2010.pdf](http://www.mzip.gov.si/fileadmin/mzip.gov.si/pageuploads/zakonodaja/graditev/TSG-01-004_2010.pdf) (Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[18] Košir, M., Guedi Capeluto, I., Krainer, A., Kristl, Ž. 2014. Solar potential in existing urban layouts – Critical overview of the existing building stock in Slovenian context. Energy Policy, 69 (2014): str. 443-456

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421514000846> (Pridobljeno dne 08.09.2014.)

[19] Kristl, Ž., Košir, M., Dovjak, M., Krainer, A. 2011. Študija dnevne osvetljenosti pisarniškega prostora glede na vizualne in biološke vplive. Gradbeni vestnik, letnik 60, marec 2011: str. 84-91.

[20] SIST EN 12464-1:2011. Svetloba in razsvetljava - Razsvetljava na delovnem mestu - 1. del: Notranji delovni prostori.

[21] Zbašnik Senegačnik, M. 2008. Pasivna hiša. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo: 130 str.

[22] Projekta inženiring Ptuj d.o.o. Vrtec Studenci Maribor, Enota Pekre. Številka projekta 120-44-58-10.

[23] ARSO: Atlas okolja

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (Pridobljeno dne 08.09.2014.)

[24] Medved, S. 2010. Gradbena fizika. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo: str. 210

[25] Pravilnik o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrta. Uradni list RS, št. 47/13.

<http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11596> (Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[26] Perdan, R., Krainer, A. Uporabniški priročnik, računalniški program TEDI. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 45 str.

<http://kske.fgg.uni-lj.si/programi/TEDINavodila.pdf> (Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[27] Perdan, R., Krainer, A. Uporabniški priročnik, računalniški program TEDI. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 47 str.

<http://kske.fgg.uni-lj.si/programi/TOSTNavodila%20ZOE%202012.pdf> (Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[28] Cena električne energije

<http://www.petrol.si/za-dom/energija/elektricna-energija/cenik-elektrike-primerjava> (Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[29] Cena zemeljskega plina

<http://www.petrol.si/za-dom/energija/zemeljski-plin/dobava-in-cene-zemeljskega-plina> (Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[30] Cenik toplotne izolacije

http://www.weber-terranova.si/fileadmin/user_upload/2014/PDF/Cenik_2014_LQ.pdf (Pridobljeno dne 01.09.2014.)

[31] Sassi, P. 2006. Strategies for sustainable architecture. New York, Taylor & Francis: str. 2-9

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: NAČRTI ARHITEKTURE OBRAVNAVANEGA OBJEKTA

PRILOGA B: ŠTUDIJE SENC

PRILOGA C: ANALIZA OSVETLJENOSTI

PRILOGA D: IZPIS REZULTATOV IZ PROGRAMA ARCHICAD

PRILOGA E: IZPIS REZULTATOV IZ PROGRAMA KNAUF INSULATION ENERGIJA

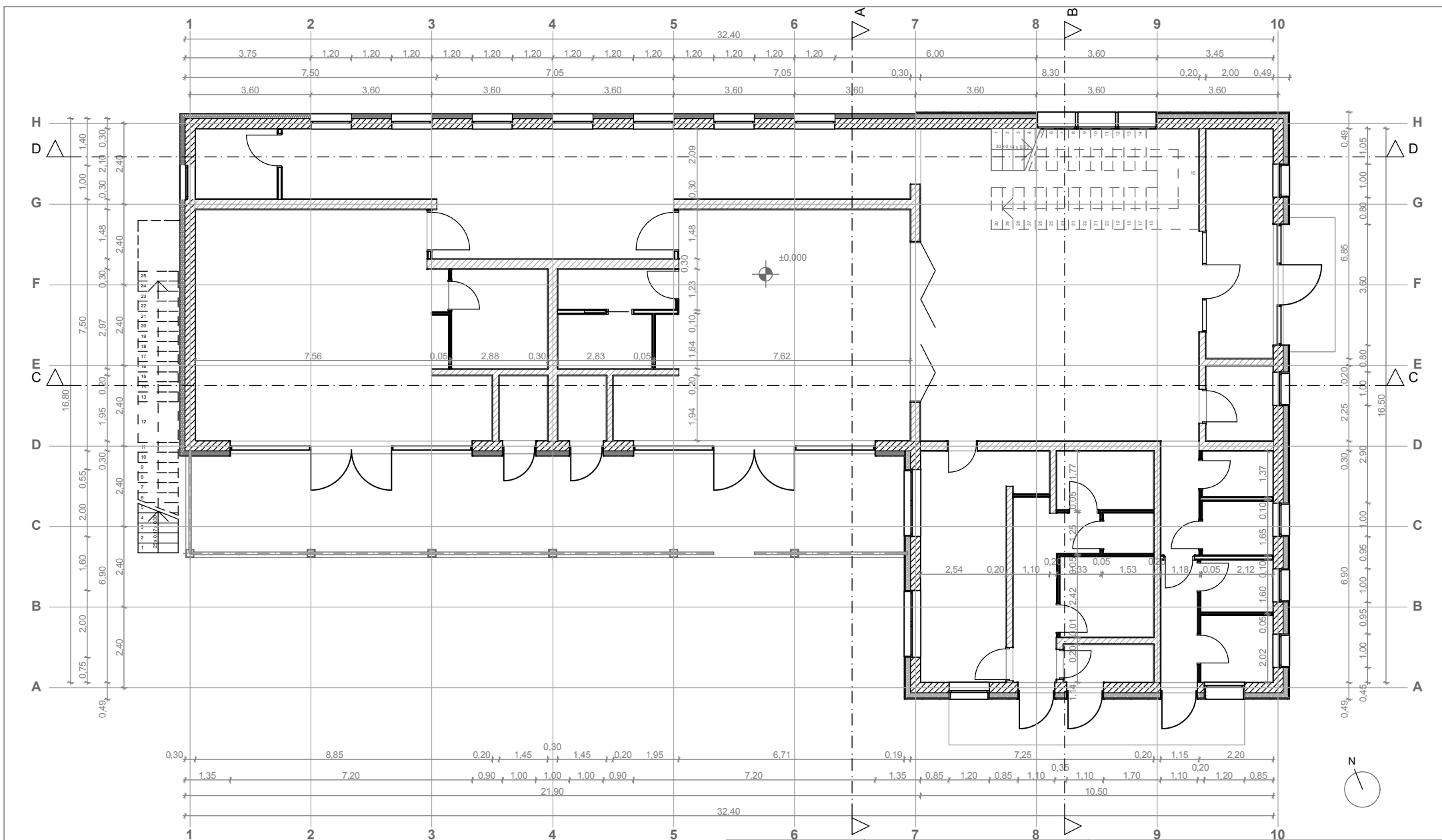
PRILOGA F: IZPIS REZULTATOV IZ PROGRAMA TEDI

PRILOGA G: IZPIS REZULTATOV IZ PROGRAMA TOST

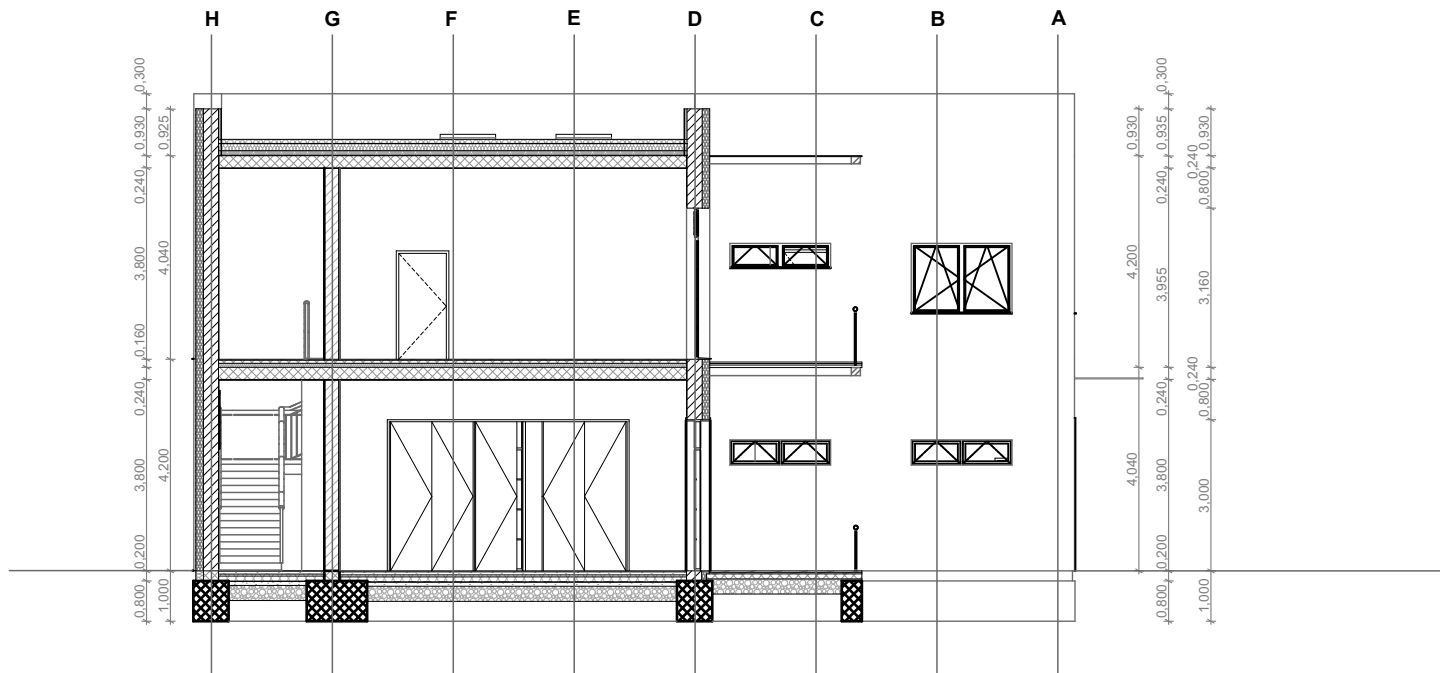
PRILOGA A: NAČRTI ARHITEKTURE OBRAVNAVANEGA OBJEKTA

Seznam risb:

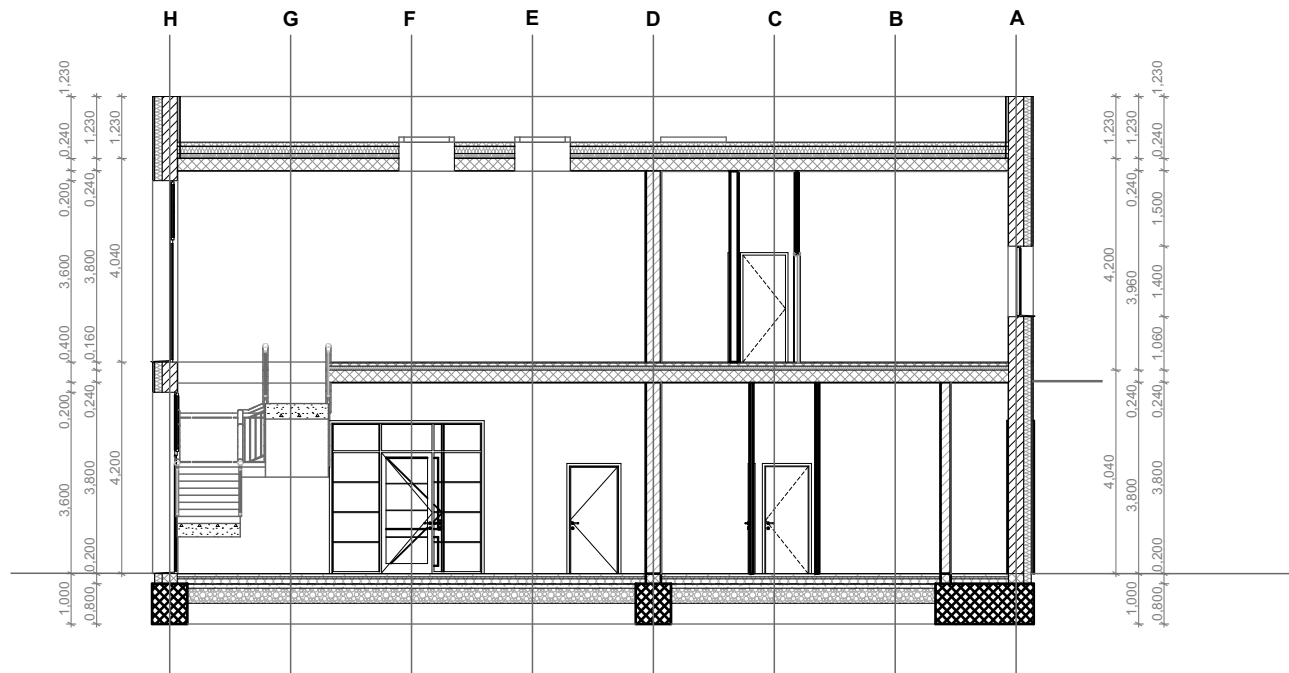
TLORIS PRITLIČJA	M 1:150
TLORIS NADSTROPJA	M 1:150
PREREZ A-A	M 1:150
PREREZ B-B	M 1:150
PREREZ C-C	M 1:150
FASADA SEVER, VZHOD	M 1:150
FASADA JUG, ZAHOD	M 1:150



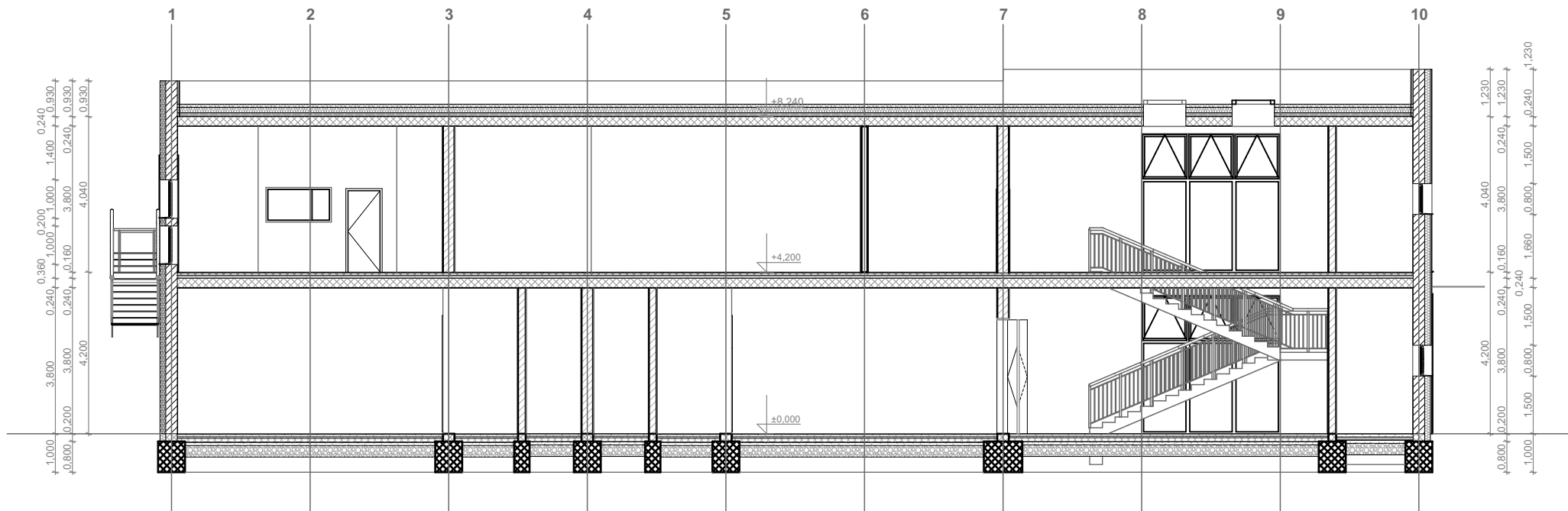
Naslov risbe:	Tloris pritličja	Izdelala:	Jerneja Završki
Merilo:	1:150	Datum:	September 2014



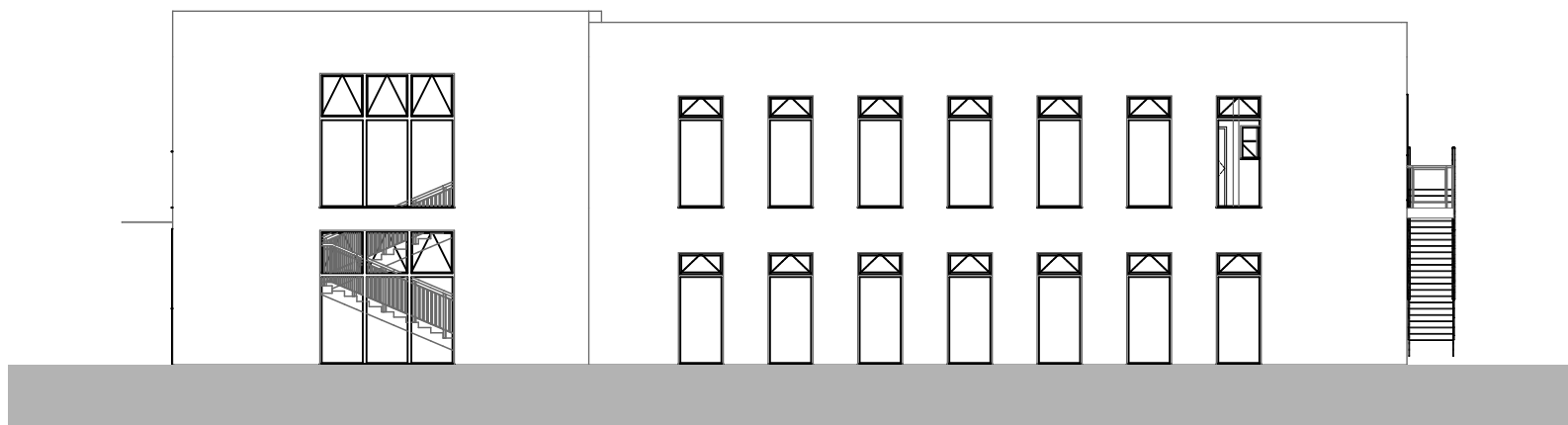
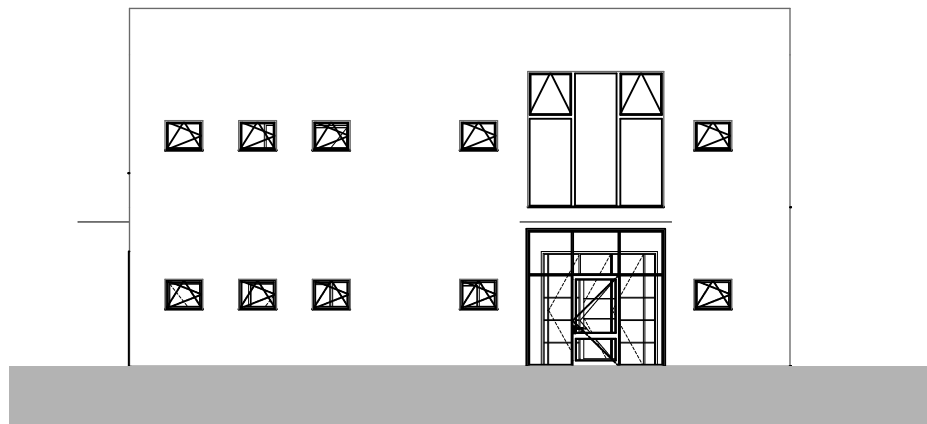
Naslov risbe:	Prerez A-A	Izdelala:	Jerneja Završki
Merilo:	1:150	Datum:	September 2014



Naslov risbe:	Prerez B-B	Izdelala:	Jerneja Završki
Merilo:	1:150	Datum:	September 2014



Naslov risbe:	Prerez C-C	Izdelala:	Jerneja Završki
Merilo:	1:150	Datum:	September 2014



Naslov risbe: Fasada Sever, Vzhod

Izdelala:

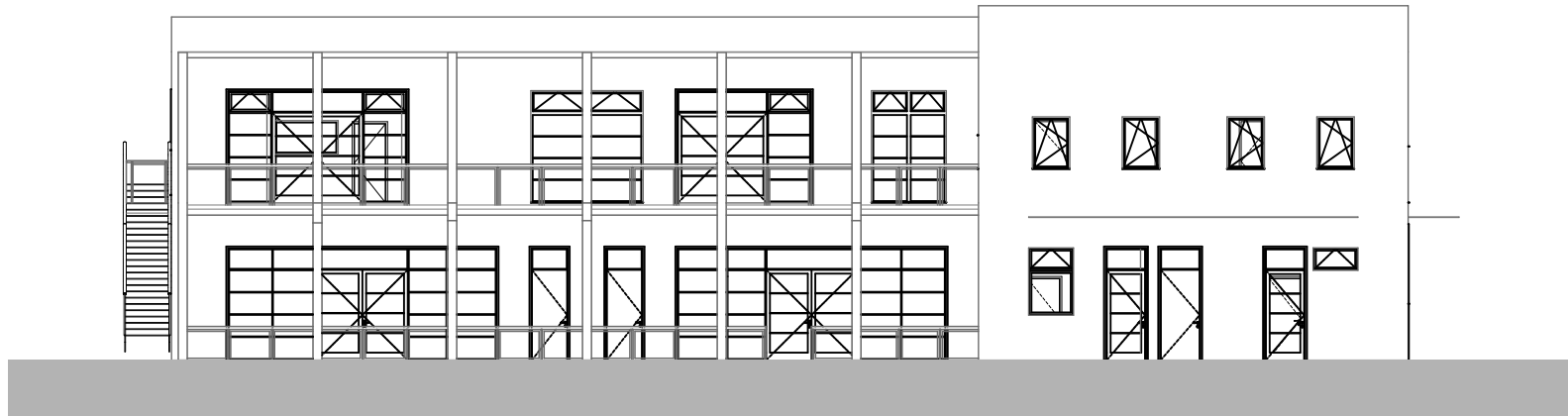
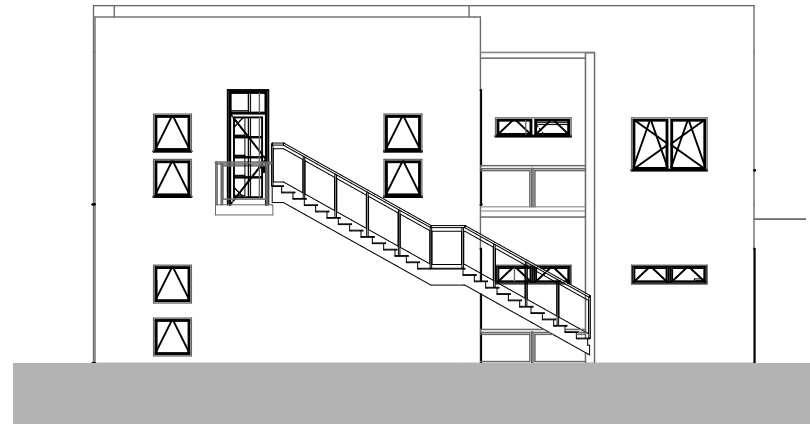
Jerneja Završki

Merilo:

1:150

Datum:

September 2014



Naslov risbe:	Fasada Jug, Zahod	Izdelala:	Jerneja Završki
Merilo:	1:150	Datum:	September 2014

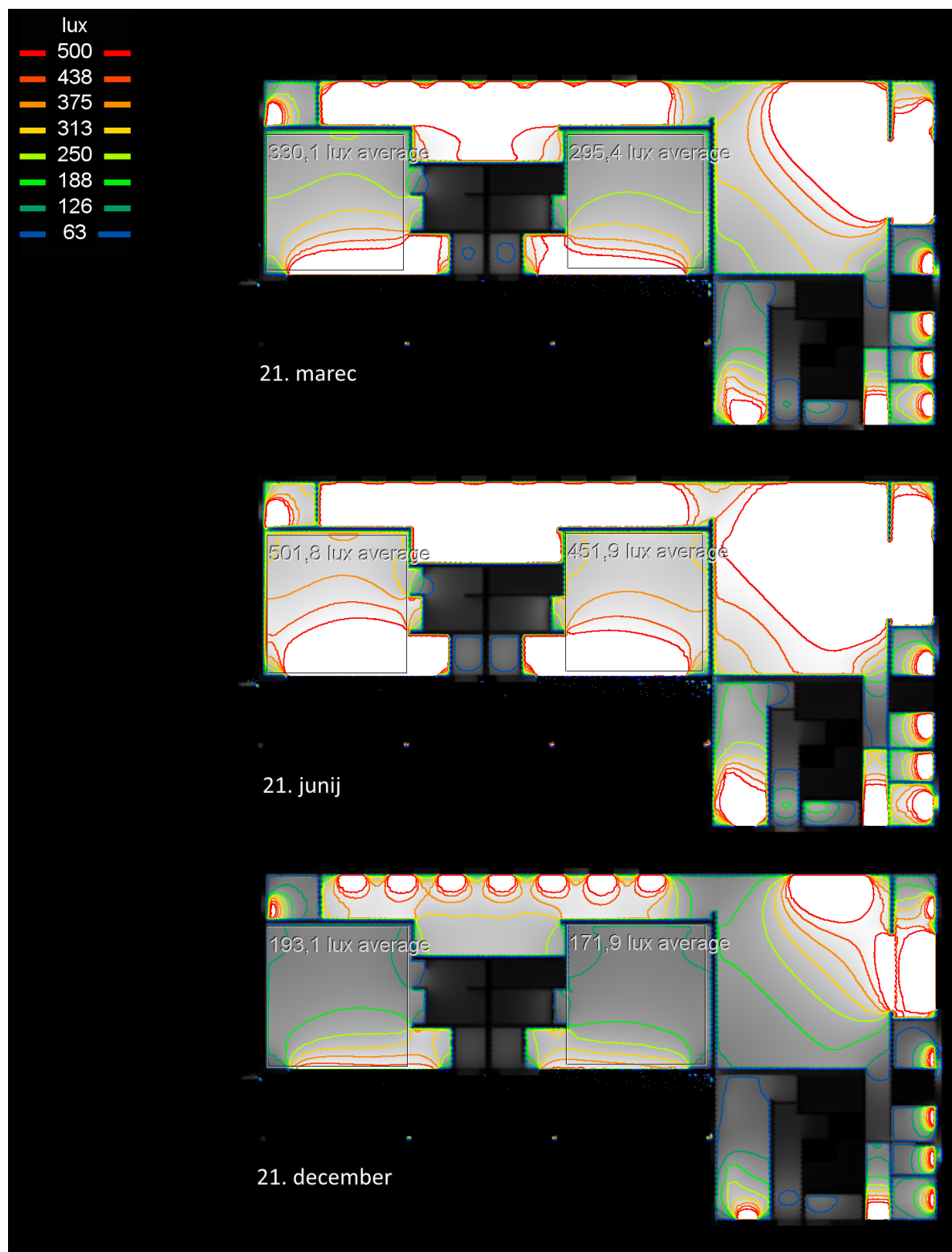
PRILOGA B: ŠTUDIJE SENC



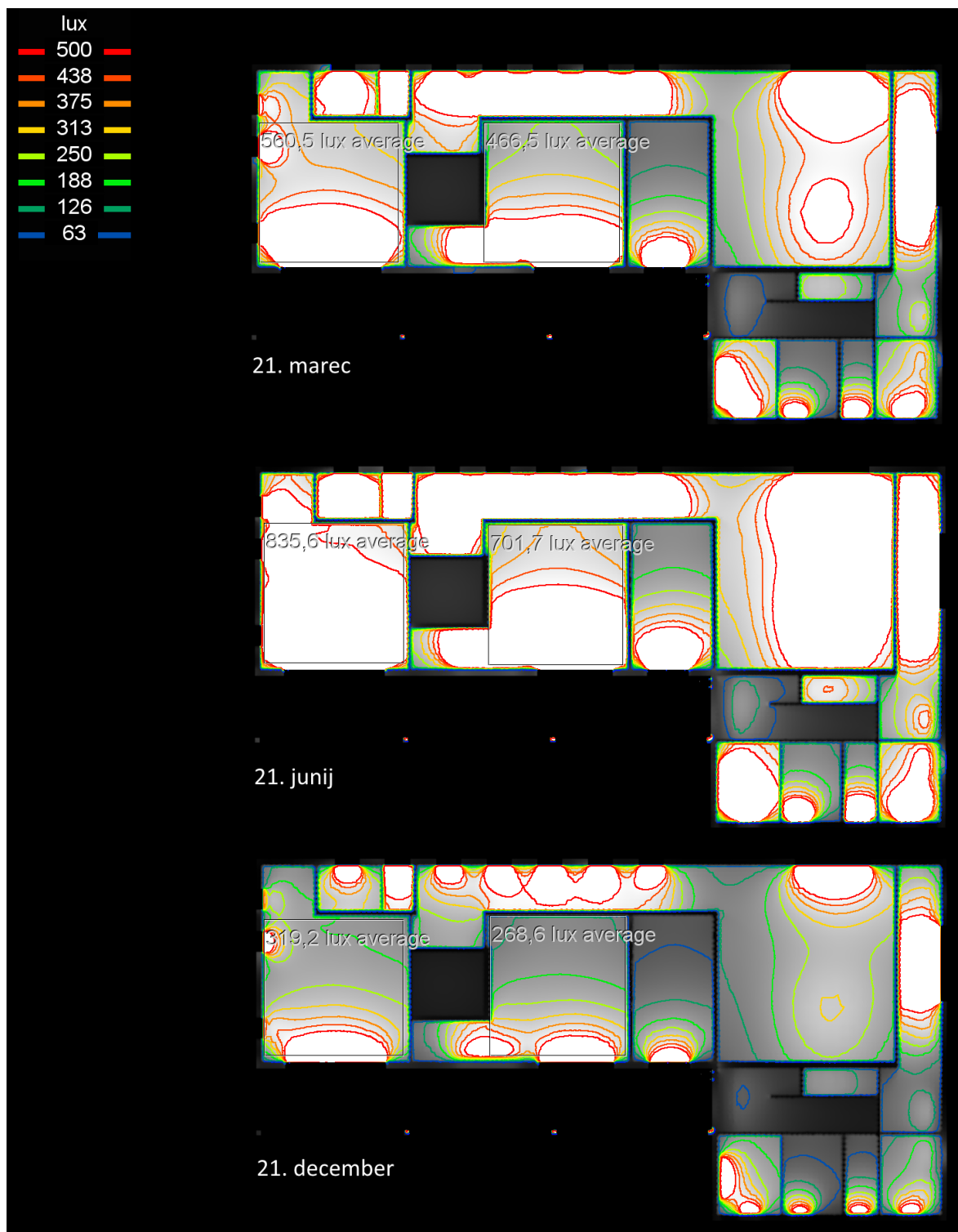
Slika B 1: Vrtenje objekta okoli svoje osi po 15° in analiza senc z vtičnikom Shadow Analysis

PRILOGA C: ANALIZA OSVETLJENOSTI

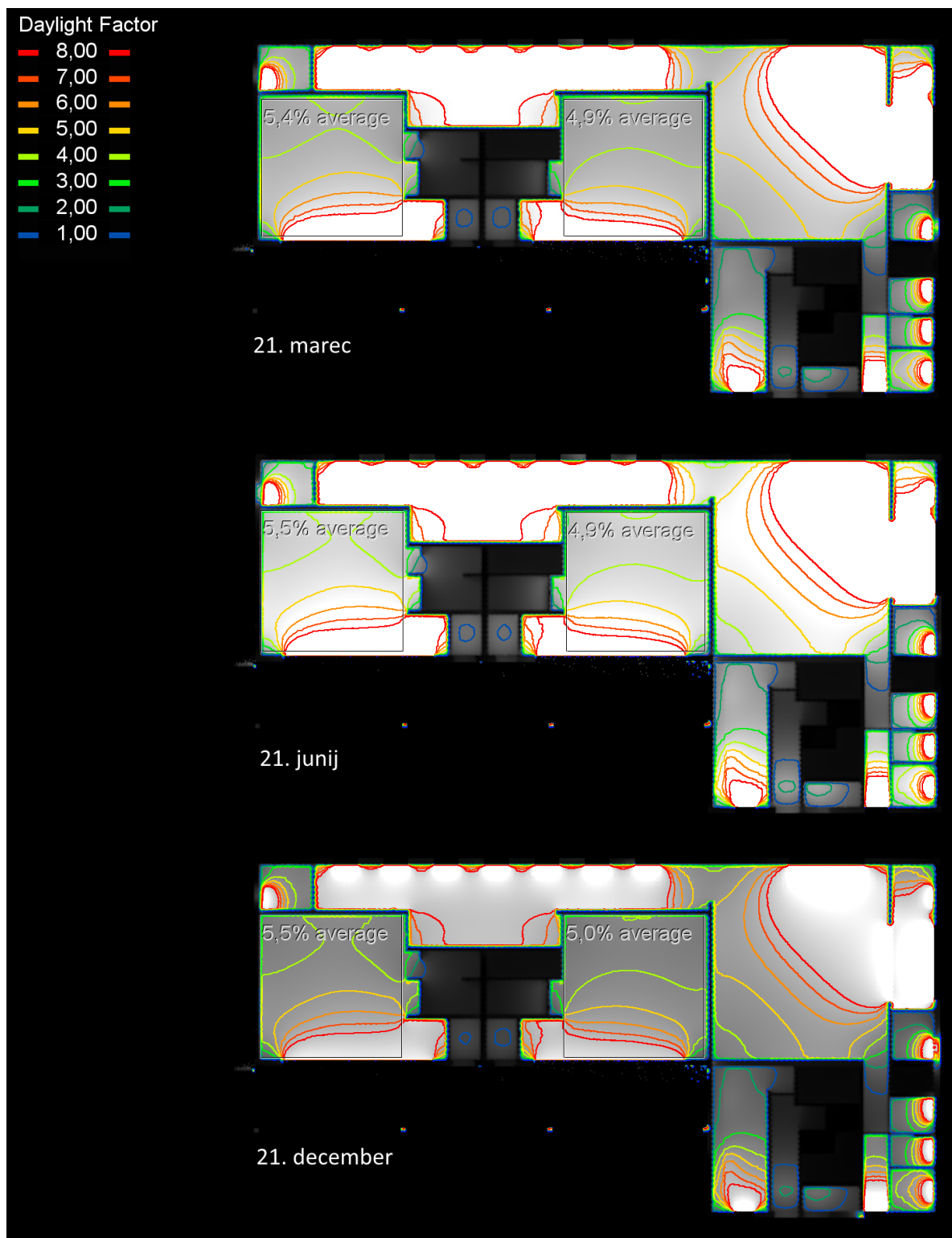
Prikazani so grafični rezultati analize osvetljenosti s programom Velux Daylight Visualizer.



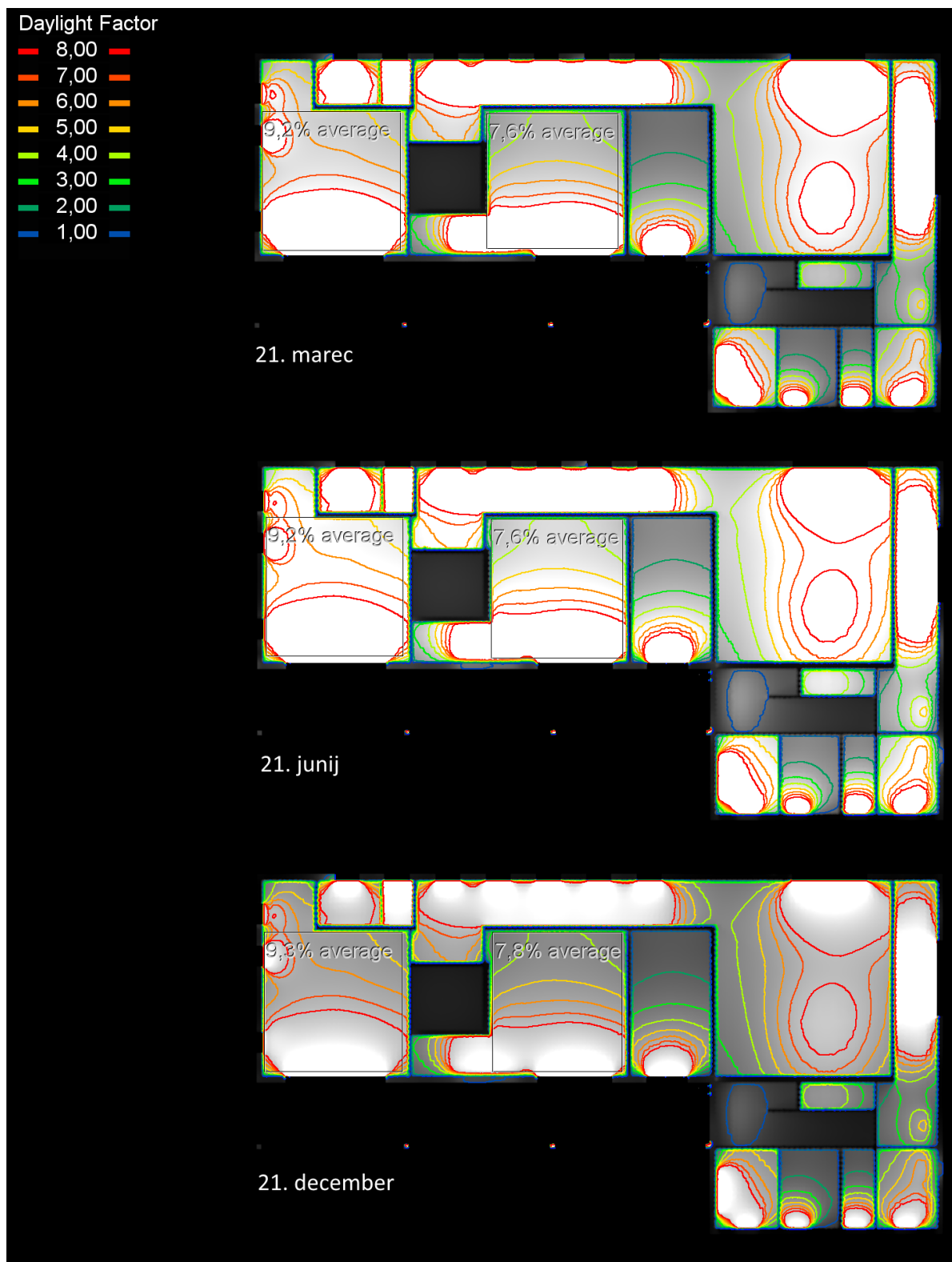
Slika C 1: Osvetljenost pritličja



Slika C 2: Osvetljenost nadstropja



Slika C 3: KDS pritličja



Slika C 4: KDS nadstropja

PRILOGA D: IZPIS REZULTATOV IZ PROGRAMA ARCHICAD

Energy Performance Evaluation

[Project Number] [Project Name]

Key Values

General Project Data

Project Name: 2014-09-02
 City Location:
 Climate Data Source: Strusoft server
 Evaluation Date: 3.9.2014 0:56:48

Heat Transfer Coefficients

U value [W/m²K]
 Building Shell Average: **0,33**
 Floors: **0,23 - 0,25**
 External: **0,11 - 0,15**
 Underground: --
 Openings: **0,87 - 1,14**

Building Geometry Data

Gross Floor Area: **795,65** m²
 Treated Floor Area: **695,71** m²
 External Envelope Area: **1052,43** m²
 Ventilated Volume: **2631,53** m³
 Glazing Ratio: **17** %

Net Heating Energy: **45,27** kWh/m²a
 Net Cooling Energy: **22,43** kWh/m²a
 Total Net Energy: **67,71** kWh/m²a
 Energy Consumption: **102,34** kWh/m²a
 Fuel Consumption: **39,56** kWh/m²a
 Primary Energy: **169,21** kWh/m²a
 Fuel Cost: **2,89** €/m²a
 CO₂ Emission: **20,97** kg/m²a

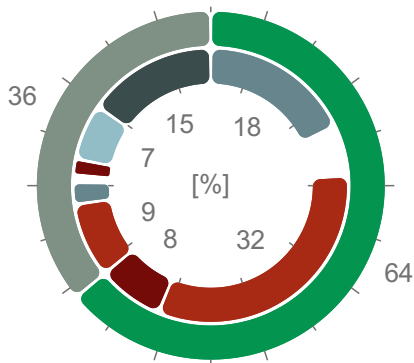
Building Shell Performance Data

Infiltration at 50Pa: **1,36** ACH
 Outer Heat Capacity: **113.32** J/m²K

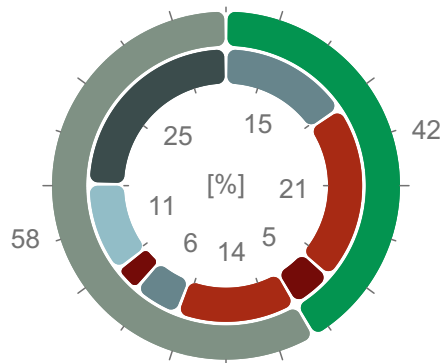
Energy Consumption by Sources

Source Type	Energy				CO ₂ Emission kg/a
	Source Name	Quantity MWh/a	Primary MWh/a	Cost €/a	
Renewable	External Air	48	48	NA	0
Secondary	Electricity	27	68	2007	14587
Total:		76	117	2007	14587

Energy Quantity



Primary Energy



Quantity by Source:

Primary by Source:

[MWh/a]

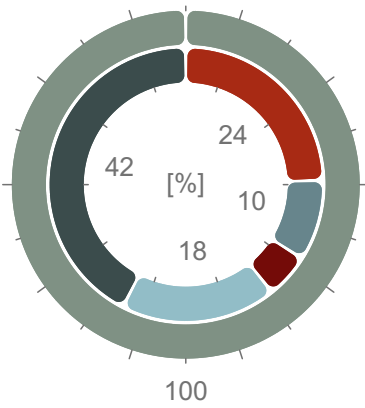
76431

117718

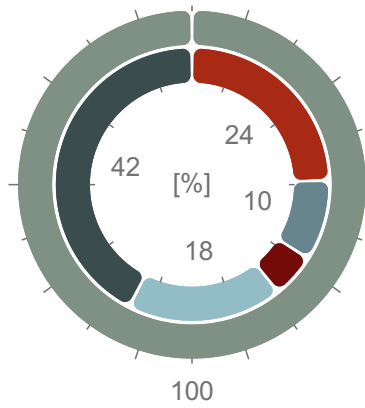
Energy Performance Evaluation

[Project Number] [Project Name]

Energy Cost



CO₂ Emission



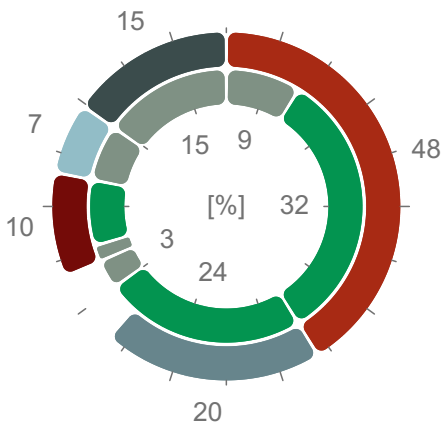
Energy Targets

- Heating
- Service Hot-Water Heating
- Cooling
- Ventilation Fans
- Lighting
- Equipment

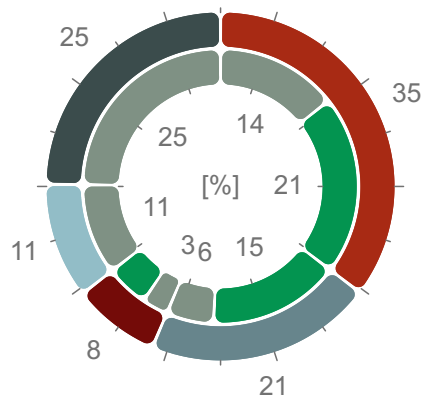
Energy Consumption by Targets

Target Name	Energy			CO ₂ Emission kg/a
	Quantity MWh/a	Primary MWh/a	Cost €/a	
■ Heating	31	41	491	3573
■ Cooling	15	24	190	1387
■ Service Hot-Water	7	9	105	763
■ Ventilation Fans	5	12	368	2674
■ Lighting & Appliances	11	29	851	6189
Total:	71	117	2007	14587

Energy Quantity

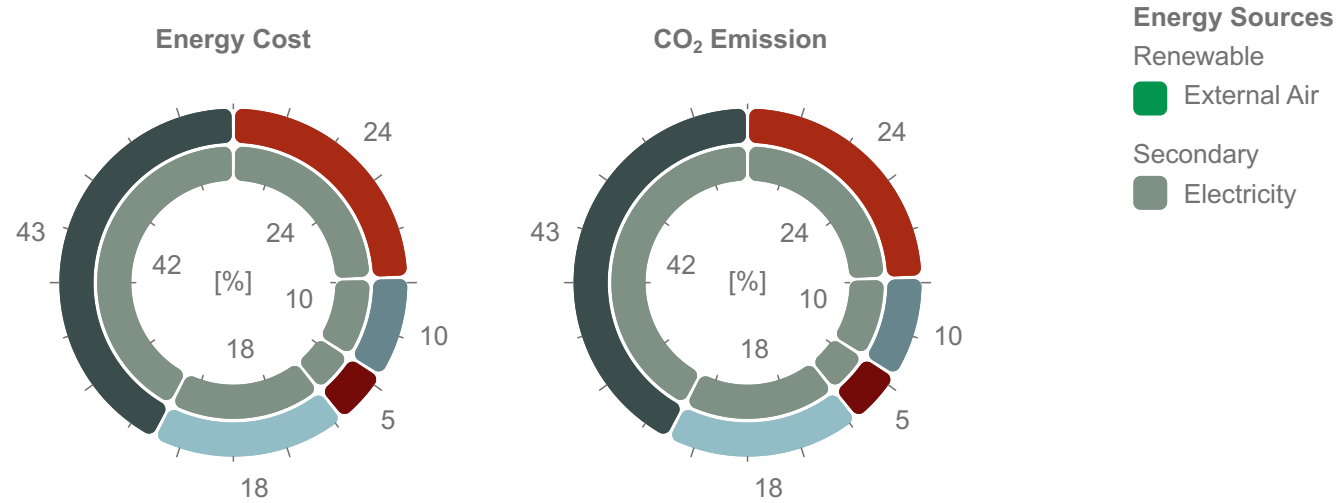


Primary Energy

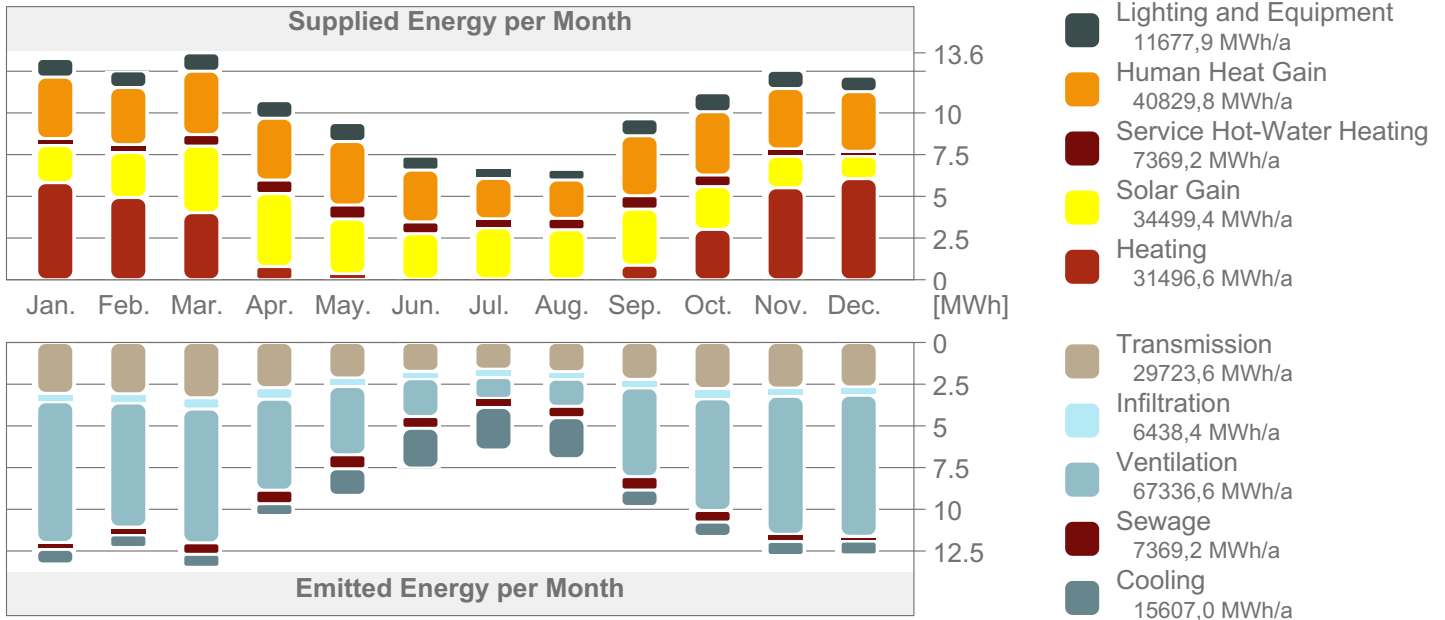


Energy Performance Evaluation

[Project Number] [Project Name]



Project Energy Balance



Thermal Blocks

Thermal Block	Zones Assigned	Operation Profile	Gross Floor Area m ²	Volume m ³
001 Igralnice	8	Classroom	301,68	1029,35
002 Hodniki	9	Circulation and tra...	327,84	1102,16
003 Sanitarije	11	Toilets and sanitar...	65,06	207,21
004 Ostalo	11	Other habitable ro...	101,06	292,81
Total:	39		795,65	2631,53

Environmental Impact

Source Type	Source Name	Primary Energy kWh/a	CO ₂ emission kg/a
Renewable	External Air	48907	0
Secondary	Electricity	68810	14587
Total:		117718	14587

PRILOGA E: IZPIS REZULTATOV IZ PROGRAMA KNAUF INSULATION ENERGIJA

ELABORAT GRADBENE FIZIKE ZA PODROČJE UČINKOVITE RABE ENERGIJE V STAVBAH

izdelan za stavbo

Vrtec

Izračun je narejen v skladu po »Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah 2010« in Tehnični smernici TSG-1-004:2010.

Številka elaborata: 1

Status projekta: za PGD

Projektivno podjetje: FGG

Odgovorni projektant: Jerneja Završki

Elaborat izdelal: JZ.

Maribor, 04.09.2014



PODATKI O PROJEKTU

Projekt: Vrtec

Stavba	Vrtec
Investitor Naziv oz. fizična oseba, naslov	Občina MB
Lokacija stavbe (kraj, naselje, ulica)	Maribor , Ulica
Katastrska(e) občina(e)	PEKRE
Parcelna(e) številka(e) Koordinate lokacije stavbe (Y, X)	*20/2, 25/4, 25/2 Y: 546121 X: 156685
Namembnost: (stanovanjska, poslovna, ...)	12630 Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo
Etažnost:	2

Naziv: Vrtec
znanstvenoraziskovalno delo

Vrsta: 12630 Del stavbe za izobraževanje ali

Bruto ogrevana prostornina	2248,33 m ³		
Neto ogrevana prostornina	1798,66 m ³		
Neto uporabna površina	625,85 m ²		
Faktor oblike f _o (za stavbo)	0,84 m ⁻¹		
Razmerje med površino oken in površino toplotnega ovoja z (za stavbo)	0,122		
Povprečna letna temperatura T _L	9,7 °C		
Zunanja zimska projektna temperatura	-13 °C		
Temperaturni primankljaj za ogrevanje (Kdan/a)	3300 Kdan/a		
Temperaturni primanjkljaj za hlajenje (TPR)	-		
Ogrevana s prekinitvami	DA		
Notranja temperatura pozimi	20,8 °C	poleti	25,8 °C
Vrsta			
Notranji viri pozimi	4 W/m ²	poleti	3,8 W/m ²
Način gradnje	Srednjetežka gradnja (ro zunanjega zidu >= 600 kg/m ²)		202,78 MJ/K

Vlažnost zraka	65 %		
Prezračevanje	Mehansko z vračanjem toplote		
Izmenjava zraka pozimi	0,3 h ⁻¹	poleti	0,3 h ⁻¹
Prezračevanje zraka pozimi	500 m ³ /h	poleti	500 m ³ /h
Število izmenjav pri 50 Pa	1 h ⁻¹		
Lega	Podeželje		
Zavetrovanost fasad	Vetru izpostavljenih več fasad		
Izkoristek vračanja toplote	90		

SPISEK KONSTRUKCIJ

Projekt: Vrtec

Cona	12630 Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo	Tip konstrukcije	Zunanja stena
Naziv konstrukcije	F1 - vzhod	Difuzija vodne pare	Ustreza
Toplotna prehodnost	0,114 W/m ² K Ustreza		

Sloji v konstrukciji	d [cm]	topl. prevodnost [W/mK]	gostota [kg/m ³]
Podaljšana apnena malta (1900)	1	0,99	1900
Porotherm	30	0,18	750
KI parna ovira LDS 2 Silk	0,2	0,19	450
Trda kamena volna	15	0,022	40
Paroprepustna folija	0,01	0,19	459
VERT. d=3cm	3	0,167	1
Panelne plošče	1	0,12	600

Cona	12630 Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo	Tip konstrukcije	Zunanja stena
Naziv konstrukcije	F1 - sever	Difuzija vodne pare	Ustreza
Toplotna prehodnost	0,114 W/m ² K Ustreza		

Sloji v konstrukciji	d [cm]	topl. prevodnost [W/mK]	gostota [kg/m ³]
Podaljšana apnena malta (1900)	1	0,99	1900
Porotherm	30	0,18	750
KI parna ovira LDS 2 Silk	0,2	0,19	450
Trda kamena volna	15	0,022	40
Paroprepustna folija	0,01	0,19	459
VERT. d=3cm	3	0,167	1
Panelne plošče	1	0,12	600

Cona	12630 Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo	Tip konstrukcije	Zunanja stena
Naziv konstrukcije	F1 - zahod	Difuzija vodne pare	Ustreza
Toplotna prehodnost	0,114 W/m ² K		

Sloji v konstrukciji	d [cm]	topl. prevodnost [W/mK]	gostota [kg/m ³]
Podaljšana apnena malta (1900)	1	0,99	1900
Porotherm	30	0,18	750
KI parna ovira LDS 2 Silk	0,2	0,19	450
Trda kamena volna	15	0,022	40
Paroprepustna folija	0,01	0,19	459
VERT. d=3cm	3	0,167	1
Panelne plošče	1	0,12	600

Cona	12630 Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo	Tip konstrukcije	Zunanja stena
Naziv konstrukcije	F1 - jug	Difuzija vodne pare	Ustreza
Toplotna prehodnost	0,114 W/m ² K		

Sloji v konstrukciji	d [cm]	topl. prevodnost [W/mK]	gostota [kg/m ³]
Podaljšana apnena malta (1900)	1	0,99	1900
Porotherm	30	0,18	750
KI parna ovira LDS 2 Silk	0,2	0,19	450
Trda kamena volna	15	0,022	40
Paroprepustna folija	0,01	0,19	459
VERT. d=3cm	3	0,167	1
Panelne plošče	1	0,12	600

Cona	12630 Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo	Tip konstrukcije	Zunanja stena
Naziv konstrukcije	F2 - jug	Difuzija vodne pare	Ustreza
Toplotna prehodnost	0,151 W/m ² K		

Sloji v konstrukciji	d [cm]	topl. prevodnost [W/mK]	gostota [kg/m ³]
Apnena malta	1	0,81	1600
Porotherm	30	0,18	750
Baumit open plus	15	0,032	16

Cona	12630 Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo	Tip konstrukcije	Zunanja stena
Naziv konstrukcije	F2 - sever	Difuzija vodne pare	Ustreza
Toplotna prehodnost	0,151 W/m ² K		

Sloji v konstrukciji	d [cm]	topl. prevodnost [W/mK]	gostota [kg/m ³]
Apnena malta	1	0,81	1600

KNAUFINSULATION

Porothem	30	0,18	750
Baumit open plus	15	0,032	16

Cona	12630 Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo	Tip konstrukcije	Zunanja stena
Naziv konstrukcije	F2 - zahod	Difuzija vodne pare	Ustreza
Toplotna prehodnost	0,151 W/m ² K Ustreza		

Sloji v konstrukciji	d [cm]	topl. prevodnost [W/mK]	gostota [kg/m ³]
Apnena malta	1	0,81	1600
Porothem	30	0,18	750
Baumit open plus	15	0,032	16

Cona	12630 Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo	Tip konstrukcije	Ravna streha
Naziv konstrukcije	T5	Difuzija vodne pare	Ustreza
Toplotna prehodnost	0,129 W/m ² K Ustreza		

Sloji v konstrukciji	d [cm]	topl. prevodnost [W/mK]	gostota [kg/m ³]
Mavčno.kart.plošče-do 15mm	1,25	0,21	900
HOR. DOL, d=3cm	3	0,154	1
Betoni s kam. agregati (2400)	24	2,04	2400
Bitum. premaz (armiran) 10 mm	1	0,17	1100
XPS KI Polyfoam C-350 d > 120 mm	14	0,036	35
XPS KI Polyfoam C-350 d > 120 mm	12	0,036	35
PVC folija, mehka	0,02	0,19	1200
Geotekstil	0,01	0,1	100
Gramozno nasutje	10	1,4	1750

Cona	12630 Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo	Tip konstrukcije	Medetažne konstrukcije med ogrevanimi prostori različnih enot, različnih uporabnikov ali lastnikov v nestanovanjskih stavbah
Naziv konstrukcije	Tla nadstropja	Difuzija vodne pare	Ustreza
Toplotna prehodnost	0,38 W/m ² K Ustreza		

Sloji v konstrukciji	d [cm]	topl. prevodnost [W/mK]	gostota [kg/m ³]
Parket	2	0,21	700
Cementni estrih	6	1,4	2200
Polietilenska folija	0,02	0,19	1000
XPS KI Polyfoam C-500 d = 80 mm	8	0,037	40
Betoni s kam. agregati (2500)	24	2,33	2500
Mavčno.kart.plošče-do 15mm	1,25	0,21	900

Cona	12630 Del stavbe za izobraževanje ali		
------	---------------------------------------	--	--

Naziv konstrukcije	znanstvenoraziskovalno delo Tla	Tip konstrukcije	Tla na terenu
Toplotna prehodnost	0,215 W/m ² K Ustreza	Difuzija vodne pare	

Sloji v konstrukciji	d [cm]	topl. prevodnost [W/mK]	gostota [kg/m ³]
Ker. ploščice	2	1,28	2,3
Betoni s kam. agregati (2200)	6	1,51	2200
KI parna ovira LDS 2 Silk	0,02	0,19	450
XPS KI Polyfoam C-ULTRAGRIP d =50 - 60 mm	4	0,04	35
XPS KI Polyfoam C-ULTRAGRIP d = 80 - 120 mm	6	0,04	35
Bitumen	0,5	0,17	1100
Betoni s kam. agregati (2200)	8	1,51	2200
Gramozno nasutje	30	1,4	1750

IZPIS ANALIZE KONSTRUKCIJ

Projekt: Vrtec

Naziv cone: Vrtec	Namembnost: 12630 Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo
-------------------	---

Konstrukcije na ovoju stavbe

Naziv	Tip	A (m ²)	As (m ²)	U (W/m ² K)	Difuzija v. pare	b	Smer	Naklon	g	g.Fs.Fc	Ht (W/K)
F1 - vzhod	Zunanja stena	150,6		0,11	Ustreza	1					17,18
F1 - sever	Zunanja stena	95,3		0,11	Ustreza	1					10,87
F1 - zahod	Zunanja stena	62,3		0,11	Ustreza	1					7,11
F1 - jug	Zunanja stena	95,3		0,11	Ustreza	1					10,87
F2 - jug	Zunanja stena	176,6		0,15	Ustreza	1					26,65
F2 - sever	Zunanja stena	176,6		0,15	Ustreza	1					26,65
F2 - zahod	Zunanja stena	88,3		0,15	Ustreza	1					13,33
T5	Ravna streha	403,65		0,13	Ustreza	1					51,87
Tla	Tla na terenu	403,7		0,22		1					86,99
Okno - zahod - N - F1	Jelostar wood 7800	2,8	1,09	0,7		1	Z	90	0,43	0,15	1,95
Okno - zahod - F2 - P X2	Jelostar wood 7800	1,28	0,5	0,7		1	Z	90	0,43	0,15	0,89
Okno - zahod - P - F1 X2	Jelostar wood 7800	2	0,78	0,7		1	Z	90	0,43	0,15	1,39
Okno - zahod - N - F1	Jelostar wood 7800	1	0,39	0,7		1	Z	90	0,43	0,15	0,7
Okno - SEVER - N - F1	Jelostar wood 7800	12,96	5,06	0,7		1	S	90	0,43	0,11	9,01
Okno - sever- P - F1	Jelostar wood 7800	12,96	5,06	0,7		1	S	90	0,43	0,11	9,01
Okno - JUG - P - F1	Jelostar wood 7800	2,16	0,65	0,7		1	J	90	0,43	0,08	1,5
Okno - SEVER - N - F2 X7	Jelostar wood 7800	25,2	7,53	0,82		1	S	90	0,33	0,33	20,69
Okno - SEVER - F2 - N X7	Jelostar wood 7800	25,2	7,53	0,82		1	S	90	0,33	0,33	20,69
Okno - JUG - N	Jelostar wood 7800	9	3,41	0,7		1	J	90	0,43	0,15	6,26
Okno - JUG - N	Jelostar wood 7800	6	2,27	0,7		1	J	90	0,43	0,15	4,17
Okno - VZHOD - P - F1 X5	Jelostar wood 7800	4	1,56	0,7		1	V	90	0,43	0,15	2,78
Okno - zahod -N - F2 X4	Jelostar wood 7800	4	1,56	0,7		1	Z	90	0,43	0,15	2,78
Okno - jug - P-F1	Jelostar wood 7800	0,72	0,22	0,7		1	J	90	0,43	0,12	0,5
Okno - jug - N - F1 X4	Jelostar wood 7800	5,6	2,12	0,7		1	J	90	0,43	0,15	3,89
OKNO - V - N - F1 X5	Jelostar wood 7800	4	1,56	0,7		1	V	90	0,43	0,15	2,78
steklena vrata - V - P	Jelostar wood 7800	12,96	5,06	0,7		1	V	90	0,43	0,15	9,01
OKNO - V - N	Jelostar wood 7800	10,8	4,22	0,7		1	V	90	0,43	0,15	7,51
Steklena vrata - Z - N	Jelostar wood 7800	3	1,17	0,7		1	Z	90	0,43	0,15	2,09
Steklena vrata - J - P - F1 x2	Jelostar wood 7800	6,6	2,58	0,7		1	J	90	0,43	0,15	4,59



Vrata - J - P - F1	VV Futura FC 100	3,3	0	0,9	1	J	90	0	0	2,97
Vrata - J - P - F2 - x2	VV Futura FC 100	6,6	0	0,9	1	J	90	0	0	5,94
Steklena vrata - J - P - F2 - x2	Jelostar wood 7800	43,2	12,91	0,7	1	J	90	0,43	0,12	30,02
Steklena vrata - J - N - F2	Jelostar wood 7800	14,4	5,46	0,7	1	J	90	0,43	0,15	10,01
Steklena vrata - J - N - F2	Jelostar wood 7800	10,8	4,09	0,7	1	J	90	0,43	0,15	7,51

Notranje konstrukcije

Naziv	Tip	U (W/m ² K)	Ustreznost
Tla nadstropja	Medetažne konstrukcije med ogrevanimi prostori različnih enot, različnih uporabnikov ali lastnikov v nestanovanjskih stavbah	0,38	Ustreza

Toplotni mostovi

Naziv	Dolžina (m)	ψ W/K
Linijski toplotni mostovi s toplotno prehodnostjo <0,01 W/mK		

LETNA POTREBNA TOPLOTA ZA OGREVANJE STAVBE

Projekt: Vrtec

Naziv: Vrtec

Vrsta: 12630 Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo

Ogrevanje	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec	Skupaj
	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/a
Trans. izgube	6814	5590	4939	3267						3376	5082	6501	35569
Prezrač. izgube	474	389	344	227						235	354	452	2475
Dobitki not. virov	1863	1682	1863	1802						1863	1802	1863	12737
Dobitki sončnega sevanja	2236	2965	3733	3967						3028	1956	1811	19697
Učinkovitost dobitkov	1,00	0,98	0,88	0,60						0,73	0,99	1,00	
Toplota za gretje (Q_{NH})	3197	1438	384	13						58	1714	3285	10089

LETNI POTREBNI HLAD ZA HLAJENJE STAVBE

Projekt: Vrtec

Naziv: Vrtec

Vrsta: 12630 Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo

Hlajenje	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec	Skupaj
	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/m	kWh/a
Trans. izgube					1198	2359	1813	2125	2396				9891
Prezrač. izgube					485	955	734	860	969				4003
Dobitki not. virov					632	1725	1782	1782	1265				7187
Dobitki sončnega sevanja					659	1891	2029	1852	1164				7596
Učinkovitost dobitkov					0,74	0,92	0,98	0,95	0,70				
Hlad za hlajenje (Q_{NC})					48	583	1310	804	66				2811

ENERGIJSKA UČINKOVITOST STAVBE

Projekt: Vrtec

ENERGIJSKA UČINKOVITOST STAVBE

Toplota		jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
Qf,h - dovedena toplota za ogrevanje	kWh/m	3737	1693	434	0	0	0	0	0	0	0	2001	3828	11693
Qf,w - dovedena toplota za toplo vodo	kWh/m	1251	1130	1251	1211	1251	1208	1248	1248	1208	1251	1211	1251	14722
Qf - toplota in hlad za delovanje stavbe	kWh/m	4988	2823	1686	1211	1251	1208	1248	1248	1208	1251	3212	5079	26415
Qove - toplota iz OVE v Qf	kWh/m	2727	1805	1160	905	966	950	990	987	936	939	2099	2972	17435
Električna energija		jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
W _h +aux + W _w +aux - potrebna el. energija za ogrevanje in toplo vodo	kWh/m	1460	842	521	331	311	283	283	287	296	338	963	1504	7420
W _c +aux - potrebna električna energija za hlajenje	kWh/m	0	0	0	0	18	213	478	293	24	0	0	0	1026
W _v +aux - potrebna električna energija za prezračevanje	kWh/m	818	739	818	792	818	792	818	818	792	818	792	818	9636
W _{light} - potrebna električna energija za razsvetljavo	kWh/m													9137
W _f - potrebna električna energija za delovanje stavbe	kWh/m	2279	1581	1340	1123	1147	1288	1580	1399	1112	1156	1755	2322	27219

KAZALNIKI ENERGIJSKE UČINKOVITOSTI STAVBE			Ustreznost
H't - koeficient specifičnih transmisijskih izgub		W/m ² K	0,223 DA
H't dovoljeno		W/m ² K	0,391
QNH - potrebna toplota za ogrevanje stavbe		kWh/a	10089
QNH/ve		kWh/m ³ a	4,5 DA
QNH/ve dovoljeno		kWh/m ³ a	18,2
Qf - toplota in hlad za delovanje stavbe		kWh/a	26415
Wf - potrebna električna energija za delovanje stavbe		kWh/a	27219



Qp - potrebna primarna energija za delovanje stavbe	kWh/a	70338	
Qp/Au	kWh/m ² a	112,4	DA
Qp/Au dovoljeno	kWh/m ² a	283,3	
f _{OVE} - delež obnovljivih virov energije	%	37	DA
letni izpust CO2	kg/a	14843	

Ogrevana površina	626	m ²
Hlajena površina	626	m ²
Notranji dobitki pozimi	4	W/m ²
Specifična moč svetilk	10	W/m ²

TABELARIČNI IZPIS ENERGIJSKIH LASTNOSTI STAVBE

Projekt: Vrtec

Potrebna energija za stavbo

[kWh/a]

		C1	C2	C3	C4	C5
		Ogrevanje		Hlajenje		Topla voda
		Občutena toplota	Latentna toplota (navlaž.)	Občutena toplota	Latentna toplota (navlaž.)	
L1	Toplotni dobitki stavbe in vrnjene toplotne izgube	27954		16705		
L2	Prehod toplote	38043		13894		
L3	Potrebna energija	10089		2811		13560

Toplotne izgube sistema in pomožna energija

[kWh/a]

		C1	C2	C3	C4	C5
		Ogrevanje	Hlajenje	Topla voda	Prezračevanje	Razsvetljava
L4	Električna energija	3299	1026	4121	9636	9137
L5	Toplotne izgube	2580	365	1237		
L6	Vrnjene toplotne izgube	1052	0	948		
L7	V razvodni sistem oddana toplota	11199	0	14722		

Proizvedena energija

[kWh/a]

	Vrsta generatorja	Toplotna črpalka	Kondenzacijski kotel	Toplotna črpalka	Kondenzacijski plinski kotel
	Sistem oskrbe	Ogrevanje	Ogrevanje	topla voda	topla voda
L8	Oddaja toplote	9610	1588	14722	0
L9	Pomožna energija	0	81	0	0
L10	Toplotne izgube gen.	0	666	0	0
L11	Vrnjena toplota	0	172	0	0
L12	Vnesena energija	3075	2082	3822	0
L13	Proizvodnja elektrike	0	0	0	0
L14	Energent	Električna energija	Plin	Električna energija	Plin

Kazalniki - primarna energija

		C1	C2	C3	C4	C5	C6
		dovedena energija					
		Plin	Električna energija	skupaj			
1	Dovedena energija	2082	27219				
2	Faktor pretvorbe	1,1	2,5				
3	Primarna energija	2291	68048	70338			

Kazalniki - emisije CO₂

		C1	C2	C3	C4	C5	C6
		dovedena energija					
		Plin	Električna energija	skupaj			
1	Dovedena energija	2082	27219				
2	Specifične emisije	0,2	0,53				
3	Emisije CO ₂ (kg)	416	14426	14843			

Celotna raba energije in emisije CO₂

Toplotne potrebe stavbe (brez sistemov)	Lastnosti sistemov (toplotne izgube, vračljiva toplota)	Dovedena energija (vsebovana v energentih)	Energijski kazalniki (z upoštevanjem utežnih faktorjev)
Ogrevanje: 9129 Topla voda: 13560 Hlajenje: 2811	Toplota: 3817 Hlad: 0 Elektrika: 8446 Pomožna toplota: - Pomožen hlad: - Razsvetljava: 9137 Prezračevanje: 9636	Elektrika: 27219 Plin: 2082	Primarna energija: 70338 Emisije CO ₂ : 14843
		Oddana energija (vsebovana v energentih)	Primarna e.: 0 Emisije CO ₂ : 0
		Elektrika: 0 Toplota: 0	
		Energija proizvedena iz obnovljivih virov energije	
		Elektrika: 0 Toplota: 17435	

Št. Elaborata: 1	Projektant: FGG	
Kraj, datum: Maribor, 04.09.2014	Odgovorni projektant: Jerneja Završki _____	Izdelovalec: JZ _____

POROČILO O ANALIZI PREHODA TOPLOTE IN VODNE PARE V GRADBENI KONSTRUKCIJI

Projekt: Vrtec

Cona: Vrtec

Konstrukcija: F1 - vzhod

Namembnost: Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo

Tip: Zunanja stena

Sestava gradbene konstrukcije

Naziv materiala	d (cm)	λ (W/mK)	ρ (kg/m ³)	sd (m)
Podaljšana apnena malta (1900)	1	0,99	1900	0,25
Porotherm	30	0,18	750	6
KI parna ovira LDS 2 Silk	0,2	0,19	450	27
Trda kamena volna	15	0,022	40	5,25
Paroprepustna folija	0,01	0,19	459	0,02
VERT. d=3cm	3	0,167	1	0,03
Panelne plošče	1	0,12	600	0,6

Toplotna prehodnost gradbene konstrukcije

Toplotna prehodnost (U) 0,114 W/m²K

Dovoljena (U_{max}) 0,280 W/m²K

Difuzija vodne pare

Kondenzacija na površini Na površinah ne pride do kondenzacije

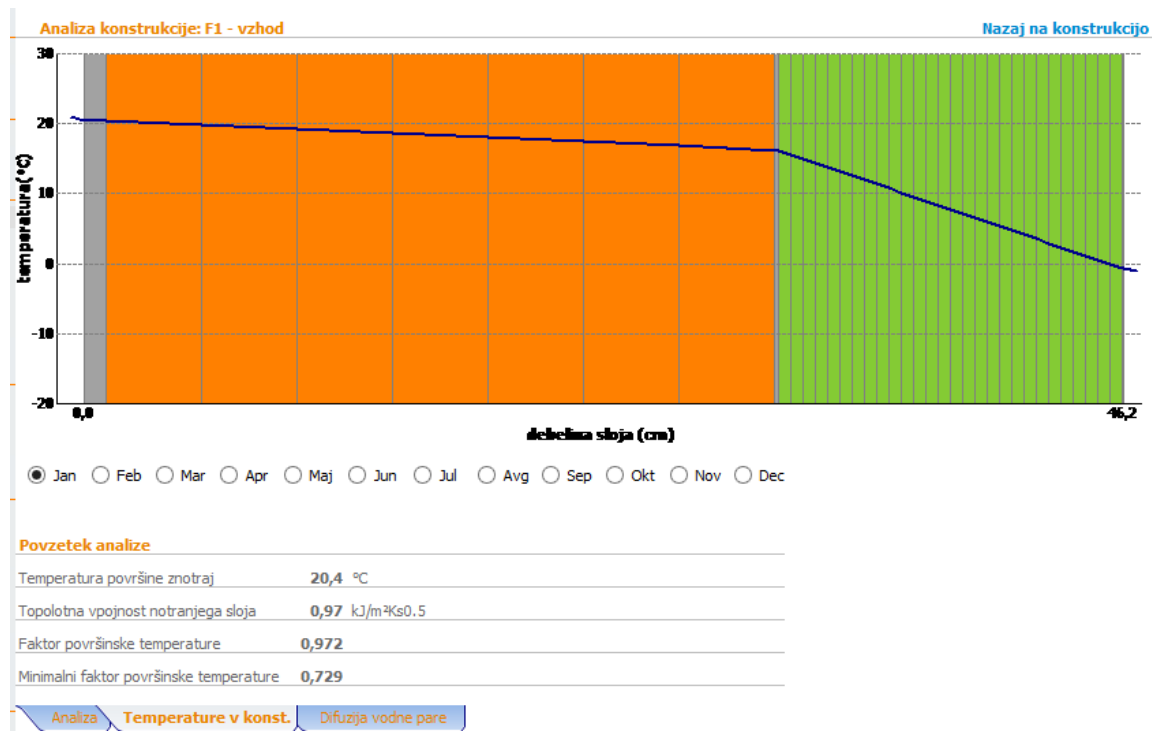
Kondenzacija v konstrukciji Ni kondenzacije v konstrukciji

Maksimalna količina kondenzata 0 g/m²

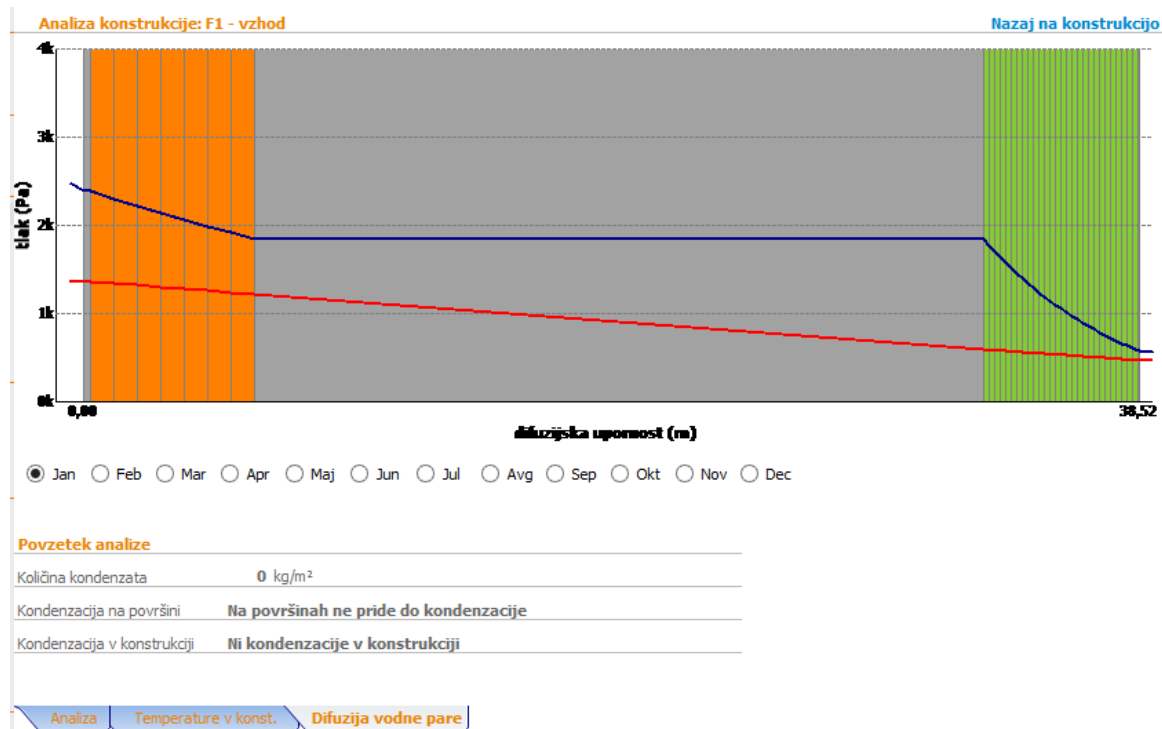
Dovoljena količina kondenzata 500 g/m²

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Ok	Nov	Dec
Zunanja temperatura Te[°C]	-1	1	5	10	15	18	20	19	15	10	4	0
Vlažnost zunaj [%]	83	76	75	71	72	70	75	77	79	83	83	86
Notranja temperatura Ti[°C]	21	21	21	21	26	26	26	26	21	21	21	21
Vlažnost znotraj [%]	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Temperatura na površini [°C]	20,4	20,4	20,5	20,7	25,7	25,8	25,8	25,8	20,8	20,7	20,5	20,4
Faktor površinske temperature fRsi[-]	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972	0,972
Min faktor površinske temperature fRsimin[-]	0,729	0,702	0,628	0,458	0,437	0,226	0	0,116	0,007	0,458	0,649	0,716
Skupna količina kondenzata Ma [g/m ²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mesečna količina kondenzata gc [g/m ²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Temperature v konstrukcijskem sklopu stene



Difuzija vodne pare



IZPIS KONSTRUKCIJE V PROJEKTU

Projekt: Vrtec

Cona: Vrtec

Naziv konstrukcije	Tla	Tip konstrukcije	Tla na terenu
Toplotna prehodnost	0,22 W/m ² K Ustreza	Difuzija vodne pare	Se ne preverja

Sloji v konstrukciji	d [cm]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]
Ker. ploščice	2	1,28	2,3
Betoni s kam. agregati (2200)	6	1,51	2200
KI parna ovira LDS 2 Silk	0,02	0,19	450
XPS KI Polyfoam C-ULTRAGRIP d =50 - 60 mm	4	0,04	35
XPS KI Polyfoam C-ULTRAGRIP d = 80 - 120 mm	6	0,04	35
Bitumen	0,5	0,17	1100
Betoni s kam. agregati (2200)	8	1,51	2200
Gramozno nasutje	30	1,4	1750

POROČILO O ANALIZI PREHODA TOPLOTE IN VODNE PARE V GRADBENI KONSTRUKCIJI

Projekt: Vrtec

Cona: Vrtec

Konstrukcija: T5

Namembnost: Del stavbe za izobraževanje ali znanstvenoraziskovalno delo

Tip: Ravna streha

Sestava gradbene konstrukcije

Naziv materiala	d (cm)	λ (W/mK)	ρ (kg/m ³)	sd (m)
Mavčno.kart.plošče-do 15mm	1,25	0,21	900	0,15
HOR. DOL, d=3cm	3	0,154	1	0,03
Betoni s kam. agregati (2400)	24	2,04	2400	14,4
Bitum. premaz (armiran) 10 mm	1	0,17	1100	100
XPS KI Polyfoam C-350 d > 120 mm	14	0,036	35	21
XPS KI Polyfoam C-350 d > 120 mm	12	0,036	35	18
PVC folija, mehka	0,02	0,19	1200	8,4
Geotekstil	0,01	0,1	100	0
Gramozno nasutje	10	1,4	1750	1,5

Toplotna prehodnost gradbene konstrukcije

Toplotna prehodnost (U) 0,129 W/m²K

Dovoljena (U_{max}) 0,200 W/m²K

Difuzija vodne pare

Kondenzacija na površini Na površinah ne pride do kondenzacije

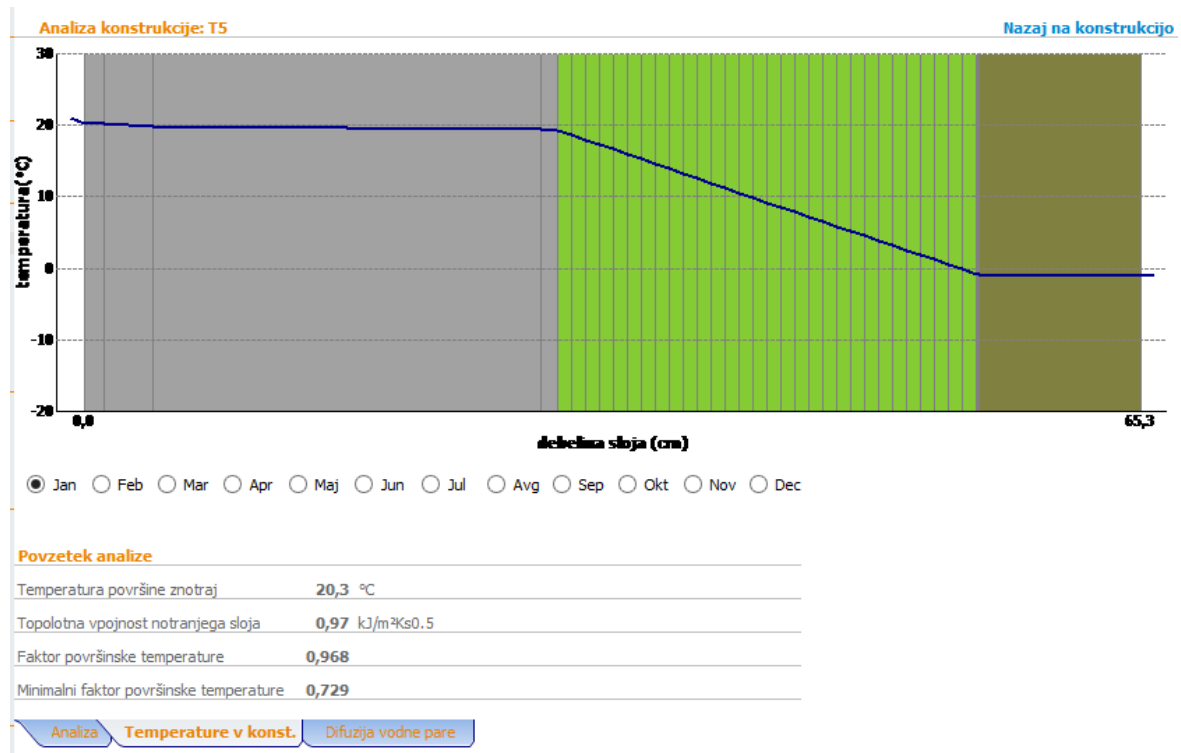
Kondenzacija v konstrukciji Ni kondenzacije v konstrukciji

Maksimalna količina kondenzata 0 g/m²

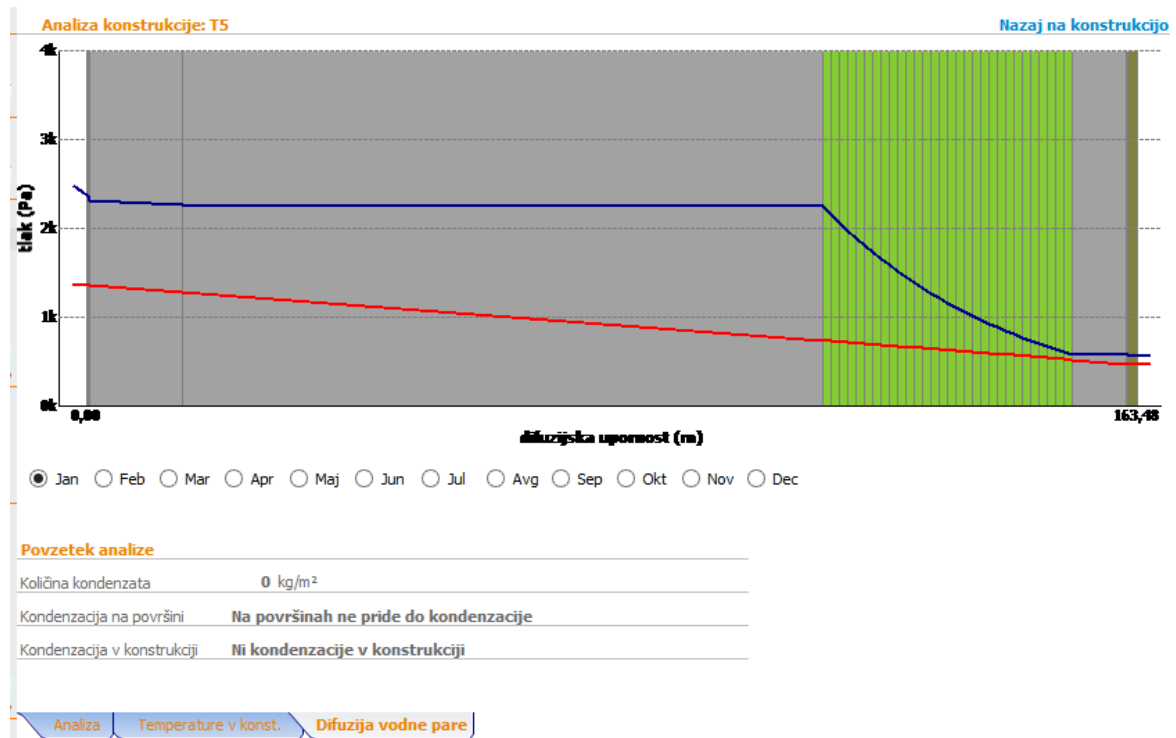
Dovoljena količina kondenzata 500 g/m²

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Ok	Nov	Dec
Zunanja temperatura Te[°C]	-1	1	5	10	15	18	20	19	15	10	4	0
Vlažnost zunaj [%]	83	76	75	71	72	70	75	77	79	83	83	86
Notranja temperatura Ti[°C]	21	21	21	21	26	26	26	26	21	21	21	21
Vlažnost znotraj [%]	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Temperatura na površini [°C]	20,3	20,4	20,5	20,7	25,7	25,7	25,8	25,8	20,8	20,7	20,5	20,3
Faktor površinske temperature fRsi[-]	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968
Min faktor površinske temperature fRsimin[-]	0,729	0,702	0,628	0,458	0,437	0,226	0	0,116	0,007	0,458	0,649	0,716
Skupna količina kondenzata Ma [g/m ²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mesečna količina kondenzata gc [g/m ²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Temperature v konstrukcijskem sklopu strehe



Difuzija vodne pare



PRILOGA F: IZPIS REZULTATOV IZ PROGRAMA TEDI

**TEDI**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni
 zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002

FRAGMAT**Stena 1**

Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	2. - Klimatizirana stavba ali stavba s procesi, kjer nastaja več vodne pare

Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti

Temperatura zunaj (°C)	-13.0	Računska temperatura zunaj (°C)	-5.0
Temperatura notri (°C)	21.0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	60		

Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti

Temperatura zunaj (°C)	10.0
Temperatura notri (°C)	26.0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	55

Zunanja površinska upornost R_{se} (m ² K/W)	0.13
Notranja površinska upornost R_{si} (m ² K/W)	0.04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	18.3	podaljšana apnena malta	0.0100	1,900	1,050	0.990	25.0		1
2	170.1	Porotherm S P+E	0.3000	750	920	0.180	20.0		3
3	81.0	polietilenske folije	0.0020	1,000	1,250	0.190	80000.0		1
4	142.3	kamena volna	0.2100	100	840	0.033	1.0		1
5	99.2	poliestrski filc	0.0020	200	800	0.100	1.5		5
6	157.3	vertikalna zračna plast višine do 3 m, e = 0.05, d = 0.03 m	0.0300	1	1,000	0.057	1.0		2
7	64.1	panel plošče - vodoodporne	0.0100	600	2,090	0.120	60.0		1

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

**TEDI**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni
 zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002

FRAGMAT**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST***Temperature na stikih plasti v °C*

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	20.6	20.6
2	20.6	15.7
3	15.7	15.7
4	15.7	-3.0
5	-3.0	-3.1
6	-3.1	-4.6
7	-4.6	-4.9

$U_{\text{izračunani}} = 0.113 \text{ (W/m}^2\text{K)} < U_{\text{max}} = 0.280 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

KS ODGOVARJA**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE***Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare p' (Pa)*

Notranji zrak	2,486.0	
<i>Na stikih plasti</i>		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2,428.2	2,423.7
2	2,423.7	1,781.5
3	1,781.5	1,778.0
4	1,778.0	473.7
5	473.7	471.3
6	471.3	413.4
7	413.4	405.0
Zunanji zrak	401.0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1,491.6
Zunanji zrak	360.9

**TEDI**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni
 zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002

*Gostota difuzijskega toka vodne pare*

q_{m1}		kg/m ² h
q_{m2}		kg/m ² h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

q_m'		kg/m ² h
q_{mz}'		kg/m ² h

Račun difuzije vodne pare ni potreben, ker v KS ne pride do nastanka kondenza!

X_r		%
X_{max}		%

X_{dif}		%
X_{sk}		%

Izsuševanje KS

Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dolžina obdobja izsuševanja		dan

KS ODGOVARJA**REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST**

Temperaturno dušenje	2,083.29	
Temperaturna zakasnitev	19.22	ura

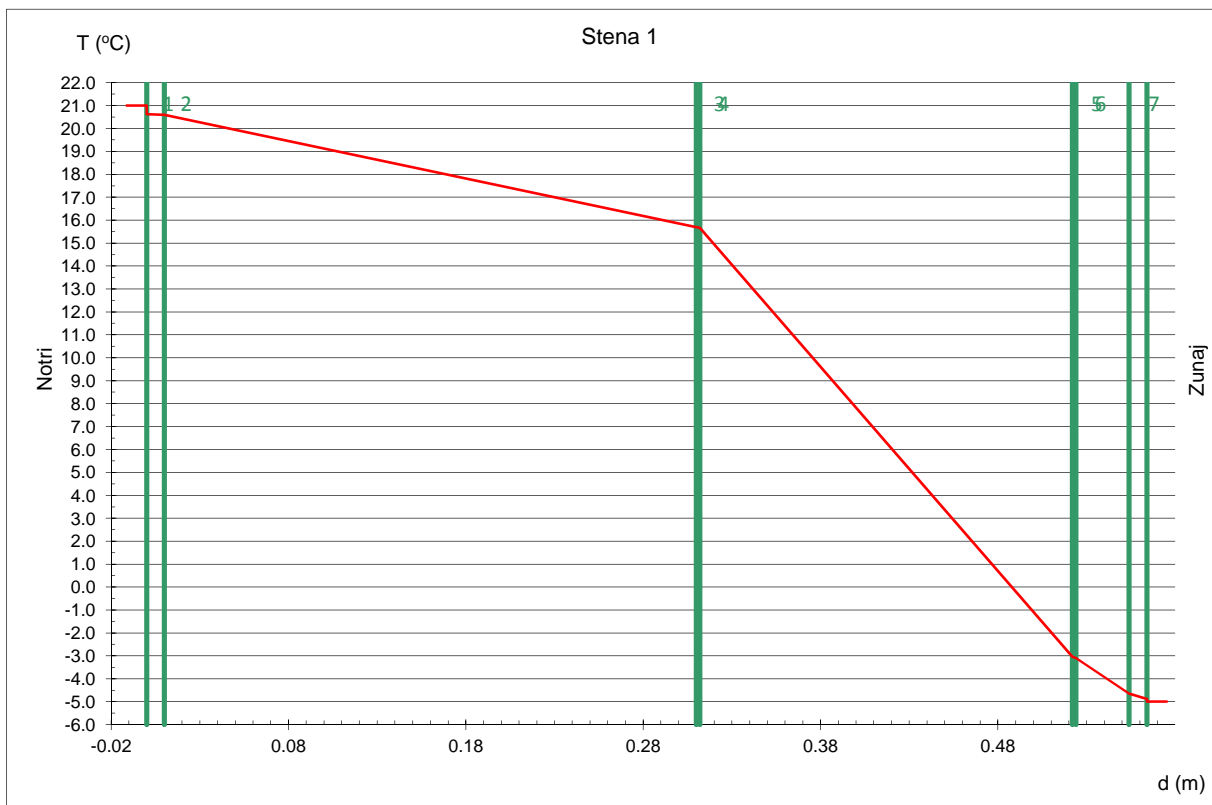


TEDI

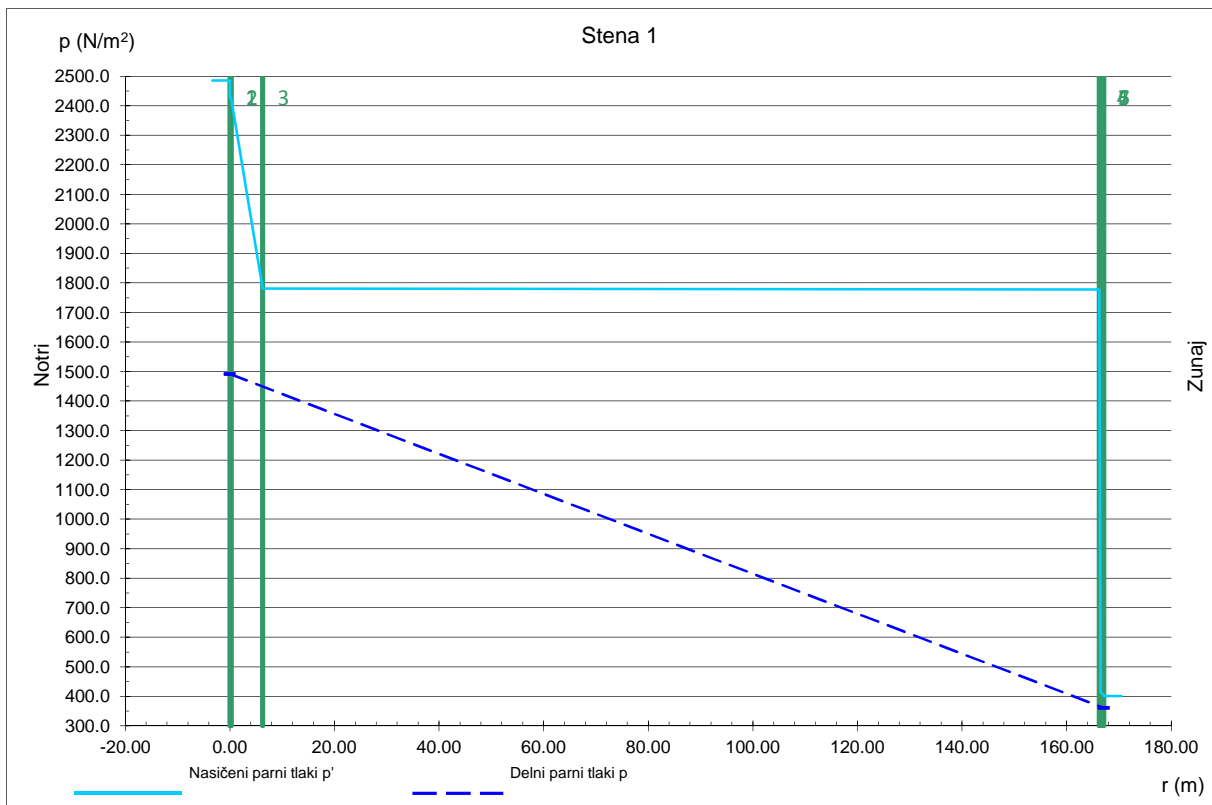
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002



REZULTATI : T - d diagram



REZULTATI : p - r diagram



**TEDI**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni
 zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002

FRAGMAT

Stena 2

Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	1. - Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, tla nad neogrevanim prostorom ali zunanjim zrakom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	2. - Klimatizirana stavba ali stavba s procesi, kjer nastaja več vodne pare

Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti

Temperatura zunaj (°C)	-13.0	Računska temperatura zunaj (°C)	-5.0
Temperatura notri (°C)	21.0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	60		

Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti

Temperatura zunaj (°C)	10.0
Temperatura notri (°C)	26.0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	55

Zunanja površinska upornost R_{se} (m ² K/W)	0.13
Notranja površinska upornost R_{si} (m ² K/W)	0.04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	17.0	apnena malta	0.0100	1,600	1,050	0.810	10.0		1
2	170.1	Porotherm S P+E	0.3000	750	920	0.180	20.0		3
3	130.2	TIMPOR DEMIT	0.1600	15	1,260	0.034	10.0		4

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Pri sestavi sklopa je uporabljen material, ki ni sestavni del standardne knjižnice materialov.

**TEDI**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni
 zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002

FRAGMAT**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST***Temperature na stikih plasti v °C*

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	20.5	20.4
2	20.4	13.8
3	13.8	-4.8

$$U_{\text{izračunani}} = 0.153 \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad < \quad U_{\text{max}} = 0.280 \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

KS ODGOVARJA**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE***Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare p' (Pa)*

Notranji zrak	2,486.0	
<i>Na stikih plasti</i>		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2,408.2	2,400.9
2	2,400.9	1,579.8
3	1,579.8	406.4
Zunanji zrak	401.0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1,491.6
Zunanji zrak	360.9

Gostota difuzijskega toka vodne pare

q_{m1}		kg/m ² h
q_{m2}		kg/m ² h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

q_m'		kg/m ² h
q_{mz}'		kg/m ² h

Račun difuzije vodne pare ni potreben, ker v KS ne pride do nastanka kondenza!

X_r		%
X_{max}		%

X_{dif}		%
X_{sk}		%

Izsuševanje KS

Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dolžina obdobja izsuševanja		dan

KS ODGOVARJA**REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST**

Temperaturno dušenje	886.82	
Temperaturna zakasnitev	14.11	ura

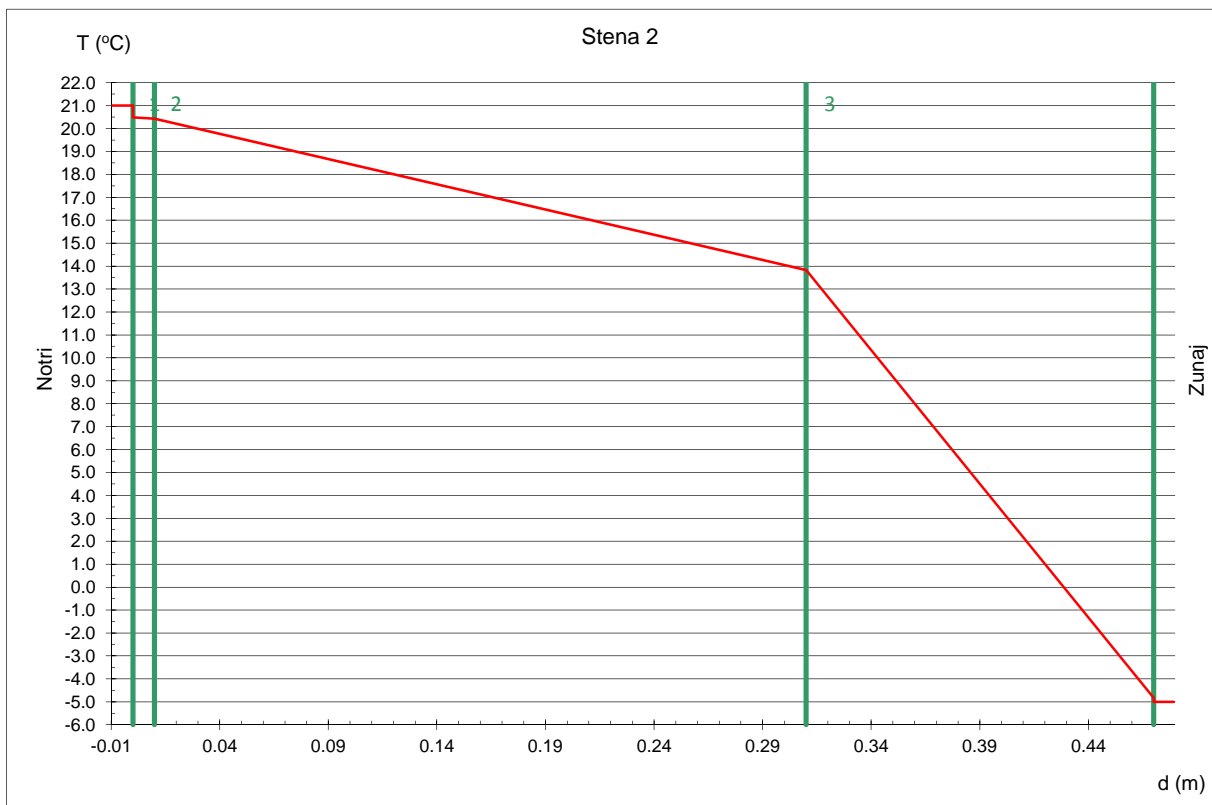


TEDI

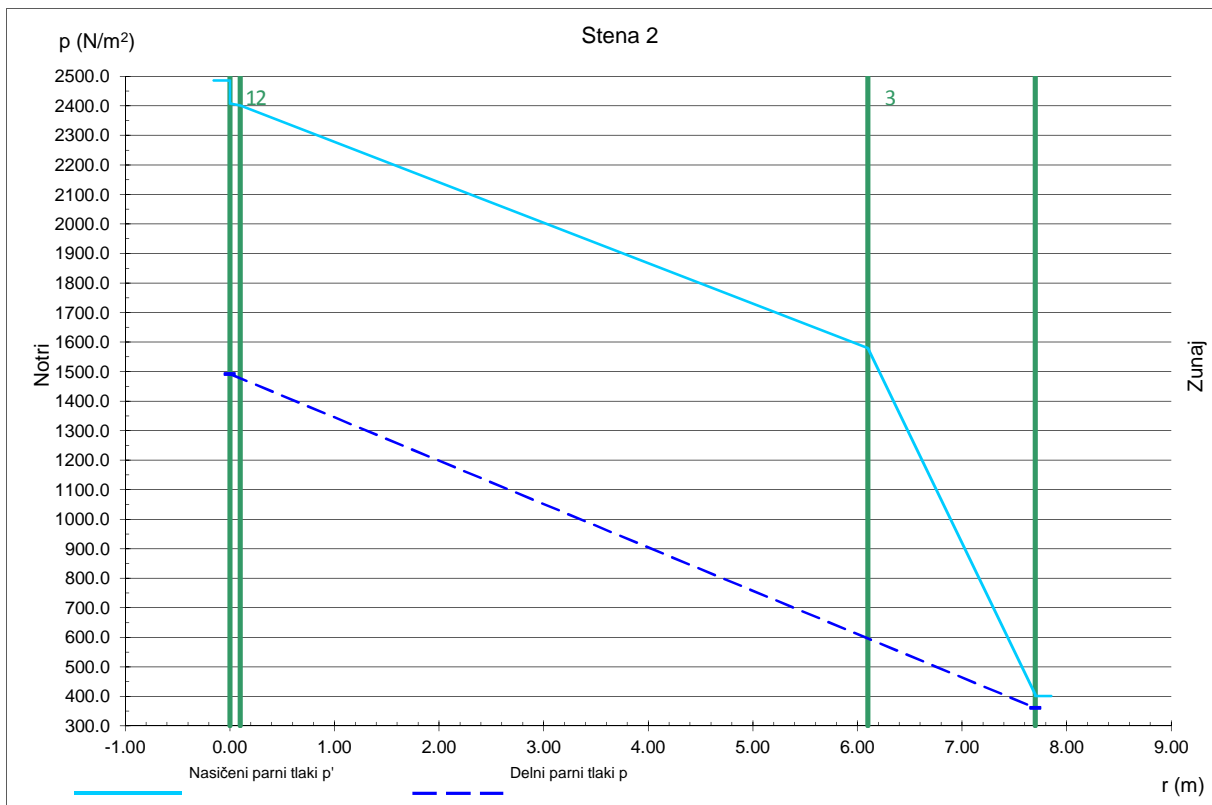
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002



REZULTATI : T - d diagram



REZULTATI : p - r diagram



**TEDI**Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002**FRAGMAT****Tla proti terenu**

Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	8. - Tla na terenu in tla nad terenom pri ploskovnem ogrevanju
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	2. - Klimatizirana stavba ali stavba s procesi, kjer nastaja več vodne pare

Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti

Temperatura zunaj (°C)	-13.0	Računska temperatura zunaj (°C)	10.0
Temperatura notri (°C)	21.0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	60		

Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti

Temperatura zunaj (°C)	10.0
Temperatura notri (°C)	26.0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	55

Zunanja površinska upornost R_{se} (m ² K/W)	0.13
Notranja površinska upornost R_{si} (m ² K/W)	0.00

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	52.2	keramicne ploščice - talne, neglazirane	0.0200	2,300	920	1.280	200.0		1
2	19.2	cementni estrih	0.0600	2,200	1,050	1.400	30.0		1
3	81.0	polietilenske folije	0.0017	1,000	1,250	0.190	80000.0		1
4	134.1	poliuretanske plošče rezane iz blokov	0.0500	30	1,380	0.035	40.0		1
5	128.1	FRAGMAT XPS 30	0.1000	33	1,260	0.034	50.0		5
6	87.1	FRAGMAT IZOTEM V3	0.0050	1,300	1,460	0.190	14000.0	*	3
7	40.3	betoni iz kamnitega agregata	0.0800	2,200	960	1.510	30.0		1
8	29.0	pesek in droban prodec	0.3000	1,500	840	1.400	15.0		1

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

* - sloji med izbrano hidroizolacijo in zunanjim okoljem se pri računu toplotne prehodnosti in difuziji vodne pare ne upoštevajo

Slojev med hidroizolacijo in terenom pri računu U in difuzije vodne pare ne upoštevamo.

Račun difuzije vodne pare ni potreben, 21. člen Pravilnika.

**TEDI**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni
 zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002

FRAGMAT**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST***Temperature na stikih plasti v °C*

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	20.7	20.7
2	20.7	20.5
3	20.5	20.5
4	20.5	17.1
5	17.1	10.1
6	10.1	10.0

$U_{\text{izračunani}} = 0.218 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ < $U_{\text{max}} = 0.300 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

KS ODGOVARJA**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE***Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare p' (Pa)*

Notranji zrak	2,486.0	
<i>Na stikih plasti</i>		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2,438.8	2,433.1
2	2,433.1	2,417.8
3	2,417.8	2,414.6
4	2,414.6	1,950.1
5	1,950.1	1,232.2
6	1,232.2	1,227.0
Zunanji zrak	1,227.0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1,491.6
Zunanji zrak	1,104.3

**TEDI**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni
 zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002

*Gostota difuzijskega toka vodne pare*

q_{m1}		kg/m ² h
q_{m2}		kg/m ² h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

q_m'		kg/m ² h
q_{mz}'		kg/m ² h

Račun difuzije vodne pare ni potreben, 21. člen Pravilnika.

X_r		%
X_{max}		%

X_{dif}		%
X_{sk}		%

Izsuševanje KS

Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dolžina obdobja izsuševanja		dan

KS ODGOVARJA**REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST**

Temperaturno dušenje	909.12	
Temperaturna zakasnitev	15.05	ura

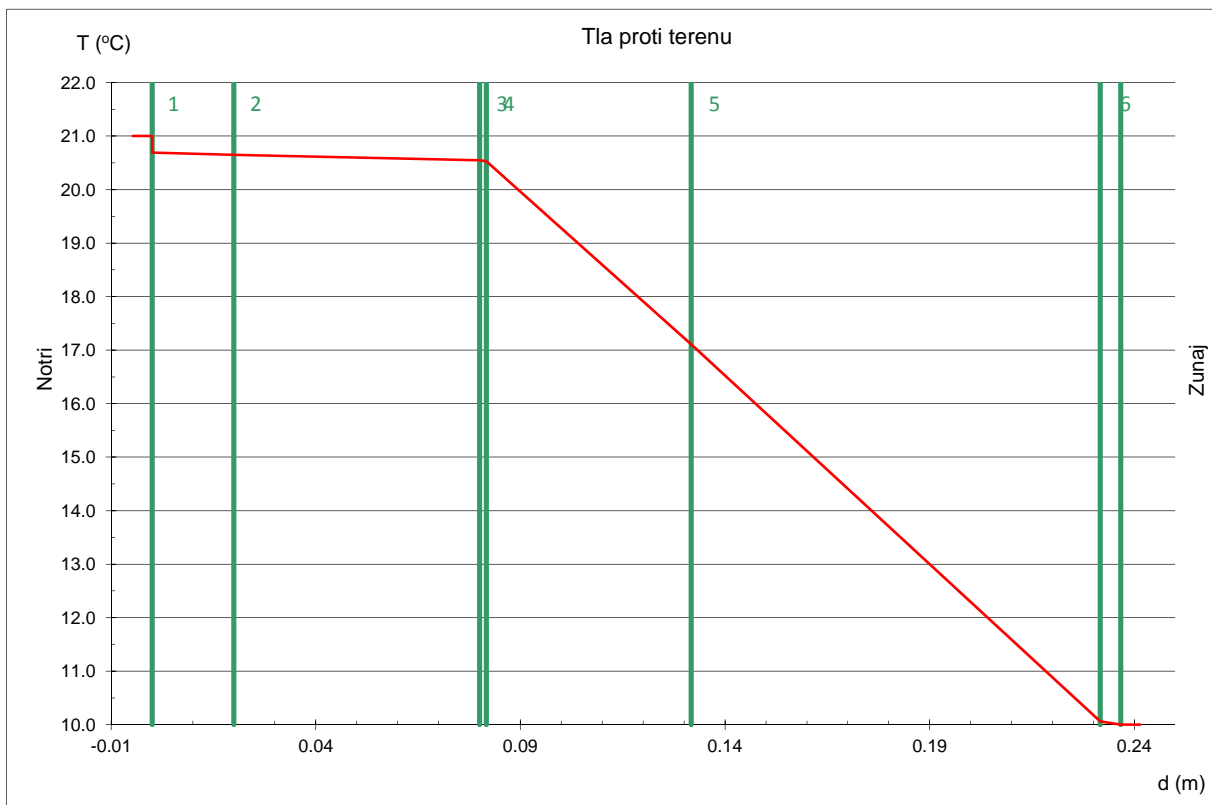


TEDI

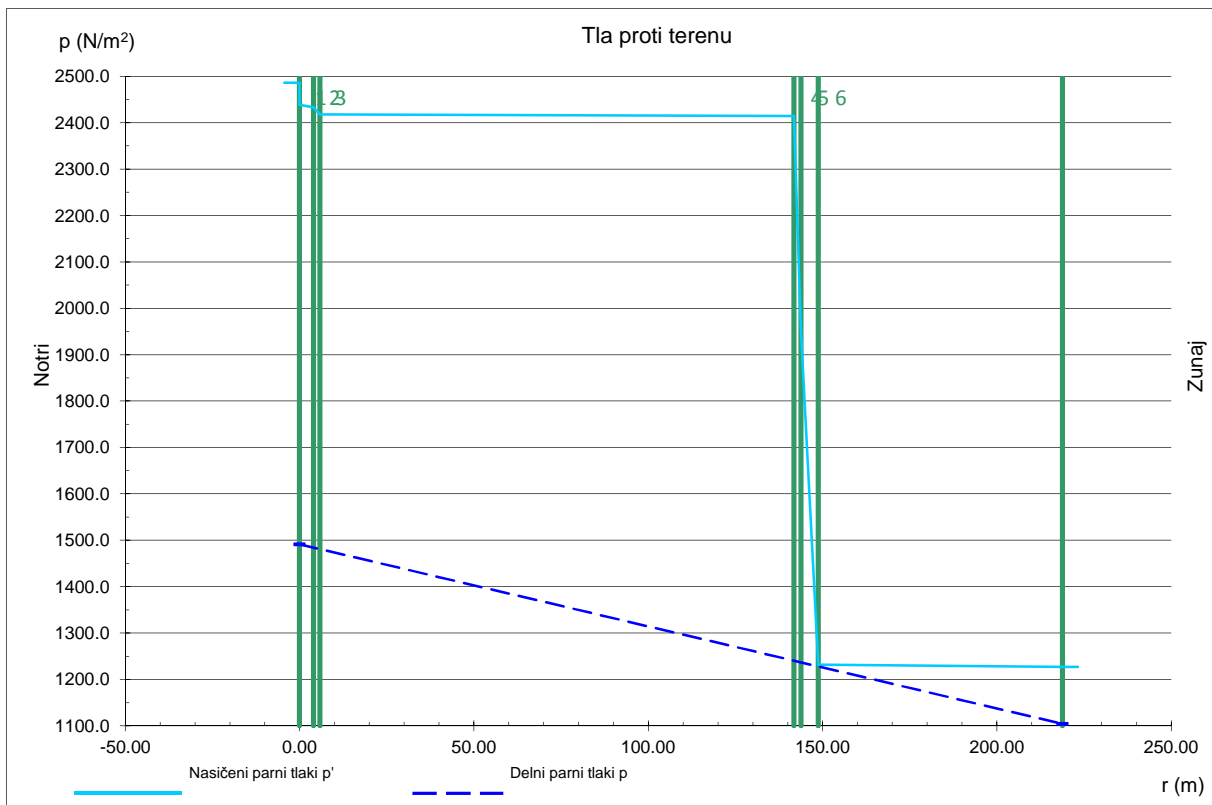
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002



REZULTATI : T - d diagram



REZULTATI : p - r diagram



**TEDI**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni
 zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002

FRAGMAT**Streha**

Vrsta konstrukcijskega sklopa po 9. členu Pravilnika	6. - Strop proti neogrevanemu prostoru, ravna in poševna streha nad ogrevanim prostorom
Vrsta stavbe po 9. členu Pravilnika	1. - Stavbe s temperaturo notranjega zraka pozimi nad 19oC ali poleti hlajene pod 26oC
Neklimatizirana / klimatizirana stavba	2. - Klimatizirana stavba ali stavba s procesi, kjer nastaja več vodne pare

Difuzijsko navlaževanje - zima - projektne vrednosti

Temperatura zunaj (°C)	-13.0	Računska temperatura zunaj (°C)	-5.0
Temperatura notri (°C)	21.0		
Relativna vlažnost zunaj (%)	90		
Relativna vlažnost notri (%)	60		

Difuzijsko sušenje - poletje - projektne vrednosti

Temperatura zunaj (°C)	10.0
Temperatura notri (°C)	26.0
Relativna vlažnost zunaj (%)	65
Relativna vlažnost notri (%)	55

Zunanja površinska upornost R_{se} (m ² K/W)	0.13
Notranja površinska upornost R_{si} (m ² K/W)	0.04

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	48.1	mavčne plošče s polnilom, votlinami ali porami	0.0125	800	840	0.350	4.0		1
2	149.3	horizontalna zračna plast toplotni tok navzgor, e = 0.05, d = 0.03 m	0.1000	1	1,000	0.086	1.0		2
3	40.2	betoni iz kamnitega agregata	0.2400	2,400	960	2.040	60.0		1
4	89.1	FRAGMAT IZOTEKT T4 plus	0.0100	1,300	1,460	0.190	14000.0		3
5	128.3	FRAGMAT XPS 60	0.1400	42	1,260	0.036	100.0		5
6	128.3	FRAGMAT XPS 60	0.0900	42	1,260	0.036	100.0		5
7	99.4	vodozadrževalni sloj	0.0020	1,000	1,250	0.190	1.0		5
8	99.2	poliestrski filc	0.0020	200	800	0.100	1.5		5
9	29.0	pesek in droban prodec	0.0800	1,500	840	1.400	15.0		1

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

Slojev med hidroizolacijo in zunanjim zrakom pri računu U in difuzije vodne pare ne upoštevamo.

**TEDI**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni
 zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002

FRAGMAT**REZULTATI : TOPLOTNA PREHODNOST***Temperature na stikih plasti v °C*

Številka plasti	Notri	Zunaj
1	20.6	20.5
2	20.5	16.7
3	16.7	16.3
4	16.3	16.1
5	16.1	3.5
6	3.5	-4.6
7	-4.6	-4.6
8	-4.6	-4.7
9	-4.7	-4.9

$U_{\text{izračunani}} = 0.125 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ < $U_{\text{max}} = 0.200 \text{ (W/m}^2\text{K)}$

KS ODGOVARJA**REZULTATI : DIFUZIJA VODNE PARE***Temperaturam pripadajoči tlaki nasičenja vodne pare p' (Pa)*

Notranji zrak	2,486.0	
<i>Na stikih plasti</i>		
Številka plasti	Notri	Zunaj
1	2,422.2	2,404.9
2	2,404.9	1,899.1
3	1,899.1	1,853.3
4	1,853.3	1,833.2
5	1,833.2	786.5
6	786.5	415.3
7	415.3	414.1
8	414.1	411.8
9	411.8	405.4
Zunanji zrak	401.0	

Relativni tlaki vodne pare v zraku (za pripadajočo relativno vlažnost, Pa)

Notranji zrak	1,491.6
Zunanji zrak	360.9

**TEDI**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni
 zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002

*Gostota difuzijskega toka vodne pare*

q_{m1}		kg/m ² h
q_{m2}		kg/m ² h

Izračun količine kondenzirane vodne pare

q_m'		kg/m ² h
q_{mz}'		kg/m ² h

Račun difuzije vodne pare ni potreben, ker v KS ne pride do nastanka kondenza!

X_r		%
X_{max}		%

X_{dif}		%
X_{sk}		%

Izsuševanje KS

Čas potreben za izsušitev KS		dan
Dolžina obdobja izsuševanja		dan

KS ODGOVARJA**REZULTATI : TOPLOTNA STABILNOST**

Temperaturno dušenje	4,842.18	
Temperaturna zakasnitev	12.74	ura

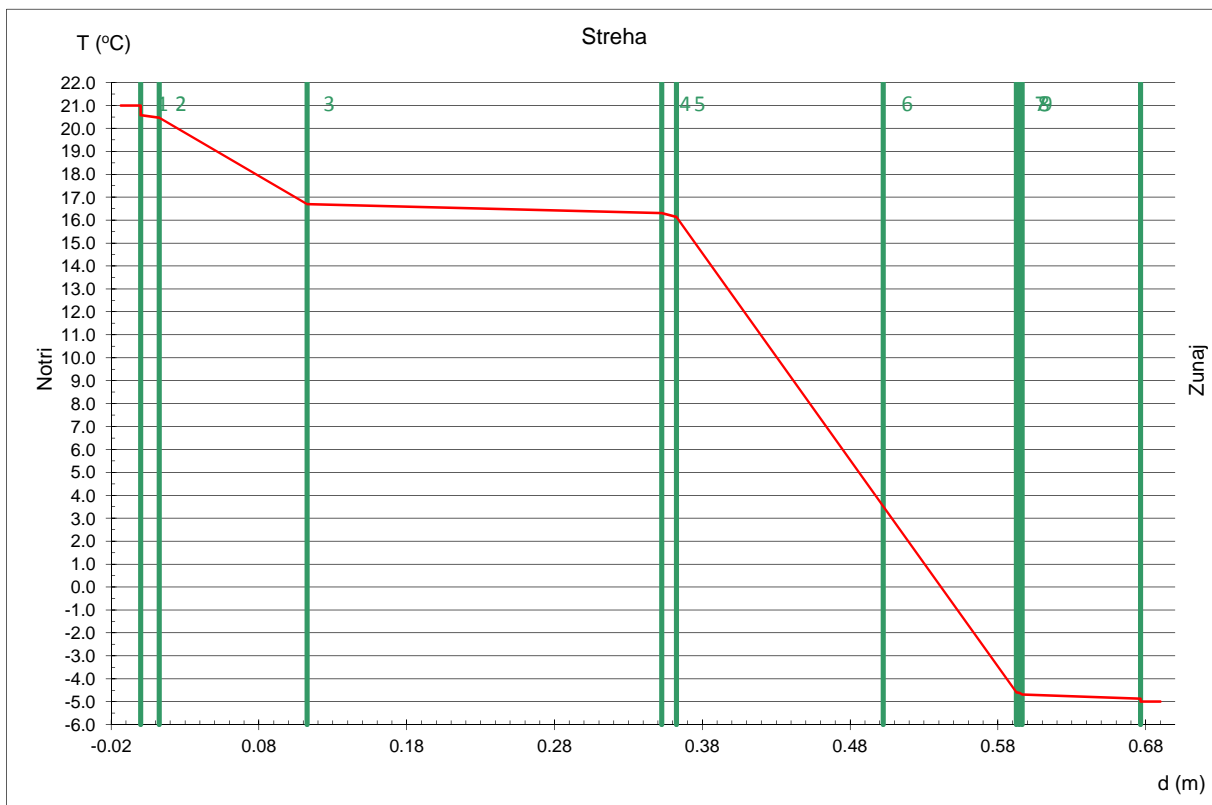


TEDI

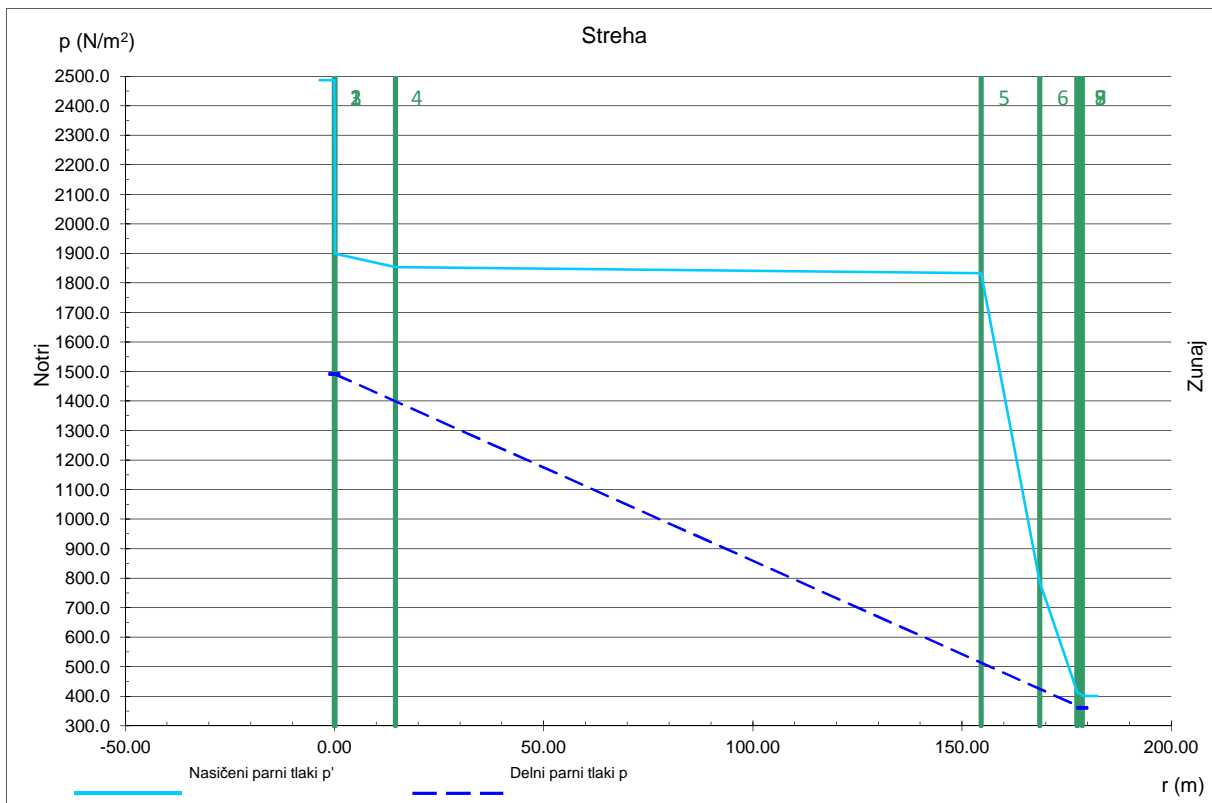
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente
 Program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002



REZULTATI : T - d diagram



REZULTATI : p - r diagram



PRILOGA G: IZPIS REZULTATOV IZ PROGRAMA TOST

IZKAZ ENERGIJSKIH LASTNOSTI STAVBE

- za PGD
 izvedeno

Investitor (naziv oz. ime, naslov)	Občina Mb
Stavba	Vrtec
Lokacija stavbe (naselje, ulica, kraj)	Pekre
Katastrska(e) občina(e)	k.o. Pekre
Parcelna(e) številka(e):	*20/2, 25/4, 25/2, 24/1, 25/5, 25/3
Koordinate lokacije stavbe (X, Y)	X = 156194 km Y = 545926 km
Vrsta stavbe	Šifra: 12630 Javna stavba
Etažnost (št. kleti, pritličje, št. nadstropij, mansarda,...):	Dvoetažna (P+N)

Projektant	JZ
Odgovorni vodja projekta (ime in priimek, strokovna izobrazba, osebni žig, podpis)	JZ
Izdelovalec izkaza (naziv oz. ime, naslov)	JZ
Izdelano na podlagi izkaza	
Datum izdelave izkaza	avgust 2014
<p>Izjavljam, da iz izkaza energijskih lastnosti stavbe izhaja, da stavba dosega predpisano raven učinkovite rabe energije.</p> <p>Podpis izdelovalca izkaza:</p>	

Neto uporabna površina stavbe (za stanovanjske stavbe)	$A_u =$	-	m^2
Kondicionirana prostornina stavbe	$V_e =$	2,248.33	m^3
Površina toplotnega ovoja stavbe	$A =$	1,258.98	m^2
Oblikovni faktor	$f_0 = A/V_e =$	0.56	m^{-1}

Temperaturni primanjkljaj (za ogrevanje $DD_{20/12}$)	$DD =$	3300	K dni
Temperaturni presežek (za hlajenje)	$DH =$		K ur
Povprečna letna temperatura zunanjega zraka T_L	$T_L =$	9.7	$^{\circ}C$

TOPLOTNE PREHODNOSTI ELEMENTOV OVOJA STAVBE

NEPROZORNI ELEMENTI				
Oznaka elementa (skladno s Prilogo 1 tabela 1)	Orientacija, naklon	Površina (m ²)	U _i (W/m ² K)	U _{max} (W/m ² K) (Pril.1 tab.1)
1. Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom, 1.OC	Vert	210.00	0.113	0.280
6. Tla na terenu, 1.OC	Horiz	403.70	0.160	0.350
10. Strop proti neogrevanemu prostoru, ravne ali poševne streha, 1.OC	Horiz	403.65	0.125	0.200
PROZORNI ELEMENTI				
Oznaka elementa	Orientacija, naklon	Površina (m ²)	U _{elementa} (W/m ² K)	Faktor prehoda celotnega sončnega sevanja; g
Zunanje okno 1.OC	Jug	111.02	0.910	0.58
Zunanje okno 1.OC	Sever	87.41	0.910	0.58
Zunanje okno 1.OC	Vzhod	31.40	0.910	0.58
Zunanje okno 1.OC	Zahod	11.80	0.910	0.58

Način upoštevanja vpliva toplotnih mostov	- EN SIST 13789 / SIST EN ISO 14683	<input type="checkbox"/>
	- EN SIST 13789 / EN ISO 10211	<input type="checkbox"/>
	- s katalogi, računalniškimi simulacijami	<input type="checkbox"/>
	- na poenostavljen način	<input checked="" type="checkbox"/>

	Izračunan	Največji dovoljen
Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe	$H_T' = \mathbf{0.35}$ W/m ² K	$H_{T'_{max}} = \mathbf{0.43}$ W/m ² K
Letna raba primarne energije	$Q_p = \mathbf{73,719}$ kWh	$Q_{p_{max}} = \mathbf{-}$ kWh
Letna potrebna toplota za ogrevanje	$Q_{NH} = \mathbf{25,454}$ kWh	$Q_{NH_{max}} = \mathbf{29,959}$ kWh
Letni potrebni hlad za hlajenje	$Q_{NC} = \mathbf{15,063}$ kWh	$Q_{NC_{max}} = \mathbf{-}$ kWh
Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto neto uporabne površine in kondicionirane prostornine	Izračunana	Največja dovoljena
1– stanovanjska stavba	$Q_{NH}/A_u =$ kWh/m ² a	$(Q_{NH}/A_u)_{max} =$ kWh/m ² a
	$Q_{NH}/V_e =$ kWh/m ³ a	-
2– nestanovanjska stavba	$Q_{NH}/A_u =$ kWh/m ² a	-
	$Q_{NH}/V_e =$ kWh/m ³ a	$(Q_{NH}/V_e)_{max} =$ kWh/m ³ a
3 – javne stavbe	$Q_{NH}/A_u = \mathbf{40.67}$ kWh/m ² a	-
	$Q_{NH}/V_e = \mathbf{11.32}$ kWh/m ³ a	$(Q_{NH}/V_e)_{max} = \mathbf{13.32}$ kWh/m ³ a

Zagotavljanje obnovljivih virov energije			
	Doseženo (%)		Izpolnjeno (DA/NE)
Osnovni pogoj			
Najmanj 25% celotne končne energije je zagotovljeno z uporabo obnovljivih virov			
Vir: Toplota okolja	50%	%	
Vir:		%	
Vir:		%	
Vir:		%	
Skupaj	50%	%	DA
Izjeme, ki nadomeščajo pogoj			
Delež končne energije za ogrevanje, hlajenje in pripravo tople vode pridobljen na enega od naslednjih načinov			
- najmanj 25 odstotkov iz sončnega obsevanja			
- najmanj 30 odstotkov iz plinaste biomase			
- najmanj 50 odstotkov iz trdne biomase			
- najmanj 70 odstotkov iz geotermalne energije			
- najmanj 50 odstotkov iz toplote okolja			
- najmanj 50 odstotkov iz naprav SPTE z visokim izkoristkom v skladu s predpisom, ki ureja podpore električni energiji, proizvedeni v soprodukciji toplote in električne energije z visokim izkoristkom			
- je stavba najmanj 50 odstotkov oskrbovana iz sistema energijsko učinkovitega daljinskega ogrevanja oziroma hlajenja			
Dovoljena letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe, preračunana na enoto kondicionirane površine/volumna stavbe za najmanj 30 odstotkov nižja od mejne vrednosti			
Pri enostanovanjski stavbi je vgrajenih najmanj 6 m ² (svetle površine) sprejemnikov sončne energije z letnim donosom najmanj 500 kWh/(m ² a)			

Kazalniki letne rabe primarne energije za delovanje sistemov			
Letna raba primarne energije na enoto uporabne površine stavbe (1– stanovanjska stavba)	$Q_p/A_u =$		kWh/m ² a
Letna raba primarne energije na enoto kondicionirane prostornine stavbe (2 – nestanovanjska stavba; 3 – javna stavba)	$Q_p/V_e =$	32.79	kWh/m ³ a

Kazalniki letnih izpustov CO₂ zaradi delovanja sistemov			
Letni izpusti CO ₂	36,138		kg
Letni izpusti CO ₂ na enoto uporabne površine stavbe (1– stanovanjska stavba)			kg/m ² a
Letni izpusti CO ₂ na enoto kondicionirane prostornine stavbe (2 – nestanovanjska stavba; 3 – javna stavba)	16.07		kg/m ³ a