

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA
MARIBOR

**VPLIV STEKLENIH ELEMENTOV NA
ENERGETSKO UČINKOVITOST ZP
MAGDALENA**

Kandidat: Urban Vačovnik

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor predavatelj: Vladimir Dragorajac, univ. dipl. inž. grad.

Mentor v podjetju: Barbara Kalšek, dipl. inž. grad.

Lektor: Julija Vilfan, univ. dipl. slov. in lit. komp.

Maribor, 2025

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani/a Urban Vačovnik, sem avtor/ica diplomskega dela z naslovom Vpliv steklenih elementov na energetska učinkovitost ZP Magdalena, ki sem ga napisal/a pod mentorstvom g. Vladimirja Dragorajaca, univ. dipl. inž. grad.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel/a, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Mozirje, marec 2025

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se staršem za njihovo podporo tekom mojega študija.

Zahvala gre mojemu mentorju, Miranu Dragorajacu, ki je s svojo strokovnostjo in vodenjem bistveno prispeval k uspešni izvedbi mojega diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi mentorici iz podjetja Barbari Kalšek. Posebna zahvala gre tudi zunanjemu sodelavcu Matjažu Brodnjaku iz podjetja Reflex.

Hvala tudi Juliji Vilfan za natančno lekturo in jezikovne popravke, ki so prispevali k kakovosti končnega besedila.

POVZETEK

V zadnjih letih je energetska kriza postala globalni izziv, ki zahteva hitre in učinkovite rešitve. Z visokimi cenami energije, izčrpavanjem fosilnih goriv in naraščanjem emisij toplogrednih plinov se svet sooča z nujnostjo prehoda k trajnostnim praksam. Trajnostna gradnja se osredotoča na zmanjšanje porabe energije, uporabo obnovljivih virov, izboljšanje kakovosti bivanja in minimizacijo vpliva na okolje. To vključuje uporabo energetske učinkovitih materialov, naravne osvetlitve, pasivne oblike ogrevanja in hlajenja ter optimizacijo toplotne izolacije.

Arhitekturno razmišljanje o zasnovi zgradb, kot je ZP Magdalena, poudarja integracijo funkcionalnosti, estetike in energetske učinkovitosti. Pri načrtovanju se upoštevajo lokalne klimatske razmere, sončne poti, veter in naravne danosti za zagotavljanje najboljšega izkoristka naravnih virov energije in zmanjšanje potrebe po umetnem ogrevanju ali hlajenju. ZP Magdalena je bila kot primer sodobne arhitekture oblikovana z mislijo na minimaliziranje toplotnih izgub, maksimalno izkoriščanje sončne svetlobe za naravno osvetlitev in hlajenje prostorov s pomočjo arhitekturnih elementov, kot so npr. zunanja senčila (Brisoleji).

To diplomsko delo se osredotoča na primerjavo različnih fasadnih sistemov na primeru objekta ZP Magdalena, specifično na zastekljeno-prezračevane fasade v primerjavi s klasičnimi kontaktnimi fasadami. Izračunal sem toplotne izgube obstoječe fasade ZP Magdalena v mesecu januarju in jih primerjal z dobitki sončnega sevanja, pri čemer so se izgube izkazale za znatno večje kot dobitki. Dodatno sem analiziral vpliv zunanjih senčil (brisojev) na senčenje objekta in ugotovil, da bi ZP Magdalena brez senčenja bila popolnoma pregreta, kar bi zahtevalo veliko energije za hlajenje. V diplomskem delu sem predstavil tudi šesto dimenzijo BIM (Building Information Modeling), s katero sem dokazal, da lahko s simulacijami toplotnih izgub natančno definiramo kvaliteto fasadnega ovoja in predvidimo toplotne mostove na objektih. Diplomaska naloga tako prispeva k razumevanju energetskih lastnosti različnih fasadnih sistemov in poudarja pomen uporabe naprednih tehnologij za izboljšanje energetskih karakteristik objektov.

Ključne besede: *Fasada, Toplotna prehodnost, Senčenje, Toplotni dobitki, BIM*

ZUSAMMENFASSUNG

DER EINFLUSS VON GLASELEMENTEN AUF DIE ENERGIEEFFIZIENZ VON ZP MAGDALENA

Die Energiekrise hat sich in den letzten Jahren zu einer globalen Herausforderung entwickelt, die schnelle und wirksame Lösungen erfordert. Angesichts hoher Energiepreise, der Erschöpfung fossiler Brennstoffe und steigender Treibhausgasemissionen steht die Welt vor der dringenden Notwendigkeit, auf nachhaltige Praktiken umzusteigen. Nachhaltiges Bauen konzentriert sich auf die Reduzierung des Energieverbrauchs, die Nutzung erneuerbarer Ressourcen, die Verbesserung der Wohnqualität und die Minimierung der Auswirkungen auf die Umwelt. Dazu gehören der Einsatz energieeffizienter Materialien, natürliches Licht, passive Formen des Heizens und Kühlens sowie die Optimierung der Wärmedämmung.

Architektonisches Denken bei der Gestaltung von Gebäuden wie ZP Magdalena legt Wert auf die Integration von Funktionalität, Ästhetik und Energieeffizienz. Lokale klimatische Bedingungen, Sonneneinstrahlung, Wind und natürliche Bedingungen werden bei der Planung berücksichtigt, um eine optimale Nutzung natürlicher Energiequellen zu gewährleisten und den Bedarf an künstlicher Heizung oder Kühlung zu reduzieren. ZP Magdalena, als Beispiel moderner Architektur, wurde mit Blick auf die Minimierung von Wärmeverlusten, die maximale Nutzung des Sonnenlichts für natürliche Beleuchtung und die Kühlung von Räumen mithilfe architektonischer Elemente wie Außenjalousien (Brisoleji) entworfen.

Der Schwerpunkt meiner Abschlussarbeit liegt auf dem Vergleich unterschiedlicher Fassadensysteme am Beispiel des Gebäudes ZP Magdalena, konkret auf verglaste/hinterlüftete Fassaden im Vergleich zu klassischen Kontaktfassaden. Ich habe die Wärmeverluste der bestehenden Fassade des ZP Magdalena im Monat Januar berechnet und mit den Wärmegewinnen durch die Sonne verglichen, wobei sich herausstellte, dass die Verluste deutlich größer waren als die Gewinne. Ich habe zusätzlich den Einfluss von Außenjalousien (brisolei) auf die Beschattung des Gebäudes analysiert und kam zu dem Schluss, dass ZP Magdalena ohne Beschattung katastrophal überhitzen würde, was viel Energie zur Kühlung erfordern würde. In meiner Diplomarbeit habe ich auch die sechste Dimension von BIM (Building Information Modeling) vorgestellt, mit der ich bewiesen habe, dass wir mit Wärmeverlustsimulationen die Qualität der Fassadenhülle genau definieren und Wärmebrücken an Gebäuden vorhersagen können. Die Diplomarbeit trägt somit zum

Verständnis der energetischen Eigenschaften verschiedener Fassadensysteme bei und betont die Bedeutung des Einsatzes fortschrittlicher Technologien zur Verbesserung der energetischen Eigenschaften von Gebäuden.

Stichwort: *Fassade, Wärmedurchlässigkeit, Beschattung, Wärmegewinne, BIM*

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	12
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	12
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	13
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	14
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	14
2	DELO V PROJEKTNI SKUPINI	15
2.1	VARNOST IN ZDRAVJE PRI DELU NA GRADBIŠČU ZP MAGDALENA	17
2.1.1	<i>Splošno o zahtevah uredbe</i>	<i>18</i>
2.1.2	<i>Posebne zahteve pri izgradnji fasad in uporabi gradbenih odrov.....</i>	<i>19</i>
2.2	VARNOSTNI NAČRT.....	20
2.2.1	<i>Funkcije varnostnega načrta</i>	<i>21</i>
2.2.2	<i>Vsebina varnostnega načrta</i>	<i>22</i>
2.3	ORGANIZACIJA GRADBIŠČA.....	22
2.3.1	<i>Organizacija gradbišča ZP Magdalena</i>	<i>23</i>
3	SISTEMI FASADNEGA OVOJA.....	26
3.1	ZGODOVINA FASADNEGA OVOJA	26
3.2	DELITEV FASADNIH SISTEMOV.....	26
3.2.1	<i>Neprosojne fasade</i>	<i>27</i>
3.2.2	<i>Prosojne fasade</i>	<i>27</i>
3.3	VGRAJENI FASADNI SISTEMI NA OBJEKTU ZP MAGDALENA.....	28
3.3.1	<i>Neprezračevana prosojna fasada na objektu ZP MAGDALENA</i>	<i>29</i>
3.3.2	<i>Prezračevana neprosojna fasada na objektu ZP MAGDALENA.....</i>	<i>30</i>
3.3.3	<i>Zasnova ZP MAGDALENA</i>	<i>30</i>
4	IZVEDBA FASADNIH SISTEMOV NA OBJEKTU ZP MAGDALENA	32
4.1	PRIPRAVLJALNA DELA IZVEDBE FASADE.....	32
4.2	FASADERSKA DELA PREZRAČEVANO NEPROSOJNE FASADE Z OBLOGO ALU PLOČEVINE.....	33
4.3	FASADERSKA DELA PROSOJNO NEPREZRAČEVANE FASADE.....	34
5	PRIMERJAVA PREDNOSTI IN SLABOSTI FASADNIH SISTEMOV	35
5.1.1	<i>Primerjava sistemov glede na toplotno prehodnost.....</i>	<i>35</i>
5.1.2	<i>Primerjava sistemov glede na paroprepustnost.....</i>	<i>35</i>
5.1.3	<i>Primerjava sistemov glede na trajnost</i>	<i>35</i>

5.2	HIPOTEZA 1: FASADNI STEKLENI ELEMENTI S SENČILI PRIPOMOREJO K IZBOLJŠANJU ENERGETSKE UČINKOVITOSTI OBJEKTA DO 20% V PRIMERJAVI S KONTAKTNO FASADO.....	36
5.2.1	<i>Sestava zastekljene fasade in izračun toplotne prehodnosti</i>	36
5.2.2	<i>Sestava prezračevane fasade in izračun toplotne prehodnosti</i>	38
5.2.3	<i>Skupna ocena povprečne toplotne prehodnosti na obstoječem fasadnem ovoju objekta ZP MAGDALENA.....</i>	41
5.2.4	<i>Predstavitev primerjalne kontaktne fasade:</i>	42
5.2.5	<i>Izračun toplotne prehodnosti sistema baumit pro:</i>	43
5.2.6	<i>Skupna ocena povprečne toplotne prehodnosti predvidene kontaktne fasade na objektu ZP MAGDALENA.....</i>	44
5.2.7	<i>Izračun toplotnih izgub na letni ravni obstoječe in predvidene kontaktne fasade</i>	45
5.2.8	<i>Primerjava letnih izgub glede na fasadni sistem</i>	47
6	VPLIV SONČNE ENERGIJE NA POSAMEZEN FASADNI SISTEM.....	49
6.1	SONČNA ENERGIJA	49
6.1.1	<i>Vpliv sončne energije na fasadne sisteme:</i>	49
6.2	VPLIV ORIENTACIJE OBJEKTA	50
6.3	H2: OBJEKT BO V ZIMSKIH MESECIH ZARADI ZASTEKLITEV IZGUBIL VEČ ENERGIJE KOT PA JE PRIDOBIL S SONČNO ENERGIJO.	51
6.3.1	<i>Predstavitev sistema iz prve hipoteze</i>	51
6.3.2	<i>Izračun toplotnih izgub skozi zastekljeno fasado v mesecu januarju.....</i>	51
6.3.3	<i>Izračun dobitkov sončne energije v mesecu januarju</i>	52
6.3.4	<i>Primerjava rezultatov izgub in dobitkov energije skozi zastekljeno fasado v mesecu januarju</i>	54
7	SISTEMI SENČENJA	55
7.1	KRATKA ZGODOVINA SENČENJA STAVB	55
7.2	OPIS SENČENJA NA OBJEKTU MAGDALENA	56
7.3	H3: INVESTITOR JE Z UPORABO BRISOLEJEV NA FASADI LETNO PRIVARČEVAL 3% STROŠKOV ENERGIJE.	56
7.3.1	<i>Izračun azimuta za vsako fasadno lice z in brez senčenja</i>	58
8	PREDSTAVITEV BIM.....	69
8.1	ZGODOVINA BIM-A.....	69
8.1.1	<i>Ključne prednosti BIM.....</i>	69
8.2	6. DIMENZIJA BIM-A.....	69
8.3	H4: BIM 3D ANALIZA UPORABE TOPLOTNIH IZGUB NA OBJEKTU ZP MAGDALENA.....	70
8.3.1	<i>Simulacije energije (Analiza toplotnih izgub).....</i>	70
8.3.2	<i>Energetsko učinkoviti in stroškovno učinkoviti pristopi skozi energetsko modeliranje na primeru</i> <i>71</i>	
8.3.3	<i>Delovni proces.....</i>	71

8.3.4	<i>Pridobivanje podatkov za simulacijo</i>	72
8.3.5	<i>Simulacija energije na danem primeru</i>	73
8.3.6	<i>Stroškovni vidik simulacije in uporabnost do investitorja</i>	75
8.3.7	<i>Ugotovitve simulacije na danem primeru</i>	76
9	SKLEP	77
10	VIRI, LITERATURA	80

KAZALO SLIK

SLIKA 1	USTREZNO OGRAJENO GRADBIŠČE ZP MAGDALENA.....	18
SLIKA 2	ZGRAJENA VARNOSTNA OGRAJA MED IZVEDBO AB DEL IN USTREZNO NOŠENJE OVO NA GRADBIŠČU ZP MAGDALENA	18
SLIKA 3	UREDITEV GRADBIŠČA ZP MAGDALENA VIR: (MAPS, 2023).....	24
SLIKA 4	NEPREZRAČEVANA NEPROSOJNA FASADA Z ZUNANJO TOPLOTNO IZOLACIJO	27
SLIKA 5	PREZRAČEVANA NEPROSOJNA FASADA	27
SLIKA 6	IZGLED PROSOJNE FASADE NA OBJEKTU ZP MAGDALENA	29
SLIKA 7	IZGLED AVLE V NOTRANJOSTI ZP MAGDALENA	30
SLIKA 8	MONTAŽA BRISOLEJEV NA ZP MAGDALENA.....	32
SLIKA 9	DETAJL FASADNEGA SISTEMA F1.59 PODJETJA ALLFACE GMBH.....	33
SLIKA 10	SISTEM FWS 50 S.SI	34
SLIKA 11	IZGLED SISTEMA FWS 50 S.SI V PRAKSI	34
SLIKA 12	SISTEM ALLFACE F1-59.....	38
SLIKA 13	FASADNI SISTEM BAUMIT PRO	42
SLIKA 14	IZGLED SENČIL NA ZP MAGDALENA	56
SLIKA 15	PRIKAZ SENČENJA NA OBJEKTU.....	57
SLIKA 16	ENERGIJSKI RAZREDI OBJEKTOV	68
SLIKA 17	DIMENZIJE BIM-A	69
SLIKA 18	SIMULACIJA IZGUB ENERGIJE	70
SLIKA 19	DELOVNI PROCES PO FAZAH NA DANI ŠTUDII	71
SLIKA 20	GEOMETRIJSKI MODEL ZA SIMULACIJO	72

KAZALO TABEL

TABELA 1	ČASOVNO OBSEVANJE JANUAR ZP MAGDALENA.....	52
TABELA 2	SEVERNA FASADA PRIMERJAVA OBSEVANJA S IN BREZ SENČIL	60
TABELA 3	VZHODNA FASADA PRIMERJAVA OBSEVANJA S IN BREZ SENČIL:	61

TABELA 4 JUŽNA FASADA PRIMERJAVA OBSEVANJA S IN BREZ SENČIL:.....	62
TABELA 5 ZAHODNA FASADA PRIMERJAVA OBSEVANJA S IN BREZ SENČIL:	63

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Zgodovina fasadnega ovoja sega v čas, ko so bili osnovni materiali kamnina, opeka in les. Ti materiali so zagotavljali zaščito pred vremenskimi vplivi, vendar so bili v smislu sodobne energetske učinkovitosti in izolacije manj učinkoviti. S časom so se razvile kontaktne fasade, ki so omogočile boljšo toplotno izolacijo z uporabo različnih izolacijskih materialov in tehnik nanosa ometov. V 20. stoletju, s prihodom novih materialov in tehnologij, je prišlo do revolucije v arhitekturi fasad predvsem z uvedbo zastekljenih sistemov, ki so omogočili večjo transparentnost in svetlost prostorov. Ta prehod je bil posledica spremembe v arhitekturnem razmišljanju, ki je začelo poudarjati povezovanje notranjega in zunanjega prostora, priročnost naravne svetlobe in vizualno estetiko.

V sedanjosti je izbira fasadnega sistema postala še bolj zapletena zaradi več dejavnikov. V ospredju je zaradi globalnih prizadevanj za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in povečanje energetske samozadostnosti zgradb energetska učinkovitost. Prav tako so pomembni estetski in funkcionalni vidiki; zastekljena fasada lahko drastično spremeni zunanji izgled stavbe, omogoča poglede na zunanost in povečuje občutek prostornosti. Vsemu naštetemu navkljub pa tak pristop zahteva premišljeno načrtovanje senčenja, saj lahko neustrezno obvladovanje sončne svetlobe vodi v prekomerno ogrevanje notranjosti, kar povečuje stroške hlajenja. Zato je senčenje postalo ključni element pri oblikovanju zastekljenih fasad. Uporaba zunanjih senčil, kot so brisoleji, zunanji roloji ali celo integrirana senčila v steklu samem, so nujna za uravnavanje vstopne sončne energije. To ne le zmanjšuje toplotne dobitke ampak tudi preprečuje bleščanje in izboljšuje udobje v prostoru. Senčenje prav tako omogoča uporabo naravne svetlobe brez negativnih posledic, kar je posebej pomembno v javnih zgradbah, kot so šole, pisarne in bolnišnice, kjer je naravna svetloba povezana z dobrobitjo in produktivnostjo.

Izbira fasadnega sistema je kompleksen proces, ki zahteva razmislek o mnogih dejavnikih, vključno z estetiko, funkcionalnostjo, energetske učinkovitosti, vzdrževanjem in trajnostjo. Ker ne določa le videza stavbe temveč tudi njeno vedenje v različnih vremenskih in svetlobnih pogojih, je izbira fasadnega sistema pogosto predmet razprave – soočamo se namreč z izzivi uravnoteženja teh dejavnikov.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je:

- Raziskati zgodovino fasadnega ovoja in različne sisteme fasadnega ovoja.
- Predstaviti izvedbo fasadnih sistemov na praktičnem primeru objekta ZP Magdalena.
- Raziskati težave, ki lahko nastanejo pri posameznih fasadnih sistemih, ter primerjati prednosti in slabosti sistemov.
- Predstaviti vpliv sončne svetlobe na posamezen fasadni sistem in predstaviti pomembnost orientacije objekta glede na pot sonca.
- Raziskati zgodovino senčenja objektov in različne sisteme senčenja.
- Predstaviti BIM in sodobna orodja simulacij energijskih izgub na modelih.

Cilji diplomskega dela so usmerjeni v rast znanja, spoznavanje novih aspektov, ter vključiti pridobljeno znanje v bodoče projekte:

- Razširiti znanje o energetske učinkovitosti različnih fasadnih sistemov za boljše razumevanje in primerjavo med posameznimi sistemi.
- Za izboljšanje razumevanja optimizacije toplotnih dobitkov in izgub želim spoznati vpliv senčil (kot so brisoleji) na energetske učinkovitost.
- Poglobiti znanje o BIM tehnologiji, zlasti njeno vlogo pri optimizaciji energetske učinkovitosti stavb.
- Integrirati pridobljeno znanje o ekonomičnosti fasadnih rešitev v bodoče projekte za zagotavljanje boljše uporabe virov in trajnostne gradnje.

Moje hipoteze so:

- H1: Fasadni stekleni elementi s senčili pripomorejo k izboljšanju energetske učinkovitosti objekta do 20% v primerjavi s kontaktno fasado.
- H2: Objekt bo v zimskih mesecih zaradi zasteklitev izgubil več energije kot pa je pridobil s sončno energijo.
- H3: Investitor je z uporabo brisolejev na fasadi letno privarčeval 3% stroškov energije.

- H4: BIM 3D analiza uporabe toplotnih izgub na objektu ZP MAGDALENA

1.3 Predpostavke in omejitve

Pri pisanju diplomskega dela sem bil zaradi poslovne skrivnosti (detajli zastekljene fasade in detajli brisolejev, ki bi jih sicer vključil v diplomsko delo) omejen. Podatke za izračune in izvedbo fasad, ki se nanašajo na objekt ZP Magdalena sem pridobil od podjetja Reflex d.o.o., ki je izvajalo fasaderska dela vključno s senčili in vsemi zasteklitvami v objektu. Pridobil sem tudi dovoljenje za uporabo splošnih podatkov. Zaradi dostopa do pravih orodij simulacij sončnih poti sem bil prav tako omejen z določitvijo višinskega kota sonca, zato sem upošteval samo azimutne kote sončeve poti glede na časovno obdobje. Ker je bil BIM model objekta izdelan samo za rabo olajšave med izvedbo gradnje projekta, se na njem ni izvajalo simulacij energetskih učinkovitosti; BIM model tudi ni več na voljo. Literatura v fizični obliki je omejena, zato sem večino vsebine našel na spletu.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomskem delu bom uporabil kvantitativni raziskovalni pristop za analizo obstoječih podatkov iz tehnične in delavniške dokumentacije vgrajenih elementov na objektu. Na podlagi predhodnih znanj in predpostavk sem si zastavil hipoteze, ki jih bom kasneje preveril z uporabo verodostojnih in preverljivih virov. S tem bom bodisi potrdil ali ovrgel te hipoteze in pojasnil osnove za takšne zaključke. Za predstavitev rezultatov bom uporabil opisno in računsko metodo, ki bo omogočila podrobno razlago situacije ter hkrati prikaz podatkov, ki sem jih pridobil z raziskovalnim pristopom.

2 DELO V PROJEKTNi SKUPINI

Pri snovanju kateregakoli projekta se na podlagi njegovih lastnosti oblikuje projektna skupina, ki bo ta projekt speljala na najuspešnejši način. Vsak uspešno zaključen projekt se torej začne in zaključi z dobro projektno ekipo. V gradbeništvu, kjer je sodelovanje ključno, uspeh ni odvisen (le) od posameznikovih čustev ali medsebojnih odnosov, temveč od znanja, veščin in sposobnosti, ki jih prispeva posameznik. Projektna skupina je torej zelo specifična v smislu njenih članov; strokovnjakov z znanji iz različnih področij, ki združijo moči, da dosežejo skupni cilj.

Gradbeništvo je projektno usmerjena industrija, ki na koncu zaključenih projektov prinaša konkretne rezultate v fizični obliki. Vsak posameznik v projektni skupini gradbenega projekta v »mozaik« doda svoj košček – arhitekt poskrbi za vizijo, inženir pograbi načrte, delavec pa vse to spravi v življenje. Vsak član v projektni skupini ima tekom vsakega projekta možnost za rast. Na podlagi izmenjave znanja krepi svoje sposobnosti, izkušnje pa mu odpirajo nove priložnosti. Na koncu dneva je nagrada jasna – dokončan objekt, cesta ali premostitveni objekt, ki služi svojemu namenu.

Tega se zavedam tudi sam kot bodoči diplomant višje strokovne šole Academia. Z ekipo študentov smo se zbrali na sedežu šole, kjer smo pod budnim očesom vodstva rešili dva testa: Belbinov test timskih vlog in Myers-Briggsov test osebnosti. Na podlagi rezultatov smo se razporedili v projektne skupine in se lotili skupinskih srečanj. Na njih smo razčlenjevali in analizirali teme naših diplomskih nalog. Naloge v projektih skupinah smo si razdelili glede na pretekla znanja in/ali izkušnje ter glede na to, kaj se je ujemalo z izidi testov.

Testi so me opredelili kot izvajalca in koordinatorja, kar odraža specifičen nabor kompetenc in vedenjskih vzorcev. Kot izvajalec izkazujem visoko stopnjo organizacijske strukture, optimalno delujem v rutinskih procesih, vzdržujem strog nivo samodiscipline in se zanašam na praktično, logično razmišljanje. Prioriteta je sistematično reševanje nalog, kjer je poudarek na trdni izvedbi in preverjenih metodologijah. Zavezanost organizacijskim ciljem prevlada nad osebnimi preferencami, kar zagotavlja stabilnost in kontinuiteto dela. Omejitev se pojavi pri prilagajanju nenadnim spremembam ali nepredvidljivim situacijam, kjer se pojavi določena togost. V vlogi izvajalca prispevam k operativni učinkovitosti z zanesljivostjo in praktičnimi veščinami. Moja sposobnost prepoznavanja funkcionalnih in izvedljivih rešitev zagotavlja, da so naloge izpolnjene v skladu z zahtevami. Za razliko od posameznikov, ki selektivno

pristopajo k nalogam na podlagi subjektivnih preferenc, se osredotočam na izpolnitev vseh potrebnih aktivnosti ne glede na osebno naklonjenost.

Na podlagi mojih lastnosti in poglobljenega poznavanja projekta sem bil v skupini določen za vodjo projekta, medtem ko so bili ostali člani ekipe razporejeni v vloge projektanta, komercialista, kalkulanta, varnostnega koordinatorja in osebe, zadolžene za pripravo dela. Vsak član skupine je aktivno sodeloval pri vseh projektnih nalogah, pri čemer smo sistematično analizirali projekt, izmenjali tehnične predloge in zamisli ter skupaj razvili optimalne rešitve, prilagojene specifičnim zahtevam projekta.

Članom skupine sem predstavil temo svojega diplomskega dela, ki je služila kot osnova za nadaljnje skupinsko raziskovanje. Z aktivnim sodelovanjem in integracijo različnih tehničnih predlogov članov smo razvili projekt, ki združuje inovativne pristope z visoko stopnjo praktične uporabnosti.

Na uvodnem srečanju projektne skupine smo se osredotočili na analizo različnih fasadnih sistemov, pri čemer smo izvedli tehnično razpravo o njihovih prednostih v smislu izvedbe in trajnosti. Poseben poudarek je bil namenjen hitrosti montaže ter stroškovni učinkovitosti posameznih sistemov. Pri zastekljenih fasadah smo ugotovili, da so posamezni elementi izdelani v nadzorovanih tovarniških pogojih, kar omogoča višjo kakovost in zmanjšuje odvisnost od spremenljivk na gradbišču. Takšen pristop teoretično pospeši montažo, saj se na lokacijo dostavijo že predhodno obdelani elementi, kar zagotavlja večjo časovno fleksibilnost. Sistem prav tako eliminira potrebo po dolgotrajnih procesih, kot je sušenje materialov ali natančna izravnavna podlage pred namestitvijo izolacije. Pri zastekljenih fasadah ta proces nadomešča uporaba konzol, ki omogočajo prilagajanje razdalj in toleranc. Na koncu smo ne glede na hitrost montaže sicer prišli do zaključka, da je vseeno daleč najceneje klasična kontaktna fasada.

Na drugem srečanju projektne skupine smo izvedli poglobljeno analizo energetske učinkovitosti različnih fasadnih sistemov s poudarkom na primerjavi toplotne prehodnosti (U -vrednosti) celotnih sistemov. Po temeljiti evalvaciji smo ugotovili, da prezračevana neprosojna fasada dosega optimalno kombinacijo toplotne učinkovitosti in funkcionalnosti. Sistem temelji na zračni reži med zunanjo oblogo in izolacijskim slojem, ki omogoča naravno cirkulacijo zraka, s čimer se zmanjšuje pregrevanje in izguba toplote ter izboljšuje energetski izkoristek. V primerjavi z drugimi sistemi, kot so kontaktne fasade ali zastekljene fasade, je prezračevana neprosojna fasada izkazala superiornost pri uravnavanju toplotnih mostov in doseganju nižjih

U-vrednosti, kar je ključno za trajnostno gradnjo. Poleg tega smo obravnavali pomen zastekljenih površin v kontekstu energetske učinkovitosti in kakovosti bivanja. Zastekljeni elementi omogočajo vnos dnevne svetlobe, kar zmanjšuje potrebo po umetni osvetlitvi in posledično znižuje porabo električne energije. Raziskali smo napredek v toplotni izolativnosti okenskih sistemov in ugotovili, da sodobni večslojni zasteklitveni elementi z nizkoemisijskimi premazi (Low-E) in polnjenjem z inertnimi plini (npr. Kriptonom) dosegajo U-vrednosti pod $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Analizirali smo tudi razmerje med transparentnostjo in izolativnostjo, saj pretirana zasteklitev lahko poveča toplotne dobitke poleti ali izgube pozimi, kar zahteva uravnotežen pristop pri načrtovanju.

Na tretjem srečanju smo posebno pozornost namenili vplivu sončne energije na fasadne sisteme. Analizirali smo sončno obsevanje (W/m^2) in njegove učinke na toplotne obremenitve, upoštevajoč orientacijo stavbe, kot incidence žarkov in sezonske spremembe in na podlagi podatkov ugotovili da lokacija objekta dobi sorazmerno velik delež sončne svetlobe. Pri zastekljenih fasadah smo ocenili učinkovitost senčil na objektu ZP Magdalena. Poleg tega smo na srečanju razglabljali o BIM tehnologiji in energijskih simulacijah na 3D-modelih. Spoznali smo, da je BIM model mogoče povezati z vrsto različnih programov, ki omogočajo zelo podrobno analizo toplotnih lastnosti in optimizacijo zasnove. Skupaj smo ugotovili, da BIM izboljšuje natančnost načrtovanja in zmanjšuje vzdrževalne stroške z zgodnjo identifikacijo šibkih točk.

2.1 Varnost in zdravje pri delu na gradbišču ZP Magdalena

Uredba o zagotavljanju varnosti in zdravja pri delu na začasnih in premičnih gradbiščih (Ministrstvo za delo, 2005) določa minimalne zahteve za varnost in zdravje delavcev pri gradbenih delih, vključno z izgradnjo fasad in uporabo gradbenih odrov. Namenjena je preprečevanju tveganj, povezanih z delom na višini, uporabo opreme in organizacijo gradbišča.

Investitor mora že v fazi načrtovanja upoštevati temeljna načela varnosti in zdravja, kot jih določa Zakon o varnosti in zdravju pri delu (ZVZD-1). To vključuje oceno tveganj, povezanih z arhitektnimi, tehničnimi in organizacijskimi vidiki projekta. Za gradbišča, kjer dela izvajajo več izvajalcev ali obstajajo posebna tveganja, kot so potekala na projektu gradnje ZP Magdalena (npr. delo na višini), je bilo treba imenovati koordinatorja za varnost in zdravje, ki pripravi varnostni načrt in usklajuje izvajanje ukrepov.



Slika 1 Ustrezno ograjeno gradbišče ZP Magdalena

Vir: (Napast, 2023)

2.1.1 Splošno o zahtevah uredbe

Dela na gradbišču, vključno z montažo odrov in izgradnjo fasad, smejo izvajati le delavci, ki so zdravstveno pregledani in ustrezno usposobljeni za specifične naloge, kot je npr. delo na



Slika 2 Zgrajena varnostna ograja med izvedbo AB del in ustrezno nošenje OVO na gradbišču ZP Magdalena

Vir: (Mestna občina maribor, 2024)

višini. Vsi podizvajalci na projektu so bili vpisani v pisni sporazum. Vsak izmed njih je moral dostaviti tudi evidenčni list vseh zaposlenih, ki so delali na gradbišču, z zagotovilom delodajalca, da so usposobljeni za to delo, še preden so ti prišli na gradbišče. Prav tako so dostavili dokazila o zanesljivosti vse opreme, vključno z gradbenimi odri, dvižnimi ploščadi in košarami. Vsa oprema mora biti tehnično brezhibna, redno vzdrževana in uporabljena izključno za predvidene namene. Ergonomska načela morajo biti upoštevana pri zasnovi in uporabi. Uredba jasno navaja tudi to, da mora biti gradbišče urejeno, poti za dostop jasno označene, delovna mesta pa organizirana tako, da se zmanjšajo tveganja za padce ali poškodbe zaradi premikanja materialov. Na gradbišču smo ob izdelavi fasade imeli odprtih kar nekaj jaškov, ki smo jih seveda zaprli z namenom, da bi zaščitili delavce pred padcem.

2.1.2 Posebne zahteve pri izgradnji fasad in uporabi gradbenih odrov

Odri morajo biti projektirani in postavljeni v skladu z načrtom, ki ga izdelata usposobljena oseba. Pri nas je načrt izdelala podporna služba v podjetju. Načrt je vseboval dimenzije in specifikacije elementov odra in mesta sidranja v objekt glede na fasadno stran. Največjo dovoljeno obremenitev, statični izračun nosilnosti in navodila za montažo in demontažo so bila zagotovljena v navodilih proizvajalca tipskih odrov, ki so bila poleg načrtov odra priloga k kontrolnemu listu odra.

Sicer mora postavitve ustrezati standardu SIST EN 12811, ki določa zahteve za delovne odre. Dokumentacija o skladnosti za tipske odre je bila ves čas prisotna na gradbišču.

Montaža in demontaža odrov:

Postavitve in demontaža odrov je potekala le pod nadzorom usposobljenega strokovnjaka. Pred uporabo odrov je bilo treba izvesti pregled stabilnosti, sidranja, ograj in dostopov, kar se je evidentiralo v kontrolnem listu. Delavci so med montažo in demontažo odra uporabljali varnostne pasove in čelade. Redni pregledi odrov in delovnih pogojev so obvezni, pri čemer koordinator ali odgovorna oseba zagotavlja skladnost z varnostnimi ukrepi. Ob primeru opazke neustreznosti je to potrebno zapisati v kontrolni list odra ter po odpravi to zabeležiti.

Specifične zahteve za fasadne odre:

Fasadni odri, ki se uporabljajo pri izgradnji ali obnovi fasad, morajo imeti delovni pod širine vsaj 60 cm (pri cevni odrih) ali več, odvisno od tipa odra, z ograjo na zunanji strani višine

najmanj 1 m. Razmik med etažami pa ne sme biti manjši od 1,9 m. Podlaga mora biti trdna in nosilna; če nosilnost ni zadostna, je treba uporabiti podložne elemente za razporeditev obremenitve. Sidranje odra na objekt je obvezno in mora biti izvedeno v nosilne konstrukcije; v našem primeru v AB elemente z uporabo standardiziranih jeklenih sider.

Tipski cevni oder kot je npr. Lahyer, Ringer, Pilosio vse te parametre upoštevajo v svoji zasnovi. Njihova montaža je zelo hitra in enostavna. Na objektu ZP Magdalena s postavljanjem odra nismo imeli večjih težav saj je šlo za novogradnjo in gole AB stene. Pod noge odra smo na vseh mestih položili plošč debeline min. 5 cm, da smo zagotovili stabilnost proti posedanju v nasutje. Oder je bil od fasade odmaknjen 30 cm. To nam je omogočalo, da so lahko delavci, ki so oder prevzeli na njem delali brez varovalne opreme zaščite pred padcem. Če ne bi zagotovili ustrezne distance 30 cm, bi morali sprejeti druge ukrepe, ki bi preprečili padec delavca v globino. Eden izmed ukrepov bi bil, da bi se delavci privezali z varnostnim pasom, drugi ukrep bi lahko bil tudi montaža lovilnih mrež ali pa lovilnih odrov. V navodilih odra je zapisana tudi distanca, na kateri morajo biti postavljeni dostopi lestev do odra. V našem primeru je bilo to na vsakih 30 m.

Dela na odrih in fasadah se smejo izvajati le v primernih vremenskih razmerah. Močan veter, dež ali zmrzal lahko ogrozijo stabilnost konstrukcije ali varnost delavcev, zato smo v takih primerih delo seveda prekinili. V primeru naravne nesreče (npr. požar) smo imeli na gradbišču vedno vzpostavljen in zagotovljen izhodi v sili.

Uredba postavlja strog okvir za zagotavljanje varnosti pri izgradnji fasad in uporabi gradbenih odrov, ki zajema tako tehnične zahteve (stabilnost, nosilnost, sidranje) kot organizacijske vidike (usposabljanje, načrtovanje). Skladnost z njo zmanjšuje tveganja za nezgode, kot so padci z višine ali poškodbe zaradi nestabilnih konstrukcij, ter zagotavlja varno in učinkovito izvedbo gradbenih del. Pri tem je ključno sodelovanje vseh deležnikov – investitorjev, izvajalcev in koordinatorjev – ter dosledno spoštovanje predpisanih standardov in postopkov.

2.2 Varnostni načrt

Varnostni načrt je ključni dokument, ki zagotavlja sistematičen pristop k obvladovanju tveganj na gradbišču ter služi kot osnova za izvajanje ukrepov za varnost in zdravje pri delu. Njegova primarna vloga je preprečevanje nezgod, zmanjševanje zdravstvenih tveganj ter zagotavljanje skladnosti z zakonskimi in tehničnimi zahtevami, kot jih določa Uredba o zagotavljanju

varnosti in zdravja pri delu na začasnih in premičnih gradbiščih (Uradni list RS, št. 83/05 in 43/11 – ZVZD-1). Dokument služi kot orodje za usklajevanje aktivnosti med različnimi izvajalci, opredeljuje specifične ukrepe za varno izvedbo del in omogoča učinkovit nadzor nad izvajanjem gradbenih procesov.

Varnostni načrt pripravi **koordinator za varnost in zdravje pri delu v fazi priprave projekta**, ki ga imenuje investitor ali naročnik gradnje. Ta oseba mora imeti ustrezne kvalifikacije, kot jih določa Zakon o graditvi objektov (ZGO-1) in ZVZD-1, ter praktične izkušnje na področju gradbeništva in varnosti pri delu. Koordinator deluje že v fazi načrtovanja in sodeluje z arhitekti, projektanti ter drugimi strokovnjaki, da se tveganja upoštevajo že pri zasnovi projekta. V fazi izvedbe odgovornost za posodabljanje in izvajanje varnostnega načrta prevzame **koordinator za varnost in zdravje v fazi izvedbe**, ki mora biti prav tako strokovno usposobljen.

V primeru, da dela izvaja le en izvajalec in ni posebnih tveganj (npr. manjši projekti brez dela na višini), varnostni načrt ni obvezen, a mora izvajalec vseeno pripraviti oceno tveganj in ukrepe v skladu z internimi pravili.

2.2.1 Funkcije varnostnega načrta

Funkcija varnostnega načrta je predvsem identifikacija tveganj. Na podlagi tveganj se sistematično opredeljuje potencialne nevarnosti na gradbišču, kot so padci z višine, udarci materialov, električni udari ali izpostavljenost škodljivim snovem. Ta načrt določa ukrepe za njihovo preprečevanje. Varnostni načrt prav tako določa postopke za varno izvajanje specifičnih nalog (npr. montaža odrov, delo z dvigali) in usklajuje delo med več izvajalci, kjer obstaja povečano tveganje prekrivanja dejavnosti. V varnostnem načrtu se vzpostavijo tudi zahteve za osebno varovalno opremo (OVO), postavitve zaščitnih sistemov (ograje, mreže) in ureditev dostopnih poti. Vključuje tudi načrte za ukrepanje v primeru nesreč (požar, poškodbe) vključno z evakuacijskimi potmi in dostopom za reševalne službe. Varnostni načrt omogoča dokazovanje izpolnjevanja pravnih obveznosti investitorja in izvajalcev ter služi kot podlaga za inšpekcijske preglede.

2.2.2 Vsebina varnostnega načrta

Vsebina varnostnega načrta je bila za izgradnjo objekta ZP Magdalena obsežna in je vključevala opis projekta, časovni razpored del, seznam tveganj, specifične varnostne ukrepe, pravila za uporabo opreme, organizacijo prve pomoči in kontaktne podatke odgovornih oseb. Pri delu na npr. fasadah ali odrih je vključeval tudi navodila za zaščito pred padci in ravnanje z materiali, ter splošne zahteve za vse vrste odrov.

Načrt je sicer živ dokument, ki se prilagaja spremembam na gradbišču (npr. nova faza del, sprememba vremenskih pogojev) in ga je v takšnih primerih treba redno posodabljeni. V našem primeru je bil načrt tako obsežen, da je bil pripravljen za praktično katerikoli primer, in ga tekom gradnje nismo posodabljali.

Načrt služi kot osnova za informiranje vseh deležnikov – delavcev, nadzornikov in podizvajalcev – o varnostnih zahtevah in postopkih. Koordinator spremlja izvajanje ukrepov in pripombe vpisuje v knjigo ukrepov, izvajalci pa so dolžni spoštovati določila. Investitor nosi končno odgovornost za zagotavljanje varnosti, čeprav lahko del odgovornosti prenese na koordinatorja ali izvajalca.

Varnostni načrt je temeljni element varnega in učinkovitega delovanja gradbišča, saj povezuje preventivne ukrepe, tehnične rešitve in organizacijske postopke v celovit sistem. Njegova priprava zahteva strokovno znanje in sodelovanje med vsemi udeleženci gradbenega procesa, kar zagotavlja zmanjšanje tveganj, zaščito delavcev ter skladnost z zakonodajo. Brez njega bi bila izvedba kompleksnih del, kot je postavitve zastekljenih fasad ali uporaba gradbenih odrov, izpostavljena večjim varnostnim in pravnim tveganjem.

2.3 Organizacija gradbišča

Načrt organizacije gradbišča (NOG) je tehnični in organizacijski dokument, ki določa prostorsko razporeditev, logistične postopke in časovni okvir izvajanja del na gradbišču. Njegov namen je zagotoviti učinkovito, varno in ekonomično izvedbo gradbenega projekta z optimizacijo uporabe virov, kot so delovna sila, oprema, materiali in prostor. Kot del projektne dokumentacije za izvedbo (PZI) se pripravi v skladu z Zakonom o graditvi objektov (ZGO-1) ter drugimi veljavnimi predpisi, pri čemer vključuje grafični prikaz (situacijski načrt) in pisni opis organizacije. Vsebuje postavitev gradbišča z delovnimi območji, skladišči materialov, dostopnimi potmi, začasnimi objekti, kot so pisarne in sanitarije, ter območji za stroje, poleg

tega pa obravnava logistiko transporta materialov, gibanja strojev in dostopa osebja, varnostne ukrepe z označbo nevarnih območij, postavitvijo zaščitnih ograj, signalizacijo in evakuacijskimi potmi ter časovni vidik z določitvijo faz gradnje in urnikov za usklajevanje del različnih izvajalcev.

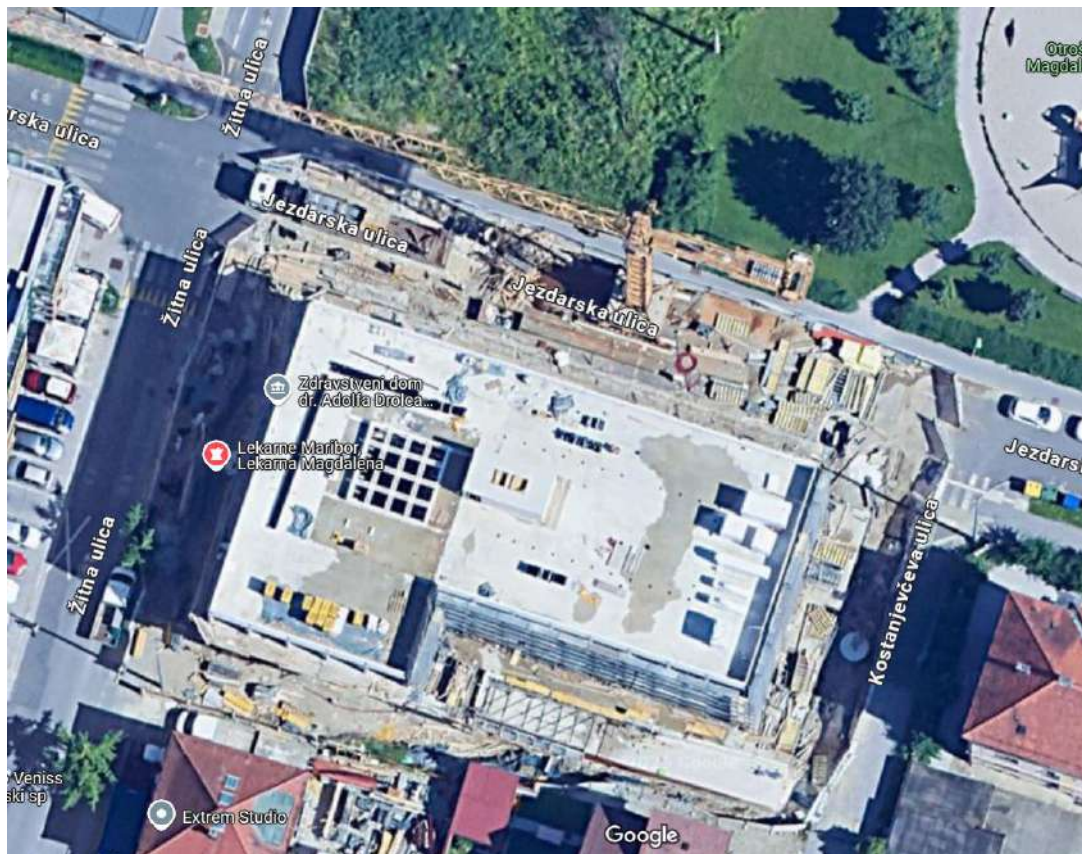
2.3.1 Organizacija gradbišča ZP Magdalena

Pri pripravi NOG za projekt ZP Magdalena je bilo treba upoštevati več vidikov, da smo zagotovili varnost, učinkovitost in skladnost z zahtevami. Prostorske omejitve, kot smo jih bili deležni na projektu izgradnje ZP Magdalena, zahtevajo natančno načrtovanje postavitve opreme in materialov, saj je bil prostor omejen. Načrt smo prilagodili dostopnim potem terena in nosilnosti tal, da smo preprečili posedanja ali poškodbe obstoječe infrastrukture.

Ker je bila parcela, kjer se je gradil objekt, zelo utesnjena, se je podjetje odločilo, da bomo namesto uporabe pisarniških kontejnerjev za vodstvo gradbišča v najem vzeli bližnjo parcelo z bivalno hišo. Vodstvo gradbišča in delavci podjetja Pomgrad d.d. smo tako imeli svoje prostore v bivalni hiši neposredno poleg gradbišča. Na sosednjo parcelo smo poleg hiše odložili skladiščni kontejner našega podjetja ter vzpostavili tesarski in železokrivski obrat. Na tej parceli smo prav tako imeli dva gradbiščna WC-ja, svežo pitno vodo ter vodo za umivanje rok za vse delavce.

Ker smo za izgradnjo potrebovali žerjav, se je podjetje po rušitvi prejšnjega zdravstvenega doma in dokončanih izkopih odločilo za trajno zaporo Jezdarske ceste, kar nam je mestna občina Maribor z upravljalci cest dovolila. Tako smo na severni strani objekta pridobili dodaten pas šestih metrov širine. Pločnik ceste smo na strani Magdalenskega parka pustili odprt za prost prehod pešcev in kolesarjev. Dodaten pas šestih metrov, na katerem je bila utrjena asfaltna podlaga, nam je omogočila, da smo na njej izvedli temelje za žerjav, na katere smo ga nato sidrali. Prav tako je cesta omogočila začasno odlaganje vseh uporabljenih opaznih sistemov, dodatnih kontejnerjev za odpadke in utrjen dostop za tovorna vozila. Po poružitvi žerjava ob koncu AB del je bila površina zelo koristna predvsem za vozila obrtnikov, saj je iz severne strani potekal glavni vhod v objekt, ki je omogočal tudi neposredno bližino stopnic, ki so vodile v višja nadstropja. Kasneje smo ob prihodu obrtnikov in povečanju št. delavcev na severni strani objekta postavili dodaten gradbiščni WC.

V gradbišče so vodili vsega skupaj trije vhodi širine 5 m+, ki so omogočali nemoten dostop in odvoz tovornih vozil in mehanizacije. Posebnost pri enem izmed dostopov na vzhodni strani objekta je bila nujnost vzdrževanja prevoznosti Kostanjevčeve ulice, kjer je bila aktivna stanovanjska hiša, do katere so dostopali njeni prebivalci.



Slika 3 Ureditev gradbišča ZP Magdalena Vir: (maps, 2023)

NOG je na vsakem projektu živa stvar, ki jo je potrebno posodablјati. Po zaključku AB del smo na mesto železokrivskega in tesarskega obrata postavili skladiščne kontejnerje ter garderobe podizvajalcev strojnih in elektro inštalacij.

Varnost in zdravje zahtevata ukrepe za zaščito delavcev in okolice, kot so ločitev pešcev od območij strojev (kar smo zagotovili z gradbiščno ograjo), označba nevarnih con (kar smo zagotovili z opozorilnimi znaki na vseh vseh) in zadostna osvetlitev (kar smo v notranjosti objekta v zimskih mesecih zagotovili z reflektorji). Posebna pozornost gre preprečevanju tveganj, kot so padci materialov, trki vozil ali izpostavljenost prahu in hrupu. Zaradi teh zahtev smo dela izven objekta izvajali od 7:00 do 15:00 med delovnikom. Prav tako je na cesti, kjer smo imeli aktivna dva vhoda na gradbišče, bila cona z omejitvijo hitrosti na 30 km/h.

Zaradi obrabe smo pred odprtjem zamenjali asfaltno podlago na cesti Jezdarske ceste ter prehode nadgradili z taktilnimi označbami za slepe in slabovidne. Enako smo storili tudi na Kostanjevčevi ulici. Odprtje ceste je potekalo malo pred izvedbo kvalitetnih pregledov, zato smo na južni strani ceste še vedno imeli postavljeno gradbiščno ograjo, za katero so lahko varno parkirala vozila podizvajalcev, ki so odpravljali svoje napake.

Gradbišče se je konstantno prilagajalo potrebi človeških virov, prostorskih potreb in potreb opreme. Samo tako lahko projekt poteka optimalno za vse udeležence na projektu, posledica tega pa je uspešen finančni izid in zadovoljstvo okoliških prebivalcev ter mimoidočih.

3 SISTEMI FASADNEGA OVOJA

3.1 ZGODOVINA FASADNEGA OVOJA

Fasadni ovoj ali fasada je v gradbeništvu prisotna že od samega začetka gradnje. V zgodnjih časih so za fasado uporabljali izključno neprosojne materiale, kot so zemlja, koža, lubje in podobno. S časom so se pojavili še drugi naravni materiali kot so kamen, glina, les in opeka, ki so omogočali, da prostor znotraj stavbe zdravo razvito diha z okoljem. Vse do moderne dobe je bila gradnja torej osredotočena na uporabo sonaravnih materialov.

O začetkih prosojnih fasad lahko govorimo že v antičnem Rimu, kjer so steklo uporabljali v termah in za okuluse v templjih. Pravi razvoj prosojnih fasad pa lahko umestimo v obdobje srednjega veka, natančneje v gotskem obdobju, ko so začeli zastekljevati večje dele katedralnih fasad. V 19. stoletju je steklo postalo pogosta izbira za aristokratske objekte, kar lahko še danes občudujemo iz slik primera Kristalne palače v Londonu iz leta 1851. Od konca 19. stoletja do danes je prosojna zastekljena fasada postala stalnica v poslovnih zgradbah in drugih pomembnih objektih, ki igrajo ključno funkcijo v urbanih okoljih.

Moderni trendi so zastekljene fasade dvignili na nov nivo z uporabo troslojnih stekel, ki izboljšajo energetske učinkovitost in udobje notranjih prostorov. Ta razvoj je omogočil večjo transparentnost stavb, kar izboljšuje naravno svetlobo in vizualno povezavo z zunanostjo, kar je ključnega pomena za dobro počutje v prostorih. Kljub temu pa so izzivi, kot so toplotne izgube in dobitki, ki jih prinašajo tehnološke rešitve, kot so senčila, postali integralni del oblikovanja prosojnih fasad. (Zbašnik-Senegačnik & Kresal, 2004)

3.2 DELITEV FASADNIH SISTEMOV

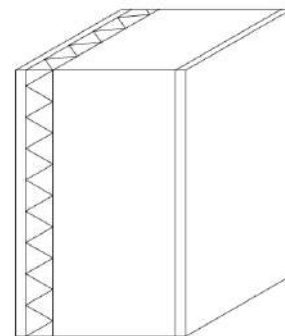
Fasade sodobnih stavb so kompleksni sistemi, ki ne le opredeljujejo njihov estetski izgled ampak tudi pomembno vplivajo na njihovo energetske učinkovitost, udobje bivanja in dolgoročno vzdrževanje. V današnjem arhitekturnem svetu jih delimo na **prosojne in neprosojne**, ter na **prezračevane in neprezračevane (kontaktne) fasade**, kar omogoča širok spekter rešitev za različne potrebe in okolijske pogoje. (Zbašnik-Senegačnik & Kresal, 2004)

3.2.1 Neprosojne fasade

Začnimo z **neprosojnimi fasadami**, ki se nadalje razdelijo na **neprezračevane in prezračevane fasade**.

Neprezračevane neprosojne fasade so tiste, ki še vedno prevladujejo v Sloveniji in po svetu. To so tradicionalni sistemi, kjer je izolacija in zaključni omet ali obloga neposredno vezana na nosilno konstrukcijo stavbe. Ta metoda je znana po svoji preprostosti izvedbe in relativno nizkih stroških, vendar lahko v primerjavi z moderno tehnologijo zaostaja pri odpornosti na vlago, paropropustnosti in sposobnosti upravljanja z notranjo klimo. Kontaktne fasade, kot jih pogosto imenujemo, so primer tega tradicionalnega pristopa, kjer se izolacijski materiali in dekorativni ometi nanesejo neposredno na zidno površino.

neprezračevana neprosojna fasada
unventilated opaque façade

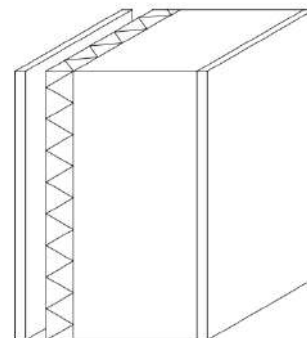


Slika 4 Neprezračevana neprosojna fasada
z zunanjo toplotno izolacijo

Nasprotno, **prezračevane neprosojne fasade** prinašajo inovacijo z vključitvijo prezračevalnega sloja med izolacijo in zaključno oblogo. Ta prezračevalni sloj, ki je običajno skrit za oblogo iz keramike, kamna ali kovine, omogoča kroženje zraka, kar izboljšuje odvajanje vlage iz izolacijskega sloja, povečuje odpornost na temperaturne spremembe in zmanjšuje tveganje za nastanek plesni ali drugih škodljivcev zaradi vlage. Posledično so prezračevane fasade pogosto bolj trajne, manj občutljive na vremenske razmere in omogočajo boljšo regulacijo toplote, kar je ključnega pomena za energetske učinkovitost stavbe. (Zbašnik-Senegačnik & Kresal, 2004)

Vir: (Zbašnik-Senegačnik & Kresal, 2004)

prezračevana neprosojna fasada
ventilated opaque façade



Slika 5 Prezračevana neprosojna fasada

Vir: (Zbašnik-Senegačnik & Kresal, 2004)

3.2.2 Prosojne fasade

Ko govorimo o prosojnih fasadah, se te delijo na **neprezračevane in prezračevane prosojne fasade**.

Neprezračevane prosojne fasade so značilne za zgradbe, ki služijo javnim in pisarniškim namenom. Dober primer objektov ki imajo to fasado so npr. (delno) Narodna in univerzitetna knjižnica (NUK) v Ljubljani, Kristalna palača v Ljubljani, ali katedralne zasteklitve. Ta vrsta fasade uporablja eno zasteklitveno ravnino, kar omogoča neposredno svetlobo in pogled na zunanost, vendar lahko vodi do večjih toplotnih izgub in dobitkov, kar zahteva dodatne ukrepe za uravnavanje temperature znotraj stavbe. Takšne fasade so pogosto elegantne in estetske, vendar lahko brez dodatnih izolacijskih ukrepov postanejo energetska potratne.

Prezračevane prosojne fasade, ki jih v Sloveniji najdemo na objektu: Gospodarske zbornice Slovenije (GZS) ali objektu X med fakultetama FRI in FKKT v Ljubljani, predstavljajo naprednejšo obliko zasteklitve. Te fasade imajo dve zasteklitveni ravnini z med-zasteklitvenim prostorom, ki je lahko širok od 0,5 do 1,0 metra. Ta prostor omogoča kroženje zraka, kar zmanjšuje toplotne izgube v hladnejših mesecih in toplotne dobitke poleti. Poleg tega lahko ta prostor služi kot dodatna zaščita pred hrupom, izboljša naravno osvetlitev in v nekaterih primerih omogoča integracijo tehnologij za samozadostnost z energijo, kot so fotovoltaični sistemi.

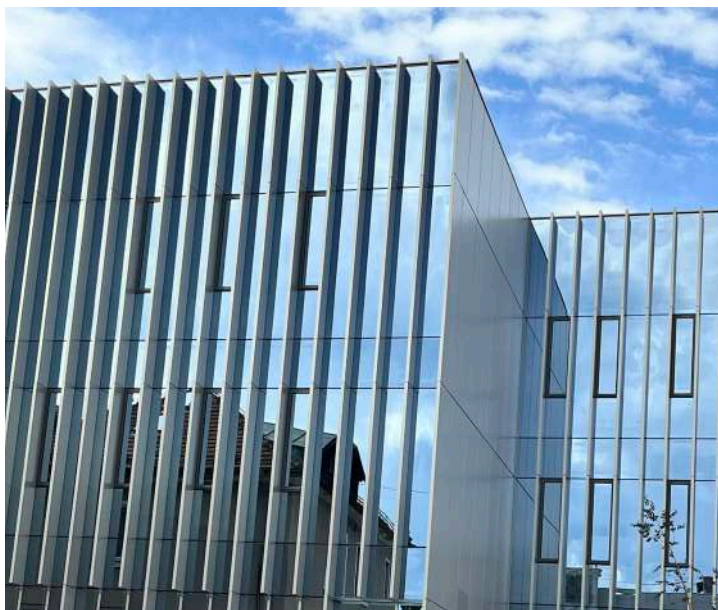
Razlika med temi sistemi je torej v njihovi sposobnosti za obvladovanje fizikalnih parametrov stavbe. Kontaktne fasade so cenovno ugodnejše, vendar lahko brez ustreznega vzdrževanja in dobre izvedbe hitreje izgubijo svoje lastnosti. Prezračevane fasade, ne glede na to, ali so prosojne ali neprosojne, prinašajo boljšo dolgoročno energetska učinkovitost, udobje in trajnost, vendar so običajno dražje za izvedbo. Ko govorimo o sodobni arhitekturi, ki stremi k trajnosti in energetska učinkovitosti, se vse pogosteje izbira prezračevane rešitve, saj ponujajo boljšo ravnovesje med funkcionalnostjo, estetiko in okoljsko odgovornostjo. (Zbašnik-Senegačnik & Kresal, 2004)

3.3 VGRAJENI FASADNI SISTEMI NA OBJEKTU ZP MAGDALENA

Diplomska naloga se osredotoča na analizo in primerjavo fasadnih sistemov na primeru Zdravstvene postaje Magdalena v Mariboru, ki služi kot zanimiv primer sodobne arhitekture, kjer se združuje funkcionalnost in estetika. Objekt je sestavljen iz dveh osnovnih fasadnih sistemov: **neprezračevane prosojne fasade in prezračevane neprosojne fasade**, kar omogoča raziskovanje različnih pristopov k oblikovanju in upravljanju z energijo v zgradbi.

3.3.1 Neprezračevana prosojna fasada na objektu ZP MAGDALENA

Neprezračevana prosojna fasada, ki pokriva celotno severno stran, večino južne in deloma vzhodno ter zahodno stran objekta, je izvedena kot enostavna zasteklitev s prekinjenim toplotnim mostom. Ta sistem omogoča visoko stopnjo naravne svetlobe, kar je ključno za zdravstvene ustanove, kjer je dnevna svetloba povezana z izboljšanjem počutja pacientov in osebja. Prekinjeni toplotni most zagotavlja nekoliko boljšo toplotno izolacijo, vendar zaradi narave stekla, ki je dober prevodnik toplote, še vedno predstavlja izziv pri toplotnih izgubah in dobitkih.



Slika 6 Izgled prosojne fasade na objektu ZP Magdalena

Senčenje zastekljene fasade je

Vir: (Lastni vir)

zagotovljeno z vertikalnimi, nevtljivimi aluminijastimi brisoleji, ki segajo od vrha zasteklitve (kape Atike) do dna zasteklitve, kar ne le zmanjšuje toplotne dobitke ampak tudi prispeva k estetiki objekta z dodajanjem arhitekturnega bogastva in futurističnega izgleda. Na delu severne in zahodne fasade so brisoleji nameščeni do višine tlaka na prvi etaži, kar omogoča delno senčenje. Preostali del zasteklitve je osenčen s plezalkami, ki rastejo iz pritličnih betonskih fasadnih korit vertikalno do spodnje ravnine brisolejev nad njimi. Plezalke na podlagi knjige *Green facades* (Nicole, 2024) povečujejo zeleno površino v urbanem okolju, kar prispeva k boljši kvaliteti življenja. pomagajo zmanjšati obremenitev kanalizacijskih sistemov z zadrževanjem vode in njeno postopno sproščanje. Plezalke na fasadi delujejo kot naravna bariera zvoka, s čimer zmanjšujejo hrupno onesnaževanje znotraj zgradbe – to je v našem primeru predvsem pomembno, saj so te plezalke nameščene vzporedno ob Žitni ulici in Jezdarski cesti, ki sta zmerno prometno obremenjeni. Preko direktnega senčenja in/ali evaporacije vode iz rastlin zmanjšujejo potrebo po umetnem hlajenju. Rastline prav tako prispevajo k zmanjšanju onesnaženosti zraka v neposredni bližini objekta.

Kot navaja (Nicole, 2024) v knjigi *Green facades* so ti vidiki še posebej pomembni v kontekstu urbanega okolja, kjer je vsaka zelena površina dragocena.

3.3.2 Prezračevana neprosojna fasada na objektu ZP MAGDALENA

Prezračevana neprosojna fasada, ki je delno prisotna na južni, zahodni in vzhodni strani objekta, je izvedena z oblogo iz aluminijaste pločevine. Ta sistem fasade, kot sem že omenil, nudi dodatno toplotno zaščito zaradi prezračevalnega sloja med izolacijo in zaključno oblogo, kar izboljšuje energetske učinkovitost stavbe z zmanjšanjem toplotnih izgub in dobitkov. Ta fasada ne prispeva le k boljši toplotni izolaciji, ampak tudi k trajnosti in manjši potrebi po vzdrževanju, saj zmanjšuje vpliv vremenskih razmer na gradbene materiale.

3.3.3 Zasnova ZP MAGDALENA

Zdravstvena postaja Magdalena stoji na južni strani istoimenskega mestnega parka, kar dodatno poudarja njeno integracijo v naravno okolje. Zastekljena fasada, ki odpira pogled na park, daje vtis sodobne in odprte stavbe, kar je v nasprotju z običajnimi, bolj zaprtimi zdravstvenimi ustanovami, in spodbuja občutek povezanosti z naravo, kar je pomembno za psihološko dobrobit pacientov in osebja.

V objekt vodi več popolnoma zastekljenih vhodov, ki omogočajo maksimalni izkoristek dnevne svetlobe:

- Glavni vhod zdravstvenega doma s severne strani.
- Glavni vhod v lekarno z zahodne strani.
- Dva službena vhoda iz južne strani.
- Eden službeni vhod iz vzhodne strani.



Zasnova, ki temelji na uporabi svetlobe, vključuje tudi svetlarnike na strehi, ki z naravno svetlobo osvetlujejo stopnišče in odprto avlo, ki vizualno povezuje pritličje z drugim nadstropjem objekta. Večina vrat ambulant je popolnoma steklenih, kar omogoča pronicanje naravne svetlobe tudi v jedro objekta, kjer so hodniki, toalete in prostori za zaposlene.

Slika 7 Izgled Avle v notranjosti ZP Magdalena

Vir: (Lastni vir)

Zdravstvena postaja Magdalena v Mariboru predstavlja primer, kako lahko sodobna arhitektura uporabi različne fasadne sisteme za doseganje več ciljev: energetske učinkovitosti, estetike, funkcionalnosti in integracije z okoljem.

4 IZVEDBA FASADNIH SISTEMOV NA OBJEKTU ZP MAGDALENA

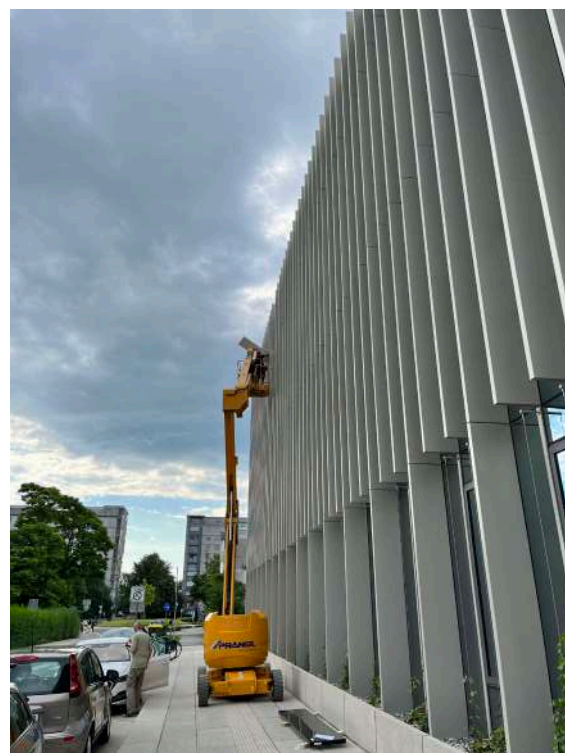
4.1 Pripravljalna dela izvedbe fasade

Izvedba fasadnega ovoja se je pričela takoj po zaključku izvedbe armiranobetonskih del na objektu, natančneje v mesecu septembru leta 2023.

Ker je gradbišče že imelo vso potrebno dokumentacijo in urejena osnovna sredstva za delovanje (Varovanje z gradbiščno ograjo, urejeni primarni dostopi, parkirna mesta za mehanizacijo, oskrbo z sanitarijami, elektriko ter vodo ...), je sama izvedba primarno zahtevala le pripravo terena v bližini fasade objekta za dostop mehanizacije, s katero so montirali fasado. Potrebno je bilo zagotoviti zadostno izravnavo in utrditev tal ter zaščito vseh jaškov pred mehanskimi poškodbami. **Uredba o zagotavljanju varnosti in zdravja pri delu na začasnih in premičnih gradbiščih** namreč zahteva, da mora biti dvigalo postavljeno na trdni in ravni podlagi, katere nagib ne presega 1%. (Ministrstvo za delo, 2005)

Na objekt so nato pripeljali **dvižne ploščadi** in **dvižne košare** različnih proizvajalcev. Pred neposredno uporabo mehanizacije so preverili ustrezno delovanje naprave. Pregledali so tudi košaro, za katero so ključni naslednji predpisi:

1. Košara mora biti izdelana v skladu s predpisi in biti predhodno preizkušena ter redno mesečno pregledana, delodajalec pa mora o tem hraniti dokumentacijo na gradbišču.
2. Ograja košare mora biti trdna, visoka najmanj 110 cm merjeno od poda. Nad podom mora biti poln zaščitni rob do višine najmanj 15 cm, zaprta mora biti z jekleno mrežo ali podobnim, pri čemer odprtine niso večje od 2 cm x 2 cm. Na višini 1 m od poda mora biti okroglo oprijemalo. V kabini ne sme biti nikakršnih ostrih robov in šilastih delov konstrukcije.



Slika 8 Montaža brisolejev na ZP Magdalena

Vir: (Lastni vir)

3. V košari mora biti vrv, ki služi za dvig vrvne lestve ali reševalne vrvi, za primer nepredvidene ustavitve dvigala. Njena dolžina mora biti tolikšna, da pri najvišjem možnem dvigu košare seže do tal in je na koncu obremenjena z utežjo. Vrv mora imeti raztržno trdnost najmanj 10 kN. (Ministrstvo za delo, 2005)

Težava, ki se je pojavila na objektu glede mehanizacije, je bila njena maksimalna nosilnost. Dvižne ploščadi, ki so bile prisotne na objektu, so imele kapaciteto dviga 270 kg. Ker sta bila na eni dva delavca, je vrednost kapacitete dviga praktično prepolovilo, zato je montaža zaradi težkih elementov zasteklitve potekala nekoliko počasneje.

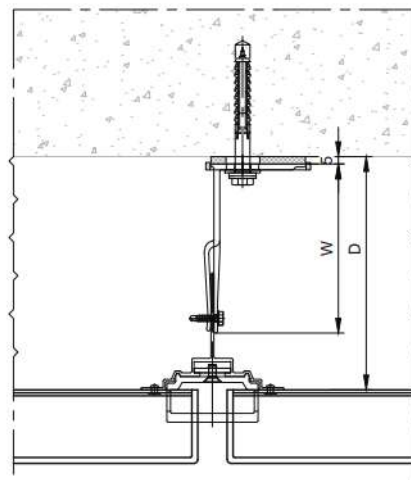
4.2 Fasaderska dela prezračevano neprosojne fasade z oblogo alu pločevine

Za **prezračevano neprosojno fasado z oblogo Alu pločevine** so projektanti izbrali sistem F1.59, ki ga je razvilo podjetje ALLFACE Gmbh.

Sistem je sestavljen iz F1 konzol, ki jih proizvajalec glede na dolžino izdeluje od 35 do 320 mm. Sistem je prilagojen kompenzaciji neravnin do 40 mm, kar omogoča lažjo izvedbo del.

Najprej so na mestih, kjer se je izvajala dotična fasada, postavili gradbeni oder. Prvi korak sistema fasade je, da se med konzolo in AB steno na mestu pritrdjevanja konzole vstavi izolacijska blazinica, ki prepreči nastanek kondenza na tem stiku. Konzola se v AB steno sidra klasično s plastičnim sidrom in z visoko protikorozijsko odpornim vijakom.

Za montažo konzol so je na AB zid pričeli lepiti TI (kamena volna) debeline 160 mm proizvajalca Knauf. Na njo so prilepili tudi parno zaporo HOMESEAL LDS, prav tako proizvajalca Knauf. Sledilo je rušenje odra in montiranje vertikalnih Y profilov, na katere so namestili tudi horizontalne profile, ki poskrbijo za hitro vpenjanje zaključne pločevine na sistem. Velikosti in raster kasetnih panelov alu pločevin so se glede na sheme fasad izmerile na mestu in pripravile v proizvodnji. Alu pločevina se je vgrajevala z zamikom cca 35 cm, kot je razvidno iz slike spodaj. Širina fug med posameznimi paneli znaša 20 mm.



Slika 9 Detajl fasadnega sistema F1.59 podjetja ALLFACE Gmbh.

Vir: (ALLFACE Smart fixing systems, 2021)

4.3 Fasaderska dela prosojno neprezračevane fasade

Za **prosojno neprezračevano fasado** so projektanti prevideli sistem Schüco FWS 50 S.SI.

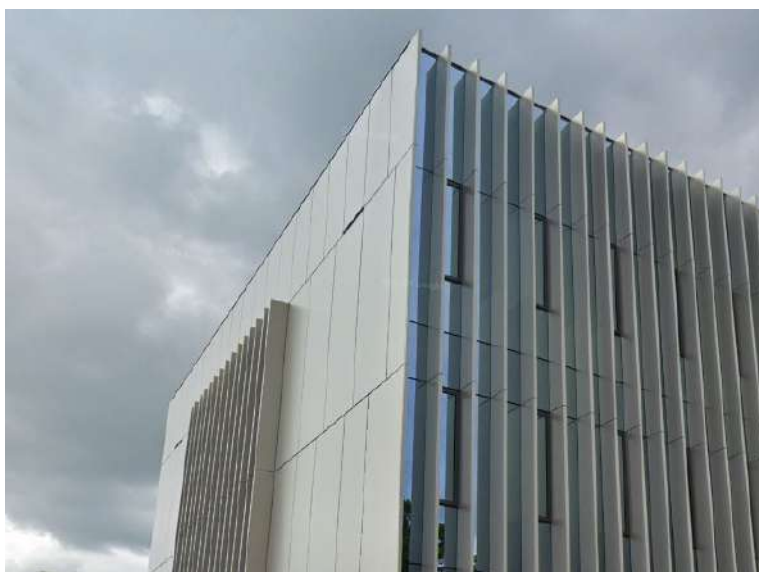
Izvedba fasade je obsegala proizvodnjo, dostavo in montažo samonosilne, popolnoma zastekljene in toplotno izolirane fasadne konstrukcije iz aluminijastih profilov sistema Schüco FWS 50 S.SI. Konstrukcija je sestavljena iz nosilnih stebrov v obliki črke T in prečk. Za estetski videz so stebri na zunanji strani obloženi s 60 mm širokimi in cca 381 mm globokimi vertikalnimi lamelami. Horizontalne povezave med stekli so izvedene z nevidnimi fugami, zatesnjenimi s silikonsko maso, ki je odporna na UV sevanje. Globina profilov je prilagojena statičnim zahtevam objekta.



Slika 10 Sistem FWS 50 S.SI

Vir: (Schüco, 2025)

Povezave med prečkami in stebri so izvedene s T-spojniki. Vidna širina profilov od znotraj znaša 50 mm. Vse tesnilne mase, uporabljene v sistemu, so na osnovi EPDM. Za odvod kondenza so v konstrukciji predvidene tri odvodne ravnine. Prezračevanje profilov je zagotovljeno preko štirih vogalov vsakega steklenega polja. Priključki na obstoječo konstrukcijo so izvedeni v skladu s standardi za parno in vodno zaščito. Nosilci stekel so bili dimenzionirani glede na težo posameznega stekla.



Slika 11 Izgled sistema FWS 50 S.SI v praksi

Vir: (Lastni vir)

5 PRIMERJAVA PREDNOSTI IN SLABOSTI FASADNIH SISTEMOV

5.1.1 Primerjava sistemov glede na toplotno prehodnost.

V teoriji imajo neprezračevane neprosojne (kontaktne) fasade nižjo toplotno prehodnost zaradi toplotne izolacije, vendar je učinkovitost odvisna od kakovosti in debeline materiala, kar se lahko ob slabšem izvajanju ali vlaženju poslabša. Prezračevane neprosojne fasade zmanjšujejo toplotne izgube in dobitke zaradi prezračevalnega sloja, ki ima majhno toplotno prevodnost. Ne-prezračevane prosojne fasade zaradi stekla povzročajo večje toplotne izgube in dobitke, izboljšanje pa prinašajo tro-slojna stekla, vendar ne dosegajo ravni neprosojnih. Prezračevane prosojne fasade zmanjšujejo toplotno prevodnost z dodatnim zastekljenim slojem in prezračevanjem med zasteklitvama zaradi nizke toplotne prevodnosti zraka.

5.1.2 Primerjava sistemov glede na paroprepustnost.

Ne-prezračevane neprosojne fasade so manj paroprepustne, kar vodi do kondenzacije v izolaciji, medtem ko prezračevane neprosojne fasade omogočajo izhlapevanje vlage v prezračevanem sloju. Prosojne fasade so zaradi stekla manj paroprepustne, kar se v praksi kaže v konstantni kondenzaciji ob drastični spremembi temperature in prisotnosti vlage v prostoru. Prezračevane prosojne fasade v teoriji to izboljšajo z medzasteklitvenim prostorom.

5.1.3 Primerjava sistemov glede na trajnost

Trajnost kontaktnih fasad je v veliki meri odvisna od kakovosti izvedbe, materialov, ki so uporabljeni, in rednega vzdrževanja. Čeprav so lahko zelo dolgožive, zahtevajo skrbno načrtovanje in izvedbo, da se izognejo težavam, ki jih povzročajo vlaga, temperaturne spremembe in drugi vremenski vplivi. V primerjavi s prezračevanimi fasadami lahko kontaktne fasade zahtevajo večjo pozornost k vzdrževanju za zagotavljanje dolge življenjske dobe. Prosojne fasade so trajne glede na kakovost stekla. Visokokakovostno steklo, kot je troslojno steklo ali steklo z nizko emisijskimi premazi, je zelo trajno in lahko prenese dolgotrajno

izpostavljenost vremenskim razmeram, vključno z UV sevanjem, dežjem, snegom in temperaturnimi spremembami. Brez ustreznega senčenja ali uporabe senčilnih sistemov lahko zastekljene fasade trpijo zaradi prekomernega ogrevanja, kar lahko povzroči toplotne napetosti in poškodbe stekla. Senčenje pomaga podaljšati življenjsko dobo z zmanjšanjem toplotnih ekstremov. Redno čiščenje in preverjanje zastekljenih površin ter okvirjev je nujno za ohranjanje njihove trajnosti. Poškodbe, kot so razpoke ali obraba tesnil, je treba hitro popraviti, da se prepreči večja škoda. Prezračevane zastekljene fasade so običajno trajnejše, saj zračni sloj med zasteklitvama zmanjšuje toplotne napetosti in izboljšuje energetske učinkovitost, kar zmanjšuje obremenitve na materiale.

Če se vse te dejavnike dobro obravnava, lahko zastekljene fasade obdržijo funkcionalnost več desetletij. Primeri trajnosti steklenih struktur se lahko vidijo v številnih modernih zgradbah, kjer so zastekljene fasade pravilno nameščene in vzdrževane ohranile svojo funkcionalnost in estetiko skozi več desetletij. Vendar je treba poudariti, da je dolgoročna trajnost zastekljenih fasad pogosto odvisna od rednega vzdrževanja in prilagajanja na obrabe, ki jih prinaša čas in vremenske razmere.

5.2 Hipoteza 1: Fasadni stekleni elementi s senčili pripomorejo k izboljšanju energetske učinkovitosti objekta do 20% v primerjavi s kontaktno fasado.

5.2.1 Sestava zastekljene fasade in izračun toplotne prehodnosti

Za fasadni sistem Shueco: FWS 50 S.SI, ki je bil vgrajen na ZP MAGDALENA znaša toplotna prehodnost zastekljene fasade glede na (Schüco, 2025) ($U_{zf} = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Toplotna prehodnost (označena z U-vrednostjo) troslojnih oken se lahko zelo razlikuje glede na specifične lastnosti oken, kot so tip in debelina stekla, vrsta in kakovost distančnikov, prisotnost low-e prevlek, plin v prostoru med stekli (npr. argon, kripton) ter material okvirjev.

Pri troslojnemu steklu bi morali upoštevati tri sloje stekla in dva plinska prostora. Formula za izračun toplotne prevodnosti (U-vrednosti):

$$U_{zf} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i} + \frac{1}{h_0}}$$

Kjer je:

- h_i in h_o sta površinski toplotni prenosni koeficient za notranjo in zunanjo površino okna. Povprečne vrednosti so okoli **8 W/m²K** za notranjo površino in **23 W/m²K** za zunanjo površino v mirnem vremenu.
- d_i je debelina vsakega sloja materiala (steklo, plin).
- k_i je toplotna prevodnost materiala.
- n je število slojev.

Oz. bolj podrobna enačba:

$$U_{zf} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{d_3}{k_3} + \frac{d_4}{k_4} + \frac{d_5}{k_5} + \frac{1}{h_o}}$$

Kjer je:

- h_i in h_o sta površinski toplotni prenosni koeficient za notranjo in zunanjo površino okna. Povprečne vrednosti so okoli **8 W/m²K** za notranjo površino in **23 W/m²K** za zunanjo površino v mirnem vremenu.
- **d_1, d_3, d_5** so debeline stekel.
- **d_2** je debelina prvega plinskega prostora.
- **d_4** je debelina drugega plinskega prostora.
- **k_1, k_3, k_5** so toplotne prevodnosti stekla.
- **k_2, k_4** sta toplotni prevodnosti plina v prostoru med stekli.

Za troslojna okna s plinom med stekli ponavadi velja:

- Toplotna prevodnost stekla (**k_1, k_3, k_5**) približno **1 W/mK**.
- Toplotna prevodnost plina med stekli (**argon**): **približno 0,02 W/mK**.
- Pri izračunu bomo Uporabili low-e prevleke. Te zmanjšajo toplotno prevodnost stekla. Predpostavimo, da low-e prevleka zmanjša učinkovito toplotno prevodnost stekla na približno 0,5 W/(m·K) za sloj z prevleko. Prevleko bomo uporabili na vmesnem sloju, se pravi **$k_3=0,5 \text{ W/(m·K)}$** .
- Tri sloje stekla (vsak debeline 4 mm), torej **$d_1=d_3=d_5=4 \text{ mm}$** .

- Dva plinska prostora (vsak debeline 12 mm), torej $d_2=d_4=12 \text{ mm}$.

Izračun:

$$U_{zf} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,004}{1} + \frac{0,012}{0,02} + \frac{0,004}{0,5} + \frac{d_4}{0,02} + \frac{0,004}{1} + \frac{1}{23}}$$

$$U_{zf} = \frac{1}{0,125 + 0,004 + 0,6 + 0,008 + 0,6 + 0,004 + 0,043} \approx \frac{1}{1,384}$$

$$U_{zf} \approx 0,722 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Ta izračun še vedno uporablja poenostavljene vrednosti in predpostavke. V resnici bi morala biti uporabljena bolj natančna merjenja in podatki za doseg U -vrednosti blizu **0,7 W/(m²·K)**, ki jo na spletni strani navaja Shueco.

5.2.2 Sestava prezračevane fasade in izračun toplotne prehodnosti

Prezračevana fasada na objektu ZP Magdalena je v slojih sestavljena iz:

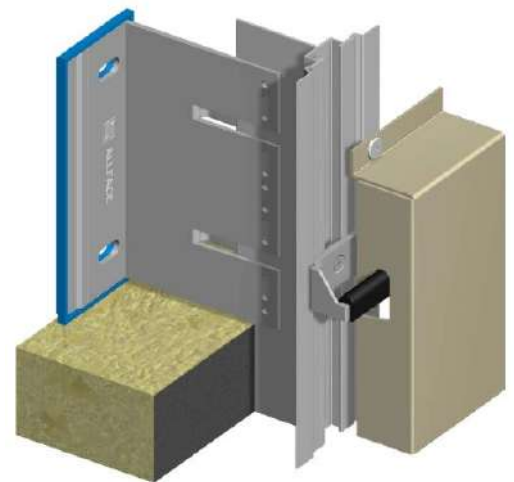
1. AB stene debeline 20 cm.
2. Kamene volne debeline 16 cm.
3. Parne zapore Knauf homeséal LDS debeline 2 mm.
4. Zračnega kanala debeline cca 4 cm.
5. Aluminjastih panelov debeline cca 3 mm.

Za izračun toplotne prehodnosti prezračevane fasade upoštevamo več plasti, ki prispevajo k skupni toplotni upornosti. Tukaj je korak za korakom:

1. AB stena:

- Debelina (d_1): 20 cm = 0,20 m
- Toplotna prevodnost betona (λ_1): približno 1,6 W/mK (povprečna vrednost za beton)

Toplotna upornost betonske stene (**R_1**):



Slika 12 Sistem ALLFACE F1-59

Vir: (Benx.co, 2025)

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0,20m}{1,6W/mK} = 0,125 m^2K/W$$

2. Kamena volna:

- Debelina (d_2): 16 cm = 0,16 m
- Toplotna prevodnost (λ_2): 0,035 W/mK

Toplotna upornost kamene volne (R_2):

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0,16m}{0,035W/mK} = 4,571 m^2K/W$$

3. Dodatna folija (npr. Knauf Insulation Homeseal LDS):

Folije so običajno zelo tanke in imajo zanemarljivo debelino za toplotno upornost, vendar prispevajo k zmanjšanju toplotnih mostov. Za namen izračuna bom upošteval, da je zanemarljiva.

4. Zračni kanal pri prezračevani fasadi

- Debelina zračnega kanala (d_3): 4 cm.
- Toplotna prevodnost zraka (λ): Približno 0,026 W/mK pri sobni temperaturi.

Toplotna upornost (R_3) zračnega kanala:

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0,04m}{0,026 W/mK} \approx 1,54 m^2K/W$$

Ker je pri prezračevanih fasadah zračni kanal delno prezračevan, se toplotni upor zračnega sloja zmanjša zaradi konvekcijskega toka. Pravi toplotni upor zračnega kanala v prezračevani fasadi je manjši od te vrednosti. V praksi se pogosto uporablja približna vrednost:

- Za zračni sloj v prezračevani fasadi se uporablja toplotni upor okoli 0,18 do 0,23 m²K/W, vzemimo povprečje **0,20 m²K/W**.

5. Aluminijski paneli (kasetne izvedbe):

- Debelina (d_3): 3 mm = 0,003 m

- Toplotna prevodnost aluminija (λ_3): približno 237 W/mK

Toplotna upornost aluminijastih panelov (**R4**):

$$R_4 = \frac{d_4}{\lambda_4} = \frac{0,003m}{237} W/mK = 0,0000126 m^2K/W$$

Zaradi majhne debeline in visoke prevodnosti je ta vrednost zelo majhna in **jo bomo zanemarili** za ta izračun.

6. Sistemska alu podkonstrukcija (AllFace System F1.59):

- Ta ne prispeva dodatno k toplotni upornosti, saj je funkcija podkonstrukcije predvsem mehanska.

Sedaj združimo vse upornosti:

- Notranja površinska upornost (R_{si}): približno **0,13 m²K/W** (za standardne pogoje)
- Zunanja površinska upornost (R_{se}): približno **0,04 m²K/W** (za prezračevane fasade)

Skupna toplotna upornost (R_{total}):

$$\begin{aligned} R_{total} &= R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se} = \\ &= \underline{\underline{0,13 + 0,125 + 4,571 + 0,20 + 0,04 = 5,066 m^2K/W}} \end{aligned}$$

Toplotna prehodnost (U_{pf}) je obratna vrednost toplotne upornosti:

$$U_{pf} = \frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{5,066} \approx 0,197 W/m^2K$$

Torej, toplotna prehodnost prezračevane fasade v tem primeru znaša približno **0,197 W/m²K**.

5.2.3 Skupna ocena povprečne toplotne prehodnosti na obstoječem fasadnem ovoju objekta ZP MAGDALENA

Na objektu ZP Magdalena imamo dve vrsti fasad: prezračevano fasado in zastekljeno fasado. Skupna prezračevane fasade znaša **404 m²**, medtem ko je površina zastekljene fasade skupaj z okni **1429 m²**.

Za izračun povprečnega koeficienta toplotne prehodnosti (U) na celotnem objektu moramo najprej izračunati skupno površino vseh fasad:

$$\Sigma A_{fasada} = 404m^2 + 1429m^2 = 1833m^2$$

Za izračun povprečnega koeficienta toplotne prehodnosti (U_{AVG}) glede na površino, moramo uporabiti uteženo povprečje.

Najprej ponovimo podatke navedene zgoraj:

- Površina prezračevane fasade: 404 m² z $U = 0,197 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Površina zastekljene fasade: 1429 m² z $U = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Skupna površina je 1833 m².

Povprečni U koeficient se lahko izračuna kot:

$$U_{AVG} = \frac{(U_{pf} \times A1) + (U_{zf} \times A2)}{\Sigma A_{fasada}}$$

kjer so:

- $U_{pf} = 0,197 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $A1 = 404 \text{ m}^2$
- $U_{zf} = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $A2 = 1429 \text{ m}^2$
- $\Sigma A_{fasada} = 1833 \text{ m}^2$

Sedaj vstavimo vrednosti v formulo:

$$U_{AVG} = \frac{(0,197 \times 404) + (0,7 \times 1429)}{1833}$$

$$U_{AVG} = \frac{79,588 + 1000,3}{1833}$$

$$U_{AVG} \approx 0,589 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Povprečni U koeficient glede na površino na objektu ZP Magdalena je torej približno: **0,589 W/m²K**.

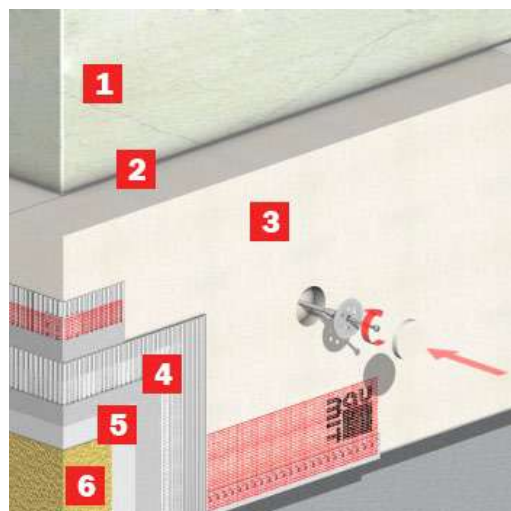
5.2.4 Predstavitev primerjalne kontaktne fasade:

Za prikaz razlik v toplotni prehodnosti med kontaktno in zastekljeno fasado bom kot primer kontaktne fasade analiziral fasadni sistem Baumit Pro proizvajalca Baumit.

Sistem zahteva 6 faz izvedbe. Faze za vgradnjo kontaktne fasade na ZP Magdalena so opisno in slikovno razvidne spodaj.

Predviden Sistem za ZP Magdalena:

1. AB stena debeline 20 cm.
2. Fasadno lepilo Baumit ProContact.
3. fasadna plošča EPS-F ali EPS-F plus debeline 15 cm.
4. Armirni sloj: Baumit ProContact z armirno mrežico Baumit StarTex debeline cca 3 mm.
5. Osnovni premaz: Baumit UniPrimer ali PremiumPrimer.
6. Zaključni sloj: Baumit SilikatTop.



Slika 13 Fasadni sistem Baumit Pro

Vir: (Baumit, 2025)

Za primer objekta ZP Magdalene bom izbral zaključni omet silikatTop, ki je pastozni tankoslojni zaključni omet na osnovi silikatov za zunanje površine. Je zelo paroprepusten in vodo odbojen, kar je primerno za območje, kot je okoliš Magdalena.

Pomembno je poudariti, da je priporočljivo pred vgradnjo fasade, posebej pri sanacijah, izdelati elaborat izvedbe fasade. Elaborat vključuje izbiro fasadnega sistema, izjave o lastnostih vseh materialov, ter izjavo o sistemu fasade. Potreben je izračun vetrne obremenitve fasade, na podlagi katere se določi število sider na m² oz. na posamezno ploščo TI. Izvede se tudi preizkus (izvlečne in razstržne sile) izbranih sider na samem objektu, saj variirajo glede na sidrno

podlago. Glede na število sider in izbiro sidra se v elaboratu določi tudi sistem nanašanja lepila na posamezno TI ploščo. Določi se izbira fasadnih profilov, število armirnih slojev, dodatno armiranje vogalov oken itd. Zelo pomembna je požarna varnost in požarni pasovi, ki se ponavadi izdelujejo z FKD- N kameno volno, ki na posameznih mestih nadomesti EPS/XPS TI.

5.2.5 Izračun toplotne prehodnosti sistema baumit pro:

Za izračun toplotne prehodnosti sistema BaumitPro z zaključnim slojem SilikatTop, bomo upoštevali toplotne upornosti vseh plasti sistema. Ker imamo specifične podatke iz spletnih virov, bomo uporabili te podatke za izračun.

1. Betonska stena (AB plošča):

- Debelina: 20 cm = 0,20 m
- Toplotna prevodnost betona (λ): približno 1,6 W/mK

Toplotni upor (R1):

$$R1 = \frac{0,20m}{1,6 W/mK} = 0,125 m^2K/W$$

2. Lepilo (Baumit ProContact):

- Ne prispeva bistveno k toplotni upornosti zaradi majhne debeline, zato je zanemarljivo.

3. Fasadna plošča EPS-F plus:

- EPS-F plus ima toplotno prevodnost (λ) 0,032 W/mK
- Izbrana debelina: 15 cm = 0,15 m

Toplotni upor (R2):

$$R2 = \frac{0,15m}{0,032W/mK} = 4,6875 m^2K/W$$

4. Armirni sloj (Baumit ProContact z mrežico Baumit StarTex):

- Tudi ta plast ne prispeva bistveno k toplotni upornosti zaradi majhne debeline, zato je zanemarljiva.

5. Osnovni premaz (Baumit UniPrimer ali PremiumPrimer):

- Zanemarljiv prispevek k toplotni upornosti zaradi tanke plasti.

6. Zaključni sloj (Baumit SilikatTop):

- Debelina zaključnih slojev je običajno majhna, okoli 1-2 mm, s toplotno prevodnostjo okoli 0,7 W/mK, kar daje zanemarljivo toplotno upornost (manj kot 0,003 m²K/W).

Sedaj, upoštevajoč notranjo in zunanjo površinsko upornost:

- Notranja površinska upornost (**R_{si}**): **0,13 m²K/W**
- Zunanja površinska upornost (**R_{se}**): **0,04 m²K/W**

Skupna toplotna upornost sistema:

$$R_{total} = R_{si} + R_1 + R_2 + R_{se} =$$

$$= \underline{\underline{0,13 + 0,125 + 4,6875 + 0,04 = 4,9825 \text{ m}^2\text{K/W}}}$$

Toplotna prehodnost (U) je obratna vrednost skupne toplotne upornosti:

$$U_{kf} = \frac{1}{R_{total}} = 14,9825 \approx \underline{\underline{0,201 \text{ W/m}^2\text{K}}}$$

Torej, z debelino izolacije EPS-F plus debeline 15 cm, je toplotna prehodnost sistema BaumitPro z zaključnim slojem SilikatTop približno **0,201 W/m²K**.

5.2.6 Skupna ocena povprečne toplotne prehodnosti predvidene kontaktne fasade na objektu ZP MAGDALENA

Na objektu ZP Magdalena bi v primeru vgradnje kontaktne fasade na objektu verjetno zaradi potrebe po naravni svetlobi vgradili okoli 350 m² oken z enako toplotno prehodnostjo 0,7 W/m²K. Vse ostale površine od skupnih 1833 m², se pravi 1.483 m² bi bila kontaktna fasada.

Za izračun povprečnega koeficienta toplotne prehodnosti (U_{AVGkf}) glede na površino, moramo uporabiti uteženo povprečje.

Najprej ponovimo podatke, navedene zgoraj:

- Površina kontaktne fasade: **1483 m²** z **U_{kf} = 0,201 W/m²K**

- Površina oken: **350 m²** z **$U_{zf} = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$**
- Skupna površina **$\Sigma A_{fasada} = 1833 \text{ m}^2$** .

Povprečni U koeficient se lahko izračuna kot:

$$U_{AVGkf} = \frac{(U_{kf} \times A1) + (U_{zf} \times A2)}{\Sigma A_{fasada}}$$

kjer so:

- **$U_{kf} = 0,201 \text{ W/m}^2\text{K}$**
- **$A1 = 1483 \text{ m}^2$**
- **$U_{zf} = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$**
- **$A2 = 350 \text{ m}^2$**
- **$\Sigma A_{fasada} = 1833 \text{ m}^2$**

Sedaj vstavimo vrednosti v formulo:

$$U_{AVGkf} = \frac{(0,201 \times 1483) + (0,7 \times 350)}{1833}$$

$$U_{AVGkf} = \frac{298,083 + 245,0}{1833}$$

$$U_{AVGkf} \approx 0,296 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Povprečni U koeficient kontaktne fasade z okni glede na površino na objektu ZP Magdalena je torej približno: **0,296 W/m²K**.

5.2.7 Izračun toplotnih izgub na letni ravni obstoječe in predvidene kontaktne fasade

Kot izračunano zgoraj, je U vrednost obstoječe fasade **U_{AVG} : 0,589 W/m²K**. U vrednost kontaktne fasade pa znaša **U_{AVGkf} : 0,296 W/m²K**.

1. Izračun izgub skozi fasado na letni ravni za obstoječo fasado:

- Skupna površina fasade: **1833 m²**.

- U_{AVG} vrednost = **0,589 W/m²K**
- Povprečna zunanja temperatura v Mariboru je na podlagi (ARSO, 2004): **10,1 °C**
- Povprečna notranja temperatura prostorov $\approx$ **24°C**

$$\Delta T = 24^{\circ}C - 10,1^{\circ}C = 13,9^{\circ}C$$

Za izračun letnih energijskih izgub skozi fasado uporabimo formulo za toplotne izgube:

$$Q = U \times A \times \Delta T \times t$$

Kjer je:

- **Q**: energijske izgube v Wh,
- **U** je koeficient toplotne prevodnosti v W/m²K,
- **A** je površina fasade v m²,
- **ΔT** je razlika temperatur med notranjostjo in zunanostjo v °C,
- **t** je čas v urah (za letne izgube, to je 8760 ur, ker je v letu 365 dni).

Sedaj izračunamo:

$$Q = 0,589 \times 1833 \times 13,9 \times 8760$$

$$Q = 131.460.919,668 Wh$$

Za pretvorbo v kWh, delimo z 1000:

$$Q = \frac{131.460.919,668}{1000} \approx 131.460,92 kWh$$

Torej, letne energijske izgube skozi fasado znašajo približno **131.461 kWh**

2. Izračun izgub skozi fasado na letni ravni za kontaktno fasado:

- Skupna površina fasade: **1833 m²**.
- Povprečni U koeficient za kontaktno fasado: **0,296 W/m²K**

- ΔT : 13,9°C
- t: 8760 h

Izračun:

$$Q = U \times A \times \Delta T \times t$$

$$Q = 0,296 \times 1833 \times 13,9 \times 8760$$

$$Q = 66.065.249,952 \text{ Wh}$$

Za pretvorbo v kWh, delimo z 1000:

$$Q = \frac{66.065.249,952}{1000} \approx 66.065,25 \text{ kWh}$$

Letna energijska izguba skozi predvideno kontaktno fasado bi znašala približno **66.065 kWh**.

5.2.8 Primerjava letnih izgub glede na fasadni sistem

Primerjava letnih energijskih izgub skozi fasado:

- Predvidena Kontaktna fasada z okni: 66.065 kWh
- Obstoječa Zastekljena in prezračevana fasada: 131.461 kWh kWh letne izgube

Izračun razlike v izgubah:

$$\Delta Q = 131.461 \text{ kWh} - 66.065 \text{ kWh}$$

$$\Delta Q = 65.396 \text{ kWh}$$

$$\text{Procent več izgube} = \frac{65.396}{66.065} \times 100 \approx 98,99\%$$

Torej, zastekljena in prezračevana fasada iz alu panelov izgubi na letni ravni približno 98,99% več energije kot kontaktna fasada.

V okviru Hipoteze 1 sem preučeval energetske učinkovitost različnih fasadnih sistemov. Postavil sem hipotezo, da bi fasadni stekleni elementi, ki so opremljeni s senčili, lahko izboljšali energetske učinkovitost objekta za do 20% v primerjavi z običajno kontaktno fasado, vendar je moja raziskava pokazala drugače. Z izračuni, ki sem jih izvedel, sem ugotovil, da je obstoječa zastekljena fasada na preučevanem objektu v resnici energetske slabša za skoraj 100% v primerjavi s predvideno kontaktno fasado. To pomeni, da hipoteza, ki sem jo zastavil, ni bila

potrjena; nasprotno, z rezultati sem jo jasno ovrgel. Ta ugotovitev kaže, da v konkretnem primeru zastekljena fasada ne dosega pričakovanega izboljšanja v primeru energetske učinkovitosti, kar je pomembna informacija za nadaljnje raziskave in praktično načrtovanje fasadnih sistemov.

6 VPLIV SONČNE ENERGIJE NA POSAMEZEN FASADNI SISTEM

6.1 Sončna energija

Sončna energija je ena najbolj obilnih in dostopnih oblik energije na Zemlji, ki jo lahko izkoristimo na mnogo načinov. S soncem kot primarnim virom energije, ki omogoča življenje na našem planetu, se njegov vpliv razteza tudi na način, kako oblikujemo in gradimo naše stavbe. Posebej pomemben je vpliv sonca na fasadne sisteme in zasteklitve, kjer lahko sončna svetloba in toplota povzročata tako pozitivne kot negativne učinke, glede na to, kako so stavbe načrtovane in izvedene.

6.1.1 Vpliv sončne energije na fasadne sisteme:

Fasade so prva obrambna linija stavb proti zunanjim temperaturnim ekstremom. Zato morajo biti oblikovane tako, da zmanjšajo toplotne izgube v zimskem času in toplotne dobitke poleti.

Slabosti sončnega sevanja na fasado:

Fasade so pogosto občutljive na sončno obsevanje, kar lahko vodi do visokih toplotnih dobitkov, še posebej v poletnih mesecih. Če fasada ni dobro izolirana, se lahko prostori znotraj stavbe pregreva, kar povečuje potrebo po hlajenju in s tem porabo energije; pri kontaktnih fasadah brez ustrezne izolacije lahko temperatura notranjih sten naraste, kar vodi do neudobja in večje obremenitve klimatskih sistemov. Dolgotrajna izpostavljenost ultravijoličnemu (UV) sevanju lahko povzroči bledenje barv in degradacijo materialov, kot so ometi, ki se uporabljajo pri kontaktnih fasadah. To lahko zmanjša estetsko privlačnost stavbe in zahteva pogostejše vzdrževanje ali obnovo.

Toplotne napetosti, ki nastajajo zaradi sončne energije, lahko povzročijo razpoke v fasadnih materialih, še posebej, če so materiali slabe kakovosti ali če je izvedba manj kvalitetna. To je pogosto opaziti pri ometih, ki lahko razpokajo zaradi raztezanj in krčenj zaradi temperaturnih sprememb.

Izbira svetlih barv za zaključni omet (pri kontaktnih fasadah) lahko zmanjša absorpcijo toplote, saj svetle površine odbijajo več sončne svetlobe. Ta je v nasprotju s temnimi barvami, ki absorbirajo več sončne energije in s tem povečajo toplotne dobitke. To dokazuje Formula

Stefana-Boltzmann, ki opisuje moč toplotnega sevanja, ki je izsevana od površine telesa pri dani temperaturi in dani emisivnosti površine.

Prednosti sončnega sevanja na fasado:

Čeprav je pri trenutnih gradnjah v Sloveniji manj pogosta, obstaja več možnosti za integracijo sončne energije. Na primer, na fasadi se lahko namestijo sončni kolektorji ali fotovoltaične plošče, ki ne le izkoriščajo sončno energijo za proizvodnjo elektrike ali toplote ampak tudi nudijo dodatno zaščito pred sončnimi žarki.

Zasteklitve omogočajo vstop naravne svetlobe, kar izboljšuje kakovost življenja in delovnega okolja. Raziskave so pokazale, da naravna svetloba pozitivno vpliva na zdravje, produktivnost in razpoloženje ljudi. Dober primer tega je ravno objekt, ki ga obravnavam v diplomskem delu, kjer velike steklene površine omogočajo optimalno razsvetljavo prostorov, zmanjšujejo potrebo po umetni svetlobi in s tem prihranek energije.

Sončna energija lahko bistveno vpliva na energetske učinkovitost in udobje bivanja v stavbah, vendar je ta vpliv močno odvisen od načina načrtovanja in izvedbe fasadnih sistemov ter zasteklitev. Ustrezno načrtovanje z vključitvijo senčil, uporabo toplotno izolativnih stekel in integracijo obnovljivih virov energije ne le izboljšuje energetske bilanco stavb, ampak izboljšuje tudi kakovost življenja in delovnega okolja. Kljub temu pa zahteva natančno analizo in prilagajanje glede na specifične geografske in klimatske razmere, da se izkoristi največji potencial sončne energije, hkrati pa se zmanjšajo njene negativne posledice, kot so pregrevanje ali toplotne izgube.

6.2 Vpliv orientacije objekta

Orientacija in površina zasteklitev imata ključen vpliv na izkoriščanje sončne energije kot vir ogrevanja, saj določata, koliko sončne svetlobe in toplote lahko vstopi v stavbo.

Na severni polobli je najugodnejša orientacija zasteklitev proti jugu, saj sonce doseže najvišjo točko na južnem nebu in zagotavlja največjo količino sončne energije skozi dan. Južna orientacija omogoča maksimalno izpostavljenost sončni svetlobi v zimskih mesecih, ko je sonce nižje, kar je idealno za pasivno ogrevanje. Zasteklitve na severni strani stavbe prejmejo zelo malo neposredne sončne svetlobe, zato so manj primerne za izkoriščanje sončne energije za ogrevanje, vendar so uporabne za enakomerno naravno osvetlitev brez pregrevanja. Vzhodna in zahodna orientacija zasteklitev prispevata k jutranjemu oziroma popoldanskemu ogrevanju,

vendar sta manj učinkoviti za celodnevno izkoriščanje sončne energije, saj sonce na teh straneh ni dovolj dolgo prisotno. V zimskih mesecih, ko je sonce nižje, južno orientirane zasteklitve omogočajo večji vstop sončne energije, kar poveča toplotne dobitke. Poleti, ko je sonce višje, lahko senčila ali previsi preprečijo pregrevanje, kar omogoča uravnavanje notranje temperature.

Večja površina zasteklitev pomeni večji potencial za sprejem sončne energije, kar lahko poveča toplotne dobitke in zmanjša potrebo po dodatnem ogrevanju. Prevelika površina zasteklitev brez ustreznega senčenja pa na drugi strani povzroča pregrevanje poleti in večje toplotne izgube pozimi, saj steklo ni tako dober izolator kot neprosojni materiali.

Optimalna površina zasteklitev je odvisna od podnebnih razmer, orientacije in energetskih potreb stavbe. V hladnejših podnebjih je priporočljivo imeti večjo površino zasteklitev na južni strani, medtem ko je v toplejših podnebjih potrebno omejiti površino, da se prepreči pregrevanje. (US: Department of energy, 2024)

6.3 H2: Objekt bo v zimskih mesecih zaradi zasteklitev izgubil več energije kot pa je pridobil s sončno energijo.

6.3.1 Predstavitev sistema iz prve hipoteze

Kot prikazano zgoraj, znaša toplotna prehodnost zastekljene fasade **0,7 W/m²K**. Celotna kvadratura zastekljene fasade na objektu znaša **1429 m²**. Glede na (ARSO, 2004), je v obdobju med leti 1971 – 2000 v mesecu januarju povprečna temperatura v Mariboru znašala - **0,3 °C**. Ocenimo, da je objekt v januarju ves čas ogrevan na 24°C . Sončno obsevanje v Januarju pa na mesečni ravni na podlagi (Slovenski portal za fotovoltaike, 2024) znaša nekje **39,1 kWh/m²**.

6.3.2 Izračun toplotnih izgub skozi zastekljeno fasado v mesecu januarju

Za izračun toplotnih izgub skozi zastekljeno fasado v mesecu januarju uporabimo enako formulo kot zgoraj:

$$Q_{januar} = U_{zf} \times A \times \Delta T \times t$$

Kjer je:

- Q_{januar} toplotna izguba v Wh v mesecu januarju,
- U_{zf} koeficient toplotne prevodnosti zastekljene fasade v W/m^2K ,
- A površina zastekljene fasade v m^2 ,
- ΔT razlika temperatur med notranjostjo in zunanostjo v $^{\circ}C$
- t čas v urah.

Glede na podatke:

- $\Delta T = 24^{\circ}C - (-0,3^{\circ}C) = \underline{24,3^{\circ}C}$
- $t = 31 \text{ dni} \times 24 \text{ ure/dan} = \mathbf{744 \text{ ur}}$ (za januar, ki ima 31 dni)

Izračun:

$$Q_{januar} = 0,7 \times 1429 \times 24,3 \times 744$$

$$Q_{januar} = 0,7 \times 1429 \times 24,3 \times 744 = \mathbf{18.084.623,76 \text{ Wh}}$$

Za pretvorbo v kWh, delimo z 1000:

$$Q_{januar} = \frac{18.084.623,76}{1000} = \mathbf{18.084,62376 \text{ kWh}}$$

Torej, zastekljena fasada objekta v januarju izgubi približno **18.085 kWh** toplote.

6.3.3 Izračun dobitkov sončne energije v mesecu januarju

Glede na Sunclac so natančne vrednosti časovnega obsevanja glede na senčenje fasade za mesec januar sledeče:

Tabela 1 Časovno obsevanje januar ZP Magdalena

Stran fasade	Časovni okvir obsevanja v mesecu januarju	V minutah	V urah
SEVER	Ni obsevanja	/	/
VZHOD	7:37 – 10:48	191	3,18

JUG	9:40 – 16:36	416	6,93
ZAHOD	16:12 – 16:36	24	0,4
Povprečje	/	157,75	2,63

Vir: (Suncalc, 2025)

Dnevno je torej objekt povprečno obsevan 2,63 ur. Če to pomnožimo z 31 dnevi znaša vrednost $t=81,53$ h.

Zaradi poenostavljenja in zanemarljive moči sončnega sevanja v januarju je faktor osenčenosti površine skozi dan **0,5**.

Sončno obsevanje v januarju na mesečni ravni znaša **39,1 kWh/m²**. Na uro torej $39,1 \text{ kWh/m}^2 / 744 \text{ h} = \mathbf{0,052 \text{ kWh/m}^2}$

Izračun:

$$Q_{SGjanuar} = I \times A \times SHGC \times t$$

Podatki:

- $Q_{SGjanuar}$ = Sončni dobitki (Solar gain) v mesecu januarju
- $I = 0,052 \text{ kWh/m}^2/\text{uro}$
- $A = 1429 \text{ m}^2$
- SHGC (Solar heat gain Coefficient)= 0,35
- $t = 2,63 \text{ ur} \times 31 \text{ dni} = 81,53 \text{ h}$

Izračun:

$$Q_{SGjanuar} = 0,052 \times 1429 \times 0,35 \times 81,53$$

$$Q_{SGjanuar} = \mathbf{2.120,42 \text{ kWh}}$$

Objekt bo torej v mesecu januarju glede na vrednosti pridobil **2.120,42 kWh**

6.3.4 Primerjava rezultatov izgub in dobitkov energije skozi zastekljeno fasado v mesecu januarju

Postavil sem hipotezo, da bo objekt zaradi zasteklitev v zimskih mesecih izgubil več energije, kot pa pridobil s sončno energijo v tem času. Moji izračuni so na podlagi podatkov iz meseca januarja jasno pokazali, da je ta hipoteza pravilna. V januarju objekt skozi svojo zastekljeno fasado izgubi kar 18.085 kWh energije zaradi velike temperaturne razlike med notranjostjo in zunanostjo objekta. V primerjavi s tem objekt pridobi le 2.120,42 kWh sončne energije, kar je posledica kratkih zimskih dni in nizkega kota sončnih žarkov, ki zmanjšujejo možnost za zajemanje sončne energije. S temi rezultati sem torej potrdil svojo hipotezo. Sklepam, da moramo pri načrtovanju in izvedbi zastekljenih fasad upoštevati sezonske spremembe ter učinkovito upravljati toplotne izgube za doseganje boljše energetske učinkovitosti.

7 SISTEMI SENČENJA

7.1 KRATKA ZGODOVINA SENČENJA STAVB

Zgodovina senčenja stavb je dolga in raznolika, saj se je prilagajala različnim kulturnim, klimatskim in tehnološkim kontekstom.

Iz zapisov in poslikav iz antičnih časov je mogoče razbrati, da so starodavni Egipčani uporabljali senčila, kot so pergole in senčniki, da bi se zaščitili pred močnim soncem. Njihove stavbe so pogosto imele debele zidove in majhna okna, ki so pomagala pri senčenju. Grki in Rimljani so uporabljali atrijske in impluvium za senčenje in hlajenje. Senčniki in veliki zunanji nadstreški so bili pogosti za javne prostore in trge.

V srednjem veku so stavbe imele majhna okna. Uporabljali so se zunanji senčniki ali rolete za zaščito pred soncem in vremenom. V renesančnem obdobju so arhitekti, med njimi bi izpostavil **Palladia**, vključili arhitekturne elemente, kot so portiki in loggie, ki so nudili senčenje.

Z uvedbo stekla in železa v arhitekturi se je pojavila potreba po novih metodah senčenja. Uporaba zunanjih senčil, kot so **markize**, je postala pogostejša. Modernistični arhitekti, npr. **Le Corbusier**, so eksperimentirali z **brisoledjem** (fiksni ali premični senčniki), ki so bili integralni del oblikovanja stavbe za kontrolo sončne svetlobe in toplote. (Ghisleni, 2023)

Z naraščajočo ozaveščenostjo o energijski učinkovitosti in trajnosti so se pojavili inovativni pristopi k senčenju. Dober primer tega je **integracija zelene strehe in fasad**, ki poleg senčenja nudijo izolacijo in biotsko raznovrstnost. Pojavila se je tudi uporaba novih materialov in tehnologij, kot so termokromna stekla, ki se prilagajajo na svetlobo in toploto.

Senčenje je skozi čas postalo ne le funkcionalni del arhitekture, temveč tudi estetski in kulturni element, ki odraža tehnološke inovacije, okoljsko ozaveščenost ter prilagajanje na lokalne klimatske razmere.

7.2 OPIS SENČENJA NA OBJEKTU MAGDALENA

Zdravstveno postajo Magdalena v Mariboru dopolnjuje več metod senčenja za zagotavljanje udobja in energetske učinkovitosti.

Fasada je oblikovana z **vertikalnimi lamelami**, ki služijo kot senčila, saj zmanjšujejo vstop neposredne sončne svetlobe v prostore in pomagajo pri zmanjševanju toplotnih dobitkov poleti. Ta oblikovni element ne prispeva samo k senčenju, ampak stavbi dodaja tudi estetsko vrednost.

Okna so nameščena na način, ki omogoča naravno prezračevanje in senčenje. Parapetna členitev zagotavlja dodatno zaščito pred direktno sončno svetlobo, kar zmanjšuje potrebo po umetnem hlajenju. Čeprav velik del fasade vključuje zasteklitev, je ta zasnovana tako, da je energetske učinkovita, kar smo dosegli z uporabo nizko-emisijskih stekel in drugih tehnologij, ki zmanjšujejo toplotni prenos,



Slika 14 Izgled senčil na ZP Magdalena

Vir: (Lastni vir)

hkrati pa omogočajo naravno svetlobo. Poleg zunanjih elementov (brisolejev) stavba v vseh prostorih vključuje tudi notranja senčila. Notranja senčila se navijajo v ohišje, poglobljeno v slepo rego, ki ščiti tkanino. Nameščene so ob fasadnih zasteklitvah po celotnem obodu objekta za dodatno prilagajanje svetlobe in toplote ter predvsem zasebnost v poznih večernih urah. Sam dizajn stavbe (z razporeditvijo prostorov in orientacijo) je zasnovan tako, da **izkorišča naravno svetlobo**, vendar brez prekomernega ogrevanja. To pomeni, da so prostori, ki zahtevajo več naravne svetlobe, orientirani na način, ki omogoča optimalno senčenje.

Senčilni sistem Zdravstvene postaje Magdalena je torej kombinacija arhitekturnih rešitev in tehnologij, ki prispevajo k udobju, zmanjšanju energijske porabe in estetiki stavbe.

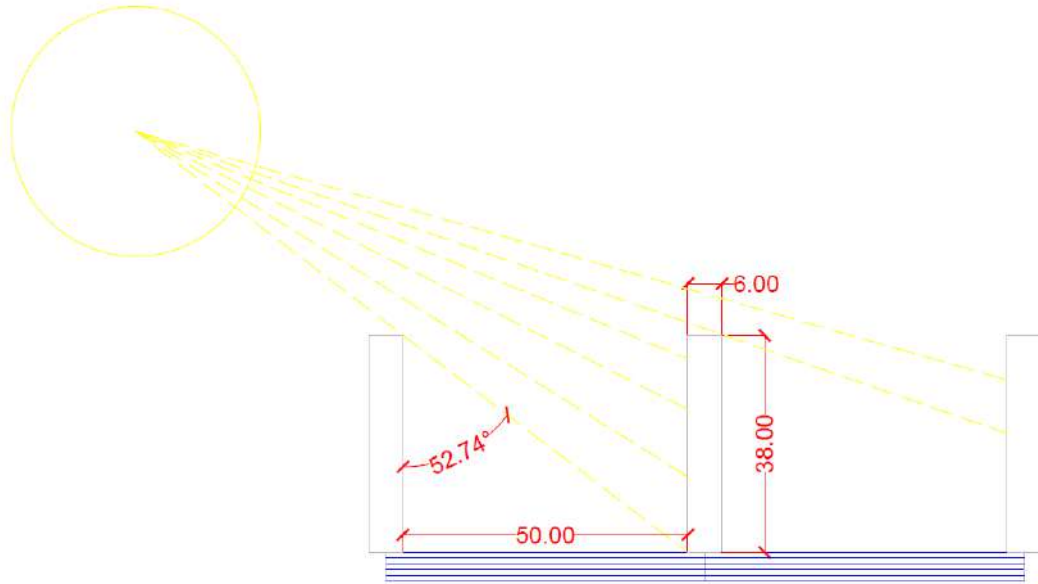
7.3 H3: *Investitor je z uporabo brisolejev na fasadi letno privarčeval 3% stroškov energije.*

Na objektu ZP Magdalena je kar 1429 m² zastekljenih površin s Troslojnimi stekli.

Za izračun bom najprej izračunal azimut obseg, pri katerem žarki padajo direktno na zastekljeno površino, saj so vse zastekljene površine zasenčene. Kot sončnega sevanja je v primeru ZP

Magdalene zanemarljiv, saj brisoleji potekajo po celotni vertikali objekta in zato ne igra relevantne vloge.

Širina okna je cca 500 mm, kar znaša 50 cm. Globina senčila znaša 38 cm, širina pa 6 cm.



Slika 15 Prikaz senčenja na objektu

Vir: (Lastni vir)

Sam objekt je usmerjen $17,72^\circ$ od severa proti vzhodu.

Najprej izračun popolnega senčenja:

Podatki:

- $a=38$ cm
- $b=50$ cm
- c je neznana

Najprej izračunamo dolžino hipotenuze c z uporabo Pitagorovega izreka:

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$c^2 = 1444 + 2500$$

$$c = \sqrt{3944}$$

$$c \approx 62.8 \text{ cm}$$

Ko imamo vse tri stranice, lahko uporabimo kotni funkciji sinus ali kosinus za izračun kota β :

- Uporabimo kosinus za kot

$$\cos(\beta) = \frac{a}{c}$$

$$\cos(\beta) = \frac{38,0}{62,8} \approx 0.6051$$

Sedaj izračunamo kot β z uporabo inverzne funkcije kosinus:

$$\beta = \arccos(0.6051)$$

$$\beta \approx 52.74^\circ$$

7.3.1 Izračun azimuta za vsako fasadno lice z in brez senčenja

Azimut za smer naravnost proti severu znaša 0° oz. 360° . Azimut vzhoda znaša 90° , juga 180° in zahoda 270° . Objekt je sam po sebi zamaknjen za $17,72^\circ$ od severa proti vzhodu. Fasada je 100 % senčena iz vzhodne in zahodne strani za $52,74^\circ$, to pomeni, da so vse fasade senčene za ta kot na obeh straneh.

Azimutne meje senčenja za severno fasado s senčili in brez senčil:

- S senčili na vzhodni strani severne fasade = $17,72^\circ + 52,74^\circ = 70,46^\circ$
- S senčili na zahodni strani severne fasade = $17,72^\circ - 52,74^\circ = -35,02^\circ$ (ker je to negativen kot, ga moramo prišteti k 360° , da dobimo pravi azimut: $360^\circ - 35,02^\circ \equiv 324,98^\circ$)
- Brez senčil na vzhodni strani severne fasade = $90^\circ + 17,72^\circ = 107,72^\circ$
- Brez senčil na zahodni strani severne fasade = $270^\circ + 17,72^\circ = 287,72^\circ$

Azimutne meje senčenja za vzhodno fasado s senčili in brez senčil:

Ker je stavba zamaknjena za $17,72$ stopinj od severa proti vzhodu, je azimut vzhodne fasade približno $90^\circ + 17,72^\circ = 107,72^\circ$.

- S senčili na severni strani vzhodne fasade = $107,72^\circ - 52,74^\circ = 54,98^\circ$
- S senčili na južni strani vzhodne fasade = $107,72^\circ + 52,74^\circ = 160,46^\circ$

- Brez senčil na severni strani vzhodne fasade = $107,72^\circ - 90^\circ = 17,72^\circ$
- Brez senčil na južni strani vzhodne fasade = $107,72^\circ + 90^\circ = 197,72^\circ$

Azimutne meje senčenja za južno fasado s senčili in brez senčil:

Zaradi zamika je azimut južne fasade $180^\circ + 17,72^\circ = 197,72^\circ$.

Senčenje:

- S senčili na vzhodni strani južne fasade: $197,72^\circ - 52,74^\circ = 144,98^\circ$
- S senčili na zahodni strani južne fasade: $197,72^\circ + 52,74^\circ = 250,46^\circ$
- Brez senčil na vzhodni strani južne fasade: $197,72^\circ - 90^\circ = 107,72^\circ$
- Brez senčil na zahodni strani južne fasade: $197,72^\circ + 90^\circ = 287,72^\circ$

Azimutne meje senčenja za zahodno fasado s senčili in brez senčil:

Zaradi zamika 17,72 stopinj je azimut zahodne fasade = $270^\circ + 17,72^\circ = \underline{287,72^\circ}$

Senčenje: Zahodna fasada je senčena za 52,74 stopinj na obeh straneh:

- S senčili na severni strani zahodne fasade: $287,72^\circ - 52,74^\circ = 234,98^\circ$
- S senčili na južni strani zahodne fasade: $287,72^\circ + 52,74^\circ = 340,46^\circ$
- Brez senčil na severni strani zahodne fasade: $287,72^\circ - 90^\circ = 197,72^\circ$
- Brez senčil na južni strani zahodne fasade: $287,72^\circ + 90^\circ = 377,72^\circ$

7.3.2 Časovni obseg sončnega obsevanja s senčili in brez senčil na ZP MAGDALENA

Severna fasada:

Časovni obseg s senčili:

Severna stran fasade sama po sebi prejme najmanj sonca na letni ravni. Z orodjem Suncalc lahko razberemo, da je prvi dan v letu, ko sonce minimalno posveti preko senčil na samo površino severne zastekljene fasade, 25. april, vendar le za par (okoli 6) min. Sonce sveti neposredno na severno fasado do 16. avgusta (ko sveti okoli 3 min).

Za izračun bom uporabil vse dneve od 25. aprila do 16. avgusta, kar znaša 113 dni čeprav je sevanje večino teh dni minimalno zaradi časovnega okvirja osončenja površin.

Časovni obseg brez senčil:

Na severno fasado glede na zastavljene meje azimuta, sonce na podlagi (Suncalc, 2025) prvič v primeru brez senčil posveti 19. februarja. Zadnjič pa 26. Oktobra v letu. Torej sonce obseva severno fasado skupaj 250 dni v letu.

Tabela 2 Severna fasada primerjava obsevanja s in brez senčil

Mesec/dan	Časovni okvir obsevanja S SENČILI v obsegu od 324,98° do 70,46°	V urah s senčili	Časovni okvir obsevanja BREZ SENČIL v obsegu od 287,72° do 107,72°	V urah brez senčil
Februar (24. Februar)	Ni obsevanja	/	6:46 – 7:12	0,433
Marec	Ni obsevanja	/	6:09 – 7:35	1,433
April (28. April)	5:46 – 6:01	0,25	6:09 – 9:07	2,967
Maj (15. Maj)	5:22 – 6:18	0,93	5:22 – 9:38	4,267
Junij (15. Jun)	5:03 – 6:40	1,62	5:03 – 10:01	4,967
Julij (15. Jul)	5:19 – 6:37	1,3	5:19 – 9:58	4,65
Avgust (8. Avgust)	5:46 – 6:16	0,5	5:55 – 9:26	3,183
September (15. Sep)	Ni obsevanja	/	6:35 – 8:37	2,033
Oktober (14 Okt.)	Ni obsevanja	/	7:13 – 7:49	0,6
Povprečje		0,92		2,726

Vir: (Suncalc, 2025)

Izračun sončnega obsevanja za severno fasado brez senčil = 2,726 h/dan * 250dni = **681,5 h** obsevanja na letni ravni.

Izračun sončnega obsevanja za severno fasado s senčili = 113 dni x 0,93 h/dan x faktor senčenja 0,593 = **62,31837 h** obsevanja na letni ravni.

Vzhodna fasada:

Vzhodna fasada objekta je v obeh primerih na podlagi (Suncalc, 2025) osončena vso leto. Za izračun bom zato uporabil vse dni v letu (**365 dni**).

Tabela 3 Vzhodna fasada primerjava obsevanja s in brez senčil:

15. Dan v mesecu	Časovni okvir obsevanja s senčili v obsegu od 54,98° do 160,46°	V urah s senčili	Časovni okvir obsevanja brez senčil v obsegu od 17,72° do 197,72°	V urah brez senčil
Januar	7:37 – 10:48	3,18	7:37 – 13:18	5,683
Februar	7:01 - 11:01	4,0	7:01 – 13:15	6,233
Marec	6:09 – 11:07	4,97	6:09 – 13:00	6,85
April	6:09 – 12:09	6,0	6:09 – 13:41	7,533
Maj	5:22 – 12:15	6,88	5:22 – 13:29	8,117
Junij	5:10 – 12:24	7,23	5:10 – 13:29	8,317
Julij	5:19 – 12:27	7,3	5:19 – 13:37	8,3
Avgust	5:55 – 12:18	6,38	5:55 – 13:42	7,75
September	6:35 – 11:57	5,37	6:35 – 13:42	7,117
Oktober	7:15 – 11:37	4,37	7:15 – 13:42	6,45
November	6:59 – 10:26	3,45	6:59 – 12:51	5,867
December	7:34 – 10:32	2,97	7:34 – 13:06	5,533
Povprečje		5,18		6,98

Vir: (Suncalc, 2025)

Izračun sončnega obsevanja za vzhodno fasado brez senčil = 6,98 h/dan * 365 dni = **2.547,7 h** obsevanja na letni ravni.

Izračun sončnega obsevanja za vzhodno fasado s senčili = 365dni x 5,18 h/dan x faktor 0,5 = **945,35 h** obsevanja na letni ravni.

Južna fasada:

Kot vzhodna fasada objekta, je skozi vso leto, ne glede na sistem, osončena tudi južna fasada. (Suncalc, 2025) Za izračun bom uporabil vse dni v letu (**365 dni**).

Tabela 4 Južna fasada primerjava obsevanja s in brez senčil:

15. dan v mesecu	Časovni okvir obsevanja s senčili v obsegu od 144,98° do 250,46°	V urah s senčili	Časovni okvir obsevanja brez senčil v obsegu od 107,72° do 287,72°	V urah brez senčil
Januar	9:40 – 16:36	6,93	7:37 – 16:36	8,983
Februar	10:00 – 17:11	7,18	7:01 – 17:21	10,333
Marec	10:14 – 16:28	6,23	7:34 – 18:03	10,45
April	11:26 – 16:38	5,2	9:07 – 19:46	10,65
Maj	11:39 – 16:01	4,38	9:38 – 19:19	9,683
Junij	11:53 – 15:48	3,92	10:01 – 19:05	9,067
Julij	11:54 – 16:01	4,18	9:58 – 19:19	9,35
Avgust	11:38 – 16:29	4,85	9:26 – 19:48	10,367
September	11:09 – 16:59	5,83	8:37 – 19:08	10,517
Oktober	10:40 – 17:29	6,82	7:48 – 18:10	10,367
November	9:21 – 16:24	7,05	6:59 – 16:24	9,417
December	9:23 – 16:10	6,78	7:34 – 16:10	8,6
Povprečje		5,75		9,82

Vir: (Suncalc, 2025)

Izračun sončnega obsevanja za južno fasado brez senčil = 9,82 h/dan * 365 dni = **3.584,3 h**
obsevanja na letni ravni.

Izračun sončnega obsevanja za južno fasado s senčili = 365 dni x 5,75 h/dan x faktor 0,5 =
1.049,375 h obsevanja na letni ravni.

Zahodna fasada:

Časovni obseg s senčili:

Tako kot severna fasada objekta, zahodna fasada s senčili ni osončena v vseh mesecih leta. Decembra sonce ne doseže zahodne fasade, zato ni prisoten v tabeli. Za izračun bom zato uporabil 334 dni.

Časovni obseg brez senčil:

Sonce zahodno fasado, ki nima senčil, obseva vso leto (Suncalc, 2025), zato bom za izračun uporabil 365 dni.

Tabela 5 Zahodna fasada primerjava obsevanja s in brez senčil:

15. dan v mesecu	Časovni okvir obsevanja s senčenjem v obsegu od 234,98° do 340,46°	V urah s senčenjem	Časovni okvir obsevanja brez senčenja v obsegu od 197,72° do 377,72°	V urah brez senčenja
Januar	16:12 – 16:36	0,4	13:17 – 16:36	3,317
Februar	15:51 – 17:21	1,5	13:14 – 17:21	4,117
Marec	15:15 – 18:03	2,8	13:00 – 18:03	5,05
April	15:33 – 19:46	4,22	13:40 – 19:46	6,1
Maj	15:03 – 20:25	5,35	13:30 – 20:25	6,917
Junij	14:53 – 20:52	6,0	13:29 – 20:52	7,217
Julij	15:06 – 20:47	5,68	13:37 – 20:47	7,133

Avgust	15:27 – 20:07	4,67	13:41 – 20:07	6,433
September	15:49 – 19:08	3,32	13:42 – 19:08	5,433
Oktober	16:11 – 18:10	1,98	13:43 – 18:10	4,45
November	15:40 – 16:24	0,73	12:51 – 16:24	3,55
December	Ni obsevanja	0,0	13:06 – 16:10	3,067
Povprečje	/	3,33	/	5,23

Vir: (Suncalc, 2025)

Izračun sončnega obsevanja za zahodno fasado brez senčil = 5,23 h/dan * 365 dni = **1.908,95 h** obsevanja na letni ravni.

Izračun sončnega obsevanja za zahodno fasado s senčili = 334dni x 3,33 h/dan x faktor 0,59 = **656,2098 h** obsevanja na letni ravni.

7.3.3 Izračun dobitkov zaradi sončnega obsevanja brez senčil na ZP MAGDALENA

Povprečna vrednost obsevanja na letni ravni v okolici Maribora = 1222kWh/m² + 1250 kWh/m² / 2 = **1.236 kWh/m²** (Obrecht & Knez, 2014)

To pomeni, da ta vrednost na dnevni ravni znaša: 1.236 kWh/m² / 365dni = **3,386 kWh/m²** in na ravni 1 ure: 3.386 kWh/ m² / 24ur = **0,14108333 kWh/m²**

Orientacija in površina zasteklitve:

- A_{Sever}: 554 m²
- A_{Vzhod}: 81 m²
- A_{Jug}: 570 m²
- A_{Zahod}: 225 m²

Časovno obsevanje glede na fasadno stran brez senčil:

1. Sever: 681,5 ur
2. Vzhod: 2.547,7 ur

3. Jug: 3.584,3 ur

4. Zahod: 1.908,95 ur

Izračun toplotnih dobitkov brez senčil:

$$Q = I \times A \times SHGC \times t$$

Kjer je:

- **Q** = Toplotni dobitki v kWh
- **I** = 0,14108333 kWh/m² na uro,
- **A** = površina fasade v m²,
- **SHGC** = Solar heat gain koeficient = 0,35
- **t** = čas osončenja v urah.

Severna stran fasade:

$$Q_{sever} = 0,14108333 \text{ kWh/m}^2 \times 554 \text{ m}^2 \times 0,35 \times 681,5 \text{ h}$$

$$Q_{sever} \approx 18.643,15 \text{ kWh}$$

Vzhodna stran fasade:

$$Q_{vzhod} = 0,14108333 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 81 \text{ m}^2 \times 0,35 \times 2547,7 \text{ h}$$

$$Q_{vzhod} \approx 10.190,07 \text{ kWh}$$

Južna stran fasade:

$$Q_{jug} = 0,14108333 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 570 \text{ m}^2 \times 0,35 \times 3584,3 \text{ h}$$

$$Q_{jug} \approx 100.884,15 \text{ kWh}$$

Zahodna stran fasade:

$$Q_{zahod} = 0,14108333 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 225 \text{ m}^2 \times 0,35 \times 656,21 \text{ h}$$

$$Q_{zahod} \approx 21.209,03 \text{ kWh}$$

Torej, skupni toplotni dobitki na letni ravni za vsako stran so:

- Severna stran: približno 18.643,15 kWh
- Vzhodna stran: približno 10.190,07kWh
- Južna stran: približno 100.884,15kWh
- Zahodna stran: približno 21.209,03kWh

Skupni toplotni dobitki na letni ravni brez senčil:

$$Q_{skupaj} = 18.643,15 + 10.190,07 + 100.884,15 + 21.209,03 \approx 150.926,40kWh$$

7.3.4 Izračun dobitkov zaradi sončnega obsevanja s senčili na ZP MAGDALENA

Orientacija in dolžina obsevanja zasteklitve:

1. Sever = 62,31837 h

2. Vzhod = 945,35 h

3. Jug = 1.049,375 h

4. Zahod = 656,2098 h

Za izračun bom uporabil **povprečno vrednost SHGC koeficienta**, ki za troslojna okna znaša **0,35**.

Izračun toplotnih dobitkov skozi fasado s senčili:

$$Q = I \times A \times SHGC \times t$$

Severna stran fasade:

$$Q_{sever} = 0,14108333kWh/m^2 \times 554m^2 \times 0,35 \times 62,32 h$$

$$Q_{sever} \approx 1,704,83 kWh$$

Vzhodna stran fasade:

$$Q_{vzhod} = 0,14108333 \frac{kWh}{m^2} \times 81m^2 \times 0,35 \times 945,35h$$

$$Q_{vzhod} \approx 3,781,13kWh$$

Južna stran fasade:

$$Q_{jug} = 0,14108333 \frac{kWh}{m^2} \times 570 m^2 \times 0,35 \times 1049,38 h$$

$$Q_{jug} \approx 29,535,98 kWh$$

Zahodna stran fasade:

$$Q_{zahod} = 0,14108333 \frac{kWh}{m^2} \times 225 m^2 \times 0,35 \times 656,21 h$$

$$Q_{zahod} \approx 7,290,70 kWh$$

Torej, skupni toplotni dobitki na letni ravni za vsako stran so:

- Severna stran: približno 1.705 kWh
- Vzhodna stran: približno 3.781 kWh
- Južna stran: približno 29.536 kWh
- Zahodna stran: približno 7.291 kWh

Skupaj:

$$Q_{skupaj} = 1.705 + 3.781 + 29.536 + 7.291 \approx 42.313 kWh$$

7.4 Primerjava dobitkov zaradi sončnega obsevanja z brisoleji in brez brisolejev na ZP MAGDALENA

Na objektu ZP Magdalena znašajo sončni dobitki na letni ravni s senčili: **42.313 kWh**. Brez senčil pa znašajo dobitki: **150.926,40 kWh**

Iz tega izhaja, da senčila na objektu vsako leto prihranijo: $150.926,40 kWh - 42.313 kWh = 108.613,4 kWh$ energije.

Za izračun procentualnega prihranka energije zaradi senčil uporabimo naslednjo formulo:

$$Procent\ prihranka = \left(\frac{Prihranek\ energije}{Energija\ brez\ sencil} \right) \times 100$$

$$\text{Procent prihranka} = \left(\frac{108.613,4 \text{ kWh}}{150.926,40 \text{ kWh}} \right) \times 100 \approx 71,96\%$$

Senčila na objektu ZP Magdalena torej prihranijo približno 71,96 % sončnih dobitkov v primerjavi z razmerami brez senčil oz. 108.613,4 kWh.

Ta objekt je znatno večji od povprečnega gospodinjstva, kar pomeni, da je prihranek, ki ga prinašajo senčila, v absolutnih vrednostih zelo visok zaradi velikosti objekta. Objekt je na podlagi izdane energetske izkaznice v energijskem razredu A1. Kvadratura objekta pa znaša: 2.689 m².

Barva	Razred	Letna potrebna toplota na enoto uporabne površine (kWh/m2a)	Opis energetske učinkovitosti stavbe
	A1	od 0 do vključno 10 kWh/m2a	skoraj-nič energetska
	A2	od 10 do vključno 15 kWh/m2a	pasivna
	B1	od 15 do vključno 25 kWh/m2a	nizkoenergetska
	B2	od 25 do vključno 35 kWh/m2a	dobro učinkovita
	C	od 35 do vključno 60 kWh/m2a	zadostno učinkovita
	D	od 60 do vključno 105 kWh/m2a	nezadostno učinkovita
	E	od 105 do vključno 150 kWh/m2a	potratna
	F	od 150 do vključno 210 kWh/m2a	zelo potratna
	G	od 210 do 300 in več kWh/m2a	izjemno potratna

Letno torej objekt porabi približno 10kWh/m2a, kar za kvadraturu objekta znaša: 10 kWh/ m² a x 2.689 m² = 26.890 kWh.

Slika 16 Energijski razredi objektov

Vir: (Zavod energijski razred, 2017)

To pomeni, da senčila na letni ravni privarčujejo toliko energije, potrebne za hlajenje, kot je objekt za ogrevanje porabi v obdobju več kot 4,04 let.

Postavil sem hipotezo, da objekt s senčili na zastekljeni fasadi prihrani 3 % energije na letni ravni. Glede na izračun, ki izkazuje prihranke energije za ogrevanje celotnega objekta v obdobju štirih let, **hipotezo ovračam**. Objekt prihrani znatno več kot 3 % energije na letni ravni, ampak na letni ravni s senčili prihrani 404 % energije.

8 PREDSTAVITEV BIM

8.1 Zgodovina BIM-a

BIM oziroma Building Information Modeling je revolucionaren način načrtovanja gradnje in upravljanje stavbe. Čeprav je BIM v zadnjih letih postal sinonim za sodobno gradbeništvo, njegove korenine segajo precej dlje v preteklost. Predhodnik BIM-a je CAD (Computer-Aided Design). Prvi koraki k digitalnemu modeliranju so bili narejeni s pojavom CAD sistemov v 60. letih prejšnjega stoletja. Ti sistemi so omogočili ustvarjanje dvodimenzionalnih risb na računalniku, kar je predstavljalo velik napredek v primerjavi z ročnim risanjem. V 80. letih se je pojavilo 3D modeliranje, ki je omogočilo ustvarjanje tridimenzionalnih predstavitev objektov. To je bil pomemben korak k BIM-u, saj je omogočil bolj realistično vizualizacijo projektov. V 90. in v začetku 21. stol se je začel intenzivnejši razvoj BIM-a. Programska oprema je postala bolj zmogljiva, kar je omogočilo vključevanje več podatkov v modele. BIM se je začel uporabljati v večjih projektih, predvsem v državah z močno industrijo. S prihodom industrije 4.0 in digitalne transformacije je BIM postal ključna tehnologija v gradbeništvu. Povezljivost, avtomatizacija in uporaba podatkov so še dodatno povečali zmogljivosti BIM-a. (LetsBuild, 2024)

8.1.1 Ključne prednosti BIM

BIM omogoča združevanje različnih podatkov o projektu (geometrija, materiali, lastnosti, stroški) v enoten model. Vsi udeleženci v projektu lahko dostopajo do istih informacij, kar zmanjšuje možnost napak in izboljšuje komunikacijo. BIM omogoča avtomatizacijo številnih procesov, kar prihrani čas in zmanjša stroške. BIM modeli se lahko uporabijo za simulacije različnih scenarijev, kar omogoča boljše odločanje. (Bryan, 2025)



Slika 17 Dimenzije BIM-a

Vir: (software, 2022)

8.2 6. dimenzija BIM-a

6. dimenzija BIM-a omogoča vključevanje informacij o energetski učinkovitosti in trajnosti stavbe v informacijski model. To pomeni, da poleg časovne in stroškovne dimenzije (ki ju obravnavata 4D in 5D BIM) vključujemo tudi oceno glede na okoljske, socialne in ekonomske

dejavnike v fazah načrtovanja, gradnje, uporabe in razgradnje stavbe. S tem se lahko bolje načrtujejo energetske učinkovite in trajnostne rešitve že v fazi projektiranja.

Energetska učinkovitost v kontekstu 6. dimenzije BIM-a pomeni integracijo naprednih analiz in simulacij energijske učinkovitosti v BIM model. (Patel, 2025)

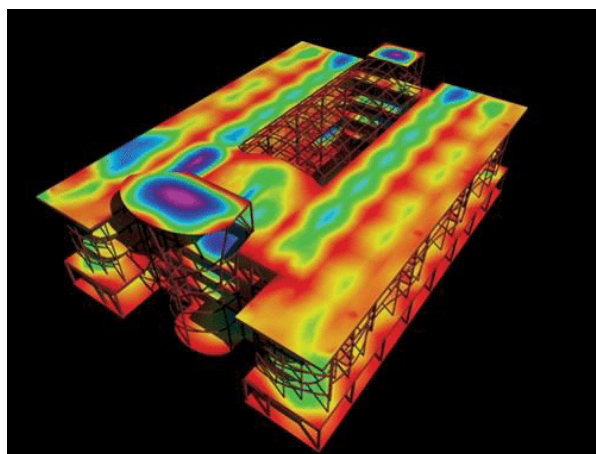
8.3 H4: BIM 3D analiza uporabe toplotnih izgub na objektu ZP Magdalena

8.3.1 Simulacije energije (Analiza toplotnih izgub)

BIM model, ki je bil oblikovan za ZP Magdalena, se lahko poveže z orodji za simulacijo energije (kot so **EnergyPlus**, **IES VE** ali **DesignBuilder**), ki omogočajo natančno oceno, koliko energije bo stavba porabila skozi svoje življenje. To vključuje analize glede na podnebne razmere, orientacijo stavbe, materiale, steklene površine, izolacijo, sisteme ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ter razsvetljave.

Zgodnje faze načrtovanja lahko uporabijo te simulacije za oblikovanje stavb, ki so energetske učinkovitejše. Arhitekti lahko npr. preizkušajo različne oblike stavbe, pozicioniranje oken, debelino izolacije ali vrste stekla, da bi dosegli najboljše rezultate glede na porabo energije. Hkrati 6D BIM-a v fazi načrtovanja omogoča tudi **upoštevanje lastnosti materialov** v smislu toplotne prevodnosti, zmožnosti akumulacije toplote itd. To vodi do bolj informiranih odločitev o izbiri materialov, ki bodo zmanjšali energijsko porabo.

Modeli lahko vključujejo podrobne informacije o HVAC sistemih, kar omogoča analize vpliva različnih sistemov na skupno energijsko bilanco stavbe. To vključuje učinkovitost sistemov, distribucijo zraka, toplotno izgubo in dobiček. V orodju lahko simuliramo tudi uporabo naravne svetlobe in preizkušamo učinkovitost umetne razsvetljave, da se zmanjša poraba energije za osvetlitev prostorov. BIM omogoča vključitev senzorjev in pametnih sistemov osvetlitve, ki prilagajajo svetlobo glede na prisotnost ljudi in naravno svetlobo.



Slika 18 Simulacija izgub energije

Vir: (Nicał & Wodyński, 2016)

Ko je stavba zgrajena, lahko BIM platforme vključujejo integracijo z BMS (Building Management System) za realno časovno spremljanje in optimizacijo energetske učinkovitosti. To omogoča prilagoditev sistemov na podlagi dejanske rabe in zunanjih pogojev. Z vsemi temi pristopi 6D BIM izboljšuje energetske učinkovitost stavb in pomaga pri zmanjšanju operativnih stroškov, povečanju udobja uporabnikov in zmanjšanju okoljskega odtisa. (Nicał & Wodyński, 2016)

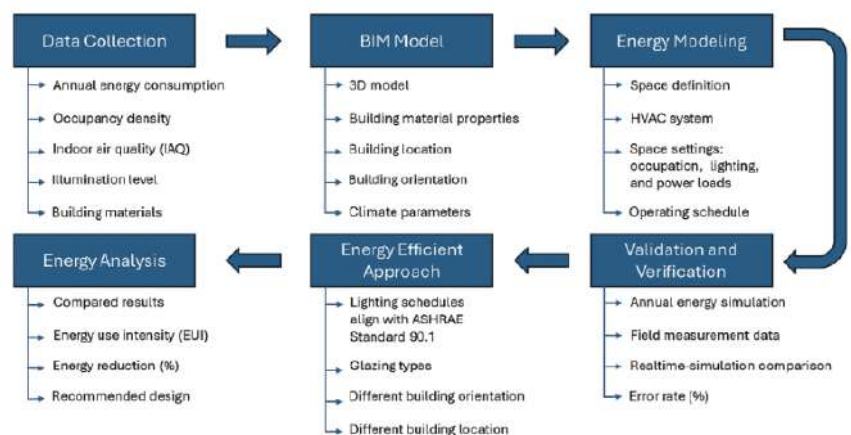
8.3.2 Energetsko učinkoviti in stroškovno učinkoviti pristopi skozi energetsko modeliranje na primeru

Za primer analize toplotnih izgub bom predstavil energijske simulacije na praktičnem primeru Hotelske stavbe v osrednjem Tajvanu.

8.3.3 Delovni proces

Delovni proces na danem primeru, kjer je stavba že stala (in je naročnik dal pobudo za študijo izboljšave energetske učinkovitosti), so avtorji študije najprej začeli z zbiranjem podatkov o stavbi. Na podlagi teh informacij so lahko nato izdelali BIM model.

V grobem je prva faza študije, kot je razvidno iz slike, zajemala: letno porabo energije stavbe, gostoto zasedenosti, kakovost zraka v zaprtih prostorih, stopnjo osvetljenosti posameznih prostorov in materiale, uporabljene za gradnjo.



Slika 19 Delovni proces po fazah na dani študiji

Sledila je druga faza, ki je zajemala izdelavo BIM 3D modela, v katerega so vnesli: informacije o gradbenih materialih, lokacijo stavbe, orientacijo stavbe in okoljske parametre.

V tretji fazi so definirali velikost prostorov, HVAC sistem, nastavitve energijske porabe posameznega prostora in urnike odprtja.

V četrti fazi so nato avtorji na izdelanem BIM modelu izvedli simulacijo porabe energije in te rezultate primerjali z meritvami na terenu. Na podlagi teh simulacij so ugotovili, da model, ki so ga ustvarili in ga primerjali na podlagi dejanske porabe energije, povprečno letno devira za zgolj 4,8 %. To je dopustno, saj je skrajna meja odstopanj simulacije modela od dejanske porabe 10 %.

Avtorji so v peti fazi nato na podlagi zadovoljivih rezultatov modela prešli v simulacije spremembe nastavitve osvetlitve, zamenjave oken, menjava orientacije objekta in menjave lokacije objekta.

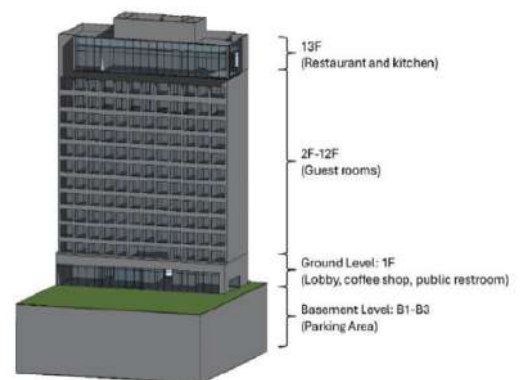
V zaključni 6. fazi so avtorji primerjali rezultate osnovnega modela in simulacij in podali predloge za naročnika.

8.3.4 Pridobivanje podatkov za simulacijo

V študiji (Agharid, Indra, Singh, Wang, & Gustiyana, 2024) so geometrijski model te stavbe ustvarili z uporabo orodja za **energetsko modeliranje Revit**. Stavba ima 13 nadzemnih nadstropij in 3 podzemna nadstropja, skupna površina pa znaša 14.880 m². Obstoječa hotelska stavba je orientirana proti vzhodu. V prvem nadstropju se nahajajo preddverje, kavarna in javno stranišče, od drugega do dvanajstega nadstropja pa so hotelske sobe. Trinajsto nadstropje vključuje restavracijo in kuhinjo, prva do tretja podzemna nadstropja pa so namenjena parkirišču.

Ker se obstoječa hotelska stavba nahaja v osrednjem Tajvanu, so v študiji uporabil podatke vremenske postaje št. 547272, ki je od hotela oddaljena le 4,53 km in je s tem najbližja vremenska postaja v istem okraju, ki je na voljo v orodju za energetsko modeliranje Revit. S tem so zagotovili natančnost in relevantnost vremenskih podatkov, uporabljenih v analizi energetske simulacije te študije.

Obstoječa hotelska stavba ima povprečno U-vrednost zunanjih sten 0,47 W/m²K, U-vrednost strehe 0,35 W/m²K, ter koeficient solarnega dobitka toplote (SHGC), ki znaša 0,79.



Slika 20 Geometrijski model za simulacijo

Vir: (Agharid, Indra, Singh, Wang, & Gustiyana, 2024)

Za hotelsko stavbo The Kloud Hotel v osrednjem Tajvanu so (Agharid, Indra, Singh, Wang, & Gustiyana, 2024) zbrali ustrezne podatke o porabi energije na licu mesta, da bi odkrili porazdelitev porabe energije v hotelu. Terenska merjenja so bila izvedena z namenom, da se zagotovi zanesljivost osnovnih podatkov za energetske modeliranje in preverjanje rezultatov simulacije za oceno izboljšanja zmogljivosti in potenciala varčevanja z energijo.

8.3.5 Simulacija energije na danem primeru

V študiji so (Agharid, Indra, Singh, Wang, & Gustiyana, 2024) izvedli več scenarijev in simulacij z namenom izboljšanja energetske učinkovitosti hotelskih stavb. Energetske modeliranje so uporabljali za simulacijo energetske učinkovitih pristopov, kot so usklajevanje urnikov osvetlitve, zasteklitev, orientacija stavbe in lokacija stavbe, ki jih je mogoče združiti v različne možnosti. V tej študiji so scenarij razdelil na štiri glavne možnosti, ki se upoštevajo za zmanjšanje porabe energije:

1. Usklajevanje urnika osvetlitve objekta na podlagi standarda ASHRAE 90.1
2. Spreminjanje zasnove zasteklitve objekta: dvoslojno prozorno steklo, enoslojno steklo z nizko emisivnostjo in dvoslojno steklo z nizko emisivnostjo.
3. Spreminjanje orientacije stavbe: jug, zahod in sever.
4. Premik lokacije stavbe v severni in južni Tajvan.

1. Rezultati simulacije usklajevanja urnika osvetlitve objekta na podlagi standarda ASHRAE 90.1:

Rezultati energetske simulacije so pokazali, da bi bilo možno preurediti urnik osvetlitve in s tem zmanjšati porabo energije za približno 8,22 % v primerjavi s porabo energije obstoječega urnika osvetlitve, kar v praksi pomeni zmanjšanje porabe energije za 189.807 kWh/leto. Uvedba tega urnika osvetlitve se lahko šteje za odličen energetski pristop za hotelske stavbe.

2. Rezultati simulacije spreminjanja zasnove zasteklitve objekta v dvoslojno prozorno steklo, enoslojno steklo z nizko emisivnostjo in dvoslojno steklo z nizko emisivnostjo.

Na podlagi meritev, ki so jih izvedli (Agharid, Indra, Singh, Wang, & Gustiyana, 2024), so za obstoječi objekt rezultati kazali precej visok EUI (Energy use intensity) za hotelsko stavbo, ki je znašal 147,77 kWh/m²/leto.

Z upoštevanjem možnosti uporabe stekla z nizko emisivnostjo bi lahko zmanjšali porabo energije v hotelski stavbi. Steklo z nizko emisivnostjo bi pripomoglo k prihrankom pri energiji, saj bi zmanjšalo količino toplote, ki vstopa in izstopa iz stavbe med poletjem in pozimi.

- Rezultati energetske simulacije kažejo, da dvoslojno prozorno steklo v primerjavi z obstoječimi zasteklitvami prinaša zmanjšanje porabe energije za **7,28 %**, kar pomeni zmanjšanje porabe za 169.102 kWh/leto.
- Hkrati so simulacijski rezultati pokazali, da bi enoslojno steklo z nizko emisivnostjo zmanjšalo porabo energije raziskovane stavbe za **2,01 %**, pri čemer bi bilo prihranjeno 53.166 kWh/leto.
- Poleg tega rezultati simulacije kažejo, da bi dvoslojno steklo z nizko emisivnostjo pomenilo pomembno zmanjšanje porabe energije za **14,58 %**, kar pomeni letni prihranek 329.630 kWh energije.

3. Rezultati simulacije spreminjanja orientacije stavbe na jug, zahod in sever.

Na podlagi informacij o obstoječi stavbi in načrtih je bila raziskovana stavba orientirana proti vzhodu.

Rezultati so pokazali, da se poraba energije raziskovane hotelske stavbe razlikuje glede na orientacijo stavbe.

- Rezultat, ko je stavba orientirana proti jugu, je pokazal manjše zmanjšanje porabe energije za 1,96 %, kar pomeni zmanjšanje porabe energije za približno 52.017 kWh/leto.
- Sprememba orientacije stavbe na zahod je pokazala, da zahodna orientacija pomeni večjo porabo energije kot izhodiščni primer. Poraba energije je 3,02 % višja, kar povečuje porabo energije za 57.469 kWh/leto.
- Rezultati za severno orientacijo stavbe so pokazali pomembno zmanjšanje porabe energije v primerjavi z drugimi orientacijami. Severna orientacija lahko prihrani do 7,20 % energije, kar pomeni zmanjšanje porabe energije za približno 167.411 kWh/leto.

Glede na relativno solarno intenzivnost v vsaki orientaciji je tudi raziskava (Agharid, Indra, Singh, Wang, & Gustiyana, 2024) pokazala, da je solarna intenzivnost ključni dejavnik pri dobičku toplote stavbe, kar pomaga pri zmanjšanju porabe energije z ustrezno orientacijo stavbe kot del pasivnega solarnega oblikovanja.

4. Rezultati simulacije premika lokacije stavbe v severni in južni Tajvan.

Lokacija stavbe lahko bistveno vpliva na porabo energije v stavbi.

- Ko je bila stavba premaknjena na severni del Tajvana (Taipei), so rezultati pokazali manjše zmanjšanje porabe energije. Poraba energije se je zmanjšala za 3,23 %, kar pomeni zmanjšanje porabe za 79.995 kWh/leto. Zmanjšanje porabe energije je nastalo zaradi dejstva, da je vremenski pogoji na severnem Tajvanu hladnejši kot v osnovnem primeru, ki je bil na srednjem Tajvanu, kjer je podnebje subtropsko.
- V nasprotnem primeru so rezultati pokazali, da je premik stavbe na južni del Tajvana privedel do večje porabe energije v primerjavi z obstoječim stanjem. Vremenski pogoji na jugu Tajvana so toplejši, kot v drugih predelih Tajvana, kar je podnebje, ki spada v tropski pas. Poraba energije je narasla za 3,74 %, oziroma 73.316 kWh/leto.

8.3.6 Stroškovni vidik simulacije in uporabnost do investitorja

Dosego prihrankov energije v stavbi ni le koristno za zmanjšanje letne porabe energije, temveč tudi za zmanjšanje letnih stroškov električne energije, kar pripomore k prihrankom. Po poročilu (Agharid, Indra, Singh, Wang, & Gustiyana, 2024) o zbiranju podatkov znašajo letni stroški električne energije za raziskovano hotelsko stavbo **neto 7.451.963 \$** pri povprečni ceni električne energije **neto 3,4518\$/kWh** na Tajvanu.

Skozi več scenarijev energetske pristopov so avtorji vsak scenarij zaključili tudi z različnimi letnimi računi za električno energijo. V primerjavi z letnim računom za električno energijo obstoječe stavbe iz leta 2023 je bil največji prihranek stroškov dosežen v simulaciji z zamenjavo zunanjega stekla stavbe z dvoslojnim steklom z nizko emisivnostjo. Račun za električno energijo se je glede na študijo zmanjšal za 13 % začetnih stroškov, kar pomeni prihranek v višini **neto 969.082 \$**. Torej bi zamenjava zasteklitve na objektu v praksi letno zmanjšala stroške za skoraj milijon dolarjev, kar v februarju 2025 znaša **925.522,29 €**.

8.3.7 Ugotovitve simulacije na danem primeru

V zaključku študije so avtorji ugotovili, da obstaja več dejavnikov, ki lahko vplivajo na porabo energije v hotelski stavbi, kot so razporeditev osvetlitve, gradbeni materiali, podnebni pogoji lokacije in senčenja.

Skupni rezultati te študije so pokazali, da energetska učinkovitost stavbe seveda vpliva na stroške električne energije in seveda posledično zmanjšanje emisij CO₂. Rezultati kažejo, da sta ureditev razporeda osvetlitve v skladu z ASHRAE Standardom 90.1 in uporaba dvoslojnega stekla z nizko emisivnostjo stekla najbolj primerna strategija za izboljšanje energetske učinkovitosti hotelske stavbe. Seveda je bila simulacija spremembe usmeritve stavbe in lokacije zgolj informativna, vseeno pa lahko ta pripomore k zmanjšanju skupne porabe energije stavbe. Študija vključuje te strategije kot vpogled v ukrepe, ki lahko pomagajo pri oblikovanju novih stavb, torej kar bodo projektanti in naročniki stavb lahko upoštevali pri načrtovanju.

V diplomskem delu sem postavil hipotezo, da lahko energetske simulacije pripomorejo k izboljšanju energetske učinkovitosti objektov. **To hipotezo sem potrdil**, vendar je potrebno poudariti, da je ključna faza pri simulacijah modelov pridobivanje ustreznih podatkov. Brez teh njih se lahko popolnoma zgreši z izračuni in simulacije posledično niso več zanesljive. Kljub temu so energetske simulacije izjemno koristne, predvsem pa so uporabne za naročnika. Ta lahko v zgolj nekaj minutah pridobi zelo natančen izračun energetske učinkovitosti in primerjavo različnih opcij, kar omogoča sprejemanje informiranih odločitev pri optimizaciji porabe energije v objektu in seveda informacijo o pričakovanih letnih stroških.

9 SKLEP

Postopek pisanja diplomskega dela mi je prinesel dragocene izkušnje in drugačno mišljenje, ki je poglobilo moje razumevanje različnih tem. Počutim usposobljenega, da samostojno rešujem izzive, povezane z izbiro fasadnih sistemov in senčenja, ter sprejemam bolj preudarne odločitve. Diplomsko delo mi je omogočilo, da sem podrobneje spoznal različne fasadne sisteme, njihove lastnosti v povezavi s toplotno prehodnostjo, vplive sončnega sevanja ter vlogo BIM tehnologije v gradbeništvu. Pri tem sem primerjal že obstoječo zastekljeno in prezračevano fasado na izbranem objektu z alternativno tradicionalno kontaktno fasado, pri čemer sem analiziral njuno učinkovitost z vidika toplotnih izgub. Preučil sem prednosti in slabosti obeh pristopov. Poseben poudarek sem dal analizi zimskega obnašanja sonca ter vplivu deviacij notranjih in zunanjih temperatur na toplotne izgube objekta, predvsem v zimskem času. Dodatno sem raziskal pomen ustreznega senčenja in pravilne orientacije objekta za optimizacijo pasivnega ogrevanja. Pri tem sem ugotovil, da so orodja za energijske analize podprta z BIM modeli, ključna za zmanjševanje toplotnih izgub. Prepričan sem, da bo umetna inteligenca v gradbeništvu v prihodnosti igrala vse pomembnejšo vlogo.

Cilj raziskovanja je bil pridobiti čim več eksaktnih podatkov, ki bi mi pomagali potrditi ali ovreči zastavljene hipoteze. Moje ključne ugotovitve so naslednje:

H1: Fasadni stekleni elementi s senčili pripomorejo k izboljšanju energetske učinkovitosti objekta do 20% v primerjavi s kontaktno fasado.

Zastavljeno hipotezo sem ovrgel na podlagi izračunov, ki sem jih izvedel ob uporabi uradnih podatkov, dostopnih na spletu. Na podlagi izračunov sem ugotovil, da je obstoječa zastekljena fasada na preučevanem objektu energetsko manj učinkovita za skoraj 100 % v primerjavi s predvideno kontaktno fasado. Ta rezultat nakazuje, da zastekljena fasada v tem konkretnem primeru ne prinaša pričakovanih izboljšav v smislu energetske učinkovitosti, kar je bila ključna komponenta hipoteze. Predlog na podlagi izvedenih izračunov bi bil zmanjšanje zastekljenih površin fasade vsaj na severni strani objekta ali pa fasado na severni strani nadgraditi z prezračevano prosojno fasado, kjer bi med stekli umestili tudi prezračevani zračni sloj. Arhitekti so sicer dobro premislili zasnovo fasadnega ovoja, saj ima ta na severni strani iz notranjosti objekta, ki je popolnoma zastekljena, najlepši pogled na park in kontakt z mestnim vrvežem. Kontaktna fasada pogosto omogoča bolj tradicionalen ali klasičen videz, ki se lahko ponavadi bolje vklopi v okolje starejših ali zgodovinskih območij, vendar lahko manj izstopa ali ponuja

manj priložnosti za sodobno arhitekturno izražanje. Sistem zastekljene fasade pa nasprotno ponudi sodoben, čist in estetsko privlačen izgled, ki je pogosto povezan z modernimi zdravstvenimi ustanovami. Uporaba aluminija in stekla omogoča veliko prilagodljivosti v oblikovanju, kar prispeva k pozitivnemu dojemanju stavbe kot napredne in tehnološko dovršene. Arhitekti so zasnovali stavbo kot **tempelj zdravja**, ki dopolnjuje mestno četrt, ki se postopoma razvija v mirno, sodobno sosesko novogradenj.

H2: Objekt bo v zimskih mesecih zaradi zasteklitev izgubil več energije kot pa pridobil s sončno energijo.

To hipotezo sem suvereno potrdil s primerjavo izračuna izgubljene energije v mesecu januarju in izračuna pridobljene energije sončnega sevanja skozi zastekljeno fasado. V mesecu januarju objekt zaradi velike temperaturne razlike med notranjostjo in zunanostjo preko svoje zastekljene fasade izgubi kar 18.085 kWh energije. Po drugi strani pa objekt pridobi zgolj 2.120,42 kWh sončne energije, kar je posledica kratkih zimskih dni in nizkega kota sončnih žarkov, ki zmanjšujeta možnost za učinkovito izkoriščanje sončne energije. Za izboljšanje energetske učinkovitosti bi bilo smiselno (če bi parcela to dopuščala) bolje usmeriti objekt glede na sončno svetlobo v zimskih mesecih, kar bi omogočilo večji zajem sončne energije. Dobra rešitev za nastale težave bi bila uporaba dinamičnih senčil, ki se prilagajajo letnemu času in vremenskim razmeram. Ta bi lahko zmanjšala sončne dobitke v poletnih mesecih in hkrati omogočila večji zajem energije v zimskih mesecih.

H3: Investitor je z uporabo brisolejev na fasadi letno privarčeval 3 % stroškov energije.

Postavil sem hipotezo, da objekt s senčili na zastekljeni fasadi prihrani približno 3 % energije na letni ravni v primerjavi brez senčil. Izračuni, ki sem jih izvedel, so pokazali, da so dejanski prihranki bistveno večji. Na podlagi izračunov, ki so upoštevali toplotne dobitke z in brez senčil, sem ugotovil, da senčila na objektu ZP Magdalena omogočajo prihranek energije, ki presega 400 % na letni ravni. To pomeni, da senčila prihranijo približno 71,96 % sončnih dobitkov v primerjavi s stanjem brez senčil, kar predstavlja 108.613,4 kWh/leto.

Za izboljšanje senčenja bi predlagal uporabo senčil, ki se samodejno prilagajajo glede na letni čas in intenzivnost sončne svetlobe, kar bi še dodatno optimiziralo prihranke. Hkrati je smiselno uporabo senčil umestiti kot del širšega načrta energetske učinkovitosti, ki vključuje tudi druge ukrepe, kot so pasivno ogrevanje, izboljšanje toplotne prehodnosti in uporaba obnovljivih virov energije.

H4: BIM 3D analiza uporabe toplotnih izgub na objektu ZP MAGDALENA

Simulacije energijskih izgub 3D BIM modela lahko pomagajo pri oblikovanju objektov, kot je ZP Magdalena, ki stremijo k tem večji trajnosti. Hipotezo sem na podlagi primera študije hotelske stavbe v osrednjem Tajvanu potrdil in ugotovil, da je na trgu vse več in več orodij za simulacije toplotnih izgub in ostalih podobnih dodatkov k analiziranju BIM modelov. Pri projektiranju se vedno lahko pojavijo napake, ki pripeljejo do nepredvidljivih toplotnih mostov na objektu. Zato je uporaba BIM modela in te analize čeprav draga, na dolgi rok zelo smiselna. Kar se tiče te hipoteze, gre zagotovo poudariti pomembnost pridobivanja ustreznih podatkov za model, na katerem se bodo izvajale simulacije. Pomembno je, da se investitor pred gradnjo natančno pozanima, kakšne so možnosti in omejitve glede postavitve objekta, saj lahko (na podlagi študije) poraba letne energije variira tudi do 4 %. Pomembna so tudi dodatna izobraževanja tako arhitektov kot inženirjev o novih tehnologijah in orodjih za analizo BIM modelov, da lahko to orodje učinkoviteje uporabijo v praksi. Pomemben je tudi napredek pri simulacijskih orodjih, ki omogočajo podrobnejše analize. Poleg toplotnih izgub bi bilo smiselno vključiti tudi analize za energetske učinkovitost skozi celoten življenjski cikel objekta, vključno z vzdrževanjem, obnovo in rabo energije.

10 VIRI, LITERATURA

- Academia. (18. december 2015). *Gostujoče predavanje sodelavcev časopisa Večer*. Pridobljeno iz Academia Novice: <http://academia.si/novice/gostujoce-predavanje-sodelavcev-casopisa-vecer/>
- Agharid, A. P., Indra, P., Singh, N., Wang, F.-J., & Gustiyana, S. (November 2024). *Energy-Efficient and Cost-Effective Approaches through Energy Modeling for Hotel Building*. Pridobljeno iz Esearch gate: https://www.researchgate.net/publication/384352118_Energy-Efficient_and_Cost-Effective_Approaches_through_Energy_Modeling_for_Hotel_Building
- ARSO. (2004). *climate table sl by_location maribor climate-normals_71-00_maribor*. Ljubljana.
- Baumit. (2025). *Baumit.si*. Pridobljeno iz Fasadni sistem Baumit Pro: <https://baumit.si/resitve/fasadni-sistemi/fasadni-sistem-baumit-pro>
- Bryan, K. (2025). *bsigroup*. Pridobljeno iz bsigroup: <https://www.bsigroup.com/en-CA/blog/built-environment-blog/7-benefits-of-bim-construction/>
- Bučar, F. (2012). *Rojstvo države*. Ljubljana: Didakta.
- energy, U. D. (2024). *US: Department of energy*. Pridobljeno iz Passive Solar Homes: <https://www.energy.gov/energysaver/passive-solar-homes>
- fotovoltaiko, S. p. (2024). *Slovenski portal za fotovoltaiko*. Pridobljeno iz Sončno sevanje v Ljubljani: <http://pv.fe.uni-lj.si/sl/podatki/sevanje-v-ljubljani/>
- Ghisleni, C. (16. Mar 2023). *Archdaily*. Pridobljeno iz Archdaily: <https://www.archdaily.com/997878/the-role-of-shadows-in-vernacular-architecture>
- gmbh, A. (2025). *Benx.co*. Pridobljeno iz ALLFACE SYSTEM F1-59 SECRET FIXING FOR CASSETTE: <https://benx.co.uk/products/allface-system-f1-59-secret-fixing-for-cassette/>
- GmbH, A. B. (10 2021). *ALLFACE Smart fixing systems*. Pridobljeno iz System F1.59: <https://www.allface.com/assets/downloads/systems/F1.59.pdf>
- LetsBuild. (10. Januar 2024). *LetsBuild*. Pridobljeno iz A history of BIM: <https://www.letsbuild.com/blog/a-history-of-bim>

- maps, G. (2023). *Google maps*. Pridobljeno iz Google maps:
https://www.google.si/maps/@46.550467,15.6446417,75m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4?hl=sl&entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDIxOC4wIKXMDSoJLDEwMjExNDU1SAFQAw%3D%3D
- Maribor, M. -M. (2024). *Mestna občina maribor*. Pridobljeno iz Maribor.si:
<https://maribor.si/projekti/izgradnja-nove-zdravstvene-postaje-magdalena-v-mariboru/>
- Ministrstvo za delo, d. i. (12. September 2005). *Uradni list Republike Slovenije*. Pridobljeno iz Uradni list Republike Slovenije: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2005-01-3626#top>
- Napast, I. (4. maj 2023). *Večer*. Pridobljeno iz Večer.com:
<https://vecer.com/maribor/aktualno/foto-kako-poteka-gradnja-nove-zdravstvene-postaje-magdalena-do-zdaj-dva-aneksa-nista-podrazila-investicije-10332076>
- Nicał, A., & Wodyński, W. (Dec 2016). *researchgate*. Pridobljeno iz researchgate:
https://www.researchgate.net/figure/Energy-analysis-in-BIM-model-33_fig1_311360960
- Nicole, P. (2024). *Green Facades*. Februar: De Gruyter.
- Obrecht, M., & Knez, M. (Januar 2014). Opportunities for Transition to Sustainable Energy Strategy in Slovenia. *researchgate.net*.
- Patel, A. (7. Januar 2025). *united-bim*. Pridobljeno iz united-bim.: <https://www.united-bim.com/what-are-bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-7d-bim-explained-definition-benefits/>
- razred, Z. e. (2017). *Zavod energijski razred*. Pridobljeno iz <https://energetska-izkaznica.visia.si/energetski-razredi/>
- Schüco. (2025). *Schüco.com*. Pridobljeno iz Schüco Fasadsystem FWS 50 S.SI:
<https://www.schueco.com/se/arkitekter/produkter/fasader/post-sproejsfasad/fws-50-s-si>
- software, B. –A. (2022). *parametric-architecture*. Pridobljeno iz parametric-architecture.:
<https://parametric-architecture.com/building-information-modelling-bim-dimensions-4d-5d-6d/>

Suncalc. (2025). *Suncalc.org*. Pridobljeno iz Suncalc.org:
<https://www.suncalc.org/#/46.5504,15.6446,19/2025.02.18/17:31/1/3>

Zbašnik-Senegačnik, M., & Kresal, J. (2004). *fasadni ovoj*. Ljubljana: UL FA.