

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na
bibliografske podatke, kot je navedeno:

Gantar, A., 2014. Izboljšava bivalnih in delovnih pogojev v večnamenski stavbi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Kristl, Ž.): 77 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's
bibliographic information as follows:

Gantar, A., 2014. Izboljšava bivalnih in delovnih pogojev v večnamenski stavbi. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Kristl, Ž.): 77 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*

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



UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

ALEKSANDER GANTAR

**IZBOLJŠAVA BIVALNIH IN DELOVNIH POGOJEV V
VEČNAMENSKI STAVBI**

Diplomska naloga št.: 3368/KS

**IMPROVEMENT OF LIVING AND WORKING
CONDITIONS IN MULTI-PURPOSE BUILDING**

Graduation thesis No.: 3368/KS

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentorica:

dr. Živa Kristl

Član komisije:

doc. dr. Roman Kunič
prof. dr. Boštjan Brank

Ljubljana, 27. 02. 2014

ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Aleksander Gantar izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom: »Izboljšava bivalnih in delovnih pogojev v večnamenski stavbi«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

(podpis)

Ljubljana, 14. 2. 2014

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 551.521.16:613.165:699.8(043.2)
Avtor: Gantar Aleksander
Mentor: doc. dr. Mitja Košir
Somentor: doc. dr. Živa Kristl
Naslov: Izboljšava bivalnih in delovnih pogojev v večnamenski stavbi.
Tip dokumenta: diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema: 77 str., 70 pregl., 42 sl., 27 graf.
Ključne besede: dnevna osvetljenost, količnik dnevne svetlobe, energijska bilanca stavbe, transmisijske izgube, ventilacijske izgube, notranji toplotni dobitki, solarni dobitki, potrebna toplota za ogrevanje, potreben hlad za hlajenje, zasteklitev

Izvleček

Diplomska naloga obravnava osvetljenost kritičnih prostorov z dnevno svetlobo in energijsko bilanco večnamenske javne stavbe. Stavba je bila zgrajena v 50 letih prejšnjega stoletja, zato se iz današnjega gledišča kažejo določene pomanjkljivosti, ki so odraz takratne gradbene tehnologije. Trenutno stanje ne izkazuje ugodnih delovnih in bivalnih pogojev, glede nivoja dnevne svetlobe v analiziranih prostorih. Na osnovi namenske rabe, so za posamezen prostor predlagani ukrepi za izboljšanje. Ukrepi so pogojeni s pozicijo prostorov v stavbi, zato se med seboj razlikujejo. Primerjava končnih predlogov posameznega prostora kaže, da se delež površine oken glede na tlorisno površino, med posameznimi prostori razlikuje. Razlike nastanejo predvsem zaradi različnih dimenzij prostorov in zahtevanega minimalnega nivoja dnevne svetlobe v prostoru, odvisnega od namembnosti prostora. V drugem delu diplomske naloge je izračunana trenutna energijska bilanca stavbe. Izračuni kažejo visoko potrebo po toploti za ogrevanje stavbe. Predlagani so ukrepi za znižanje slednje, v katerih so upoštevani tudi ukrepi predhodne analize osvetljenosti. Izračuni kažejo da se z ukrepi, ki znižujejo potrebno toploto za ogrevanje, sočasno povečuje potrebni hlad za hlajenje. Sinteza analize dnevne osvetljenosti prostorov in analize energijske bilance kaže pozitiven medsebojni vpliv predlaganih ukrepov. Boljši pogoji osvetljenosti v prostorih, sočasno zagotavljajo tudi učinkovitejšo energijsko bilanco stavbe.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 551.521.16:613.165:699.8(043.2)
Author: Aleksander Gantar
Supervisor: Assist. Prof. Mitja Košir, Ph.D.
Co-supervisor: Assist. Prof. Živa Kristl, Ph.D.
Title: Improvement of living and working conditions in multi-purpose building.
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 77 p., 70 tab., 42 fig., 27 graph.
Keywords: daylighting, daylight factor , transmission loss, ventilation loss, internal heat gains, solar gains, annual heat demand, annual cool demand, fenestration

Abstract

This thesis presents the analysis of daylight illuminance in selected rooms and energy consumption balance of the multi-purpose public building. In accordance to present day standards and regulations major shortcomings can be identified. These are the result of the building technology used at the time of construction in 1950ties. In its current state the daylighting of selected rooms is inadequate. On the grounds of room usage, measures were proposed to improve the currently inadequate level daylighting. Comparison of final proposals for each area shows that the ratio of windows area to floor area differs from room to room. Differences are mainly due to the shape of the rooms and the desired level of average daylight illuminance. In the second part of the thesis the energy consumption of the building was calculated. The calculations show a very high consumption of heating energy. Measures were proposed to reduce the latter, at the same time also taking into the account interventions presented in the illuminance analysis. Calculations show that the measures which reduce the heating demand simultaneously increase the need for cooling. Analysis of results for the natural daylighting and energy consumption analysis show a synergetic effect. Better daylighting in the premises at the same time results in a more energy efficient building.

ZAHVALA

Za pomoč in usmeritve pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitji Koširju ter somentorici doc. dr. Živi Kristl.

Vsem prijateljem iz študentskih dni bi se zahvalil za vse skupne doživljanje zadnjih nekaj let, s katerimi smo si popestrili študentsko obdobje.

Posebna zahvala gre moji družini, ki mi je skozi celoten študij izkazovali podporo in me spodbujala v težkih trenutkih.

KAZALO VSEBINE

ERRATA.....	I
IZJAVE.....	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA.....	V
1 UVOD.....	1
2 Opis stavbe.....	2
3 Analiza osvetljenosti izbranih kritičnih prostorov.....	9
3.1 Karakteristike obravnavanih prostorov	9
3.2 Zakonodaja in priporočeni minimalni nivoji osvetljenosti prostorov	11
3.3 Rezultati izračunov obstoječega stanja osvetljenosti prostorov	13
3.3.1 Trenutni pogoji osvetljenosti v SS	13
3.3.2 Trenutni pogoji osvetljenosti v T-KD	14
3.3.3 Trenutni pogoji osvetljenosti v DP	16
3.3.4 Trenutni pogoji osvetljenosti v UP	18
3.3.5 Trenutni pogoji osvetljenosti v UM	20
3.4 Analiza predlaganih ukrepov za izboljšanje dnevne osvetljenosti prostorov.....	22
3.4.1 Analiza predlaganih ukrepov v SS.....	22
3.4.2 Analiza predlaganih ukrepov v T-KD.....	24
3.4.3 Analiza predlaganih ukrepov v DP	27
3.4.4 Analiza predlaganih ukrepov v UP	29
3.4.5 Analiza predlaganih ukrepov v UM.....	33
3.5 Interpretacija analize osvetljenosti.....	36
4 Energijska bilanca stavbe.....	41
4.1 Analiza energijske bilance obstoječega stanja	41
4.1.1 Delitev in lastnosti toplotnih con	42
4.1.2 Stavbni ovoj – transparentni in netransparentni del.....	48
4.1.3 Energijska bilanca obstoječega stanja stavbe.....	55
4.2 Analiza in predlogi izboljšav	57
4.2.1 Vpliv konstrukcijskih sklopov	57
4.2.2 Odprava toplotnih mostov.....	61
4.2.3 Vpliv zasteklitve na porabo energije.....	64

4.2.4	Uporaba nočne izolacije	66
4.2.5	Zmanjšanje ventilacijskih izgub	67
4.3	Sinteza in analiza predlaganih ukrepov	68
5	Medsebojni vpliv osvetljenosti prostorov in energijske bilance	72
6	ZAKLJUČEK	74
VIRI		75

KAZALO SLIK

Slika 1:	Orto – foto izsek lokacije objekta (vir slike [12]).	2
Slika 2:	Južna fasada obravnavane stavbe.	3
Slika 3:	Tloris delno podkletenega pododnja (levo) in tloris kleti zahodnega dela stavbe (desno).	4
Slika 4:	Tloris pritličja posameznih delov stavbe.	4
Slika 5:	Tloris nadstropja posameznih delov stavbe.	5
Slika 6:	Tloris mansarde vzhodnega (levo) in zahodnega dela stavbe (desno).	5
Slika 7:	Vzdolžni prerez stavbe (1-1).	5
Slika 8:	Prečni prerez zahodnega dela stavbe (a-a).	6
Slika 9:	Prečni prerez osrednjega dela stavbe (b-b).	6
Slika 10:	Prečni prerez vzhodnega dela stavbe (c-c).	7
Slika 11:	Južna fasada.	7
Slika 12:	Severna fasada.	7
Slika 13:	Vzhodna (levo) in zahodna fasada (desno).	8
Slika 14:	Pregledna situacija izbranih prostorov.	10
Slika 15:	Primerjava med računskim modelom (levo) in dejanskim stanjem (desno) v SS.	13
Slika 16:	Prikaz trenutne pozicije okenskih odprtih v zunanji steni in vrednosti KDS po prostoru.	13
Slika 17:	Primerjava računskega modela (levo) in dejanskega stanja (desno) v T-KD.	14
Slika 18:	Fiksni rolo, ki preprečuje prehod dneвне svetlobe v prostor.	15
Slika 19:	Primerjava med računskim modelom (levo) in dejanskim stanjem (desno) v DP.	16
Slika 20:	Nizke vrednosti KDS v globini prostora.	16
Slika 21:	Primerjava med računskim modelom (levo) in dejanskim stanjem (desno) v UP.	18
Slika 22:	Razporeditev šolskih miz v UP.	19
Slika 23:	Primerjava med računskim modelom in dejanskim stanjem UM.	20
Slika 24:	Strešna okna v UM prispevajo k linearnemu padcu vrednosti KDS po prostoru.	20
Slika 25:	Razporeditev šolskih miz v UM.	21
Slika 26:	Primerjava obstoječega stanja in predlogov ukrepov pri oblačnem vremenu 21.12. ob 12.00 uri.	22
Slika 27:	Primerjava obstoječega stanja in predlogov ukrepov pri oblačnem vremenu 21.12. ob 12.00 uri.	24
Slika 28:	Prikaz svetlosti prostorov z uporabo dvojne (levo) in trojne zasteklitve (desno), pri oblačnem vremenu 21.12. ob 12.00 uri.	27
Slika 29:	Primerjava obstoječega stanja in predlogov ukrepov pri oblačnem vremenu 21.12. ob 12.00 uri.	27
Slika 30:	Primer zunanje svetlobne police (vir slike[23]) in princip delovanja (vir slike [3]).	29
Slika 31:	Primerjava obstoječega stanja in predlogov ukrepov pri oblačnem vremenu 21.12. ob 12.00 uri.	30
Slika 32:	Primerjava obstoječega stanja in predlogov ukrepov pri oblačnem vremenu 21.12. ob 12.00 uri.	34
Slika 33:	Grafični prikaz vrednosti KDS v DP (levo) in v T-KD (desno).	40
Slika 34:	Prikaz cone pododnja (levo) in kleti zahodnega dela stavbe (desno).	43
Slika 35:	Prikaz con v pritličju celotne stavbe.	43
Slika 36:	Prikaz con v nadstropju celotne stavbe.	43
Slika 37:	Prikaz con v mansardi vzhodnega (levo) in zahodnega dela stavbe (desno).	44

Slika 38:	Prikaz neogrevanih con podstrešja.	44
Slika 39:	Prikaz TM na južni fasadi.....	53
Slika 40:	Že zamenjana PVC okna (levo) in vezana okna v osrednjem delu stavbe (desno). ...	54
Slika 41:	Letna Q_{NH} za doseganje notranjih projektnih temperatur na enoto tlorisa pred izvedenimi ukrepi.	70
Slika 42:	Letna Q_{NH} za doseganje notranjih projektnih temperatur na enoto tlorisa po izvedenih ukrepih.	71

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Vhodni podatki za analizo obstoječega stanja osvetljenosti posameznega prostora.	10
Preglednica 2:	Ustreznost minimalnih predpisanih površin oken, glede na tloris prostora (pravilnik [18]).	11
Preglednica 3:	Ustreznost maksimalnega razmerja globine prostora in višine oken, glede na pravilnik [19].	12
Preglednica 4:	Minimalne zahteve glede osvetljenosti, različnih namembnosti prostorov.	12
Preglednica 5:	Vrednosti KDS v SS – obstoječe stanje.	14
Preglednica 6:	Vrednosti KDS v T-KD – obstoječe stanje.	16
Preglednica 7:	Vrednosti KDS v DP – obstoječe stanje.	17
Preglednica 8:	Vrednosti KDS v UP – obstoječe stanje.	19
Preglednica 9:	Vrednosti KDS v UM – obstoječe stanje.	21
Preglednica 10:	Robni pogoji računskih modelov v SS.	22
Preglednica 11:	Vrednosti KDS v SS pri posameznih ukrepih.	23
Preglednica 12:	Robni pogoji računskih modelov v T-KD.	25
Preglednica 13:	Vrednosti KDS po izvedenih ukrepih.	25
Preglednica 14:	Vrednosti KDS po izvedenih ukrepih.	27
Preglednica 15:	Robni pogoji računskih modelov v DP.	28
Preglednica 16:	Vrednosti KDS v DP pri posameznih ukrepih.	28
Preglednica 17:	Robni pogoji računskih modelov v UP.	30
Preglednica 18:	Vrednosti KDS v UP pri posameznih ukrepih.	32
Preglednica 19:	Robni pogoji računskih modelov v UM.	34
Preglednica 20:	Vrednosti KDS v UM pri posameznih ukrepih.	35
Preglednica 21:	Uporabljeni parametri in končni rezultati analize osvetljenosti.	36
Preglednica 22:	Ustreznost glede minimalne predpisane površine oken [18].	37
Preglednica 23:	Ustreznost maksimalnega razmerja globine prostora in višine oken [19].	37
Preglednica 24:	Vremenski podatki za obravnavano lokacijo.	42
Preglednica 25:	Temperaturni režimi v prostorih z različno namembnostjo, določene za posamezna podobdobja.	42
Preglednica 26:	Karakteristike posameznih con.	44
Preglednica 27:	Povprečna trajanja posameznih podobdobj celotne stavbe.	46
Preglednica 28:	Povprečne notranje temperature posameznih ogrevanih con, v različnih podobdobjih.	46
Preglednica 29:	Delež notranjih dobitkov v stanovanju.	46
Preglednica 30:	Delež notranjih dobitkov v pisarni in trgovini.	47
Preglednica 31:	Delež notranjih dobitkov v šoli.	47
Preglednica 32:	Delež notranjih dobitkov v telovadnici.	47
Preglednica 33:	Trenutne vrednosti urnih izmenjav zraka v posamezni coni.	47
Preglednica 34:	Mejne U vrednosti za različne mejne površine obravnavanih con.	48
Preglednica 35:	Tla na terenu: vzhodni del stavbe.	49
Preglednica 36:	Tla na terenu: zahodni del stavbe.	49
Preglednica 37:	Tla na terenu: osrednji del stavbe.	49
Preglednica 38:	Zunanja stena – vzhodni, osrednji in zahodni del stavbe.	50
Preglednica 39:	Zunanja stena neogrevanega prostora – klet zahodnega dela stavbe.	50
Preglednica 40:	Tla nad neogrevano kletjo – zahodni del stavbe.	50

Preglednica 41:	Povprečne vrednosti karakteristik vzporednih plasti KS-ja streha.	51
Preglednica 42:	Streha nad vzhodnim in zahodnim delom stavbe.	51
Preglednica 43:	Streha nad osrednjim delom stavbe.	52
Preglednica 44:	Poševna, toplotno neizolirana streha – nad celotno stavbo.	52
Preglednica 45:	U vrednosti med posameznimi conami in zunanjim okoljem.	52
Preglednica 46:	Dolžine in vrste TM v posamezni coni stavbe.	53
Preglednica 47:	Karakteristike vgrajenih oken v stavbi.	54
Preglednica 48:	Karakteristike vgrajenih zunanjih vrat v stavbi.	55
Preglednica 49:	Vrednosti parametrov energijske bilance obstoječega stanja.	55
Preglednica 50:	Predlagano stanje KS tla na terenu – vzhodni del stavbe.	58
Preglednica 51:	Predlagano stanje KS tla na terenu – zahodni del stavbe.	58
Preglednica 52:	Predlagano stanje KS tla na terenu – osrednji del stavbe.	58
Preglednica 53:	Predlagano stanje KS zunanja stena – vzhodni, osrednji in zahodni del stavbe.	59
Preglednica 54:	Predlagano stanje KS zunanja stena pod terenom – klet zahodnega dela stavbe.	59
Preglednica 55:	Predlagano stanje KS medetažna konstrukcija nad neogrevano kletjo – zahodni del stavbe.	59
Preglednica 56:	Predlagano stanje KS streha – vzhodni, osrednji in zahodni del stavbe.	60
Preglednica 57:	Sprememba energijske bilance pri posameznih predlogih izboljšav KS-jev.	60
Preglednica 58:	Rezultati energijske bilance po izboljšanju KS-jev.	61
Preglednica 59:	Rezultati energijske bilance po izboljšanju TM.	62
Preglednica 60:	Sprememba energijske bilance pri posameznih predlogih izboljšav TM.	63
Preglednica 61:	Karakteristike oken, pridobljene na podlagi analize osvetljenosti prostorov.	64
Preglednica 62:	Rezultati energijske bilance pri uporabi dvojne zasteklitve.	65
Preglednica 63:	Rezultati energijske bilance pri uporabi trojne zasteklitve.	65
Preglednica 64:	Rezultati energijske bilance po zamenjavi oken.	66
Preglednica 65:	Rezultati energijske bilance po vgradnji NI.	67
Preglednica 66:	Rezultati energijske bilance po vgradnji NI, po menjavi oken.	67
Preglednica 67:	Urne izmenjave zraka po izvedenih ukrepih.	67
Preglednica 68:	Rezultati energijske bilance po znižanju urnih izmenjav zraka.	68
Preglednica 69:	Rezultati sinteze vseh predlaganih ukrepov za izboljšanje energijske bilance.	68
Preglednica 70:	Primerjava vrednosti KDS pri debelini zidu pri brez in z TI.	72

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1:	Sprememba vrednosti KDS glede na višino delovne ravnine.	14
Grafikon 2:	Prikaz vrednosti KDS po višini T-KD.	15
Grafikon 3:	Primerjava poteka KDS z globino prostora v DP in v raziskavi [9].	17
Grafikon 4:	Vrednosti KDS na posameznih delovnih ravlinah v UP.	18
Grafikon 5:	Vrednosti KDS na posameznih šolskih mizah v UP.	19
Grafikon 6:	Vrednosti KDS na posameznih šolskih mizah v UM.	21
Grafikon 7:	Vpliv pozicije okna na vrednosti KDS merjene prečno na zahodno steno.	23
Grafikon 8:	Sprememba KDS pov v odvisnosti od manjšanja površine oken, na določeni višini stene.	26
Grafikon 9:	Potek vrednosti KDS po prostoru v obstoječem stanju in po izvedenem Ukrepu 4... ..	29
Grafikon 10:	Vrednosti enakomernosti osvetljenosti na delovni ravlini, pri različnih umestitvah ZSP.	31
Grafikon 11:	Prikaz spremembe vrednosti KDS na delovni ravlini, pri različnih umestitvah ZSP.	31
Grafikon 12:	Primerjava vrednosti KDS na posameznih šolskih mizah brez in z uporabo ZSP.	32
Grafikon 13:	Primerjava vrednosti KDS obstoječega stanja in Ukrepa 7, na posameznih šolskih mizah.	33
Grafikon 14:	Potek krivulje vrednosti KDS na posameznih šolskih mizah, glede na obliko in razporeditev oken.	35
Grafikon 15:	Primerjava vrednosti KDS obstoječega stanja in Ukrepa 4 na posameznih šolskih mizah.	36
Grafikon 16:	Primerjava deleža oken, glede na tloris prostorov med obstoječim stanjem in po ukrepih.	38
Grafikon 17:	Povečanje oken s trojno zasteklitvijo glede na dvojno, za ekvivalenten nivo osvetljenosti prostora.	39
Grafikon 18:	Primerjava vrednosti KDS posameznih delovnih ravnin po izvedenih ukrepih v UP in UM.	39
Grafikon 19:	Bilanca energijskih dejavnikov stavbe v obstoječem stanju.	56
Grafikon 20:	Sprememba vrednosti, z debelino EPS 70.	57
Grafikon 21:	Vpliv posameznega ukrepa, izražen z odstotki.	61
Grafikon 22:	Delež posameznega vpliva TM na celotne zmanjšane Q_{tr} po izračunu.	63
Grafikon 23:	Primerjava Q_{NH} pri različnem uporabljenem tipu zasteklitve.	65
Grafikon 24:	Primerjava Q_{NC} pri različnem uporabljenem tipu zasteklitve.	66
Grafikon 25:	Primerjava deleža posameznega ukrepa, pri spremembi končne Q_{NH} po izvedenih ukrepih.	69
Grafikon 26:	Primerjava deleža posameznega ukrepa, pri spremembi končne Q_{NC} po izvedenih ukrepih.	69
Grafikon 27:	Primerjava energijskih dejavnikov obstoječega stanja in končne variante.	70

1 UVOD

V današnjih časih življenjska dinamika slehernega posameznika stremi k hitrosti in učinkovitosti. Takšen način življenja nas je dobesedno prisilil, da zdravje in ugodje postavimo na stranski tir. Vpliv takšnega življenjskega sloga se kaže tudi pri načrtovanju stavb, kjer marsikdo, na račun manjše porabe energentov za delovanje stavbe, postavi notranje ugodje bivalnega ali delovnega prostora na stranski tir.

Diplomska naloga prikazuje podrobno analizo osvetljenosti in energijske bilance delovnih in bivalnih prostorov v večnamenski javni stavbi. Za izbrane kritične prostore glede osvetljenosti, so predlagani ukrepi, ki bi se kar najbolj približali priporočenim nivojem osvetljenosti v prostoru. Na podlagi izračuna trenutne energijske bilance stavbe, so predlagani ukrepi za izboljšanje. V analizi so upoštevani nekateri medsebojni vplivi obeh področij obravnave. Rezultati obeh analiz bodo pokazali, v kakšni povezavi je primeren nivo osvetljenosti prostorov, z učinkovito energijsko bilanco stavbe.

Količina dnevne osvetljenosti v notranjih prostorih je pomemben dejavnik, ki vpliva na počutje posameznika. Dnevna svetloba pospešuje proizvodnjo vitamina D, katerega pomanjkanje lahko povzroči nepravilno delovanje ledvic, pospešuje nastanek kostnih in srčnih bolezni, zadostna količina dnevne svetlobe pa zmanjšuje tudi stres in pozitivno vpliva na počutje posameznika [3]. Ugotovitve analize osvetljenosti horizontalne in vertikalne ravnine, narejene na Fakulteti za Gradbeništvo in Geodezijo (FGG), na Katedri za Stavbe in Konstrukcijske Elemente (KSKE) kažejo, da se razmerje osvetljenosti vertikalne ravnine, s pogledom proti oknu in horizontalne delovne ravnine spreminja z globino prostora [4]. Izkazalo se je, da se razmerje med vertikalno in horizontalno ravnino v neposredni bližini oken približa vrednosti 1 in v globini vrednosti 2. Tako je najbolj ugodna pozicija ob oknu, kjer so vrednosti osvetljenosti vertikalne in horizontalne ravnine približno izenačene. Na podlagi teh ugotovitev bom okna dimenzioniral tako, da bodo razlike med osvetljenostjo horizontalne ravnine v neposredni bližini oken in v globini kar najmanjše, kar bo vplivalo na ugodnejše razmerje med obema ravninama. Trenutna ocena osvetljenosti obravnavanih prostorov, ki sem si jo ustvaril pri merjenju dimenzij in določanju lastnosti prostorov, bi po lastnem občutku bila, da osvetljenost prostorov ne dosega priporočenega nivoja osvetljenosti.

Mikroklima notranjih prostorov v stavbi je v določeni meri odvisna tudi od pravilnega delovanja stavbnega ovoja. Pri stavbah, kjer na zunanjem ovoju stavbe toplotna izolacija ni vgrajena, se poleg visoke toplotne prehodnosti ovoja, lahko pojavljajo tudi dejavniki, ki imajo posreden vpliv na kvaliteto notranjega zraka (IAQ). Takšne pogoje definira Building Related Illness (BRI). Pokazatelji takšnega notranjega okolja so predvsem neugodno počutje uporabnika, kar se kaže v bolečinah v prsih, prehladih, kašlju in še v nekaterih drugih simptomih, za katere nastanek je mogoče ugotoviti vzrok [5]. S pravilno zasnovo stavbnega ovoja se poleg učinkovitejše energijske bilance lahko bistveno izboljša tudi kvaliteto notranjega zraka.

Pri energijski bilanci bo najverjetneje največja razlika po izvedeni toplotni izolaciji fasade. Ker je velik delež oken v stavbnem ovoju že nadomeščen z energijsko učinkovito zasteklitvijo, pri menjavi oken ne pričakujem velikih sprememb glede energijske bilance stavbe. Glede na makrolokacijo stavbe predvidevam, da bo potreba po energiji za ogrevanje večja kot za hlajenje.

Pričakujem, da se bo po izvedeni toplotni izolaciji fasade, zaradi povečane debeline zidov nekoliko zmanjšala dnevna osvetljenost notranjih prostorov. Verjetno bo potrebno za boljšo osvetljenost prostorov povečati površine oken, kar bo vplivalo tudi na energijsko bilanco stavbe.

Zaradi starosti stavbe nisem uspel pridobiti načrtov, kljub poizvedbi v Zgodovinskem arhivu Ljubljana (ZAL). Zato sem stavbo premeril z laserskim merilnikom, načrte pa izrisal v programu AutoCad [6]. Za izračun sem uporabil različna programska orodja, s pomočjo katerih sem pridobil rezultate, ki sem jih uporabil pri analizi obstoječega in končnega stanja po izvedenih ukrepih. Pri določanju osvetljenosti prostorov sem uporabil program Velux Daylight Visualizer 2 [7], ki omogoča izračun svetlosti, osvetljenosti in količnika dnevne svetlobe (KDS) v analiziranem prostoru. V analizi sem preverjal le KDS. Lastnosti stavbnega ovoja sem preverjal v programu TEDI [8], ki omogoča izračun

toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare skozi večplastne konstrukcijske sklope (KS). Energijsko bilanco sem preverjal s programom TOST [9].

Smernica celotne diplomske naloge je načrtovanje udobnega in zdravega okolja, z najnižjo možno porabljeno energijo, ki ne sme biti dosežena na račun fiziološkega minimuma [10]. Po podobnem principu je Pajek, L.[11] analiziral karakterističen prostor, s čigar ugotovitvami bom skušal poiskati vzporednice, ki veljajo za obravnavano stavbo.

2 Opis stavbe

Obravnavana stavba je v lasti Občine Vodice in je namenjena osrednjim dejavnostim za prebivalce naselja Utik. Nahaja se v katastrski občini Bukovica (1743), na zemljišču s parcelno številko 1288/3, ob vznožju Bukovškega hriba. Iz **slike 1** je razvidna orientacija stavbe in lega okoliških stavb, ki so precej oddaljene, zato predpostavljam, da je obravnavana stavba osončena skozi cel dan.



Slika 1: Orto – foto izsek lokacije objekta (vir slike [12]).

Tlorisna zazidana površina stavbe znaša 573 m^2 , neto uporabna površina stavbe znaša 1.096 m^2 , od tega je ogrevane površine 930 m^2 . Bruto prostornina stavbe znaša 5.279 m^3 , od tega je 4.131 m^3 ogrevane prostornine. Preostalih 1.148 m^3 prostornine predstavlja neogrevane prostore. Kot je razvidno iz **slike 1**, je stavba sestavljena iz treh, medsebojno neodvisnih delov, ki se med seboj razlikujejo po namenski rabi. Poimenovanja in opisi posameznih delov stavbe so opisani v nadaljevanju.

Zaradi oblike (**slika 2**) kot tudi različne rabe posameznih delov stavbe sem jo, glede na orientacijo in položaj na parceli, razdelil na tri dele, na zahodni, osrednji in vzhodni del.



Slika 2: Južna fasada obravnavane stavbe.

Zahodni del

Zahodni del je sestavljen iz kleti, pritličja, nadstropja in mansarde. Klet se uporablja za skladiščenje, v pritličju je trgovina, v nadstropju je stanovanje in sejna soba, ki jo uporablja Javno Podjetje Komunala Vodice d.o.o. (JPKV). V mansardi je sedež JPKV. Zunanje stene so toplotno neizolirane, zgrajene so iz polne opeke in ometane z obeh strani. Kletna plošča leži na gramoznem nasutju in je iz nearmiranega betona, ki je obenem tudi finalna plast. Pritlična medetažna plošča je armiranobetonska, ki je s spodnje strani grobo ometana, na pohodni strani pa so položene keramične ploščice. Medetažna konstrukcija v nadstropju je klasične lesene izvedbe, z vmesnim peščenim polnilom. Posebnost je plošča v mansardi, kjer so pred ureditvijo prostorov čez lesen strop izvedli betonsko ploščo, na slednjo pa izdelali tla s plavajočim estrihom. Streha je štirikapnica z lesnim ostrešjem, med legami pa je vgrajena steklena volna.

Tlorisne dimenzije zahodnega dela stavbe so 10,6 x 13,85 m, pozidana površina znaša 146,8 m². Neto uporabna površina celotnega dela je 461,4 m², bruto volumen celotnega dela stavbe brez podstrešja pa 1.628 m³. Kota terena je v povprečju 90 cm pod ravnino plošče v pritličju, maksimalna višina stavbe pa je 11,5 metra nad nivojem terena. Neto tlorisna površina zahodnega dela stavbe predstavlja 42 % celotne stavbe, bruto prostornina pa 35 %.

Osrednji del

V južnem delu je telovadnica, ki je obenem tudi kulturna dvorana. Severni del je namenjen garderobam, toaletnim prostorom in prostorom za hrambo. Streha je dvokapnica, leseno ostrešje ni toplotno izolirano. Podstrešni prostor ni v uporabi. Delno podkleten je le manjši del telovadnice - pod odrom. Oder je lesen, neizoliran in nezatesnjen, s tem je omogočena povečana izmenjava zraka, med obema prostoroma.

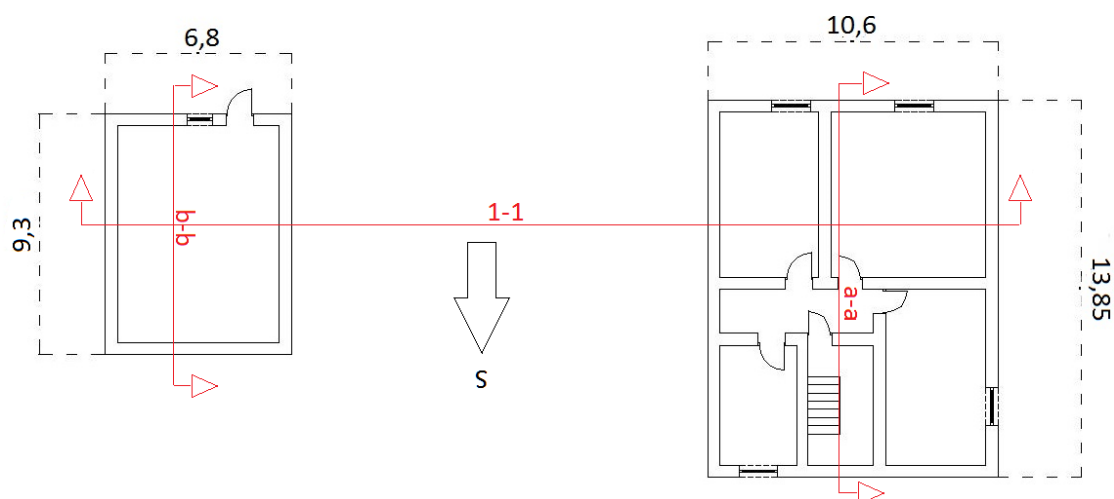
Tlorisne dimenzije osrednjega dela stavbe znašajo 21,6 x 13 metra, pozidane površine je 280,8 m². Bruto volumen celotnega dela stavbe znaša 1.465 m³, neto uporabna površina odra in telovadnice znaša 181,0 m², del kjer so garderobe pa 55,9 m². Delno podkleten prostor je dimenzij 6,35 x 8,4 metra. Nivo finalne obdelave je cca 70 cm nad nivojem terena. Višina dela stavbe je 10 metrov nad nivojem terena. Neto tlorisna površina osrednjega dela stavbe predstavlja 21 %, bruto prostornina pa 32 % deleža celotne stavbe.

Vzhodni del

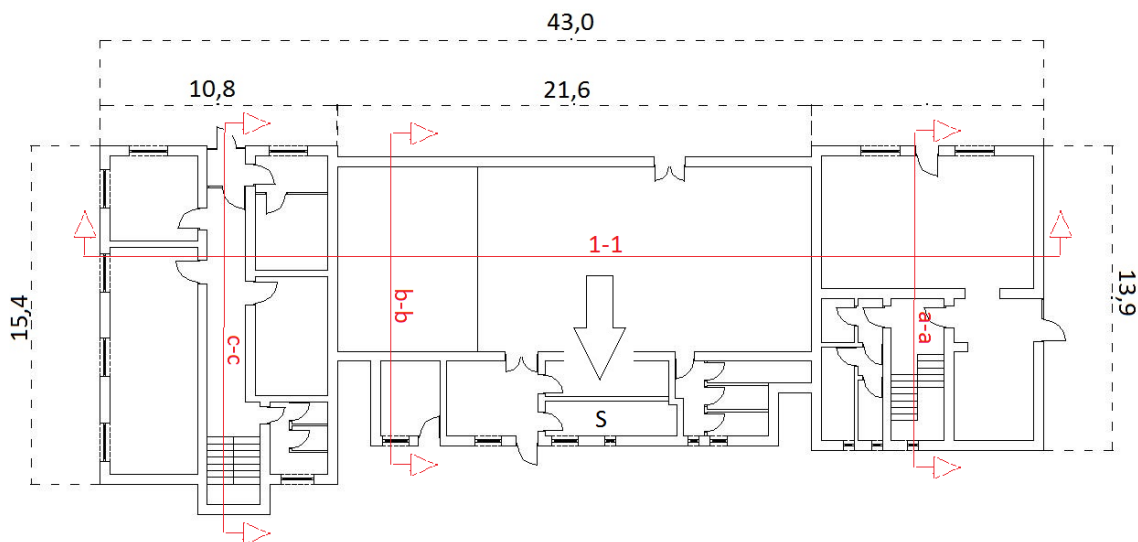
Vzhodni del se od zahodnega po konstrukcijski zasnovi skoraj ne razlikuje, le da ni podkleten. Ta del stavbe je namenjen izključno izobraževanju, za predšolske otroke in otroke do tretjega razreda osnovne šole.

Tlorisne dimenzije zahodnega dela stavbe so 10,8 x 15,4 m, pozidana površina znaša 166,3 m². Neto uporabna površina celotnega dela 398,7 m², bruto volumen celotnega dela stavbe brez podstrešja pa 1.540 m³. Kota terena je v povprečju 70 cm pod vrhom plošče v pritličju, višina stavbe pa je 11 metrov nad nivojem terena. Neto tlorisna površina vzhodnega dela stavbe predstavlja 37 %, bruto prostornina pa 33 % deleža celotne stavbe.

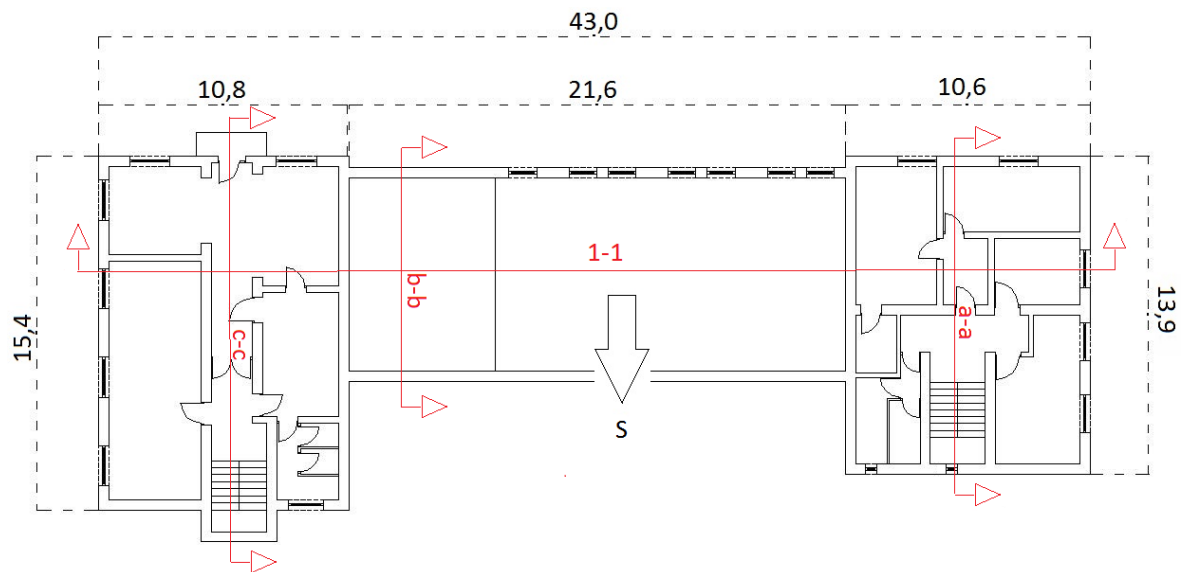
Ostale dimenzije so razvidne iz tlorisov in prerezov (*slike 3 -13*), konstrukcijski sklopi so podrobneje opisani v **razdelku 4.1.1**.



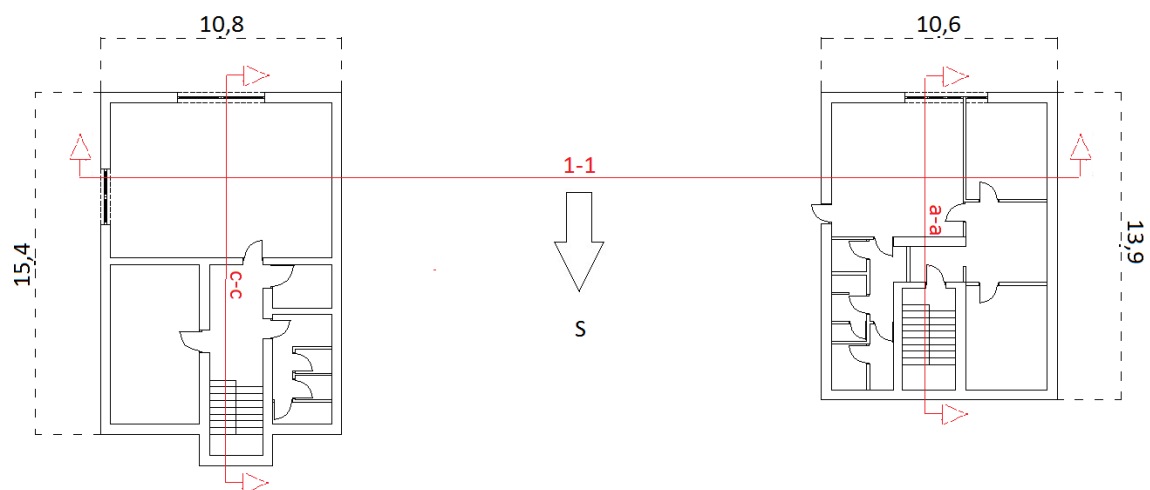
Slika 3: Tloris delno podkletenega pododnja (levo) in tloris kleti zahodnega dela stavbe (desno).



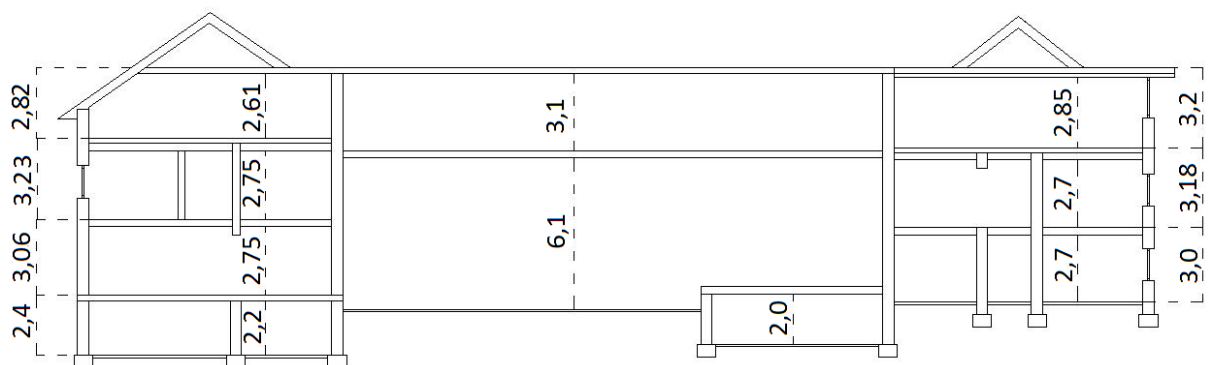
Slika 4: Tloris pritličja posameznih delov stavbe.



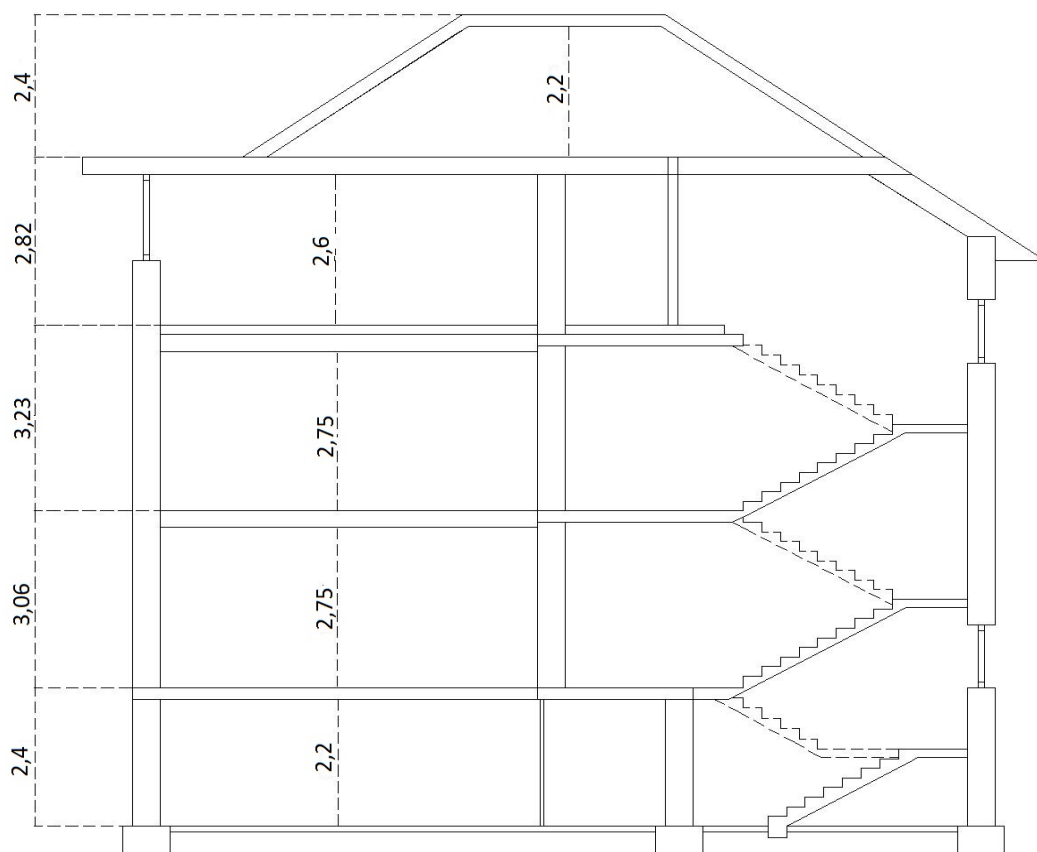
Slika 5: Tloris nadstropja posameznih delov stavbe.



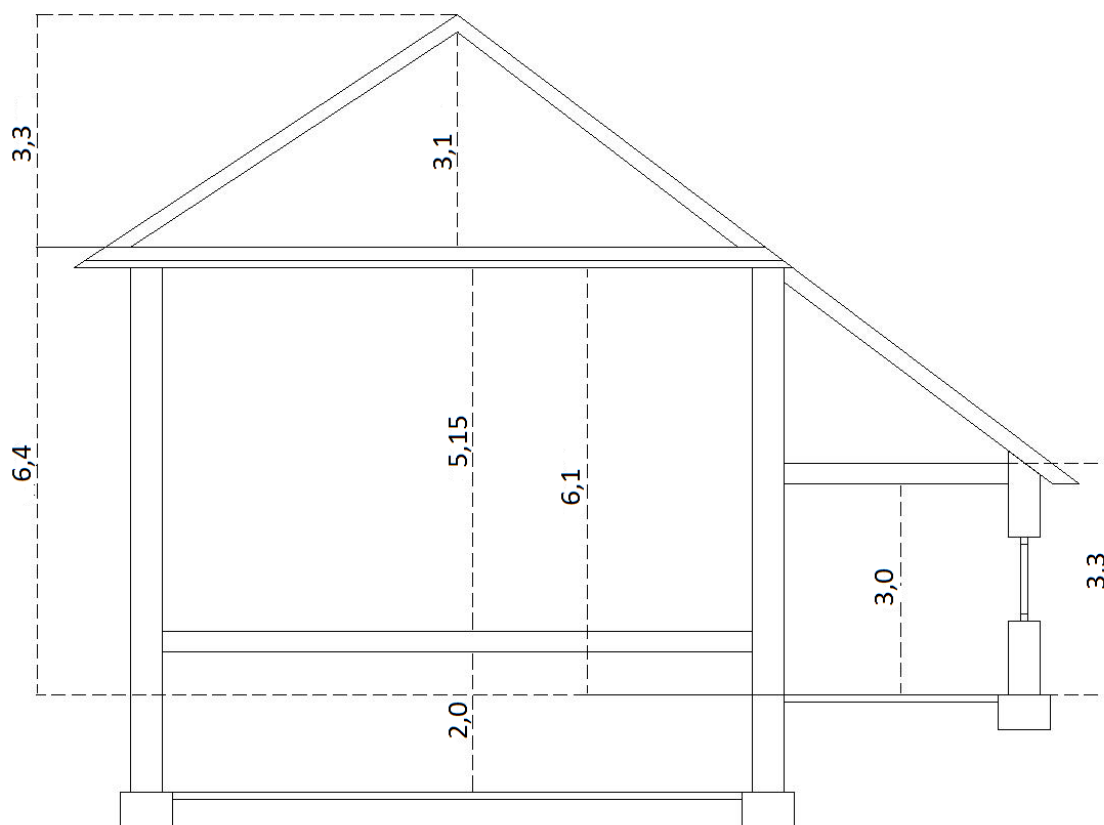
Slika 6: Tloris mansarde vzhodnega (levo) in zahodnega dela stavbe (desno).



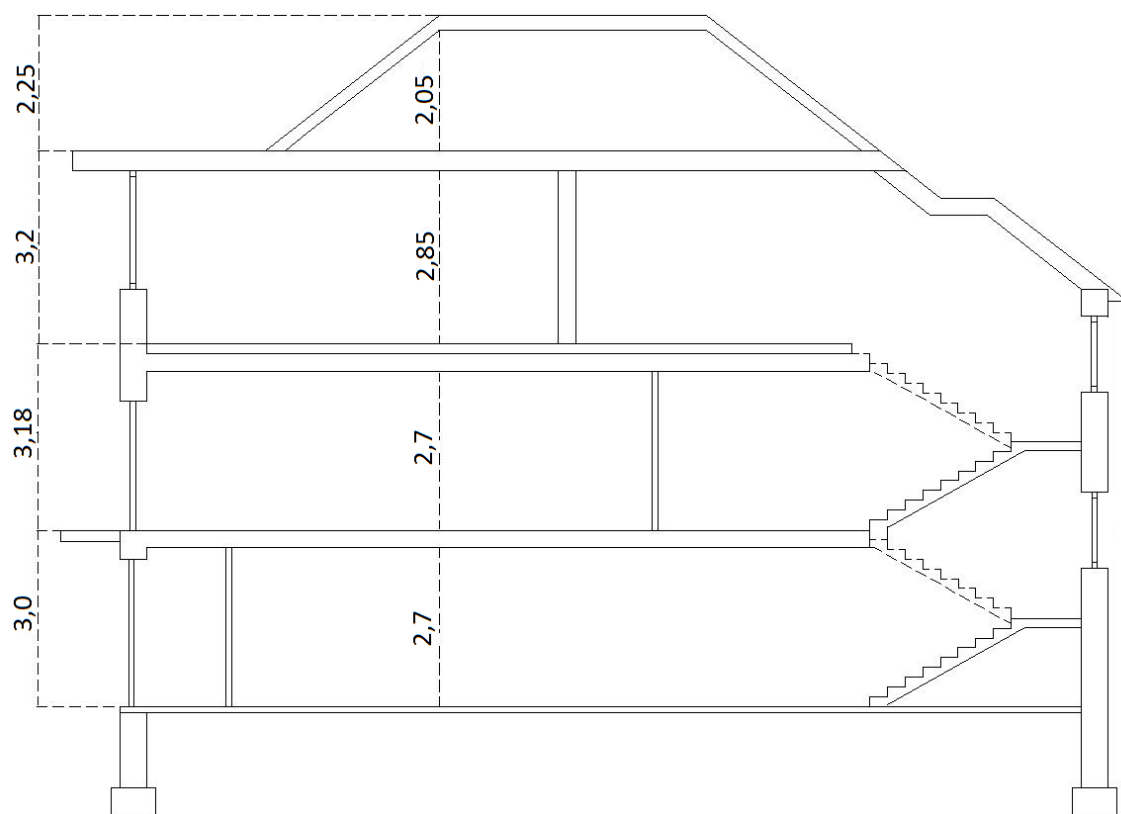
Slika 7: Vzdolžni prerez stavbe (1-1).



Slika 8: Prečni prerez zahodnega dela stavbe (a-a).



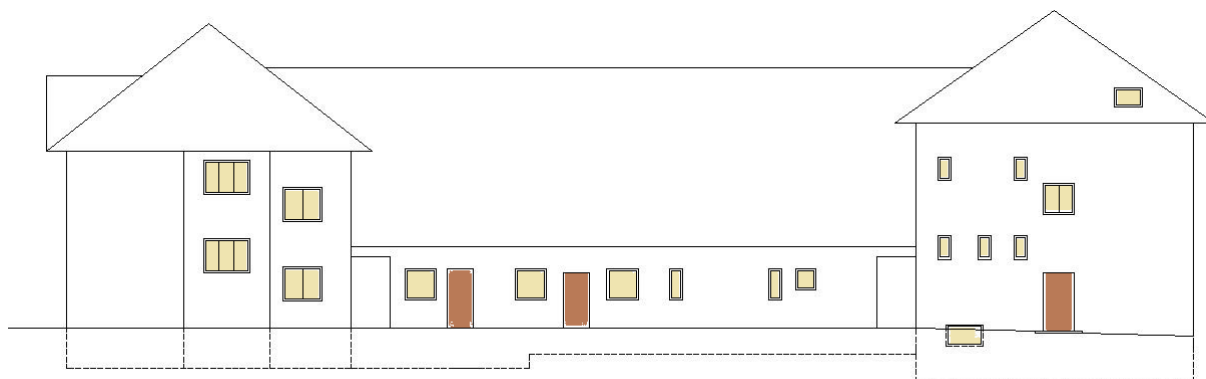
Slika 9: Prečni prerez osrednjega dela stavbe (b-b).



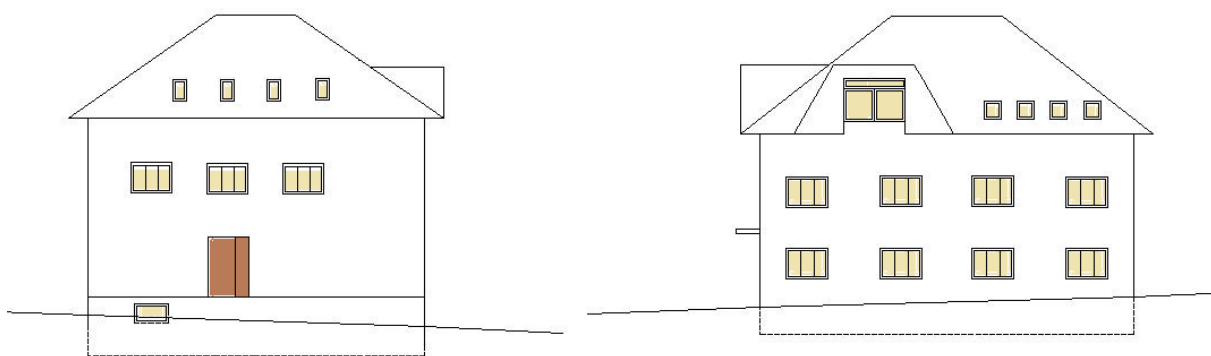
Slika 10: Prečni prerez vzhodnega dela stavbe (c-c).



Slika 11: Južna fasada.



Slika 12: Severna fasada.



Slika 13: Vzhodna (levo) in zahodna fasada (desno).

3 Analiza osvetljenosti izbranih kritičnih prostorov

Pri analizi osvetljenosti prostorov sem preverjal osvetljenost na konkretnih delovnih ravlinah in se skušal kar najbolj približati priporočenim mejnim vrednostim. Lastnosti oken sem spreminjal tako, da so dimenzije in pozicije izkazovale tem bolj optimalne vrednosti z vidika minimalne površine oken. Izbral sem si kritične prostore, ki so si med seboj različni po uporabi, dimenzijah in poziciji v stavbi.

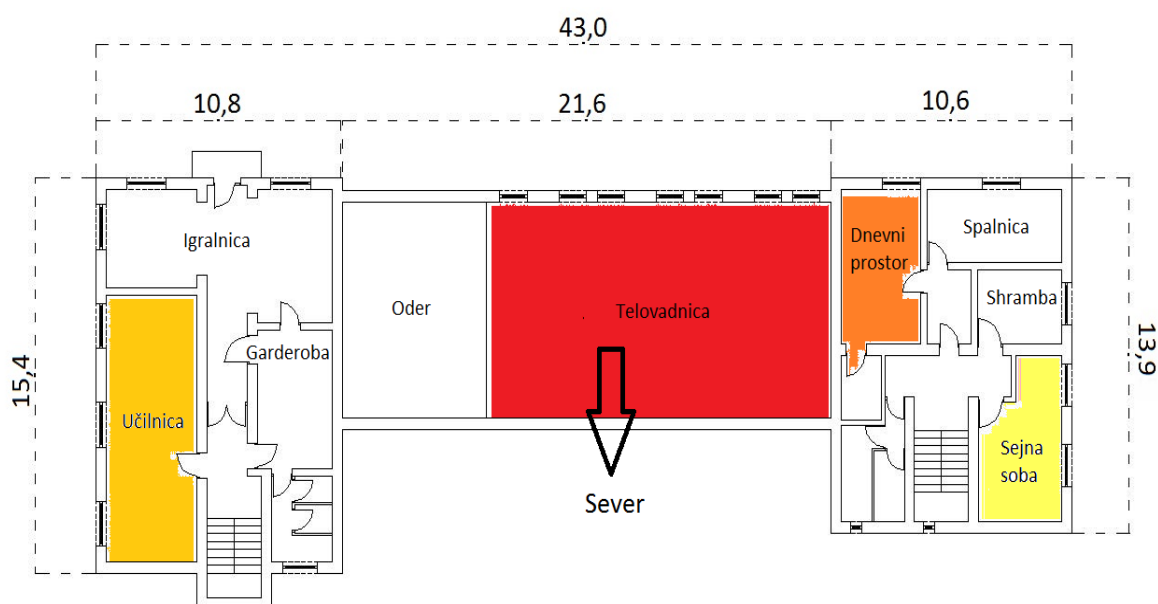
Priporočeno razmerje med globino (D) in višino (H) prostora naj ne bi preseгло faktorja 1,5. V globljih prostorih se pojavijo večji kontrasti, ki pa so bolj izraziti pri sončnem vremenu, saj je difuzna komponenta svetlobe precej šibkejša kot komponenta direktne sončne svetlobe [3]. Osvetljenost prostorov je potrebno načrtovati pri standardnem CIE oblačnem nebu, saj se tako lažje določa razlike med energijsko učinkovitostjo različnih sistemov umetnega osvetljevanja prostorov [13]. Zato bom skozi celotno analizo nivo osvetljenosti v obravnavanih prostorih, določil s pomočjo vrednosti KDS.

Velux Daylight Visualizer 2 je program, s pomočjo katerega je mogoče določiti osvetljenost v prostoru pri različnih tipih standardnega neba. Program ima vgrajeno bazo različnih tipov okenskih okvirov, s pomočjo katere avtomatsko določi kakšen je delež zasteklitve glede na dimenzije zidarskih okenskih odprtin. Prepustnost deleža sončne svetlobe skozi okenska stekla določimo s faktorjem svetlobne transmisivnosti zasteklitve (LT), ki je odvisen od vrste uporabljene zasteklitve. V programu lahko definiramo tudi refleksijo in barve zunanje okolice.

3.1 Karakteristike obravnavanih prostorov

Kritične prostore sem določil tako, da so zastopane tri orientacije in sicer jug, vzhod in zahod. Prostori, kjer prihaja svetloba v prostor samo s severne strani so povečini stopnišča, garderobe in prostori za hrambo, zato teh prostorov posebej nisem obravnaval. Drug kriterij za izbiro so dimenzije posameznih prostorov. Preveril sem kako vplivajo dimenzije prostora na dnevno osvetljenost in kakšen vpliv ima razmerje med globino prostora in višino oken. Analiziral sem prostore, ki so namenjeni športnim aktivnostim, izobraževanju, bivanju in sestankom.

Izbira obravnavanih prostorov in njihova lega v stavbi je razvidna iz **sluke 14**. Osvetljenost posameznih prostorov sem prikazal z barvno lestvico. Temnejši prostori so označeni z močnejšimi odtenki, svetlejši pa si sledijo po lestvici z nežnejšimi odtenki. Najbolj kritičen prostor je telovadnica - kulturna dvorana (T-KD), kjer je med stekli vgrajen fiksni rolo, ki občutno zmanjša prehod svetlobe v prostor. Dnevni prostor (DP) ima vgrajeno samo eno okno, velika globina prostora pa povzroča velike razlike med osvetljenostjo tik ob oknu in v globini prostora. Sejna soba (SS) ima glede na tlorisno površino večji delež oken kot pritlična učilnica (UP), zato je bolj osvetljena. Mansardna učilnica (UM) ni prikazana na sliki, zaradi vgrajenih strešnih oken pa menim, da je osvetljenost prostora najbolj ugodna, kar je bilo opaziti tudi v prostoru pri izvajanju meritev. Spalnica, shramba, oder in garderoba niso prostori, kjer se tekom dneva opravljajo aktivnosti, ki bi izkazovale potrebo po dnevni svetlobi. Igralnica je za razliko od učilnice osvetljena z dveh strani.



Slika 14: Pregledna situacija izbranih prostorov.

Delovno ravnino, za sejno sobo in dnevni prostor, sem določil na višini 85 cm nad finalno ravnino tal [14]. V telovadnici sem jo določil na višini 30 cm od tal, saj je v tem primeru to delovna ravnina, na primer pri igranju nogometa. V učilnicah sem izmeril višino šolske mize, ki je prilagojena za velikost otrok od 1. – 3. razreda osnovne šole, tako je delovna ravnina na višini 70 cm. V **preglednici 1** so zbrani podatki o posameznih obravnavanih prostorih. Podane so višina (H), globina (D), širina (Š) in površina (A) posameznih prostorov. Dimenzije oken so definirane s širino (b) in višino (v). Podane so višine parapetov (VP) in orientacija (O) oken, ter svetlobna transmisivnost zasteklitve (LT). Za vsak prostor so navedene tudi vrednosti refleksivnosti površin, definirane za tla, strop in stene.

Preglednica 1: Vhodni podatki za analizo obstoječega stanja osvetljenosti posameznega prostora.

Karakteristike		SS	T-KD	DP	UP	UM
Dimenzije prostora	H x D x Š (m)	2,75 x 6,45 x 3,65	6,10 x 15,20 x 8,40	2,75 x 3,50 x 6,05	2,70 x 10,35 x 4,00	2,85 x 7,20 x 4,00
	A (m ²)	23,54	127,68	21,18	41,40	28,80
Lastnosti oken	b x v (m)	1,75 x 1,30	2,00 x 1,20	1,75 x 1,30	1,75 x 1,30	1,20 x 0,75
	VP (m)	0,85	3,10	0,85	0,85	0,85
	LT (%)	0,71	0,24	0,81	0,71	0,71
Refleks.	Orient.	Z	J	J	V	V
	Tla	0,45	0,35	0,35	0,45	0,45
	Stene	0,75	0,75	0,50	0,55	0,55
	Strop	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Faktorje refleksivnosti sem določil na podlagi ogleda prostorov in s pomočjo analogije vrednosti površin navedenih v knjigi *The Measure of Man & Woman* [15], kjer so podane karakteristične vrednosti refleksivnosti notranjih površin. Vrednosti sem v nekaterih primerih nekoliko znižal, saj notranje površine niso povsem enotne, kot bo razvidno iz primerjave prostorov dejanskega stanja in računskega modela v **razdelku 3.4**, s korekcijo pa bodo dobljeni rezultati analiz, natančnejši.

Vrednosti LT v **preglednici 1** sem določil podobno, in sicer s pomočjo ogleda in lastnosti zasteklitve navedene v literaturi, v tem primeru Tehničnem modulu o ovojju stavbe [16] in študije o Načrtovanju

naravne osvetlitve pri energijsko učinkovitih objektih [17]. Slednja navaja vrednost $LT = 0,77$ za dvojno zasteklitev in $LT = 0,68$ za trojno zasteklitev. Če vrednosti pomnožimo še s faktorjem umazanije na steklih $k_e = 0,9$, potem se produkti približajo vrednostim, navedenih v Tehničnem modulu o ovojju stavbe, $LT = 0,71$ za dvojno in $LT = 0,62$ za trojno zasteklitev z nizkoemisijemskim premazom. Obstoječe stanje torej vključuje dve vrsti zasteklitve:

- dvojno zasteklitev, brez nizkoemisijemskega premaza ($LT = 0,81$),
- dvojno zasteklitev z nizkoemisijemskim premazom ($LT = 0,71$).

V analizi predlogov izboljšav sem uporabil:

- dvojno zasteklitev z nizkoemisijemskim premazom ($LT = 0,71$),
- trojno zasteklitev z nizkoemisijemskim premazom ($LT = 0,62$).

LT zasteklitve v T-KD očitno izstopa, saj je med stekli nameščen fiksni rolo, ki občutno zmanjša količino prepuščene dnevne svetlobe v prostoru. Po posvetu z mentorjem sem za prepustnost svetlobe skozi rolo LT privzel vrednost 0,3. Efektivno transmisivnost zasteklitve in roloja sem izračunal po **enačbi 1**:

$$LT = LT_{zas} * LT_{rolo} = 0,81 * 0,3 = 0,243 \quad (1)$$

Pozicija zasteklitve je v obstoječem stanju na sredini zunanje stene. Tudi pri iskanju rešitev za izboljšanje osvetljenosti, bom skozi celotno analizo zasteklitev umestil na sredino stene.

3.2 Zakonodaja in priporočeni minimalni nivoji osvetljenosti prostorov

Za hitro oceno zadostne površine transparentnih površin (velikost zidarskih odprtin) v stanovanjskih stavbah je v 2. odstavku 14. člena Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [18], navedena sledeča metoda: »Neposredna osvetlitev je dosežena, če skupna površina obdelanih zidarskih odprtin (pri tem se upošteva samo tisti del odprtine, ki je več kakor 0,50 metra nad gotovim podom), namenjenih osvetlitvi, dosega najmanj 20 odstotkov neto tlorisne površine teh delov stanovanja.«

Prav tako je v 49. členu Pravilnika o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrtca [19] navedeno enako določilo, poleg pa navaja še zahtevo, glede razmerja globine prostora in višine okna: »Globina prostora naj ne bo večja od dveh in pol višin od tal do zgornjega roba okna ali pa mora biti prostor osvetljen z dveh strani.«

Iz zadnje zahteve gre sklepati, da je za zadostno osvetljenost v globini prostora pomembna višina oken. Na podlagi predpisanih zahtev sem preveril dejansko stanje v obravnavanih prostorih. Ne glede na to, da določili ne veljata za vse obravnavane prostore bom s pomočjo obeh, preveril vse prostore.

Preglednica 2: Ustreznost minimalnih predpisanih površin oken, glede na tloris prostora (pravilnik [18]).

	Prostor	Transparentne površine		Odstopanje (%)	Ustreznost
Prostor	Tloris (m ²)	Adejanska (m ²)	Azahtevana (m ²)		
SS	20,57	4,55	4,11	10,60	DA
T-KD	127,68	16,80	25,54	-34,21	NE
DP	21,18	2,28	4,24	-46,28	NE
UP	41,40	6,83	8,28	-17,57	NE
UM	28,80	3,60	5,76	-37,50	NE

Iz **preglednice 2** je razvidno, da je le v primeru SS ustrezen delež zidarskih odprtin, najbolj problematičen pa je DP, kjer bi bilo potrebno za doseganje predpisanih vrednosti v pravilniku [18], okna povečati za 46%.

Preglednica 3: Ustreznost maksimalnega razmerja globine prostora in višine oken, glede na pravilnik [19].

Prostor	Globina prostora - D (m)	Višina okna - H (m)	Razmerje D/H (-)	Predpisana Vrednost (-)	Ustreznost
SS	3,65	1,30	2,81	2,50	NE
T-KD	8,40	2,00	4,20	2,50	NE
DP	6,05	1,30	4,65	2,50	NE
UP	4	1,30	3,08	2,50	NE
UM	/	/	/	/	/

Iz vrednosti v **preglednici 3** je razvidno, da so višine oken v vseh obravnavanih prostorih neustrezne, ponovno izstopa DP, kjer razmerje med višino okna in globino prostora (D/H) močno presega predpisano maksimalno vrednost 2,5. Zaradi strešnih oken, v UM tega določila nisem preverjal. Na podlagi vrednosti iz **preglednice 2** in **3** pričakujem, da DP ne bo izpolnjeval določil minimalnega priporočenega nivoja osvetljenosti, saj je oblika prostora izjemno neugodna. Dodatnega osvetljevanja z dveh strani pa v tem primeru ni mogoče izvesti, saj ima prostor le eno zunanjo steno.

Za SS so v Pravilniku o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnem mestu [20], glede naravne razsvetljave v 29. členu navedene še nekatere dodatne zahteve:

- velikost površin za osvetljevanje delovnih mest z naravno svetlobo v posameznem delovnem prostoru mora znašati najmanj 1/8 talne površine prostora,
- prozorna površina posameznega okna mora, v odvisnosti od globine prostora, znašati najmanj 1 m² pri globini prostora do 4 m,
- višina in širina okna morata znašati najmanj 1 m,
- višina spodnjega roba okna, oziroma parapet ne sme biti višji od 1,5 m.

Izhodiščno stanje v sejni sobi že izpolnjuje vse omenjene zahteve, zato bom v analizi predlogov ukrepov pozoren, da ukrepi ne bodo v nasprotju s pravilnikom.

Priporočene predpisane vrednosti posameznih faktorjev dnevne osvetljenosti [21] so zbrane v **preglednici 4**. Razvidno je, da mora za povprečno osvetljenost 400 lx, vrednost KDS dosegati 5%, za 300 lx pa 3%, ob predpostavki zunanje neovirane horizontalne osvetljenosti 10000 lx.

Preglednica 4: Minimalne zahteve glede osvetljenosti, različnih namembnosti prostorov.

Prostor	Epov (lx)	KDSpov (%)	Epov/Emin	KDSpov/KDSmin	KDSmin (%)
Stanovanjski	300	3	3	3	1
Poslovni	400	5	2	3	2,5
Šolski	400	5	2	3	/

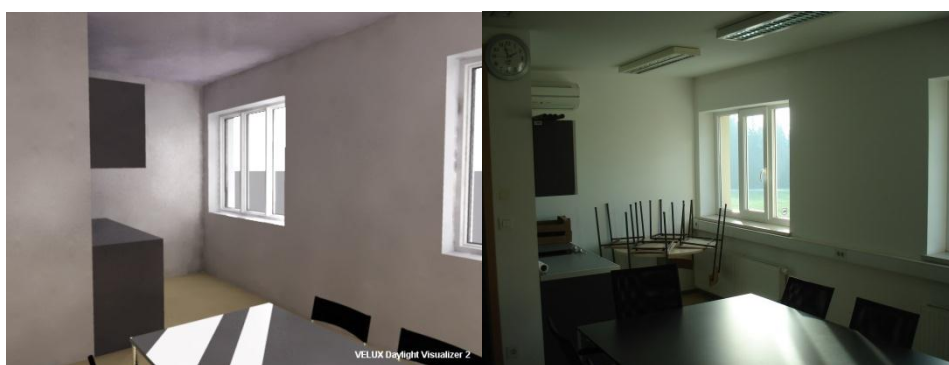
Za učilnice in sejno sobo sem določil zgornji nivo minimalne priporočene osvetljenosti (KDSpov = 5%, KDSmin = 2,5 % in KDSpov/KDSmin = 3) in za stanovanjski nižji nivo (KDSpov = 3% KDSmin 1 % in KDSpov/KDSmin = 3). Jurak v Analizi šolskega športnega prostora s smernicami za nadaljnje investicije [22], navaja priporočeno vrednost 400 lx. Ker je telovadnica (kulturna dvorana) večnamenski prostor, bom s predlaganimi ukrepi zadostil obema nivojema osvetljenosti.

3.3 Rezultati izračunov obstoječega stanja osvetljenosti prostorov

Pri podajanju geometrije za izračun sem izbrane prostore skušal kar najbolj približati dejanski situaciji, vendar sem del notranje opreme, ki minimalno vpliva na izračun osvetljenosti prostorov pri izračunih zanemarljivo. Pri analizi sem uporabil metodo, ki pri izračunu uporablja standardno CIE oblačno nebo [13]. Ker sem fotografije prostorov posnel 15. 12. 2013 pri sončnem vremenu, sem za primerjavo začetnega računskega modela in dejanskega stanja v prostoru, svetlost simuliral na karakterističen dan 21. 12., ravno tako pri jasnem nebu. Zaradi majhne terminske razlike ne pričakujem velikih odstopanj.

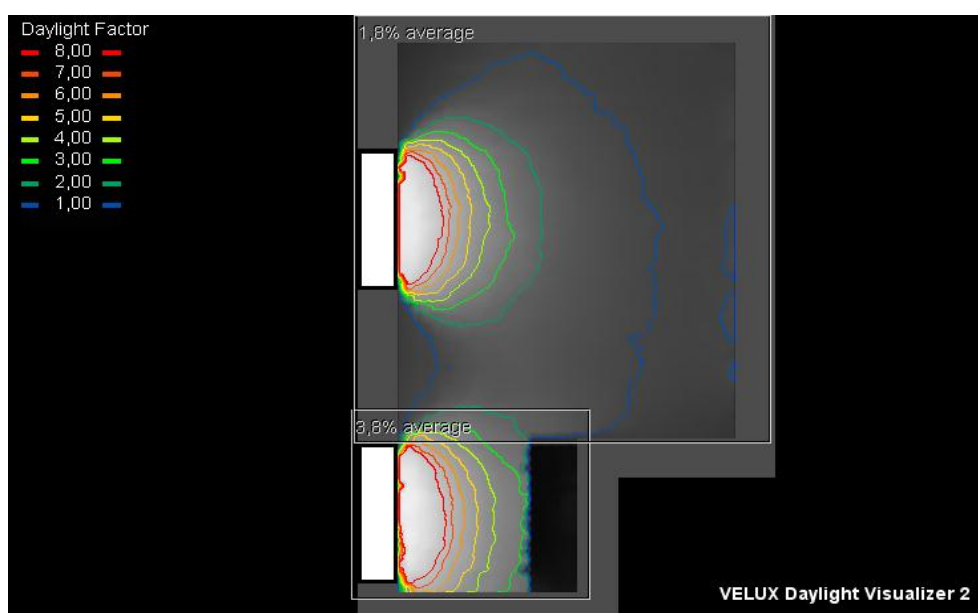
3.3.1 Trenutni pogoji osvetljenosti v SS

SS je edini izmed obravnavanih prostorov, kjer površina zidarskih odprtin ustreza minimalnim zahtevam pravilnika [18]. Iz **slike 15** je razvidna primerjava svetlosti med računskim modelom in dejanske situacije v prostoru.



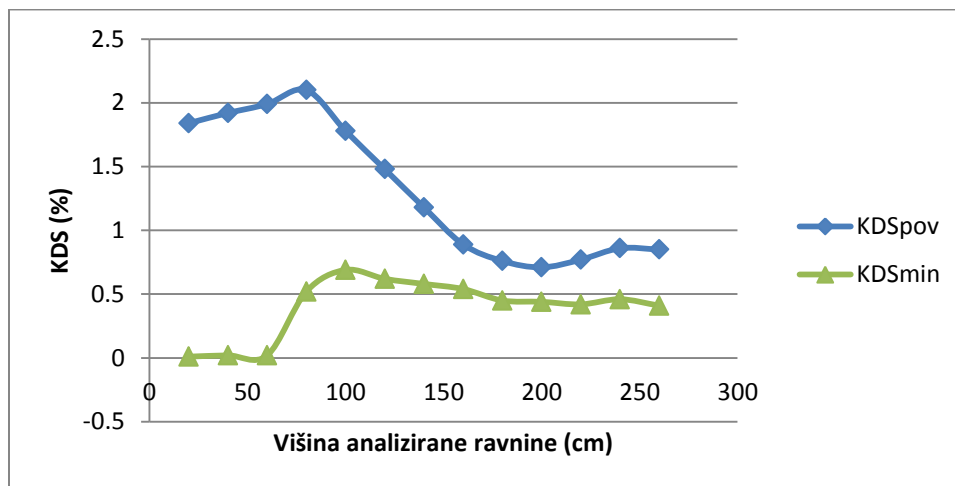
Slika 15: Primerjava med računskim modelom (levo) in dejanskim stanjem (desno) v SS.

Iz poteka vrednosti KDS po prostoru, na delovni ravni 85 cm nad tlemi (**slika 16**) je opaziti, da je neenakomerna umestitev oken v prostoru problematična, saj eno okno osvetljuje pretežno le četrtnino prostora, drugo okno pa kar tri četrtine celotne površine. Primerjava vrednosti KDS po posameznih delov prostora prikazuje, da je manjši del, od pretežnega dela prostora povprečno bolj osvetljen za 2 odstotni točki. Kljub vsemu pa razlika v osvetljenosti obeh delov prostora ni le posledica razporeditve oken ampak tudi različne globine delov prostora.



Slika 16: Prikaz trenutne pozicije okenskih odprtin v zunanji steni in vrednosti KDS po prostoru.

Poleg horizontalne razporeditve oken sem preveril, kako obstoječa višina parapeta oken vpliva na KDS. To sem naredil s pomočjo izvedbe izračuna vrednosti KDS na različnih delovnih ravninah od višine 10 – 260 cm. Iz **grafikona 1** je razvidno, da je obstoječa vertikalna pozicija oken ugodna, saj je vrednost KDS_{pov} na dejanski delovni ravni (80 cm) največji, KDS_{min} pa doseže največjo vrednost pri nekoliko višji delovni ravni (100 cm). Najbolj ugodni pogoji osvetljenosti so med obema parametroma, na delovni ravni 90 cm, takšen pa je tudi odraz dejanskega stanja.



Grafikon 1: Sprememba vrednosti KDS glede na višino delovne ravnine.

Obstoječe stanje ne zadovoljuje minimalnih priporočenih vrednosti glede vrednosti KDS_{pov} in KDS_{min}, kar je razvidno iz **preglednice 5**. KDS_{pov} je potrebno izboljšati za 138 %, KDS_{min} pa za 381 %. Razlika v vrednostih KDS kaže, da je v obstoječem stanju prostor precej neenakomerno osvetljen. Ukrepi, ki bodo posamezne vrednosti izboljšali, bodo usmerjeni tudi v boljše razmerje med osvetljenostjo posameznih delov analizirane (delovne) ravnine.

Preglednica 5: Vrednosti KDS v SS – obstoječe stanje.

Osvetljenost	KDS _{pov} (%)	KDS _{min} (%)	KDS _{pov} /KDS _{min}
Obstoječe stanje	2,1	0,52	4,04
Zahtevane vrednosti	5	2,5	3
Ustreznost	NE	NE	NE

3.3.2 Trenutni pogoji osvetljenosti v T-KD

Problemotiko osvetljenosti telovadnice sem omenil že v **razdelku 3.2**, fiksni rolo namreč znatno prispeva k slabi osvetljenosti prostora.



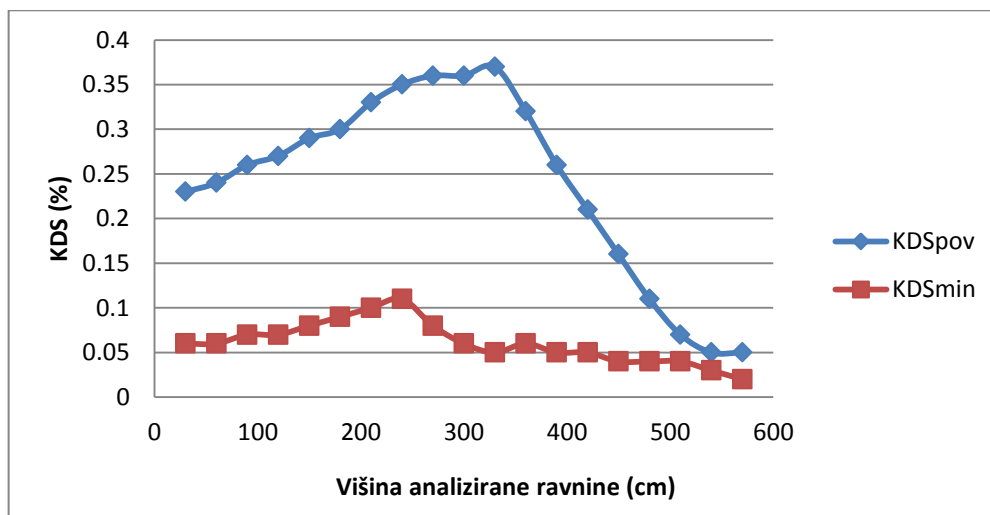
Slika 17: Primerjava računskega modela (levo) in dejanskega stanja (desno) v T-KD.

Najverjetneje so fiksne roloje (**slika 18**) vgradili z namenom, da bi preprečili bleščanje pri sončnem vremenu, vendar so sočasno še dodatno znižali nivo osvetljenosti telovadnice. Bolj smiselna bi bila vgradnja avtomatiziranih zunanjih senčil, s čimer bi bila osvetljenost še vedno zadovoljiva, hkrati bi se tudi zmanjšalo bleščanje.



Slika 18: Fiksni rolo, ki preprečuje prehod dnevne svetlobe v prostor.

Vpliv zaščitne mreže sem pri analizi zanemaril, saj na samo osvetljenost prostora ne vpliva v večji meri, nasprotno pa okenski okvir z delitvami vpliva bistveno, zaradi katerega je povečan tudi faktor okvira (F_f). Podobno kot v prejšnjem primeru sem tudi tokrat preveril pozicijo najbolj osvetljene delovne ravnine, glede na pozicijo oken v obstoječem stanju. Iz **grafikona 2** je razvidno, da je najbolj osvetljena horizontalna delovna ravnina na višini 2,5 – 3 m od tal.



Grafikon 2: Prikaz vrednosti KDS po višini T-KD.

Kot je razvidno iz **preglednice 6**, minimalne priporočene vrednosti osvetljenosti prostora, tudi v tem primeru niso izpolnjene. KDS_{pov} je 2,77 odstotne točke nižji od priporočene vrednosti, podobno tudi KDS_{min}, posledično je prostor bolj enakomerno osvetljen, kar pomeni le 27 % izboljšanja do priporočene vrednosti. To bom skušal doseči tako, da bom okenske odprtine dimenzioniral na način, da bo predvidena umestitev oken, bolj vplivala na osvetljenost v globini prostora, kar bo nekoliko zmanjšalo razlike med povprečno in minimalno vrednostjo KDS na delovni ravnini. Ker je prostor

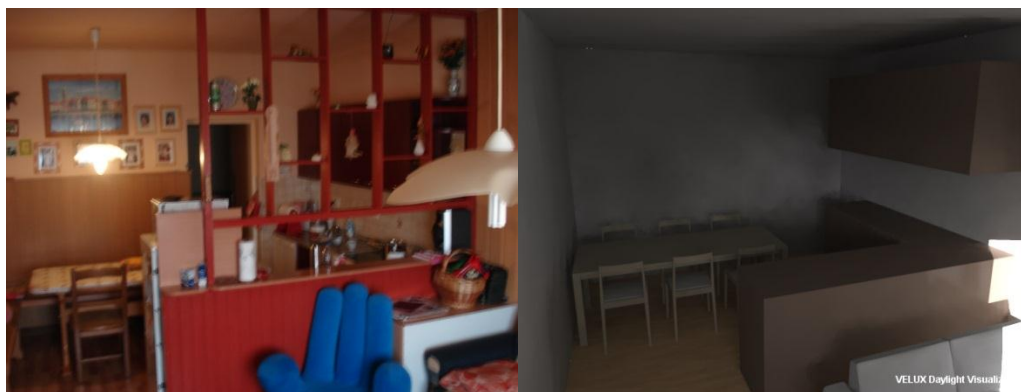
večnamenski, je potrebno izpolniti tudi kriterij za višji nivo osvetljenosti. V tem primeru je KDS_{Spov} nižji za 4,77 odstotne točke od priporočene vrednosti.

Preglednica 6: Vrednosti KDS v T-KD – obstoječe stanje.

Osvetljenost	KDS _{Spov} (%)	KDS _{min} (%)	KDS _{Spov} /KDS _{min}
Obstoječe stanje	0,23	0,06	3,83
Zahtevane vrednosti	3 (5)	1	3
Ustreznost	NE	NE	NE

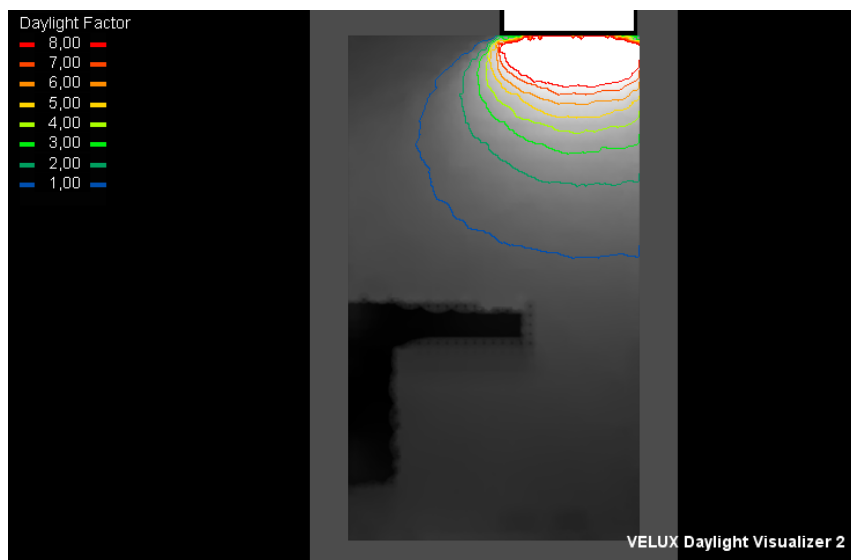
3.3.3 Trenutni pogoji osvetljenosti v DP

DP po svojem namenu služi kot dnevna soba, kuhinja in jedilnica, kot je razvidno iz *slike 19*.



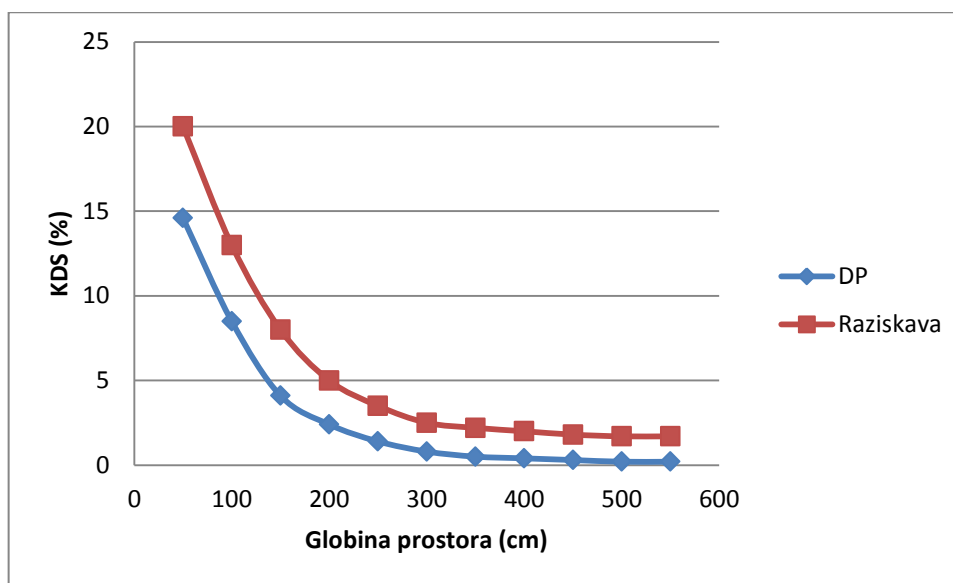
Slika 19: Primerjava med računskim modelom (levo) in dejanskim stanjem (desno) v DP.

Svetloba v prostor prehaja le skozi okno na južni strani, ki pa ima neugodno lego, saj je vgrajeno tik ob steni, tako da znaten delež dnevne svetlobe ni izkoriščen, to pa nekoliko prispeva tudi k neenakomerni osvetljenosti prostora. To je lepo razvidno na *sliki 20*, kjer distribucija sončne svetlobe na desni strani ne poteka zvezno in izkazuje visoke vrednosti KDS v kotu ob oknu, kjer to ni najbolj pomembno za splošne pogoje osvetljenosti prostora.



Slika 20: Nizke vrednosti KDS v globini prostora.

Preveril sem kako se KDS spreminja po globini prostora. Za primerjavo sem uporabil vrednosti iz raziskave [14], kjer so analizirali prostor enake globine, s to razliko, da so dimenzije prostora $\bar{S} \times D = 4 \times 6$ m, okno pa je nekoliko večje, z dimenzijami $b \times v = 2,0 \times 1,6$ m. Površina okna v raziskavi je tako 40 % večja, vgrajeno pa je na sredini zunanje stene. Analizo so izvajali v programu Window Information System (WIS). Iz **grafikona 3** je razvidno, da je potek spremembe vrednosti KDS po prostoru v raziskavi enak kot v primeru dnevnega prostora, le vrednosti so v slednjem nekoliko nižje, zaradi manjše površine oken. Primerjava je narejena pravokotno na sredino okna (delovna ravnina 85 cm).



Grafikon 3: Primerjava poteka KDS z globino prostora v DP in v raziskavi [9].

Glede določil pravilnika o minimalni površini zidarskih odprtin [18], se v tem primeru kažejo največja odstopanja, saj bi se moral delež odprtin povečati skoraj za 50 %. Kot sem pričakoval, je zaradi večje globine prostora in majhnega deleža oken faktor enakomernosti osvetljenosti zelo neugoden (**preglednica 7**). KDS_{pov} se mora izboljšati za približno 170%, KDS_{min} pa celo za 400%. Primerjava obeh vrednosti kaže, da bo v tem primeru zelo težko izpolniti pogoje glede enakomerne osvetljenosti prostora, kar je posledica velike globine prostora (6,05 m) in majhne širine stene, preko katere dostopa dnevna svetloba v prostor (3,5 m).

Preglednica 7: Vrednosti KDS v DP – obstoječe stanje.

Osvetljenost	KDS _{pov} (%)	KDS _{min} (%)	KDS _{pov} /KDS _{min}
Obstoječe stanje	1,1	0,2	5,5
Zahtevane vrednosti	3	1	3
Ustreznost	NE	NE	NE

V DP nisem preverjal optimalne višine delovne ravnine glede na višino okenskega parapeta, saj sta oba parametra enaka kot v primeru SS. Iz predhodnih analiz v **razdelku 3.3.1** in **3.3.2** se je izkazalo, da je optimalna delovna ravnina približno enaka višini parapeta. Predpostavko bom preveril tudi v UP, kjer je delovna ravnina na višini 70 cm. V UM, kjer so vgrajena strešna okna, je višina okenskega parapeta že vezana na višino obstoječega kolenčnega zidu, zato tovrstne analize v **razdelku 3.4.5** ne bom izvajal.

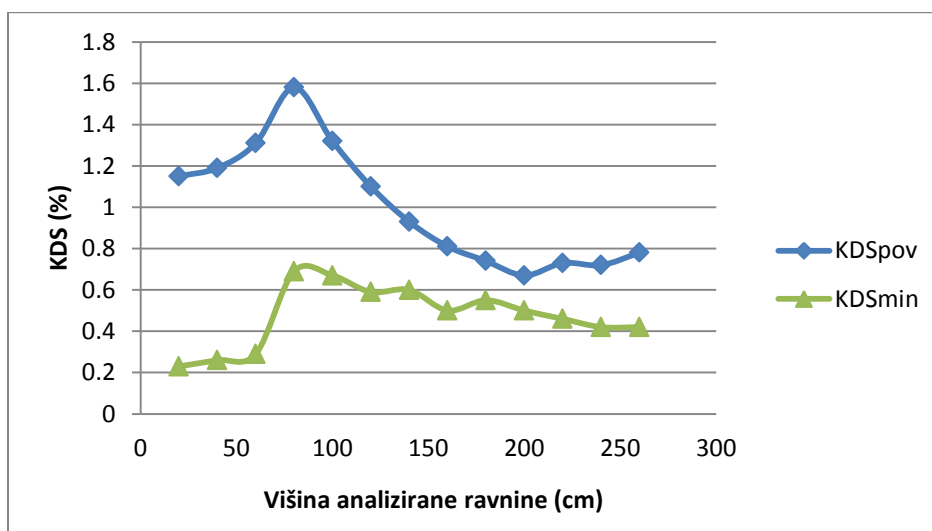
3.3.4 Trenutni pogoji osvetljenosti v UP

Iz primerjave računskega modela in dejanskega stanja (*slika 21*) je razvidno, da se dejanske notranje površine nekoliko razlikujejo od predpostavljenih računskih vrednosti, kar pojasnjuje izbiro nekoliko nižjih faktorjev refleksivnosti posameznih notranjih površin v *razdelku 3.1*.



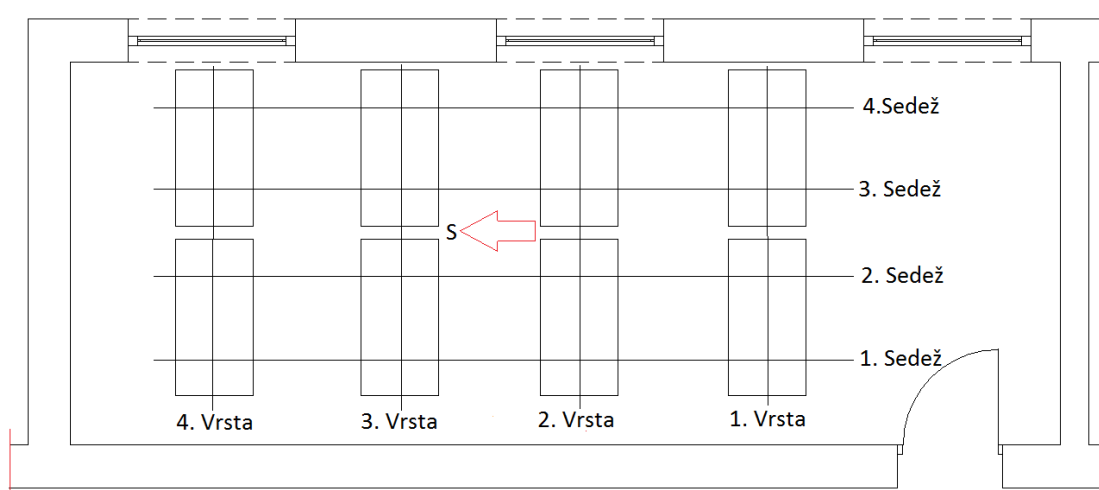
Slika 21: Primerjava med računskim modelom (levo) in dejanskim stanjem (desno) v UP.

Iz *grafikona 4* je razvidno, da je optimalna delovna ravnina na višini okoli 80 cm, saj takrat obe vrednosti KDS dosežeta maksimalne vrednosti. Na podlagi tega bom v nadaljnji analizi višino okenskega parapeta znižal na višino 70 cm, saj se je iz predhodnih analiz prostorov izkazalo, da je izbira enake višine okenskega parapeta, kot višine delovne ravnine, najbolj ugodna z vidika parametrov osvetljenosti prostora.



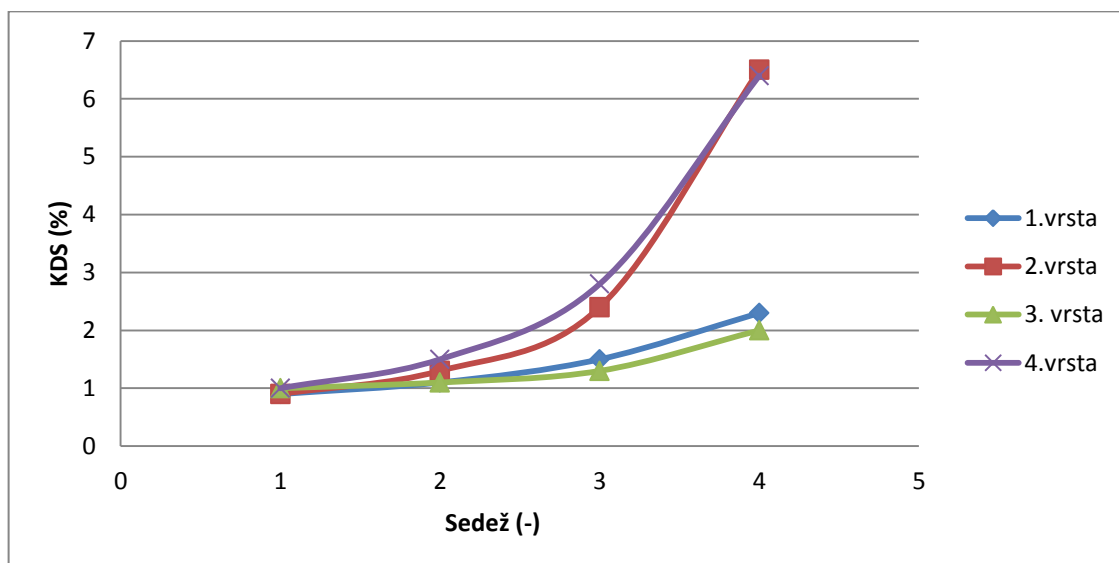
Grafikon 4: Vrednosti KDS na posameznih delovnih ravlinah v UP.

Pri analizi prostorov, kjer se izvajajo šolske dejavnosti, sem dal poseben poudarek na enakomernost osvetljenosti prostora. Grafično sem primerjali vrednosti KDS v osi vsake šolske mize in skušal zmanjšati razlike na površinah tik ob oknu in površinah, ki so v globini prostora. Ker je trenutna razporeditev šolskih miz zgoščena v sprednjem delu učilnice (*slika 21 desno*), sem jih po prostoru razporedil nekoliko bolj enakomerno (*slika 22*).



Slika 22: Razporeditev šolskih miz v UP.

Iz **grafikona 5** je razvidno da se poteka dnevne svetlobe v 2. in 4. vrsti v vrednostih KDS skoraj ne razlikujeta, 1. in 3. vrsta pa imata bistveno nižji vrednosti. Takšna odstopanja nastanejo zaradi razporeditve okenskih odprtin, kot je razvidno iz **slike 22**.



Grafikon 5: Vrednosti KDS na posameznih šolskih mizah v UP.

Obstoječe stanje ne zadosti minimalnim priporočenim vrednostim KDS in enakomerne osvetljenosti prostora (**preglednica 8**). KDSpov je potrebno izboljšati za 250 %. KDSmin ni predpisan, zaradi izboljšanja priporočene enakomernosti osvetljenosti prostorov, pa bi se moral izboljšati za 350 %. Visoka odstopanja na šolskih mizah, razvidna v **grafikonu 5**, bom s primernimi ukrepi skušal čim bolj izenačiti.

Preglednica 8: Vrednosti KDS v UP– obstoječe stanje.

Osvetljenost	KDS _{pov} (%)	KDS _{min} (%)	KDS _{pov} /KDS _{min}
Obstoječe stanje	1,45	0,37	3,92
Zahtevane vrednosti	5	/	3
Ustreznost	NE	/	NE

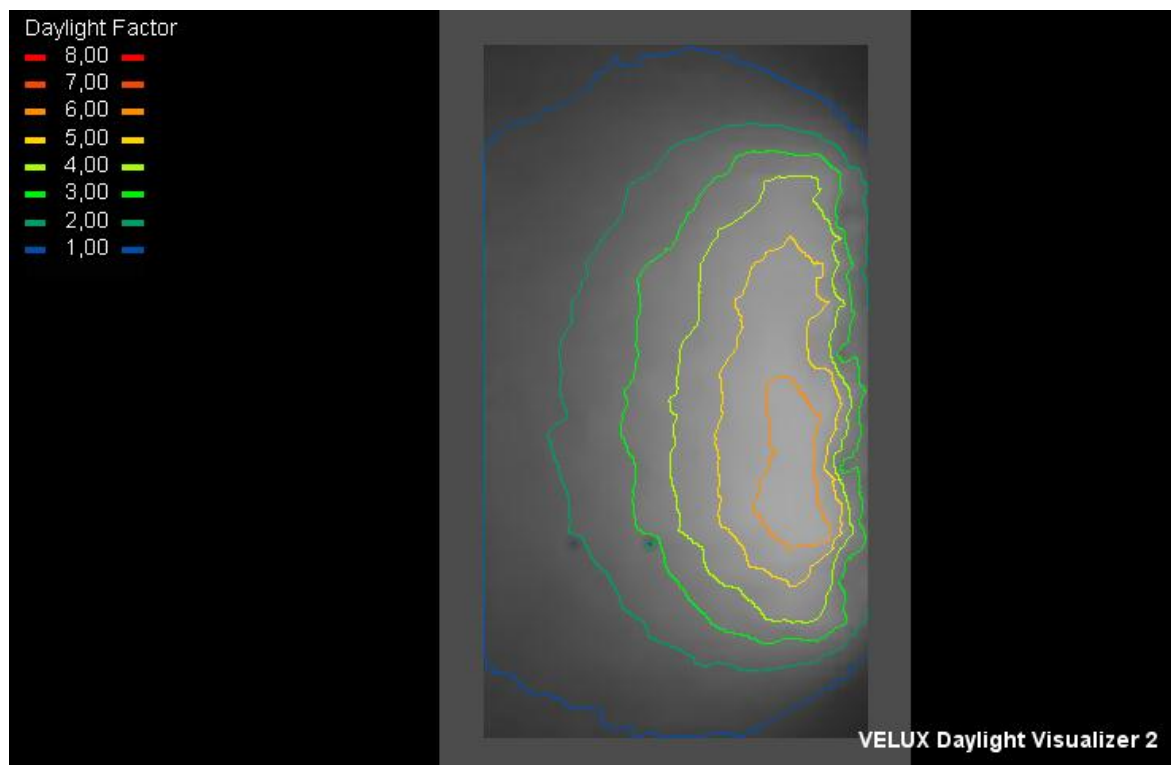
3.3.5 Trenutni pogoji osvetljenosti v UM

UM se od ostalih obravnavanih prostorov razlikuje po vgrajenih strešnih oknih. Iz primerjave na **sliki 23** je razvidno, da je osvetljenost v globini prostora precej boljša, zaradi vgrajenih strešnih oken.



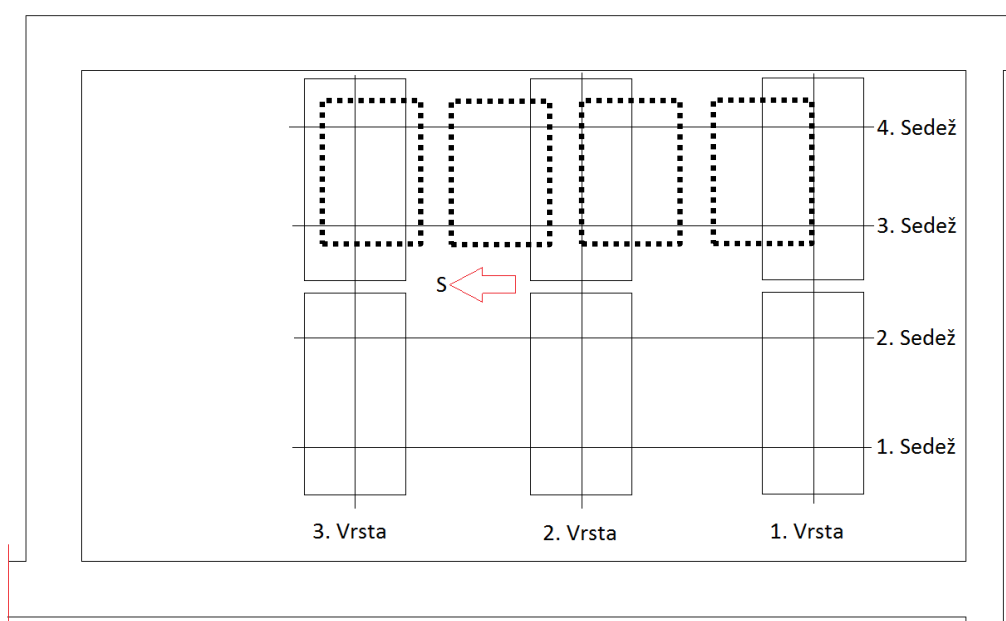
Slika 23: Primerjava med računskim modelom in dejanskim stanjem UM.

Za razliko od UP je zgornja krajša po dolžini in ima eno vrsto klopi manj. Iz grafičnega prikaza izračuna KDS (**slika 24**) in vrednosti KDS na posameznih delovnih ravlinah (**grafikon 6**) je razvidno, da se vrednosti KDS v prostoru spreminjajo skoraj linearno, v primerjavi s UP (**grafikon 5**), kjer se svetloba spreminja izrazito eksponentno. Boljšo distribucijo svetlobe v UM omogočajo strešna okna, kjer pravokotni vpadni kot svetlobe na površino stekel oken, ugodno vpliva na količino dovedene svetlobe v prostor.



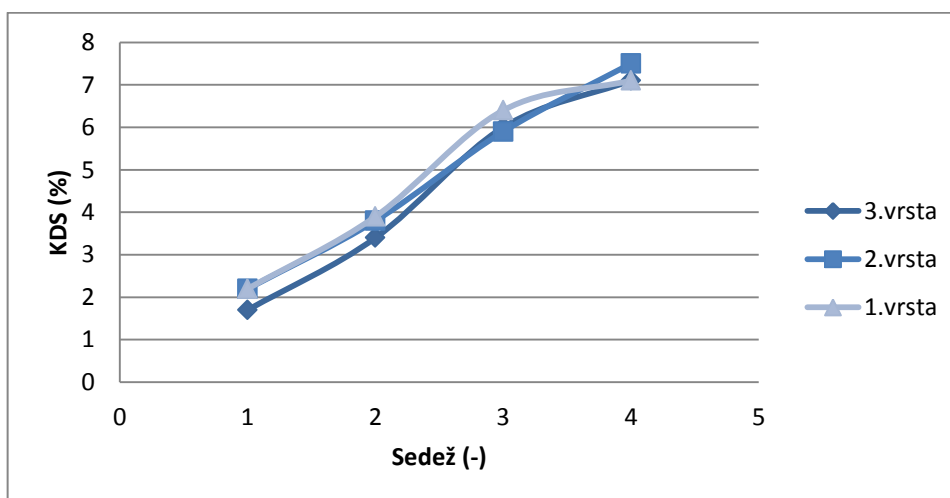
Slika 24: Strešna okna v UM prispevajo k linearnemu padcu vrednosti KDS po prostoru.

Podobno kot v UP, sem tudi v UM preverjal vrednosti KDS na posameznih oseh šolskih miz, kot je prikazano na tlorisu prostora (**slika 25**). S prekinjeno črto so označene pozicije oken.



Slika 25: Razporeditev šolskih miz v UM.

Iz **grafikona 6** je razvidno, da so razlike vrednosti KDS 1. in 4. sedeža visoke, saj so v globini prostora za približno 6 odstotnih točk manjše, kot v neposredni bližini oken.



Grafikon 6: Vrednosti KDS na posameznih šolskih mizah v UM.

Trenutne vrednosti KDS so prikazane v **preglednici 9**. KDSpov je potrebno izboljšati za približno 60 %, KDSmin pa za približno 80 %, za doseganje priporočenega nivoja osvetljenosti prostora.

Preglednica 9: Vrednosti KDS v UM– obstoječe stanje.

Osvetljenost	KDSpov[%]	KDSmin[%]	KDSpov/KDSmin
Obstoječe stanje	3,18	0,91	3,5
Zahtevane vrednosti	5	/	3
Ustreznost	NE	/	NE

3.4 Analiza predlaganih ukrepov za izboljšanje dnevne osvetljenosti prostorov

Pri vseh predlogih ukrepov sem glede na izhodiščno stanje povečal debelino zidu na 60 cm, kjer je upoštevana tudi debelina TI za kasnejšo analizo energijske bilance stavbe. Pozicija zasteklitve je enaka kot v izhodiščnem stanju, na sredini zunanje stene. Minimalne nivoje osvetljenosti sem zagotovil z uporabo obeh tipov zasteklitev, ki sem ju podrobneje že opisal v **podpoglavju 3.1**. Analizo ukrepov sem v vseh primerih izvajal z uporabo dvojne zasteklitve, ob izpolnitvi minimalnih priporočenih nivojev osvetljenosti, sem dvojno zasteklitev nadomestil s trojno in okenske odprtine ustrezno povečal tako, da so bile tudi z uporabo trojne zasteklitve doseženi ekvivalentni pogoji osvetljenosti. Pridobljene karakteristike oken bom v **poglavju 4** uporabil za primerjavo vpliva tipa zasteklitve na energijsko bilanco. Dimenzije oken sem prilagajal potrebam osvetljenosti posameznega prostora.

3.4.1 Analiza predlaganih ukrepov v SS

Glede na izhodiščno stanje se višina okenskih parapetov, pri predlogih za izboljšanje ne spreminja. Na **sliki 26** so prikazane spremembe svetlosti prostorov, po izvedenih posameznih ukrepih.



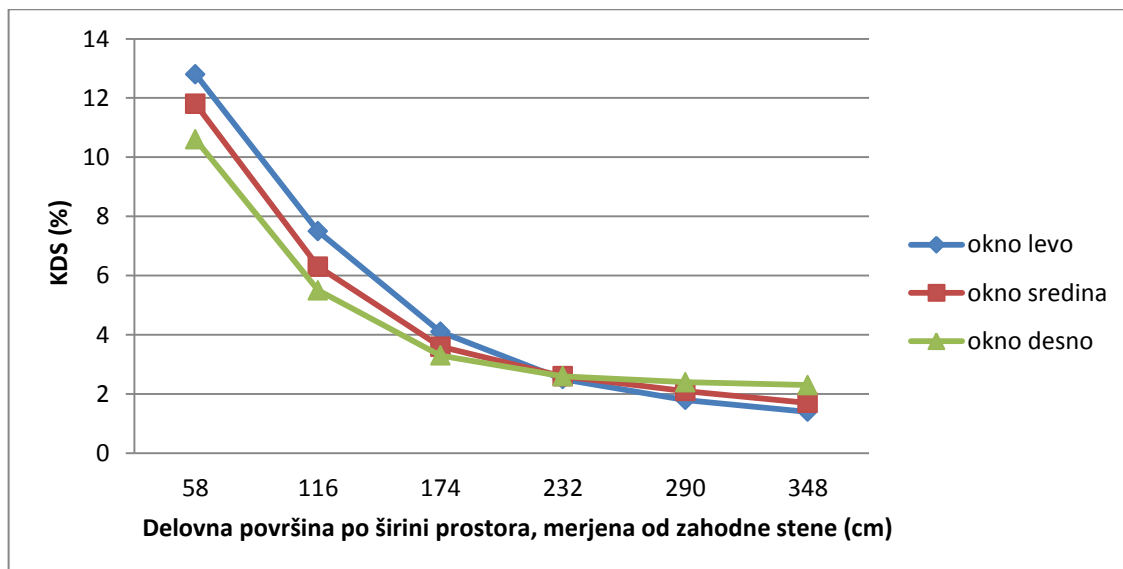
Slika 26: Primerjava obstoječega stanja in predlogov ukrepov pri oblačnem vremenu 21.12. ob 12.00 uri.

Pri Ukrepu 1 sem na zahodni strani okni enakomerno razporedil po zunanji steni in na severno stran umestil dodatno okno na sredino stene, enakih dimenzij kot sta že vgrajeni okni na zahodni strani. Ukrepi 2, 3 in 4 prikazujejo situacijo v prostoru pri spremembi zasteklitve in spreminjanju dimenzij oken. Podroben opis robnih pogojev je v **preglednici 10**.

Preglednica 10: Robni pogoji računskih modelov v SS.

Ukrep	Okna v/š (m)	Aokna (m ²)	Astekel (m ²)	Št.	LT	VP (m)	Orientacija
Obstoječe st.	1,75/1,30	2,28	1,98	2	0,71	0,85	Z
Ukrep 1	1,75/1,30	2,28	1,98	2	0,71	0,85	Z
	1,75/1,30	2,28	1,98	1	0,71	0,85	S
Ukrep 2	2,40/1,30	3,12	2,76	2	0,71	0,85	Z
	2,40/1,30	3,12	2,76	1	0,71	0,85	S
Ukrep 3	2,40/1,30	3,12	2,76	2	0,62	0,85	Z
	2,40/1,30	3,51	3,12	1	0,62	0,85	S
Ukrep 4	2,70/1,30	3,51	3,12	2	0,62	0,85	Z
	2,70/1,30	3,51	3,12	1	0,62	0,85	S

Pri Ukrepu 1 sem podrobneje analiziral, kakšen vpliv ima pozicija okna na severni strani na vrednosti KDS na delovni ravni. Iz **grafikona 7**, kjer krivulje prikazujejo potek vrednosti KDS po prečni osi sejne mize je razvidno, da bi umestitev okna skrajno desno prispevala k najbolj enakomerni osvetljenosti delovne ravnine (mize).



Grafikon 7: Vpliv pozicije okna na vrednosti KDS merjene prečno na zahodno steno.

Razlike vrednosti KDS na delovni ravni glede na pozicijo severnega okna so zelo majhne, zato nisem odstopal od predvidene enakomerne razporeditve oken po zunanji steni. Iz **preglednice 11** je razvidno, da so pri Ukrepu 2 z uporabo dvojne zasteklitve in Ukrepu 4 s trojno zasteklitvijo, dosežene minimalne priporočene vrednosti dnevne osvetljenosti prostora.

Preglednica 11: Vrednosti KDS v SS pri posameznih ukrepih.

Ukrep	Aoken (m ²)	KDSpov (%)	KDSmin (%)	KDSpov/KDSmin	Ustreznost KDS
Obstoječe st.	4,55	2,13	0,51	4,18	NE
Ukrep 1	6,83	3,39	1,21	2,80	NE
Ukrep 2	9,36	5,11	2,59	1,97	DA
Ukrep 3	9,36	4,43	2,17	2,04	NE
Ukrep 4	10,53	5,15	2,65	1,94	DA

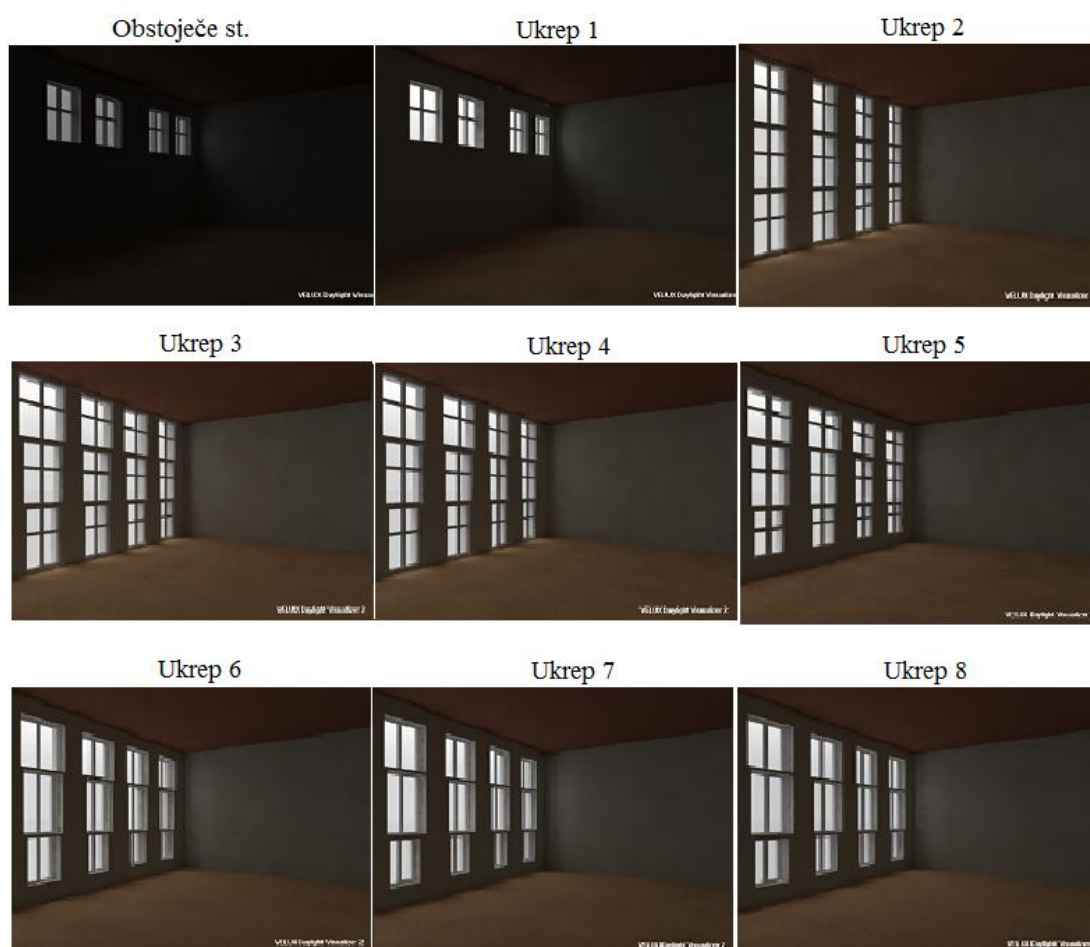
Najbolj se stanje izboljša z umestitvijo dodatnega okna na severni strani, saj je v primerjavi z obstoječim stanjem prostor osvetljen z dveh strani. Pri 50 % povečani površini oken se je KDSpov glede na izhodiščno stanje izboljšal za 60 %. Po izvedenem Ukrepu 2 se je površina oken glede na obstoječe stanje povečala za 110 %. S to vrednostjo je že dosežen minimalen priporočen nivo osvetljenosti z uporabo dvojne zasteklitve. Za ekvivalenten nivo osvetljenosti, pri uporabi trojne zasteklitve, sem moral delež oken povečati za 13 %, ravno toliko pa je dvojna zasteklitev bolj prepustna za svetlobo. Zaradi večje širine oken ($b = 270$ cm) pri Ukrepu 4, je distribucija svetlobe v prostoru nekoliko bolj enakomerna, kot pri Ukrepu 2 ($b = 240$ cm). Primerjava vrednosti Ukrepa 4, glede na Ukrep 2 kaže, da je razlika KDSpov zanemarljiva, saj se je pri Ukrepu 4 povečala le za 0,04 odstotne točke.

3.4.2 Analiza predlaganih ukrepov v T-KD

Ker je T-KD večnamenski prostor, kriteriji nivoja osvetljenosti pa se glede na rabo razlikujejo, sem za primerjavo določil površino oken za oba nivoja, nižji in višji. V energijski bilanci, bom preverjal vpliv lastnosti oken, ki zadostijo višjemu nivoju osvetljenosti prostora.

Glede na izhodiščno stanje je prvi ukrep odstranitev fiksnega roloja, ki je občutno izboljšal prepustnost dnevne svetlobe v prostor. Optimalna višina delovne ravnine je v obstoječem stanju na višini od 2,5 – 3 m od tal, zato sem umestil okna tudi v spodnji del zunanje stene, saj se izboljša osvetljenost dela prostora v neposredni bližini oken. Celoten potek analize, je bil usmerjen k boljši osvetljenosti prostora v globini.

Potek analize je razviden iz **slike 27**. Vse analize sem izvajal z uporabo dvojne zasteklitve, le pri zadnjem Ukrepu 8, sem za primerjavo uporabil trojno zasteklitev.



Slika 27: Primerjava obstoječega stanja in predlogov ukrepov pri oblačnem vremenu 21.12. ob 12.00 uri.

Vsi predlagani ukrepi se navezujejo na lastnosti oken predhodnega ukrepa. Pri Ukrepu 1 sem odstranil fiksni rolo. Pri Ukrepu 2 sem okna enakomerno razporedil po zunanji steni, dvojno zasteklitev brez nizkoemisijskega premaza pa sem nadomestil s dvojno zasteklitvijo z nizkoemisijskim premazom ter po zunanji steni dodal še dve vrsti oken tako, da so okna zvezna od nivoja tal do stropa. Pri Ukrepu 3 sem širil zgornjo vrsto oken za 40 cm in srednjo za 20 cm. Pri Ukrepu 4 sem na podlagi podrobne analize, ki je v nadaljevanju zmanjšal površino zgornjih in spodnjih oken. Pri Ukrepu 5 sem zmanjšal širino vseh oken za 10 cm. Pri Ukrepu 6 sem obstoječa okna nadomestil z dvokrilnimi, brez da bi spreminjal dimenzije oken. Glede na ugotovitve pri Ukrepu 6, sem pri Ukrepu 7 ustrezno zmanjšal dimenzije oken. Pri Ukrepu 8 sem dvojno zasteklitev nadomestil s trojno in ustrezno povečal širino

oken, da so bile dosežene minimalne priporočenih vrednosti KDS. V **Preglednice 12** so navedeni robni pogoji posameznega ukrepa.

Preglednica 12: Robni pogoji računskih modelov v T-KD.

Ukrep	Okna v/š (m)	Aokna (m ²)	Astekel (m ²)	Št.	LT	VP (m)
Obstoječe st.	1,20/2,00	2,40	2,09	7	0,24	3,1
Ukrep 1	1,20/2,00	2,40	2,09	7	0,81	3,1
Ukrep 2	1,20/2,00	2,40	2,09	7	0,71	4,1
	1,20/2,00	2,40	2,09	7	0,71	2,1
	1,20/2,00	2,40	2,09	7	0,71	0,1
Ukrep 3	1,60/2,00	3,20	2,85	7	0,71	4,1
	1,40/2,00	2,80	2,47	7	0,71	2,1
	1,20/2,00	2,40	2,09	7	0,71	0,1
Ukrep 4	1,50/2,00	3,00	2,66	7	0,71	4,1
	1,30/2,00	2,60	2,28	7	0,71	2,1
	1,10/2,00	2,20	1,90	7	0,71	0,1
Ukrep 5	1,50/1,60	2,40	2,10	7	0,71	4,1
	1,30/2,00	2,60	2,28	7	0,71	2,1
	1,10/1,50	1,65	1,40	7	0,71	0,6
Ukrep 6	1,50/1,60	2,40	2,10	7	0,71	4,1
	1,30/2,00	2,60	2,28	7	0,71	2,1
	1,10/1,50	1,65	1,40	7	0,71	0,6
Ukrep 7	1,40/1,60	2,24	1,95	7	0,71	4,1
	1,30/2,00	2,60	2,28	7	0,71	2,1
	1,00/1,50	1,50	1,26	7	0,71	0,6
Ukrep 8	1,50/1,60	2,40	2,10	7	0,62	4,1
	1,40/2,00	2,80	2,47	7	0,62	2,1
	1,10/1,50	1,65	1,40	7	0,62	0,6

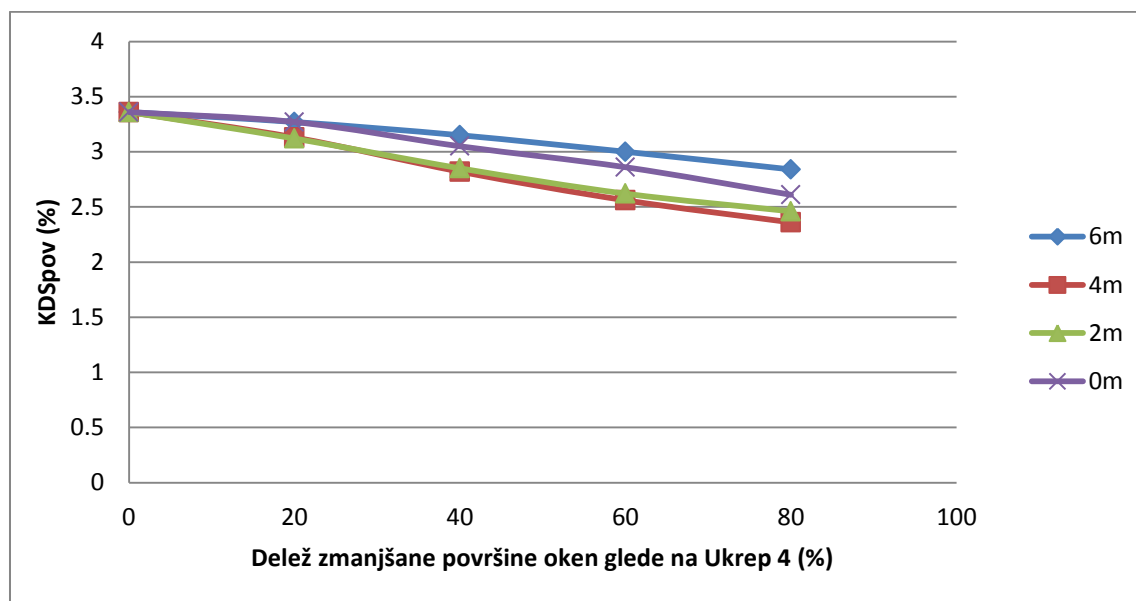
Rezultati analize so zbrani v **preglednici 13**.

Preglednica 13: Vrednosti KDS po izvedenih ukrepih.

Ukrep	Aoken (m ²)	KDS _{pov} (%)	KDS _{min} (%)	KDS _{pov} /KDS _{min}	Ustreznost KDS
Obstoječe st.	16,8	0,23	0,06	3,83	NE
Ukrep 1	16,8	0,92	0,26	3,54	NE
Ukrep 2	50,4	2,81	1,33	2,11	NE
Ukrep 3	58,8	3,79	2,05	1,85	DA
Ukrep 4	54,6	3,31	1,76	1,88	DA
Ukrep 5	46,6	2,94	1,65	1,78	NE
Ukrep 6	46,6	3,45	1,88	1,84	DA
Ukrep 7	44,4	3,09	1,42	2,16	DA
Ukrep 8	48,0	3,07	1,46	2,10	DA

Primerjava vrednosti KDS med Ukrepom 2 in 3 pokaže, da večji delež ($5,6 \text{ m}^2$) oken na zgornjem delu stene pozitivno vpliva na bolj enakomerno distribucijo svetlobe v prostoru. KDSpov se je glede na predhodni ukrep izboljšal za 35%, razlika med osvetljenostjo posameznih delov prostora pa se je zmanjšala za 12 %. Pri Ukrepu 3 je v prostoru že dosežen nižji nivo priporočenih vrednosti osvetljenosti prostora.

Ker sta obe vrednosti KDSpov in KDSmin v tem koraku že precej višji od priporočenih vrednosti nižjega nivoja, sem se v nadaljevanju s primernim manjšanjem površin oken, skušal približati na mejo priporočenih vrednosti. V ta namen sem opravil podrobno analizo spremembe vrednosti KDSpov, z manjšanjem deleža površine oken na različnih višinah. Rezultati so prikazani v **grafikonu 8**. Izkaže se, da je najbolj ugodno manjšanje oken tik pod stropom, kar je povezano z 80 cm napuščem, ki precej zmanjša delež vpadle dnevne svetlobe na zgornjo površino oken. Napušč ima negativen vpliv tudi na delež svetlobe v globini prostora, kar izhaja tudi iz Ukrepa 3, kjer se je pri širitvi zgornjih in srednjih oken KDSpov povečal za 35 % glede na Ukrep 2. Nesorazmerno pa se je pri Ukrepu 3, glede na prejšnji ukrep za 53 % povečal KDSmin, kar znižuje razlike osvetljenosti posameznega dela prostora. Iz ugotovitve izhaja, da bi bil prostor bistveno bolj enakomerno osvetljen v globini, če bi bil delež oken tik pod stropom večji, kar pa v tem primeru napušč onemogoča. Manjšanje oken je ugodno tudi pri tleh iz preprostega razloga, saj okna tik nad tlemi glede na vpadni kot svetlobe osvetljuje le majhen delež površine prostora tik ob steni. Po izvedenem Ukrepu 5 ni dosežen nižji nivo dnevne osvetljenosti prostora.



Grafikon 8: Sprememba KDSpov v odvisnosti od manjšanja površine oken, na določeni višini stene.

Pri Ukrepu 6 se z menjavo okvira okna pri konstantni površini glede na prejšnji ukrep povprečna vrednost KDS izboljša za 15%. Pri Ukrepu 7 sem širine oken zmanjšal toliko, da se vrednosti niso znižale pod priporočene vrednosti nižjega nivoja dnevne osvetljenosti prostora. Ukrep 8 predstavlja končno varianto z uporabo trojne zasteklitve, ki izkazuje nekoliko boljše pogoje enakomernosti osvetljenosti, kot dvojna zasteklitve pri Ukrepu 7, in sicer za 0,03 %. Pri Ukrepu 7 so se površine oken v primerjavi z obstoječim stanjem povečale za 160 % z uporabo dvojne zasteklitve, oziroma za 180 % pri Ukrepu 8 z uporabo trojne zasteklitve.

Za primer športnih aktivnosti sem okna umestil tako, da so nameščena zvezno po horizontalni liniji, kot se običajno osvetljuje športne dvorane [22]. V primerjavi s prvim delom analize sem uporabil 3 trokrilna okna (**slika 28**) dimenzij $b \times h = 5,0 \times 2,9 \text{ m}$ pri uporabi dvojne zasteklitve (Ukrep 1-a) in $5,0 \times 3,2 \text{ m}$ pri uporabi trojne zasteklitve (Ukrep 2-a). Za posamezen tip zasteklitve se površini oken ne razlikujejo od površin pri Ukrepu 7 in 8. Višina parapeta je na 210 cm, Ff pa je v obeh primerih 0,10. Rezultati so zbrani v **preglednici 14**.



Slika 28: Prikaz svetlosti prostorov z uporabo dvojne (levo) in trojne zasteklitve (desno), pri oblačnem vremenu 21.12. ob 12.00 uri.

Preglednica 14: Vrednosti KDS po izvedenih ukrepih.

Ukrep	Aoken (m ²)	KDSpov (%)	KDSmin (%)	KDSpov/KDSmin	Ustreznost KDS
Ukrep 1-a	43,5	5,81	2,34	2,48	DA
Ukrep 2-a	48,0	5,45	2,21	2,46	DA

Izkaže se, da z drugačno razporeditvijo manjšega števila oken z večjo površino, pri enaki skupni površini, lahko dosežemo skoraj za skoraj 100 % večji KDSpov, kot v prvem delu analiziranega prostora. Razlog za to je manjši delež okvira in okenskih špalet glede na celotno površino oken, v primerjavi z Ukrepom 7 in 8 prvega dela analize.

Razporeditev oken v prvem delu analize je bolj ugodna z vidika enakomernosti osvetljenosti prostora, v drugem delu pa se je občutno povečala vrednost KDSpov, vendar je posledično prostor za 16% manj enakomerno osvetljen, v primerjavi z Ukrepom 7 in 8 prvega dela analize.

3.4.3 Analiza predlaganih ukrepov v DP

Analiza obstoječega stanja je pokazala, da bo v tem primeru zaradi same globine prostora zelo težko doseči pogoje za minimalno enakomernost osvetljenosti prostora. Postopek izvedbe analize je razviden iz *slike 29*.



Slika 29: Primerjava obstoječega stanja in predlogov ukrepov pri oblačnem vremenu 21.12. ob 12.00 uri.

Umestitev okna do stropa omogoča, da večji delež svetlobe prodre v globino prostora. Zato sem pri Ukrepu 1 umestil okensko odprtino po celotni steni, z višino parapeta na 60 cm. Pri Ukrepu 2 sem glede na prejšnji ukrep zmanjšal višino okna s spodnje strani in za 20 cm povišal parapet. Pri Ukrepu 3 sem povečal reflektivnost sten in stropa na vrednost 0,9. Pri Ukrepu 4 sem na višino 140 cm umestil zunanjo svetlobno polico (ZSP) širine 60 cm, princip delovanja je podrobneje opisan v **razdelku 3.4.4**. Pri Ukrepu 5 sem nadomestil dvojno zasteklitev s trojno. Robni pogoji posameznih ukrepov so zbrani v **preglednici 15**.

Preglednica 15: Robni pogoji računskih modelov v DP.

Ukrep	Okna v/š (m)	Aokna (m ²)	Astekel (m ²)	Št.	LT	VP (m)
Obstoječe	1,30/1,75	2,28	2,09	1	0,81	0,85
Ukrep 1	2,10/3,50	7,35	6,8	1	0,71	0,60
Ukrep 2	1,90/3,50	6,65	6,12	1	0,71	0,80
Ukrep 3	1,90/3,50	6,65	6,12	1	0,71	0,80
Ukrep 4	0,60/3,50	2,10	1,70	1	0,71	0,80
	1,30/3,50	4,55	4,08	1	0,71	0,70
Ukrep 5	0,60/3,50	2,10	1,70	1	0,62	0,80
	1,30/3,50	4,55	4,08	1	0,62	0,70

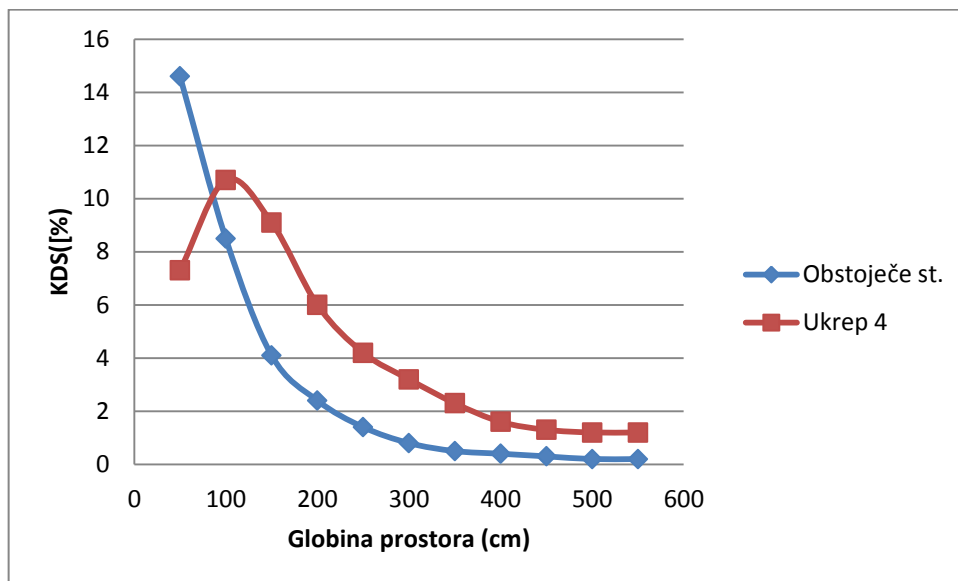
Minimalen nivo osvetljenosti dnevnega prostora je bil dosežen le pri Ukrepu 5, z uporabo trojne zasteklitve. KDS_{pov} pri vseh ukrepih dosega priporočene vrednosti, doseganje priporočene vrednosti enakomernosti osvetljenosti, pa je zaradi velike globine prostora doseženo le pri Ukrepu 5. Rezultati analize so zbrani v **preglednici 16**.

Preglednica 16: Vrednosti KDS v DP pri posameznih ukrepih.

Ukrep	Aoken (m ²)	KDS _{pov} (%)	KDS _{min} (%)	KDS _{pov} /KDS _{min}	Ustreznost KDS
Obstoječe st.	2,28	1,10	0,20	5,50	NE
Ukrep 1	7,35	5,20	1,40	3,71	NE
Ukrep 2	6,65	3,91	1,10	3,56	NE
Ukrep 3	6,65	4,35	1,30	3,34	NE
Ukrep 4	6,65	3,60	1,10	3,27	NE
Ukrep 5	6,65	3,30	1,10	3,00	DA

Primerjava med Ukrepom 1 in 2 kaže, da je z manjšo površino okna prostor nekoliko bolj enakomerno osvetljen. Glede na predhodni ukrep, se je pri Ukrepu 2 KDS_{pov} zmanjšal za 25 %, KDS_{min} pa za 20 %. Po izvedenem Ukrepu 3 se je glede na predhodni ukrep, na račun povečane reflektivnosti sten in stropa (0,90) enakomernost osvetljenosti izboljšala za 7 %. Z uporabo zunanje svetlobne police (Ukrep 4) se je glede na prejšnji ukrep KDS_{pov} zmanjšal za 17 %, posledično se je nekoliko izboljšala enakomernost osvetljenosti prostora.

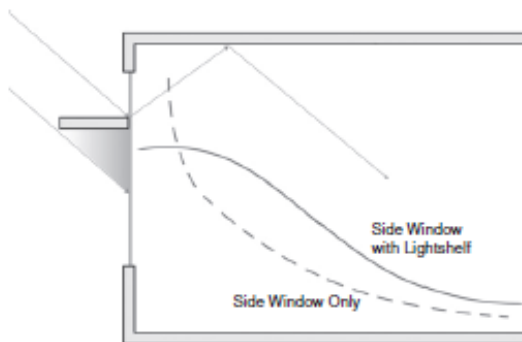
Enakomernost osvetljenosti prostora se je pri vseh ukrepih izboljšala na račun manjše vrednosti KDS tik ob oknu, ne pa tudi z izboljšanjem KDS v globini prostora. To je razvidno tudi iz **grafikona 9**, ki prikazuje spremembo med obstoječim stanjem in po izvedenem Ukrepu 4. Učinek svetlobne police je zelo izrazit v neposredni bližini okna.



Grafikon 9: Potek vrednosti KDS po prostoru v obstoječem stanju in po izvedenem Ukrepu 4.

3.4.4 Analiza predlaganih ukrepov v UP

Zaradi visokih odstopanj vrednosti KDS, na posameznih delovnih površinah (šolskih mizah), sem se v tem prostoru usmeril predvsem k iskanju predlogov, ki bi pripomogli k izboljšanju izrazito eksponentnemu padanju vrednosti KDS proti globini prostora. Umestitev ZSP omogoča bolj enakomerno distribucijo svetlobe po prostoru. Z umestitvijo ZSP se predvsem zmanjšajo visoke vrednosti KDS na šolskih mizah v neposredni bližini oken, in hkrati povečajo vrednosti KDS v globini prostora (*slika 30*).

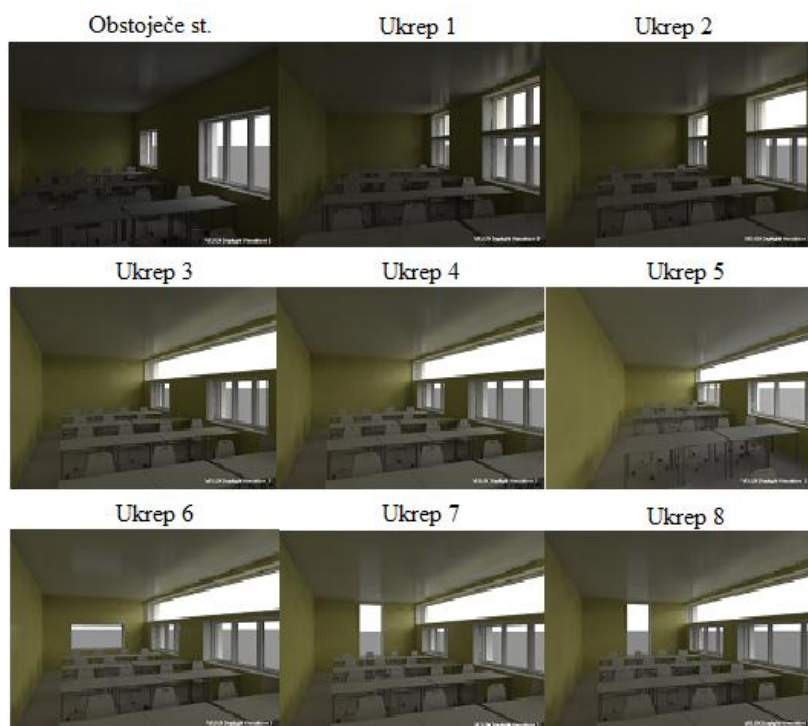


Slika 30: Primer zunanje svetlobne police (vir slike[23]) in princip delovanja (vir slike [3]).

Notranja svetlobna polica sicer omogoča večjo osvetljenost v globini, vendar je zmanjšanje visokih vrednosti KDS tik ob oknu nekoliko manjše, kot pri zunanji svetlobni polici [3].

Na podlagi rezultatov analize osvetljenosti UP, sem višino parapeta znižal na 70 cm tako, da se bo ujemala z višino šolskih miz. Analiziral sem vpliv umestitve ZSP in skušal določiti kar najbolj optimalno širino in višino le-te.

Potek analize predlogov izboljšanja je razviden iz *slike 31*.



Slika 31: Primerjava obstoječega stanja in predlogov ukrepov pri oblačnem vremenu 21.12. ob 12.00 uri.

Pri Ukrepu 1 sem umestil zunanjo svetlobno polico in okna povečal do stropa. Izbira dimenzij police in pozicije le-te, je opisana v podrobni analizi v nadaljevanju. Pri Ukrepu 2 in 3 sem preverjal kakšen vpliv ima okno nad svetlobno polico. Pri Ukrepu 4 sem širil spodnja, trokrilna okna. Ukrep 5 sem naredil za primerjavo vrednosti KDS v prostoru, z ali brez uporabe svetlobne police. Pri Ukrepu 6 in 7 sem umestil okno na severno steno prostora in preverjal, kako se spreminjajo vrednosti KDS v prostoru s spremembo oblike okna, pri enaki površini. Pri Ukrepu 8 sem uporabil okna s trojno zasteklitvijo, posledično pa sem moral povečati tudi dimenzije spodnjih oken. Robni pogoji posameznega ukrepa so zbrani v **preglednici 17**.

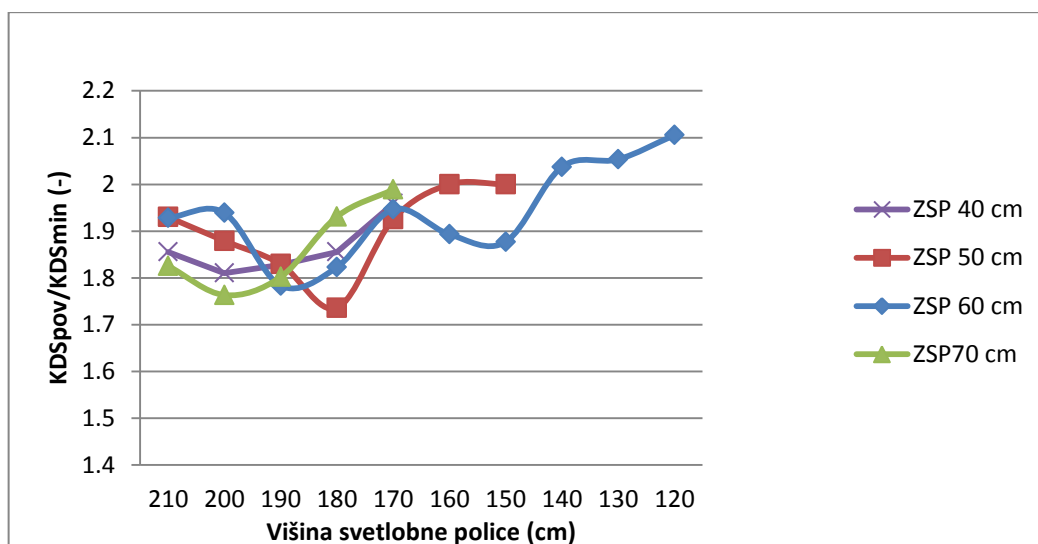
Preglednica 17: Robni pogoji računskih modelov v UP.

Ukrep	Okna v/š (m)	Aokna (m ²)	Astekel (m ²)	Št.	LT	VP (m)	Orientacija
Obstoječe st.	1,30/1,75	2,28	2,09	3	0,71	0,85	V
Ukrep 1	1,10/1,75	1,93	1,65	3	0,71	0	V
	0,90/1,75	1,58	1,32	3	0,71	0,7	V
Ukrep 2	1,10/1,75	1,93	1,65	3	0,71	0,7	V
	0,90/1,75	1,58	1,32	3	0,71	0,7	V
Ukrep 3	1,10/1,75	1,93	1,65	3	0,71	0,7	V
	0,90/10,35	9,32	8,2	1	0,71	0,7	V
Ukrep 4	1,10/2,25	2,48	2,15	3	0,71	0,7	V
	0,90/10,35	9,32	8,2	1	0,71	0,7	V
Ukrep 5	1,10/2,25	1,93	1,65	3	0,71	0,7	V
	0,90/10,35	2,48	2,15	1	0,71	0,7	V

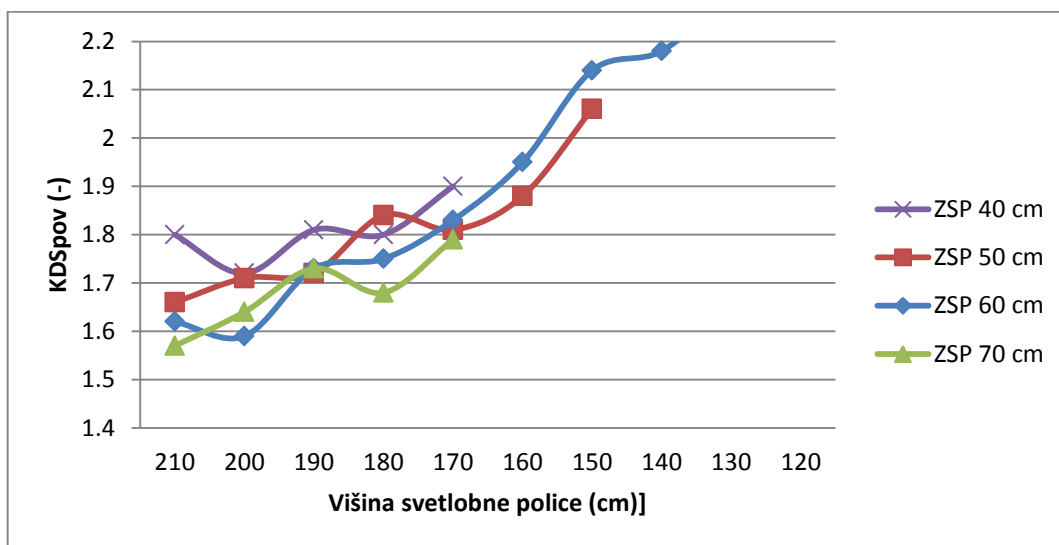
Preglednica 17 se nadaljuje na strani 31.

Ukrep 6	1,10/2,25	2,48	2,15	3	0,71	0,7	V
	0,90/10,35	9,32	8,2	1	0,71	0,7	V
	1,10/2,25	2,48	2,15	1	0,71	0,7	S
Ukrep 7	1,10/2,25	2,48	2,15	3	0,71	0,7	V
	0,90/10,35	9,32	8,2	1	0,71	0,7	V
	2,25/1,10	2,48	2,15	1	0,71	0,45	S
Ukrep 8	1,10/2,75	3,03	2,65	3	0,62	0,7	V
	0,90/10,35	9,32	8,2	1	0,62	0,7	V
	2,25/1,10	2,48	2,15	1	0,62	0,45	S

Karakteristike svetlobne police temeljijo na podlagi podrobne analize pri Ukrepu 1, kjer sem preizkušal različne širine (40, 50, 60 in 70 cm) in višine namestitve svetlobnih polic, pri konstantni površini oken $A=10,5 \text{ m}^2$. Pripadajoče vrednosti dnevne osvetljenosti prostora, pri različnih dimenzijah in umestitvah so razvidne iz **grafikona 10** in **11**.



Grafikon 10: Vrednosti enakomernosti osvetljenosti na delovni ravnini, pri različnih umestitvah ZSP.



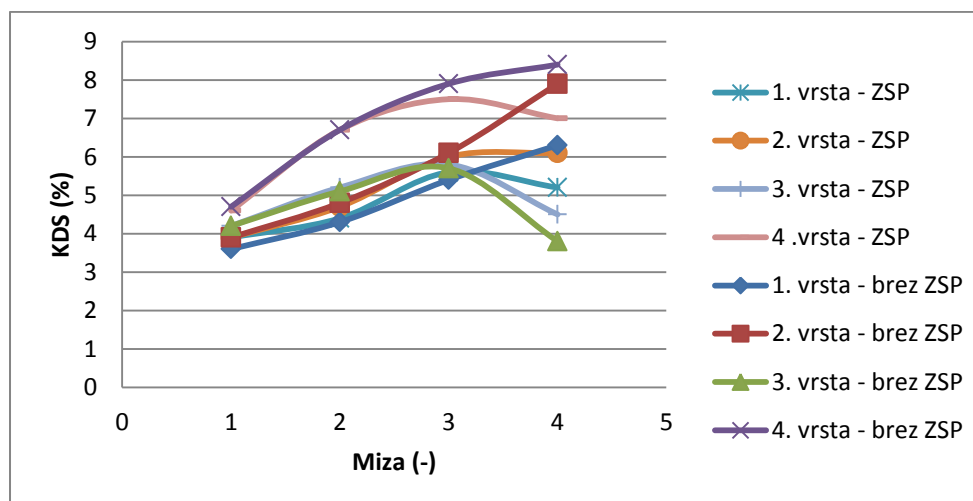
Grafikon 11: Prikaz spremembe vrednosti KDS na delovni ravnini, pri različnih umestitvah ZSP.

Ne glede na to, da je vrednost KDS_{pov} pri vgradnji police širine 50 cm na višini 150 cm od tal višja, sem na podlagi težnje k tem bolj enakomerni osvetljenosti prostora, umestil polico širine 50 cm na višini 180 cm od tal, kot je razvidno izstopanje točke v **grafikonu 10**. Takšna umestitev ZSP na zunanjo okolico ne vpliva, saj je od nivoja terena višja za 250 cm, pogled iz prostora navzven, pa je za otroke neoviran. Pri obeh grafih v izbrani točki tangenta na krivuljo izkazuje konstantni vrednosti kar pomeni, da je dosežena neke vrste optimalna vrednost, glede na učinkovito osvetljenost prostora. Izračunane vrednosti osvetljenosti prostora v posameznih primerih so prikazani v **preglednici 18**.

Preglednica 18: Vrednosti KDS v UP pri posameznih ukrepih.

Ukrep	Aoken (m ²)	KDS _{pov} (%)	KDS _{min} (%)	KDS _{pov} /KDS _{min}	Ustreznost KDS
Obstoječe st.	6,84	1,45	0,47	3,08	NE
Ukrep 1	10,53	1,84	1,06	1,74	NE
Ukrep 2	10,53	2,09	1,14	1,83	NE
Ukrep 3	15,11	4,10	2,52	1,63	NE
Ukrep 4	16,76	4,56	2,73	1,67	NE
Ukrep 5	16,76	4,82	2,94	1,64	NE
Ukrep 6	19,24	5,15	2,81	1,83	DA
Ukrep 7	19,24	5,20	2,88	1,81	DA
Ukrep 8	20,89	5,15	2,90	1,78	DA

Primerjava prvega ukrepa izkazuje izrazito boljše rezultate glede enakomernosti osvetljenosti prostora glede na obstoječe stanje, izboljšala se je kar za 44%. To je posledica nižje spremembe KDS_{pov}, ki se je povečal le za 27 %, medtem ko se je KDS_{min} izboljšal za 125%. Sprememba okvira zgornjih oken pri Ukrepu 2 je nekoliko zmanjšala enakomernost osvetljenosti glede na prejšnji primer, saj se je KDS_{pov} povečal za 15 %, KDS_{min} pa le za 8%. Pri Ukrepu 3, kjer sem namesto treh oken nad že obstoječimi umestil enokrilno okno po celi dolžini, se je KDS_{pov} glede na predhodni ukrep povečal za 95 %, KDS_{min} pa za 120 %, kar je vplivalo na izboljšanje enakomernosti osvetljenosti po prostoru. Ukrep 4, kjer sem širil spodnja obstoječa okna, enakomernost osvetljenosti prostora poslabša za 2 %, glede na predhodni ukrep, saj se je KDS_{pov} povečal za 11 %, KDS_{min} pa samo za 6%. Primerjava vrednosti KDS z Ukrepom 4, brez uporabe ZSP (Ukrep 5) kaže, da je povprečna osvetljenost prostora brez ZSP boljša za 5 %, ravno tako je prostor nekoliko bolj enakomerno osvetljen. Vendar podrobna analiza na posameznih delovnih ravlinah kaže, da se KDS_{pov} poveča zaradi večjih vrednosti neposredno ob oknu, kjer so že v obstoječem stanju visoke vrednosti KDS, kot izhaja iz **grafikona 12**.

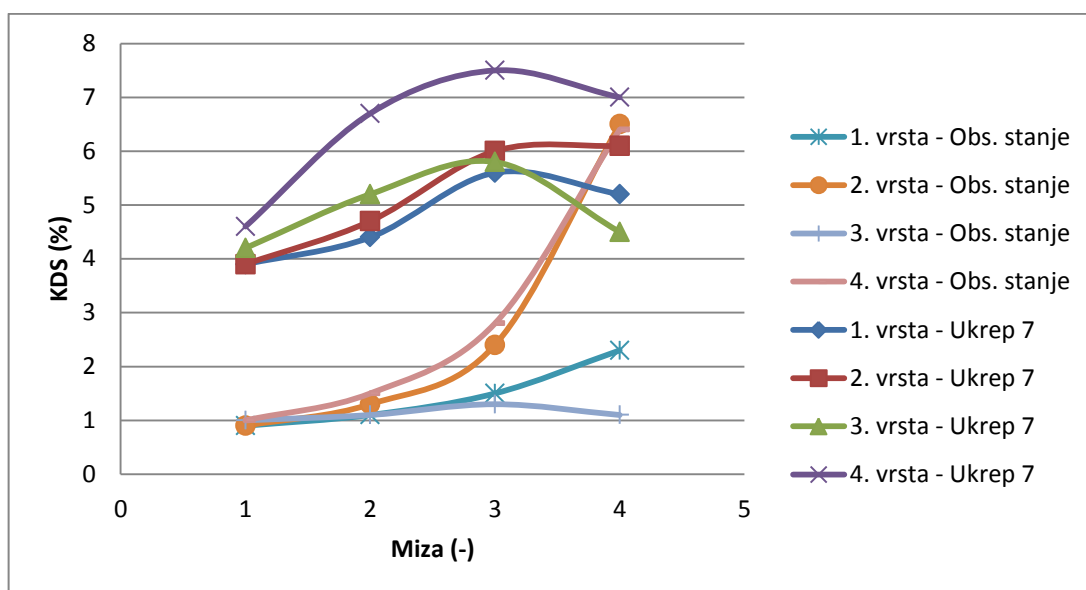


Grafikon 12: Primerjava vrednosti KDS na posameznih šolskih mizah brez in z uporabo ZSP.

V povprečju se v 4. vrsti, v neposredni bližini oken, zaradi uporabe ZSP vrednosti KDS zmanjšajo za približno 1,5 odstotne točke. Učinek ZSP nima vpliva na vrednosti KDS 1. in 2. sedeža.

Primerjava Ukrepa 6 in 7 kaže, da pokončno okno pri konstantni površini, ugodneje vpliva na KDSpov in enakomernost osvetljenosti prostora, kot ležeče. Umestitev okna na severno stran je glede na predhodni ukrep, KDSpov izboljšalo za 8 %. Pri obeh ukrepih so dosežene minimalne priporočene vrednosti nivoja osvetljenosti prostora.

Primerjava vrednosti KDS obstoječega stanja in Ukrepa 7 na posameznih šolskih mizah prikazuje precej manjša po izvedenih ukrepih, kot v obstoječem stanju. Vse vrednosti KDS se po Ukrepu 8 gibljejo med 4 in 8 %, medtem ko so bile v obstoječem stanju med 1 in 7 % (**grafikon 13**). Največ svetlobe prejme 3. vrsta miz. Razlike med posameznimi mizami so se, globalno gledano, zmanjšale za 2 odstotni točki, na kar ima velik vpliv umestitev ZSP.



Grafikon 13: Primerjava vrednosti KDS obstoječega stanja in Ukrepa 7, na posameznih šolskih mizah.

Vrednosti KDS v 3. vrsti sem skušal še nekoliko zmanjšati, s tem pa narediti potek krivulje bolj linearen. Izkazalo se je, da se s tem povečajo vrednosti KDS na 4. mizi, kar je razvidno tudi iz **grafikona 10**, saj je pri premiku ZSP na višino 190 cm, prostor za 6 % manj enakomerno osvetljen kot na trenutni višini ZSP. Povečanje osvetljenosti 4. miz je, z vidika enakomernosti osvetljenosti, neugodno, ker vpliva na povečanje KDSpov, ne vpliva pa na KDSmin.

Potek vrednosti KDS po prostoru v izhodiščni varianti je bil izrazito eksponenten, po izvedenih ukrepih pa je paraboličen, kar pomeni, da se KDS z globino prostora spreminja počasneje, kar je ugodneje.

3.4.5 Analiza predlaganih ukrepov v UM

Obstoječe stanje obravnavanega prostora izkazuje najugodnejše vrednosti KDSpov, izmed vseh obravnavanih prostorov. Problematično je le z vidika enakomernosti osvetljenosti, saj je razmerje med KDSpov in KDSmin precej visoko.

Ker se nad tem prostorom nahaja neizkoriščeno podstrešje, sem odstranil stropno konstrukcijo in si s tem omogočil vgradnjo dodatne vrste oken nad že obstoječimi. Pri dimenzioniranju odprtin mi bo v pomoč ugotovitev iz **razdelka 3.4.2**, kjer se je izkazalo, da široka okna v višjem predelu stene ugodno vplivajo na osvetljenost prostora v globini, posledično pa je prostor tudi nekoliko bolj enakomerno osvetljen.

Slika 32 prikazuje potek analize predlogov ukrepov za izboljšanje pogojev osvetljenosti učilnice v obstoječem stanju.



Slika 32: Primerjava obstoječega stanja in predlogov ukrepov pri oblačnem vremenu 21.12. ob 12.00 uri.

Pri Ukrepu 1 sem okna enakomerno razporedil po strešini. Ukrep 2 in 3 pri nespremenjeni površini oken prikazujeta razlike v vrednostih KDS, glede na obliko oken. Ukrep 4 in 5 sta končni varianti, kjer sem v prostor umestil dodatno vrsto oken nad že obstoječimi, pri uporabi dvojne in trojne zasteklitve. Od Ukrepa 2 naprej so vse analize izvedene pri odprtem stropu. Robni pogoji posameznega primera so zbrani v **preglednici 19**.

Preglednica 19: Robni pogoji računskih modelov v UM.

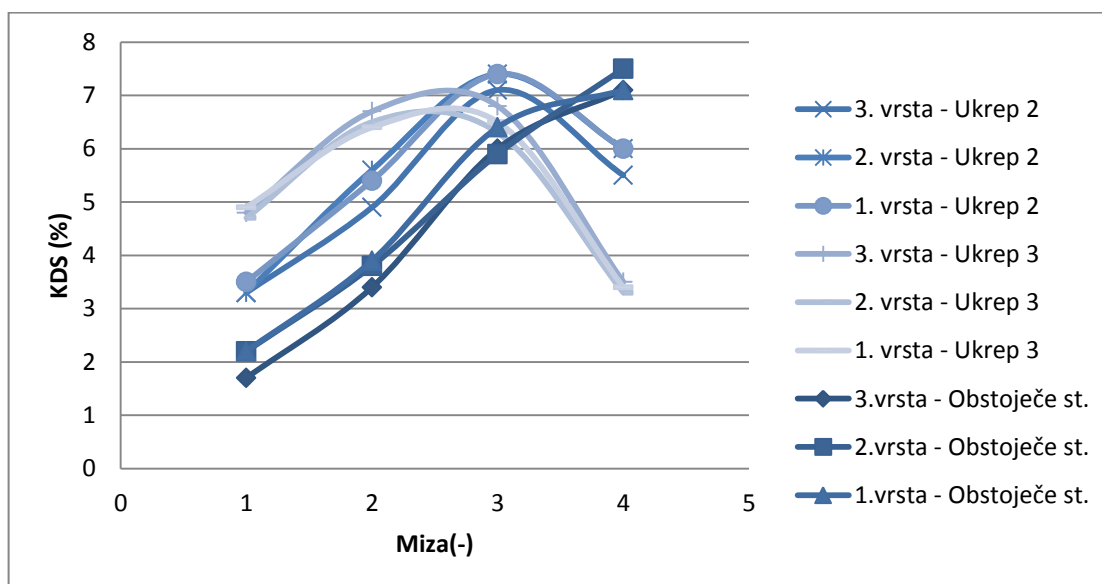
Ukrep	Okna v/š (m)	Aokna (m ²)	Astekel (m ²)	Št.	LT	Kot vgradnje (°)
Obstoječe	1,18/0,78	0,92	0,50	4	0,71	25
Ukrep 1	1,18/0,78	0,92	0,50	4	0,71	25
Ukrep 2	1,18/1,14	1,35	0,84	4	0,71	25
Ukrep 3	1,80/0,78	1,40	0,38	4	0,71	25
Ukrep 4	0,78/0,98	0,76	0,39	4	0,71	25
	1,18/0,78	0,89	0,41	4	0,71	25
Ukrep 5	0,78/0,98	0,76	0,39	4	0,62	25
	1,18/0,94	1,10	0,65	4	0,62	25

Iz **preglednice 20** je razvidno, da se glede na obstoječe stanje, pri enakomerni razporeditvi oken (Ukrep 1), KDSpov poveča za 18 %, za 56 % pa KDSmin, kar občutno izboljša enakomernost osvetljenosti prostora (25 %). Rezultati Ukrepa 2 in 3 kažejo, da daljša okna ugodneje vplivajo na vse parametre osvetljenosti.

Preglednica 20: Vrednosti KDS v UM pri posameznih ukrepih.

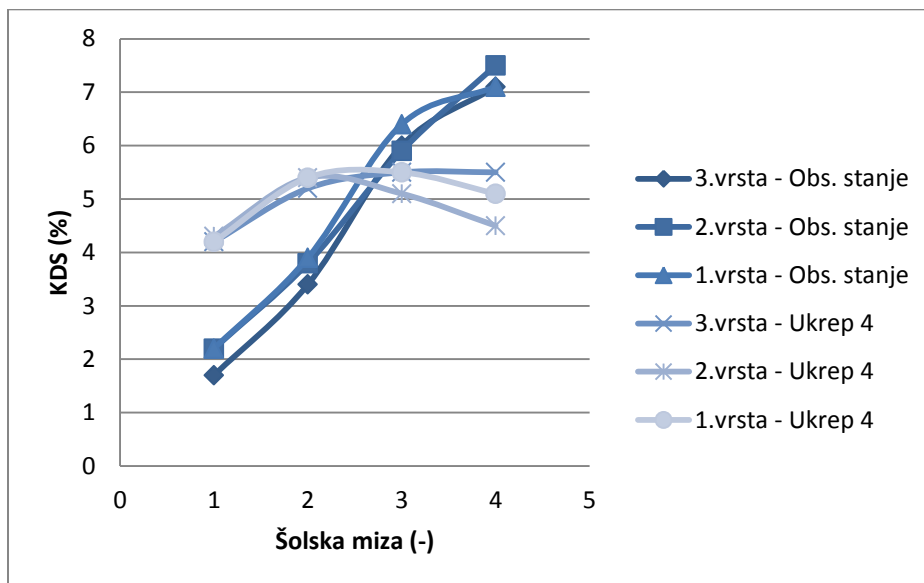
Primer	Aoken (m ²)	KDS _{pov} (%)	KDS _{min} (%)	KDS _{pov} /KDS _{min}	Ustreznost KDS
Obstoječe st.	3,68	3,18	0,91	3,5	NE
Ukrep 1	3,68	3,74	1,42	2,64	NE
Ukrep 2	5,4	5,24	2,02	2,59	DA
Ukrep 3	5,6	5,41	2,41	2,24	DA
Ukrep 4	6,6	5,01	2,72	1,84	DA
Ukrep 5	7,44	5,17	2,89	1,79	DA

V **grafikonu 14** je narejena primerjava vrednosti KDS na posameznih šolskih mizah, med obstoječim stanjem, Ukrepom 2 in Ukrepom 3. Iz grafa je razvidno, da je potek krivulj v primeru daljših oken bolj paraboličen, kar se je izkazalo za ugodno pri analizi UM v **razdelku 3.4.4**, saj se vrednosti KDS z globino prostora spreminjajo počasneje.



Grafikon 14: Potek krivulje vrednosti KDS na posameznih šolskih mizah, glede na obliko in razporeditev oken.

Vključno z Ukrepom 2, vsi ukrepi izpolnjujejo minimalne priporočene vrednosti pogojev osvetljenosti. Vendar pa Ukrep 4 in 5 izkazujeta bistveno boljše pogoje glede enakomerne osvetljenosti prostora, saj vrednosti KDS med posameznimi šolskimi mizami le malo odstopajo. Že uvodoma povedano, sem pri umestitvi oken upošteval dejstvo, da daljša okna na spodnjem robu poševnine bolj enakomerno osvetlijo večji del prostora, širša nad slednjimi, pa povečajo osvetljenost v globini prostora. Primerjava obstoječega stanja in Ukrepa 5 je razvidna iz **grafikona 15**.



Grafikon 15: Primerjava vrednosti KDS obstoječega stanja in Ukrepa 4 na posameznih šolskih mizah.

V končni varianti se vrednosti KDS na posameznih mizah razlikujejo za 2 odstotni točki. Ravno toliko so se zmanjšale vrednosti KDS v neposredni bližini oken in povečale v globini prostora, glede na obstoječe stanje. Površina oken se je glede na obstoječe stanje, pri Ukrepu 5 povečala za več kot 100 %, KDS_{pov} pa samo za 63 %. Večja površina oken je vplivala predvsem na osvetljenost prostora v globini, saj se je KDS_{min} povečal kar za 217%, nesorazmernost povečanja KDS_{pov} in KDS_{min}, pa je ugodno vplivalo na enakomernost osvetljenosti prostora, saj se je glede na obstoječe stanje izboljšala za 49 %.

3.5 Interpretacija analize osvetljenosti

Rezultati analize obstoječega stanja osvetljenosti prostorov se kažejo predvsem v tem, da je trenutna dnevna osvetljenost prostorov nezadovoljiva in ne omogoča ugodnih delovnih pogojev. Edini način, da je nivo osvetljenosti primeren, je dodatna uporaba umetne svetlobe. Tovrstna problematika je precej običajna, tudi avtor članka *Lighting in educational environments* [24] navaja, da se zadostni dnevni osvetljenosti prepogosto ne nameni dovolj pozornosti, posledično pa se skuša z uporabo umetne svetlobe podnevi, pogoje osvetljenosti izboljšati, kar je neracionalno tudi z vidika porabe električne energije.

V **preglednici 21** so zbrani vrednosti parametrov in rezultati analiz. Za vsak prostor so navedeni trije primeri, in sicer:

- obstoječe stanje,
- doseženi minimalni pogoji osvetljenosti prostora, z uporabo dvojne zasteklitve,
- doseženi minimalni pogoji osvetljenosti prostora, z uporabo trojne zasteklitve.

Preglednica 21: Uporabljeni parametri in končni rezultati analize osvetljenosti.

Prostor	Primer	LT	Aoken (m ²)	Tloris (m ²)	g/v	KDS _{pov} (%)	KDS _{min} (%)	KDS pov / KDS _{min}
SS	Obstoječe st.	0,71	4,55	20,57	1,35	2,13	0,51	4,18
	Ukrep 3	0,71	9,36	20,57	1,35	5,11	2,59	1,97
	Ukrep 4	0,62	10,53	20,57	1,35	5,15	2,65	1,94

Preglednica 21 se nadaljuje na strani 37.

T-KD	Obstoječe st.	0,24	16,80	127,68	1,36	0,23	0,06	3,83
	Ukrep 7	0,71	44,38	127,68	1,36	3,02	1,37	2,21
	Ukrep 8	0,62	47,95	127,68	1,36	3,05	1,43	2,14
DP	Obstoječe st.	0,81	2,28	21,18	2,24	1,10	0,20	5,50
	Ukrep 4	0,71	6,65	21,18	2,24	3,91	1,10	3,56
	Ukrep 5	0,62	6,65	21,18	2,24	3,60	1,10	2,27
UP	Obstoječe st.	0,71	6,83	41,40	1,51	1,45	0,37	3,92
	Ukrep 7	0,71	19,24	41,40	1,51	5,20	2,87	1,81
	Ukrep 8	0,62	20,89	41,40	1,51	5,15	2,89	1,78
UM	Obstoječe st.	0,71	3,68	28,80	1,63	3,18	0,91	3,5
	Ukrep 4	0,71	6,60	28,80	1,63	5,01	2,72	1,84
	Ukrep 5	0,62	7,44	28,80	1,63	5,17	2,89	1,79

Zahteva Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [18], o predpisanih površinah oken glede na tloris prostora, je izpolnjena v vseh obravnavanih primerih, kar je razvidno iz **preglednice 22**.

Preglednica 22: Ustreznost glede minimalne predpisane površine oken [18].

Prostor	Tloris prostora (m ²)	Transparentne površine		Odstopanje (pravilnik) (%)	Ustreznost (pravilnik)
		Adejanska (m ²)	Azahtevana (m ²)		
SS	20,57	9,36	4,11	127	DA
T-KD	127,68	44,38	25,54	74	DA
DP	21,18	6,65	4,24	57	DA
UP	41,4	19,24	8,28	138	DA
UM	28,8	6,6	5,76	14	DA

Ker določilo velja samo za stanovanjske prostore, pri ostalih prostorih sem ga uporabil zgolj za začetno oceno, je ustreznost glede na določilo pravilnika [18] bolj informativne narave.

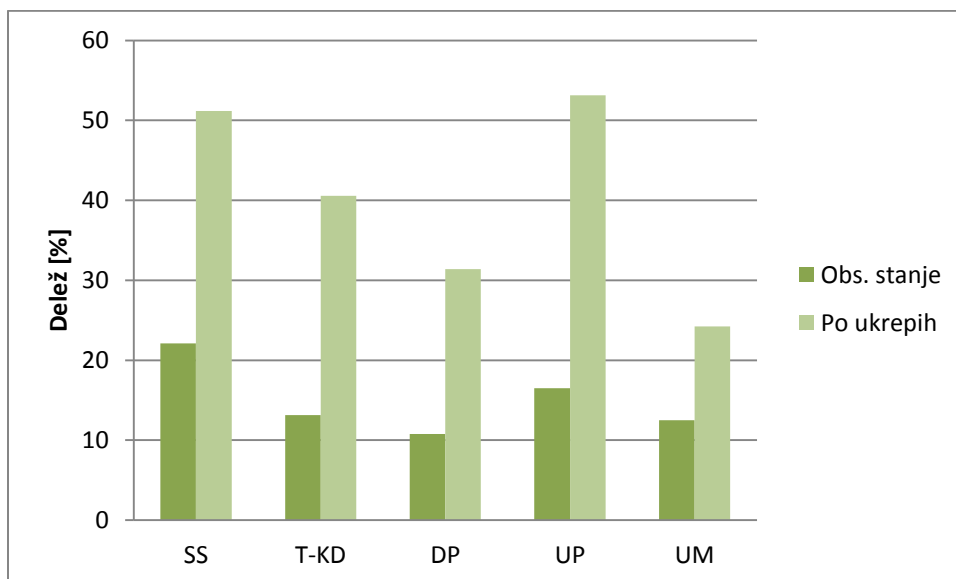
V analizi obstoječega stanja glede predpisane vrednosti razmerja med globino prostora in višino okna, nobeden izmed prostorov ni ustrezal določilu Pravilnika o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrtca [19]. V **preglednici 23** so določena razmerja po izvedenih ukrepih.

Preglednica 23: Ustreznost maksimalnega razmerja globine prostora in višine oken [19].

Prostor	Globina prostora – D (m)	Višina okna – H (m)	Razmerje D/H	Predpisano razmerje D/H	Ustreznost (pravilnik)
SS	3,65	1,9	1,92	2,5	DA
T-KD	8,40	3,2/5,1	1,65/2,65	2,5	NE /DA
DP	6,05	1,9	3,18	2,5	NE
UP	4,00	2,0	2,00	2,5	DA
UM	/	/	/	/	/

Po izvedenih ukrepih vsi prostori ustrezajo zahtevi pravilnika [19], razen SS. V 49. členu istega pravilnika je navedena zahteva, da je v slučaju neustreznega razmerja, prostor potrebno osvetljevati z dveh strani. Ker pravilnik ne velja za stanovanja, po izvedenem Ukrepu 5 pa so bili z uporabo trojne zasteklitve dosežene minimalne priporočene zahteve osvetljenosti dnevnega prostora, vsi izmed obravnavanih prostorov ustrezajo zahtevam obeh pravilnikov in minimalnim priporočenim nivojem osvetljenosti.

Iz **preglednice 22** je razvidno, da so deleži oken po izvedenih ukrepih pri vseh obravnavanih prostorih glede na predpisano vrednost v pravilniku [18], večji. Največja so odstopanja v primeru SS in UM, kjer so površine oken v obeh primerih večje za več kot 100 %. Razlog za to so višje priporočene vrednosti osvetljenosti prostorov ($KD_{Spov} = 5 \%$, $KD_{Smin} = 2,5 \%$). Iz **preglednice 23** je razvidno, da se razmerje D/H v obeh primerih zniža približno na vrednost 2. V **grafikonu 16** je narejena primerjava med površino oken v posameznem prostoru v obstoječem stanju in po izvedenih ukrepih (dvojna zasteklitev). Glede na zgornji ugotovitvi in deležu oken po izvedenih ukrepih, bi na podlagi izvedene analize veljalo, da je za primeren nivo osvetljenosti učilnic in pisarn najmanjši delež oken 50 % tlorisne površine prostora.



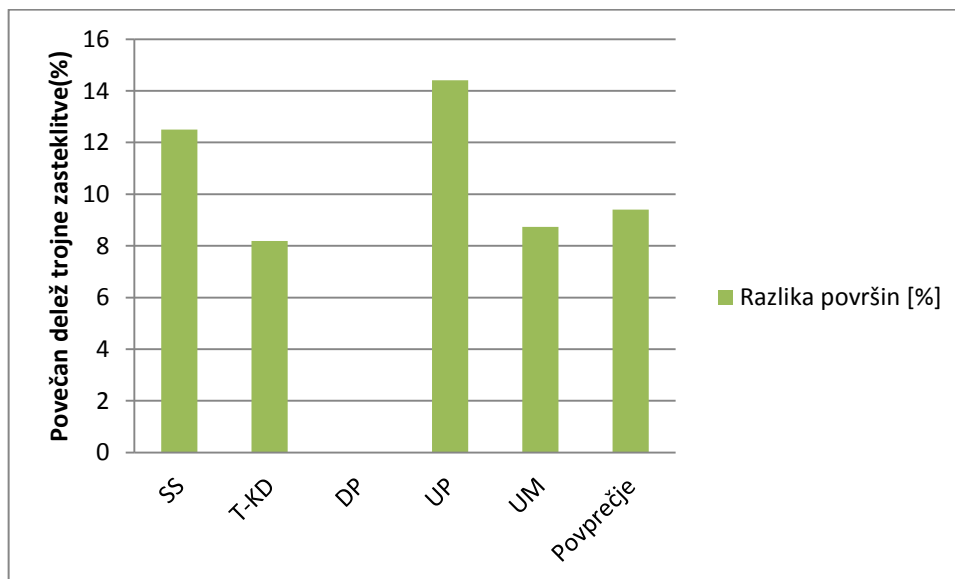
Grafikon 16: Primerjava deleža oken, glede na tloris prostorov med obstoječim stanjem in po ukrepih.

V T-KD je mogoče s površino oken 40 % tlorisne površine, dosega povprečno vrednost $KDS = 5 \%$, kar je ekvivalentno priporočeni vrednosti 400 lx [22].

Za DP, kjer so priporočene nižje zahteve glede minimalnega nivoja osvetljenosti ($KD_{Spov} = 3 \%$, $KD_{Smin} = 1 \%$) se izkaže, da je, glede na tloris potrebna površina oken 30%.

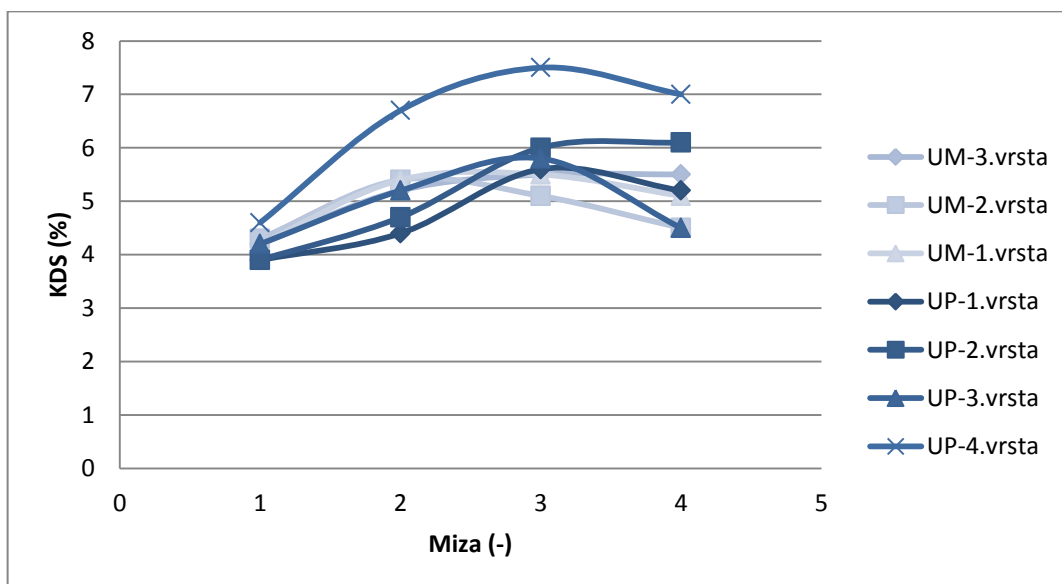
Na podlagi analize UM, kjer je priporočen višji nivo osvetljenosti ($KD_{Spov} = 5\%$, $KD_{Smin} = 3\%$), se izkaže, da je z vgrajenimi strešnimi okni primerna osvetljenost prostorov dosežena že pri površini oken 20 % tlorisne površine.

Povečan delež površine oken pri uporabi trojne zasteklitve za doseganje ekvivalentnega nivoja osvetljenosti z uporabo dvojne zasteklitve, je za posamezen prostor prikazan v **grafikonu 17**. Pri posameznih prostorih se deleži nekoliko razlikujejo, v vseh prostorih pa je delež nekje od 8 – 15 %. Primerjava faktorjev transmisivnosti za posamezno vrsto zasteklitve ($LT_{dvojna} = 0,71$ in $LT_{trojna} = 0,62$) kaže, da trojna zasteklitev prepušča v prostor dobrih 12 % manj svetlobe. To je skladno z rezultati analize, saj je potrebno pri različnih tipih zasteklitev za zagotovitev konstantnih pogojev osvetljenosti v prostoru, približno za enak odstotek kot se razlikuje medsebojna prepustnost (manjša), ustrezno spremeniti okenske odprtine (povečati).



Grafikon 17: Povečanje oken s trojno zasteklitvijo glede na dvojno, za ekvivalenten nivo osvetljenosti prostora.

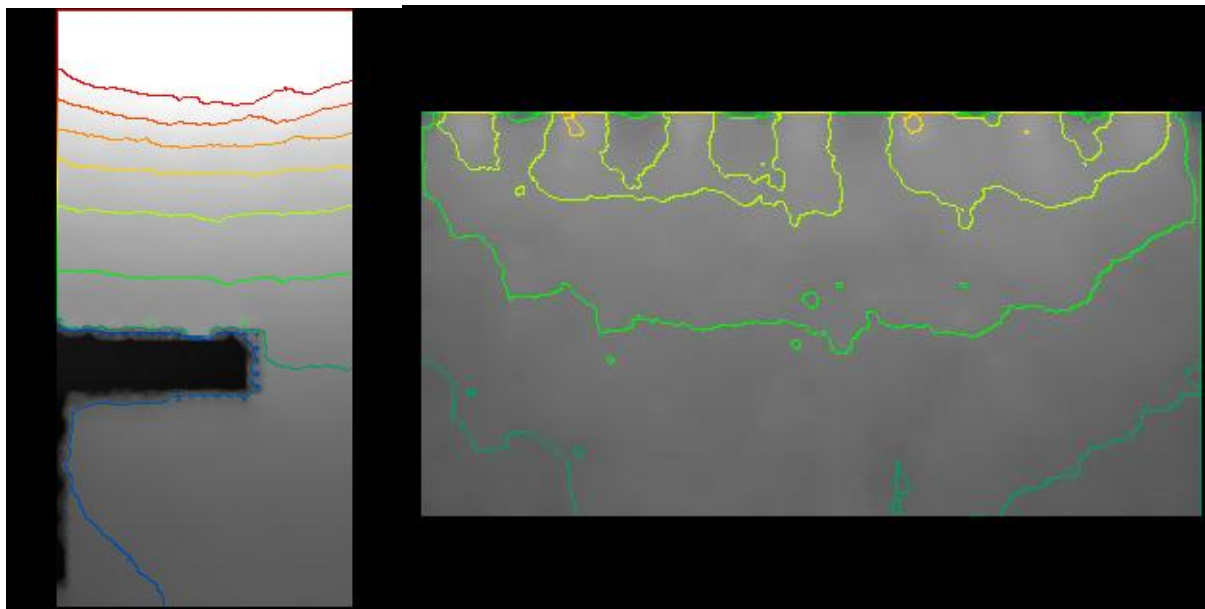
Primerjava podrobne analize osvetljenosti na posameznih šolskih mizah, kjer sem analiziral pogoje osvetljenosti UP in UM v **razdelkih 3.4.4** in **3.4.5** kaže, da so strešna okna bolj učinkovita kot vertikalna, tako z vidika manjše površine oken, kot tudi bolj enakomerne osvetljenosti prostora. Iz **grafikona 18** je razvidno, da se vrednosti KDS na posameznih mizah v UM nahajajo v razponu med 4,4 – 5,2 %. Razlika KDS med najbolj osvetljenimi delovnimi ravninami in najmanj osvetljenimi je tako 1,3 odstotne točke. Če iz primerjave izvzamem krivuljo vrednosti KDS 4. vrste v UP, ki nekoliko izstopa zaradi neposrednega vpliva severnega okna, je najmanjša vrednost KDS vseh šolskih miz 3,9 %, maksimalna pa 6,1 %, tako je vrednost KDS najbolj osvetljene mize za 2,2 odstotne večja, od najslabše osvetljene mize. Ugotovitvi kažeta, da je z uporabo strešnih oken prostor tudi bistveno bolj enakomerno osvetljen.



Grafikon 18: Primerjava vrednosti KDS posameznih delovnih ravnin po izvedenih ukrepih v UP in UM.

Spremembo vrednosti KDS po prostoru prikazuje **slika 33**. Leva slika prikazuje vrednosti v DP, desna pa v T-KD. V obeh obravnavanih prostorih je bila kritična osvetljenost v globini prostora. Zaradi višje svetle višine v telovadnici sem v T-KD s primernimi ukrepi dosegel boljše pogoje osvetljenosti v

globini prostora. Ker je v DP primerno osvetljenost prostora mogoče doseči le z širokim oknom po celotni steni, je potek svetlobe na posamezni navpični ravnini, pravokotno na okno skoraj linearen. Ravno nasprotno je v telovadnici, kjer so v neposredni bližini oken razvidne krožne linije, ki so posledica medsebojnega razmika spodnje vrste oken, ki pretežno osvetljujejo le del prostora ob oknih.



Slika 33: Grafični prikaz vrednosti KDS v DP (levo) in v T-KD (desno).

Celosten pregled analize osvetljenosti kaže, da bi predlagani ukrepi zahtevali velike posege v konstrukcijsko zasnovo stavbe. Glede na to, da statična zasnova ni najboljša, predvidevam, da bi večanje odprtin v stenah še dodatno oslabilo stavbo. Zato sem na podlagi analize osvetljenosti za vsak prostor določil le ukrepe, ki bi bistveno izboljšali trenutne pogoje osvetljenosti, hkrati pa ne bi preveč posegali v konstrukcijsko zasnovo stavbe. Trenutno je najbolj kritičen prostor T-KD, kjer bi se povprečna osvetljenost v prostoru po odstranitvi fiksnih rolojev izboljšala za več kot 300 % glede na obstoječe stanje. S širjenjem oken, bi se bistveno izboljšala povprečna vrednost KDS v prostoru. Z daljšanjem oken po višini stene, bi bil prostor bolj enakomerno osvetljen, povprečne vrednosti KDS, pa bi bile nekoliko manjše, kot pri širših oknih. V DP, kjer je trenutna osvetljenost prostora zelo nizka, bi z Ukrepom 2 iz **preglednice 15**, tudi brez uporabe svetlobne police precej izboljšali osvetljenost prostora v globini. Vrednosti KDS v neposredni bližini oken bi bile sicer nekoliko večje, v globini pa se ne bi spremenile, kar bi prispevalo k večjim razlikam med osvetljenostjo posameznih delov prostora. V UP bi bilo smiselno upoštevati karakteristike oken iz Ukrepa 2 in Ukrepa 4, saj bi se s širitvijo oken nekoliko izboljšale vrednosti KDS na posameznih delovnih ravlinah, z umestitvijo dodatnih enokrilnih oken nad že obstoječe, pa bi se povečal tudi delež svetlobe v globini. V SS, bi se z upoštevanjem Ukrepa 1 izboljšal KDS pov v prostoru, hkrati bi se zmanjšale razlike med osvetljenostjo posameznih delov prostora. V UM, kjer osvetljenost prostora že dosega visok nivo, bi se z vgradnjo dodatnega okna k že obstoječim, precej izboljšala enakomernost osvetljenosti kot tudi KDS pov.

4 Energijska bilanca stavbe

Energijsko bilanco sem izboljševal le s pomočjo ukrepov na stavbnem ovoju, analiza sistemov ogrevanja in hlajenja niso predmet obravnave. Izvedene ukrepe sem skušal smiselno utemeljiti in ovrednotiti, kako posamezen ukrep vpliva na energijsko bilanco stavbe. Glede na to, da so režimi in nameni uporabe prostorov v stavbi zelo različni, sem skušal kar najbolj primerljivo določiti trenutne pogoje in lastnosti prostorov, da bodo dobljeni rezultati kar najbolj odsevali dejansko stanje.

Pri energijski bilanci sem se usmeril v analizo potrebne toplote za ogrevanje (Q_{NH}) in hlajenje (Q_{NC}). Med posameznimi koraki analize obstoječega stanja in v analizi predlaganih ukrepov sem spremljal dejavnike energijske bilance, to so:

- transmisijske izgube (Q_{tr}),
- ventilacijske izgube (Q_{ve}),
- solarni dobitki (Q_{sol}),
- notranji toplotni dobitki (Q_{int}).

V analizi sem podrobneje obravnaval samo KS-je zunanjšega ovoja stavbe in KS-je, ki mejijo na neogrevano klet. Preveril sem kakšen vpliv ima na Q_{NH} in Q_{NC} zasnova KS-jev zunanjšega ovoja stavbe, in sicer:

- zasnova KS-jev zunanjšega ovoja,
- izbira zasteklitve,
- raba nočne izolacije.

Sanacijski ukrepi obravnavane stavbe morajo biti skladni s Pravilnikom o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES-2 2010) [25], saj gre za celovito sanacijo stavbe, določila omenjenega pravilnika pa je potrebno upoštevati pri novogradnji ali pri sanaciji večji od 25 % stavbe. Omejil sem se na člene, ki so predmet zunanjšega ovoja stavbe. PURES-2 je pravilnik, ki predpisuje obvezno uporabo Tehnične smernice za graditev TSG-1-004:2010 [26], kjer so navedene usmeritve za načrtovanje stavbe, za doseganje učinkovitih energijskih lastnosti stavbe.

Za obravnavano stavbo je navzgor omejena le Q_{NH} na enoto efektivne prostornine (Q_{NH}/V_e). S tega gledišča bodo vsi sanacijski ukrepi usmerjeni predvsem k znižanju Q_{NH} .

Pri analizi bom uporabil programa TEDI in TOST, zasnovana na FGG na KSKE. Mejne vrednosti obeh temeljijo na PURES-2 ter TSG-1-004:2010. Program TEDI omogoča izračun toplotne prehodnosti (U) konstrukcijskih sklopov (KS) stavbnega ovoja, na podlagi mejnih vrednosti TSG-1-004:2010 in določi ustreznost KS-ja glede mejnih vrednosti toplotne prehodnosti (U_{max}). Sočasno preveri tudi ali v KS-ju pride do navlaževanja in če, določi tudi v katerem sloju. Poleg integrirane knjižnice materialov, program omogoča tudi definiranje lastnih materialov, kar bom uporabil v nadaljevanju.

4.1 Analiza energijske bilance obstoječega stanja

Uredba o uvedbi in uporabi enotne klasifikacije vrst objektov in o določitvi objektov državnega pomena [27] določa, da kadar gre za funkcionalno zaokroženo območje, na katerem se nahaja več med seboj povezanih stavb, je potrebno vsakega od teh objektov razvrstiti ločeno, zato sem stavbo že uvodoma razdelil na posamezne dele. Obravnavana stavba spada med javne, nestanovanjske stavbe. Zahodni del po klasifikaciji stavbe spada med *Upravne in pisarniške stavbe (1220)*, osrednji med *Športne dvorane (1265)* in vzhodni del med *Stavbe za izobraževanje in znanstvenoraziskovalno delo (1263)*. Uredba dopušča možnost enotne klasifikacije, v kolikor ima glede na uporabo del stavbe prevladujoč vpliv, zato sem celotno stavbo uvrstil med *Stavbe za izobraževanje in znanstvenoraziskovalno delo (1263)*.

Preko Gauss – Krugerjevih koordinat (GKX = 113984, GKY = 462944) [28] program TOST naloži klimatske podatke za izbrano lokacijo (**preglednica 24**).

Preglednica 24: Vremenski podatki za obravnavano lokacijo.

Podatek	Vrednost
Temperaturni primanjkljaj DD (dan K)	3300
Projektna temperatura (°C)	-13
Povprečna letna temperatura (°C)	9,5
Letna sončna energija (kWh/m ²)	1121
Trajanje ogrevalne sezone (dnevi)	240
Začetek ogrevalne sezone (dan)	260
Konec ogrevalne sezone (dan)	135

4.1.1 Delitev in lastnosti toplotnih con

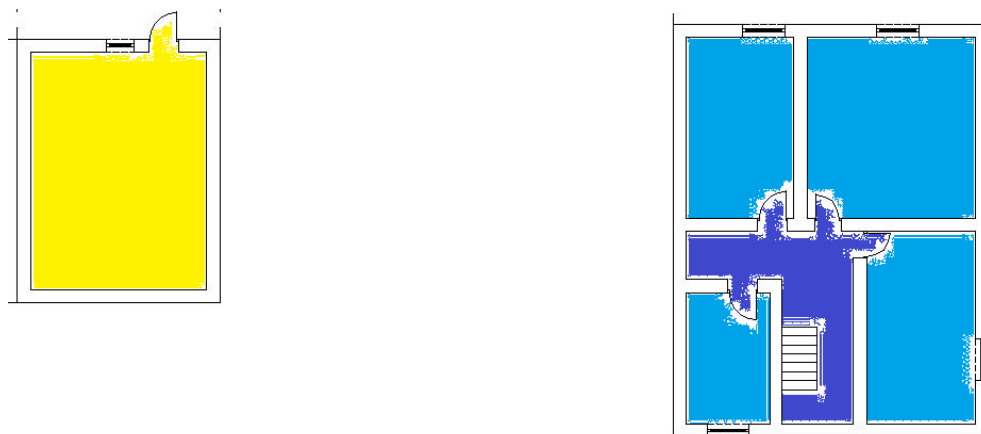
Stavbo sem razdelil na toplotne cone glede na temperaturne režime in obdobja uporabe, kjer se v prostoru zagotavlja nižja, oziroma višja projektna temperatura. Uporaba posameznih prostorov v stavbi je opredeljena že v **poglavju 2.0**.

S stališča varčevanja energije za ogrevanje, je že v obstoječem stanju instaliran sistem, ki omogoča avtomatsko regulacijo temperature v prostorih, z različno namembnostjo. Ločene obtočne črpalke omogočajo različne temperaturne režime, kot je razvidno iz **preglednice 25**.

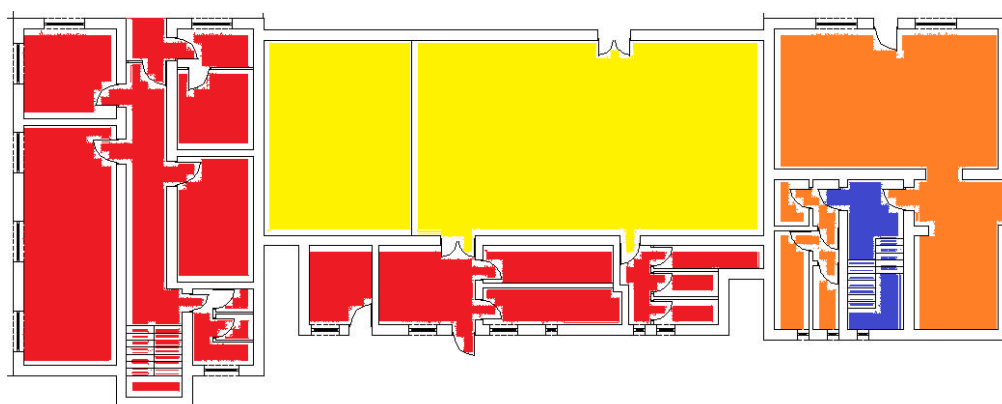
Preglednica 25: Temperaturni režimi v prostorih z različno namembnostjo, določene za posamezna podobdobja.

Enota	Dan (°C)	Noč (°C)	Vikend (°C)	Nezasedeno(°C)
Stanovanje	22	19	/	19
Trgovina	21	18	18	18
Podjetje	22	18	18	18
Šola in vrtec	22	18	16	16
Telovadnica	18	15	15	15

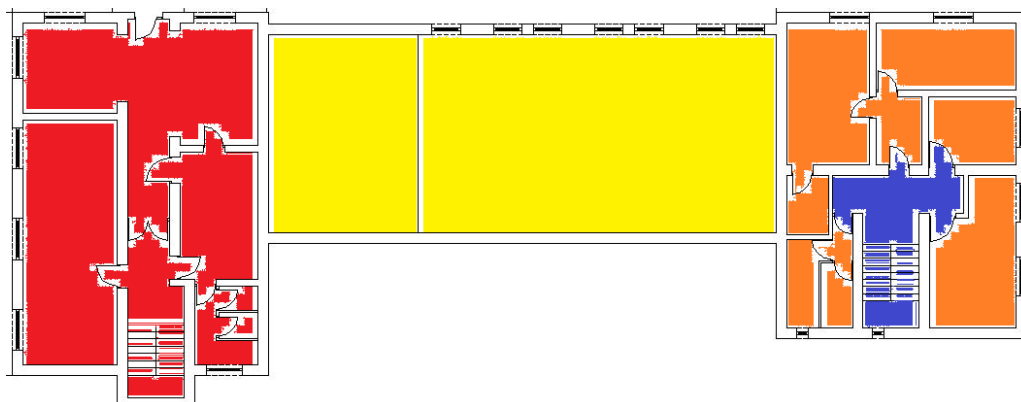
Glede na podatke o notranjih temperaturah v prostorih (**preglednica 25**) sem v Ogrevano cono 1 (OC1) uvrstil vzhodni del stavbe, ki je namenjena izobraževanju ter garderobe, ki se nahajajo na severni strani osrednjega dela stavbe. Vsi prostori imajo enak temperaturni režim ogrevanja. Stanovanje, trgovina in podjetje se nahajajo v zahodnem delu stavbe, notranje projektne temperature pa se med seboj bistveno ne razlikujejo, zato sem jih uvrstil v Ogrevano cono 2 (OC2). Telovadnica od ostalih prostorov izkazuje nižje projektne temperature v prostoru, zato sem jo uvrstil v Ogrevano cono 3 (OC3). Klet v zahodnem delu stavbe sem uvrstil v Neogrevano cono z neogrevano kletjo (NC z NK). V Neogrevano cono 1 (NC1) sem uvrstil neogrevano stopnišče v zahodnem delu stavbe, ki je ločeno od ostalih prostorov. V Neogrevano cono 2 (NC2) sem uvrstil neogrevano podstrešje posameznega dela stavbe, ki so med seboj ločeni. OC1 zavzema celoten vhodni del stavbe, vključno z garderobami v osrednjem delu stavbe. V OC2 je zahodni del stavbe, iz nje je izvzeta neogrevana klet (NC z NK) in neogrevano stopnišče (NC 1). Telovadnica v osrednjem delu stavbe je OC3. Posamezne cone stavbe so prikazane na **slikah 34-38**.



Slika 34: Prikaz cone pododrja (levo) in kleti zahodnega dela stavbe (desno).



Slika 35: Prikaz con v pritličju celotne stavbe.



Slika 36: Prikaz con v nadstropju celotne stavbe.



Slika 37: Prikaz con v mansardi vzhodnega (levo) in zahodnega dela stavbe (desno).



Slika 38: Prikaz neogrevanih con podstrešja.

Izbira barv za posamezne cone na slikah temelji na podlagi projektnih temperatur v prostoru. Rdeča barva prikazuje cono z najvišjo notranjo temperaturo ogrevane cone, rumena pa najnižjo. Podobno je pri neogrevanih conah, svetlo modra je neogrevana klet, vijolična pa neogrevano podstrešje, ki je zaradi visokih zračnih izmenjav najbolj mrzla cona.

- Ogrevana cona 1 (OC1)
- Ogrevana cona 2 (OC2)
- Ogrevana cona 3 (OC3)
- Neogrevana klet (NC z NK)
- Neogrevana cona 1 (NC1)
- Neogrevana cona 2 (NC2)



Karakteristike posameznih con so prikazane v **preglednici 26**.

Preglednica 26: Karakteristike posameznih con.

	OC 1	OC 2	OC 3	NC 1	NC 2	NC z NK
Vbruto (m³)	1745,8	1126,0	1259,8	186,9	645,5	315,2
Aneto (m²)	454,6	294,4	181,0	66,2	358,9	100,8
Tla na terenu (m²)	251,5	/	208,8	22,1	/	131,3
Zunanja stena (m²)	361,3	261,0	177,0	26,2	/	112,9

Preglednica 26 se nadaljuje na strani 45.

Streha (m²)	130,7	109,6	208,8	8,3	541,7	/
OC 1	/	5,7	113,7	/	161,6	/
OC 2	/	/	55,8	144,4	68,3	131,3
OC 3	/	/	/	/	208,8	5,6
NC 1	/	/	/	/	7,9	38,9

OC1 zavzema 42 % celotne bruto ogrevane prostornine stavbe in 49 % vseh neto tlorisnih površin stavbe. Tlorisna neto površina je v primerjavi z OC2 večja za 160,2 m², saj obsega še del prostorov (garderobe) osrednjega dela stavbe.

OC2 zavzema 27% celotne bruto ogrevane prostornine stavbe in 32 % vseh neto tlorisnih površin. Celotna cona leži nad neogrevano kletjo.

OC3 zavzema 31 % celotne bruto ogrevane prostornine stavbe in 19% vseh neto tlorisnih površin stavbe. Zunanja stena je le na južni strani in del stene nad garderobami v OC1. Vzhodna in zahodna stena sta mejni steni z OC1 in OC2.

Določilo TSG-1-004:2010 stavbe z masivnimi zunanjimi in notranjimi elementi uvršča med težke konstrukcije. Izračunana efektivna toplotna kapaciteta posamezne cone je:

- OC1 = 118,2 MJ/K
- OC2 = 76,54 MJ/K
- OC3 = 47,06 MJ/K

Temperaturna podobdobja in projektne temperature

Program omogoča določitev računskih podobdobji za celotno stavbo, ne pa tudi ločeno za posamezen del stavbe. Izračunal sem uteženo povprečje podobdobji za celotno stavbo po **enačbi 2**, na podlagi bruto prostornine posameznih ogrevanih con (**preglednica 26**) in trajanju podobdobji posameznih ogrevanih con, kjer sem upošteval naslednje trajanje posameznih podobdobji:

- za šolske prostore podnevi 10 ur, ponoči 14 in obdobja nezasedenosti za posamezen mesec, odvisno od šolskih počitnic,
- za stanovanjske prostore podnevi 12 ur, ponoči 12 ur, brez obdobji nezasedenosti,
- za trgovino in pisarniške prostore podnevi 12 ur, ponoči 12 ur in delež obdobja nezasedenosti ob vikendih,
- za telovadnico podnevi 6 ur, ponoči 18 ur in obdobja nezasedenosti ob vikendih.

$$(V_1 \times t_1 + V_2 \times t_2 + V_3 \times t_3) / (V_1 + V_2 + V_3) = t_d \quad (2)$$

kjer je

V_x bruto volumen x. ogrevane cone

T_x trajanje podobdobja x. ogrevane cone

t_d trajanje podobdobja celotne stavbe

Izračunane vrednosti so prikazane v **preglednici 27**. Povprečne vrednosti časovnih podobdobji izkazujejo bolj točne vrednosti, kot če bi uporabil vrednosti katere izmed OC1, OC2 ali OC3 za celotno stavbo, saj se med seboj precej razlikujejo. Precejšnja razlika se pojavi v mesecu juliju in avgustu, ko vzhodni del stavbe ni v uporabi zaradi šolskih počitnic.

Preglednica 27: Povprečna trajanja posameznih obdobij celotne stavbe.

Mesec	Dan (ure)	Noč (ure)	Vikend (ure)	Nezasedeno (dnevi)
Januar	252	325	167	0
Februar	212	272	137	2
Marec	252	325	167	0
April	243	314	162	0
Maj	237	304	153	2
Junij	200	253	120	6
Julij	158	194	78	13
Avgust	158	194	78	13
September	243	314	162	0
Oktober	237	304	153	2
November	243	314	162	0
December	252	325	167	0

Ker se temperature v stanovanju, trgovini in podjetju razlikujejo, čeprav so vse enote v OC2, sem na podlagi trajanja obdobij in bruto prostornine posameznih prostorov določil uteženo povprečje. Rezultati za posamezne ogrevane cone so zbrani v **preglednici 28**.

Preglednica 28: Povprečne notranje temperature posameznih ogrevanih con, v različnih obdobjih.

Cona	Dan (°C)	Noč (°C)	Vikend (°C)	Nezasedeno (°C)
OC1	22	18	16	16
OC2	22	18	19	18
OC3	18	15	15	15

Notranji toplotni dobitki

Tehnična smernica TSG-1-004:2010 v točki 9.2.6 navaja, da se prispevek Q_{int} določi po standardu SIST EN ISO 13790 [1]. Za stanovanjske stavbe se po poenostavljeni metodi lahko določi vrednost $4W/m^2$ uporabne tlorisne površine prostora. Ker je pretežen del stavbe nestanovanjski, sem na podlagi trajanj posameznih obdobij izračunal povprečne vrednosti za posamezne prostore, glede na namembnost le-teh po omenjenem standardu. Za izračun notranjih toplotnih dobitkov v stanovanju, ter pisarnah in trgovini, so za posamezen prostor v standardu predpisane karakteristične vrednosti (**preglednici 29 in 30**).

Preglednica 29: Delež notranjih dobitkov v stanovanju.

Prostor	Površina (m ²)	Dan (W/m ²)	Noč (W/m ²)	Vikend (W/m ²)
Dnevna soba	21,2	12,5	2	9
Spalnica	17,2	1	6	3,8
Kopalnica	4,4	1	6	3,8
Ostalo	41,8	1	1	3,8
Vsota	84,6	329,4	128,8	270,3

Preglednica 30: Delež notranjih dobitkov v pisarni in trgovini.

Prostor	Površina (m ²)	Dan (W/m ²)	Noč (W/m ²)	Vikend (W/m ²)
Pisarne	46,3	20	2	2
Sejna soba	35,8	8	1	1
Sanitarije	18	8	1	3,1
Trgovina	82,2	20	2	7,4
Skladišče	17,4	8	1	3,1
Vsota	182,3	1458,6	481,2	524,4

Standard za šolske prostore in telovadnice podaja nekoliko drugačen izračun, saj se notranje toplotne dobitke določa kot seštevek, ki jih oddajajo električne naprave in ljudje ločeno. Vrednosti notranjih toplotnih dobitkov ljudi, so podane glede na gostoto ljudi v prostoru (**Preglednica 31**).

Preglednica 31: Delež notranjih dobitkov v šoli.

Delež notranjih dobitkov, ki jih oddajo ljudje				
A cone (m ²)	Št. oseb (n)	Gostota (n/m ²)	Končna vrednost (W/m ²)	
454,7	100	4,5	6,7	
Delež notranjih virov, ki jih oddajo naprave			Vsota vseh dobitkov (W/m ²)	
Viri (W/m ²)	Zasedenost (%)	Povprečje (W/m ²)	Zasedeno	Nezasedeno
5	0,3	1,5	5320	455

Princip izračuna je enak kot v primeru šole, izračunane vrednosti toplotnih dobitkov so precej nizke, zaradi manjše površine cone (**Preglednica 32**).

Preglednica 32: Delež notranjih dobitkov v telovadnici.

Delež notranjih dobitkov, ki jih oddajo ljudje				
A cone (m ²)	Št. oseb (n)	Gostota (n/m ²)	Končna vrednost (W/m ²)	
181	30	6	5	
Delež notranjih dobitkov, ki jih oddajo naprave			Vsota vseh dobitkov (W/m ²)	
Viri (W/m ²)	Zasedenost (%)	Povprečje (W/m ²)	Zasedeno	Nezasedeno
4	0,3	1	1629	181

Prezračevanje

Urne izmenjave zraka posamezne cone so navedene v **preglednici 33**. Zaradi slabega tesnjenja oken so urne izmenjave zraka relativno visoke tudi pri nezasedenosti prostorov. Zaradi večje gostote uporabnikov v šoli (OC1) je urna izmenjava zraka nekoliko višja (1,0 h⁻¹), v primerjavi z OC2 in OC3.

Preglednica 33: Trenutne vrednosti urnih izmenjav zraka v posamezni coni.

Prezračevanje (h ⁻¹)	OC1	OC2	OC3	NC1	NC2	NC z NK
Podnevi	1,0	0,8	0,7	1,0	10	1,2
Ponoči (nezas.)	0,4	0,4	0,5	0,7	10	1,2

V NC2, kjer gre za neizolirano podstrešje (samo strešniki in leseno ostrešje), je določena visoka vrednost urne izmenjave zraka, saj je prehod zraka med stiki strešnikov neoviran.

4.1.2 Stavbni ovoj – transparentni in netransparentni del

V celotni dobi obratovanja stavbe doslej še ni bila izvedena celostna prenova zunanjšega stavbnega ovoja. Delne sanacije posameznih delov stavbe so bile izvedene glede na trenutne potrebe, zato se KS-ji posameznih delov stavbe med seboj razlikujejo.

Postopek pridobivanja podatkov je potekal s pomočjo ogleda stavbe in na podlagi predvidevanj, glede na prevladujočo tehnologijo gradnje v času gradnje stavbe. Možna so manjša odstopanja vhodnih podatkov glede na dejansko stanje, ki pa predvidoma ne bodo bistveno vplivala na samo energijsko analizo obravnavane stavbe.

Tehnična smernica TSG-1-004:2010 navaja maksimalne dovoljene vrednosti glede U vrednosti KS-jev stavbnega ovoja v stiku z zunanjim zrakom kot tudi ločilnih elementov, med deli stavbe z različnimi notranjimi projektnimi temperaturami ali namembnostmi. V **preglednici 34** so prikazane mejne U vrednosti za KS-je, ki sem jih uporabil pri analizi obravnavane stavbe.

Preglednica 34: Meje U vrednosti za različne mejne površine obravnavanih con.

Gradbena konstrukcija	U _{max} (W/m ² K)
Tla na terenu – ogrevan prostor	0,30
Tla na terenu – neogrevan prostor	0,35
Zunanja stena – ogrevan prostor	0,28
Zunanja stena – klet	0,35
Tla nad neogrevano kletjo	0,28
Streha	0,20

V obravnavani stavbi se KS-ji v grobem delijo na 4 skupine:

- tla na terenu,
- zunanje stene,
- notranje delitve,
- strehe.

Znotraj te delitve sem obravnaval KS-je posameznih delov stavb, glede na njihovo zasnovano in temperaturne režime v prostoru, ki jih omejujejo obravnavani KS-ji.

Tla na terenu

Tla na terenu se pri vseh treh delih stavbe med seboj razlikujejo le glede na finalno obdelavo, U se pri tem bistveno ne spremeni.

Sestavo in lastnosti KS-ja tal na terenu v vzhodnem delu stavbe, vsebuje **preglednica 35**. Na gramozno nasutje debeline 30 cm, je izvedena nearmirana betonska plošča debeline 10 cm, ki je zglajena s fino cementno malto, kot podlaga za finalno obdelavo. Finalna obdelava je linolej, debeline 0,5 cm. Ker ni vgrajene hidroizolacije (HI), v KS-ju pride do navlaževanja. Ravno tako ni vgrajene toplotne izolacije (TI), zato so mejne U vrednosti KS-ja presežene. Prostor nad obravnavanim KS-jem je ogrevan.

Preglednica 35: Tla na terenu: vzhodni del stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ (W/m ² K)
Linolej	1	0,005	0,19
Cem. malta	2	0,015	2,04
Beton	3	0,1	2,04
Gramozno nasutje	4	0,3	1,4
U - max (W/m²K) TSG	U - max (W/m²K) izračunan	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,3	2,32	/	NE

Tla na terenu v zahodnem delu stavbe so brez finalne obdelave, na gramozno nasutje je izvedena le nearmirana betonska plošča, debeline 10 cm. Prostor nad tlemi je neogrevan, zato je $U_{max} = 0,35$ W/m²K. TI in HI nista vgrajeni, zato tudi v tem primeru pride do navlaževanja KS-ja, mejne U so presežene (**Preglednica 36**).

Preglednica 36: Tla na terenu: zahodni del stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ (W/m ² K)
Beton	1	0,1	2,04
Gramozno nasutje	2	0,3	1,4
U - max (W/m²K) TSG	U - max (W/m²K) izračunan	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,35	2,54	/	NE

Osrednji del stavbe se po zasnovi KS-ja od zahodnega dela stavbe razlikuje po finalni obdelavi, ki je klasičen hrastov parket, debeline 2 cm (**Preglednica 37**). Zaradi nevgrajene HI pride do navlaževanja v KS-ju in presežene U vrednosti zaradi neizvedene TI.

Preglednica 37: Tla na terenu: osrednji del stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ (W/m ² K)
Parket	1	0,02	0,1
Cem. malta	2	0,15	2,04
Beton	3	0,1	2,04
Gramozno nasutje	4	0,3	1,4
U - max (W/m²K) TSG	U - max (W/m²K) izračunan	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,3	1,96	/	NE

Zunanja stena

Zunanje stene celotne stavbe so zgrajene iz polne opeke, z uporabo grobe podaljšane apnene malte, kot vezivnega sredstva (**Preglednica 38**). Na notranji strani je izdelan grob omet, ki je nosilna plast za finalno obdelavo iz fine apnene malte. Na zunanji strani je izvedena fasada iz klasičnega grobega ometa. Skupna debelina zunanje stene znaša 45 cm.

Preglednica 38: Zunanja stena – vzhodni, osrednji in zahodni del stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ (W/m ² K)
Malta (fina+groba)	1	0,025	0,81
Polna opeka	2	0,4	0,58
Omet (»teranova«)	3	0,025	0,81
U - max (W/m ² K) TSG	U - max (W/m ² K) izračunan	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,28	1,09	DA	NE

U vrednost KS-ja ne zadosti minimalnim predpisanim zahtevam TSG-1-004:2010. V drugem sloju (polna opeka) pride do navlaževanja v KS-ju, zaradi kondenzacije vodne pare.

Zunanje stene kleti v zahodnem delu stavbe se od preostalih zunanjih sten nad terenom po strukturi razlikujejo v sloju, ki je v stiku z zemljo. Stena je premazana s smolo, ki so jo včasih uporabljali kot hidroizolacijski material. Zaradi neučinkovitosti le-te, v kleti po trditvah vzdrževalca pogosto prihaja do zamakanja. Kljub temu, da je minimalna zahtevana U vrednost KS-ja nekoliko višja, kot pri ogrevanih prostorih (neogrevana klet), trenutna U vrednost ni ustrezna (**Preglednica 39**). Skladno s PURES-2 račun difuzije vodne pare v KS-ju ni potreben.

Preglednica 39: Zunanja stena neogrevanega prostora – klet zahodnega dela stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ (W/m ² K)
Malta (groba + fina)	1	0,025	0,81
Polna opeka	2	0,4	0,58
Omet (»teranova«)	3	0,025	0,81
Smola	4	/	/
U - max (W/m ² K) TSG	U - max (W/m ² K) izračunan	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,35	1,087	DA	NE

Notranje delitve

Izmed medetažnih KS-jev, je predmet analize le plošča nad NC z NK, ki meji na OC2 v zahodnem delu stavbe.

Plošča nad kletjo zahodnega dela objekta je edina, ki je bila že prvotno armiranobetonska, debeline 18 cm. Na ploščo so nalepljene keramične ploščice. AB Plošča ni izolirana, zaradi velike toplotne prevodnosti betona (λ), je U vrednost KS-ja zelo visoka in ne ustreza minimalnim zahtevam TSG-1-004:2010 (**Preglednica 40**).

Preglednica 40: Tla nad neogrevano kletjo – zahodni del stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ (W/m ² K)
Keramične ploščice	1	0,01	1,28
Lepilo	2	0,01	0,7
AB plošča	3	0,18	2,33
U - max (W/m ² K) TSG	U - max (W/m ² K) izračunan	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
3,50	0,28	/	NE

Streha

Zaradi različnih λ , vzporedno vezanih plasti steklene volne in roženikov pri sestavi KS-jev strehe, sem po **enačbi 3** izračunal uteženo povprečje U vrednosti KS-ja.

$$(X_1 \times A_1 + X_2 \times A_2) / (A_1 + A_2) = X_d \quad (3)$$

Kjer je

X_y vrednost karakteristike materiala y (δ , C, λ)

A_y površina prereza materiala y

X_d skupna vrednost karakteristike obeh materialov

δ specifična gostota materiala

C..... specifična toplota materiala

Za skupno difuzijsko upornost obeh materialov sem izbral bolj kritično vrednost obeh. Karakteristike vzporedno vezanih plasti roženikov, razporejenih na 1 m in steklene volne, so zbrane v **preglednici 41**.

Preglednica 41: Povprečne vrednosti karakteristik vzporednih plasti KS-ja streha.

Material	δ (kg/m ³)	λ (W/m ² K)	μ (-)	C (kg/JK)	A (m ²)
Les	500,00	0,14	70,00	2090,00	0,02
Steklena volna	30,00	0,04	1,00	840,00	0,16
Skupaj	72,73	0,05	1,00	953,64	

Vrednosti sem uporabil pri izračunu U vrednosti KS-ja strehe nad celotno stavbo, v osrednjem delu stavbe se KS streha nekoliko razlikuje, kot bo razvidno v nadaljevanju.

Nad vzhodnim in zahodnim delom stavbe je na notranji strani poševnega dela strehe izdelan suhomontažni strop iz aluminijastih profilov, na te pa so vijane mavčnokartonske plošče, nad katerim je neprekinjen 3 cm debel sloj steklene volne, med obema materialoma pa je umeščena polietilenska folija, ki preprečuje navlaževanje KS-ja kot je razvidno iz **preglednice 42**. V naslednjem sloju sta vzporedno vezani plasti roženikov in steklene volne, katerih povprečne vrednosti λ so zbrane v **preglednici 41**. Prečno na roženike so žebljane deske »colarice«, na te pa je pritrjena paroprepustna vodoneprepustna folija, ki ima funkcijo sekundarne HI. Nad njo je izveden zračni most debeline 8 cm in nosilna konstrukcija za opečnate strešnike, slednja sloja pri izračunu nista bila upoštevana. Strop nad OC1 in OC2 ima enako sestavo, le da ne vsebuje zračnega kanala in strešnikov.

Preglednica 42: Streha nad vzhodnim in zahodnim delom stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ (W/m ² K)
Mavčnokartonske plošče	1	0,0125	0,21
PE folija	2	0,001	0,19
Steklena volna	3	0,03	0,041
Steklena volna + roženiki	4	0,15	0,05
Deske	5	0,025	0,14
U - max (W/m²K) TSG	U - max (W/m²K) izračunan	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,2	0,23	NE	NE

V **preglednici 43** je prikazana sestava KS-ja strehe nad osrednjim delom stavbe. Zaradi starejše izvedbe ni vgrajene parne ovire, zato v KS-ju prihaja do navlaževanja. Celotna masna vlažnost ($X'_{sk} = 7,91$) je manjša od največje dovoljene masne vlažnosti ($X_{max} = 10$). To pomeni, da se nabrani kondenz v celoti izsuši v predpisanem obdobju, zato je KS ustrezen glede navlaževanja. Presežena je U vrednost, zato je KS neustrezen.

Preglednica 43: Streha nad osrednjim delom stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ (W/m ² K)
Deske	1	0,02	0,14
Steklena volna	2	0,15	0,041
Deske	3	0,025	0,14
U - max (W/m ² K) TSG	U - max (W/m ² K) izračunan	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,2	0,26	DA	NE

Izračun U vrednosti opečnatih strešnikov (**preglednica 44**) sem opravil, ker sem podstrešje v **razdelku 4.1.1** upošteval kot neogrevano cono, vrednosti pa so potrebne za analizo energijske bilance stavbe.

Preglednica 44: Poševna, toplotno neizolirana streha – nad celotno stavbo.

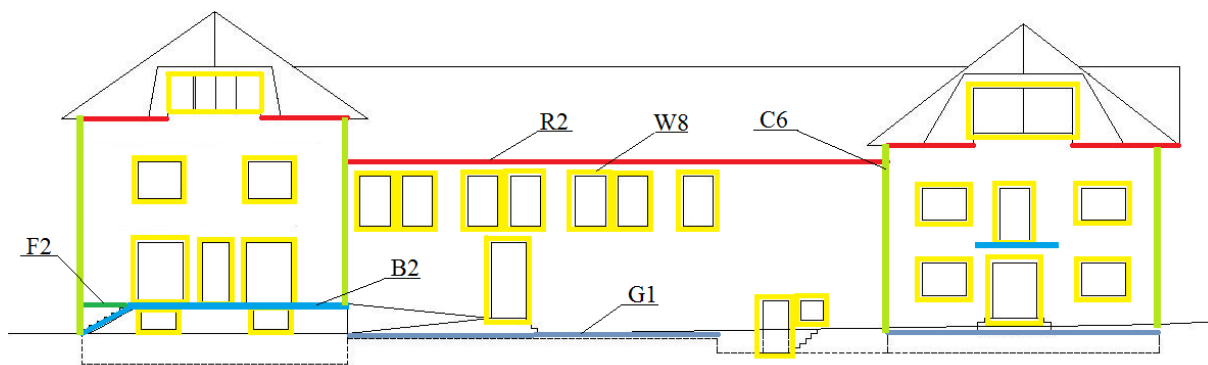
Material	Plast	Debelina (m)	λ (W/m ² K)
Opečnati strešnik	1	0,02	0,99
U - max (W/m ² K) TSG	U - max (W/m ² K) izračunan	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
/	5,3	/	/

V **preglednici 45** so zbrani podatki vseh obravnavanih KS-jev, ki jih bom uporabil pri analizi obstoječega stanja energijske bilance stavbe.

Preglednica 45: U vrednosti med posameznimi conami in zunanjim okoljem.

U (W/m ² K)	OC 1	OC 2	OC z OK	NC 1	NC 2	NC z NK
Tla na terenu	2,32	3,50	2,32	2,54	/	2,54
Zunanja stena	1,09	1,09	1,09	1,09	/	1,09
Streha	0,23	0,23	0,26	0,23	5,3	/
OC 1	/	1,09	1,09	/	0,23	/
OC 2	/	/	1,09	1,09	0,23	3,50
OC 3	/	/	/	/	0,26	1,09
NC 1	/	/	/	/	0,23	1,09

TSG-1-004:2010 navaja da se lahko v primeru, če imajo vsi linijski toplotni mostovi (TM) vrednost $\Psi_e < 0,2$ W/mK, njihov vpliv upošteva po poenostavljeni metodi in sicer tako, da se celotnemu ovojju stavbe poveča U vrednost KS-ja za 0,06 W/m²K. Ker obstoječe stanje tej vrednosti ne ustreza, sem vrednosti določil po standardu SIST EN ISO 14683 [2]. Toplotni mostovi na obravnavani stavbi so razvidni iz **slike 39**, vrednosti, ki jih bom uporabil pri izračunu, pa so zbrane v **preglednici 46**.



Slika 39: Prikaz TM na južni fasadi.

Prisotni TM na obravnavani stavbi so:

- stik stena – streha (R2), $\psi_e = 0,55$;
- stik tla – stena (G1), $\psi_e = 0,35$;
- stik okno – zunanja stena (W8), $\psi_e = 0,6$;
- geometrijski – vogalni deli stavbe (C6), $\psi_e = 0,1$;
- stik balkon – zunanja stena (B2), $\psi_e = 0,85$;
- stik plošča – zunanja stena (F2), $\psi_e = 0,8$.

Preglednica 46: Dolžine in vrste TM v posamezni coni stavbe.

Tip/dolžina (m)	OC1	OC2	OC3	NC z NK	NC1
C6	33,2	29,2	/	5,6	/
R2	71,05	48,9	43,1	/	3,3
G1	55,65	/	21,55	/	/
W8	171,7	106,6	53,8	17,6	23,4
B2	2,75	11,0	/	/	/
F2	/	37,9	/	/	9,9

Transparentni konstrukcijski sklopi

Obstoječa okna v stavbnem ovoju so:

- PVC okna z dvojno zasteklitvijo z nizkoemisijemskim premazom,
- škatlasta okna starejše izvedbe,
- vezana okna z dvojno zasteklitvijo,
- okna z enojno zasteklitvijo.

V telovadnici so vgrajena dvokrilna škatlasta okna, v garderobah osrednjega dela objekta klasična vezana okna, v kleti zahodnega dela stavbe so okna z enojno zasteklitvijo, večina oken zahodnega in vzhodnega dela stavbe je že bila zamenjana s PVC okni, ki imajo dvojno zasteklitev z nizkoemisijemskim premazom. Prevladujoča tipa oken, sta prikazana na **sliki 40**.



Slika 40: Že zamenjana PVC okna (levo) in vezana okna v osrednjem delu stavbe (desno).

Prepustnost zasteklitve za celotni sončni spekter (g), faktor okvira (F_f) in faktor toplotne prehodnosti okna (U_w) sem določil s pomočjo vrednosti, ki so navedene v Tehničnem modulu o ovoju stavbe [16] in v zborniku Energetsko učinkovita zasteklitev in okna [29]. Karakteristike oken so zbrane v preglednici 47.

Preglednica 47: Karakteristike vgrajenih oken v stavbi.

Cona	v/š (m)	g (-)	F_f (-)	U_w (W/m ² K)	Orientacija	Količina	Površina (m ²)
NK	0,80/1,40	0,87	0,26	4,6	J	2	2,24
NK	0,80/1,40	0,87	0,26	4,6	Z	1	1,12
NK	0,80/1,40	0,87	0,26	4,6	S	1	1,12
OC 1	1,20/1,20	0,8	0,31	2,3	S	2	2,88
OC 1	1,20/0,50	0,8	0,5	2,3	S	2	1,2
OC 1	0,80/0,90	0,8	0,42	2,3	S	1	0,72
OC 1	1,30/1,75	0,58	0,4	1,3	S	4	9,1
OC 1	1,30/1,75	0,58	0,4	1,3	V	8	18,2
OC 1	1,20/0,75	0,58	0,39	1,3	V	4	3,6
OC 1	1,80/3,95	0,58	0,11	1,3	J	1	7,11
OC 1	1,80/2,50	0,58	0,13	1,3	V	1	4,5
OC 1	1,30/1,75	0,58	0,4	1,3	J	4	9,1
OC 2	1,50/1,75	0,8	0,4	2,2	J	2	5,25
OC 2	1,30/1,75	0,58	0,4	1,3	S	1	2,275
OC 2	1,20/0,75	0,58	0,39	1,3	Z	4	3,6
OC 2	2,45/1,80	0,58	0,18	1,3	J	2	8,82
OC 2	1,50/1,00	0,58	0,31	1,3	J	2	3
OC 2	1,50/0,80	0,58	0,35	1,3	J	2	2,4
OC 2	1,20/0,50	0,8	0,5	2,3	S	5	3
OC 2	1,20/1,00	0,58	0,33	1,3	S	1	1,2
OC 3	2,00/1,20	0,5	0,47	2,2	J	7	16,8
OC 3	0,80/0,90	0,8	0,42	2,3	J	1	0,72
NC1	1,30/1,75	0,58	0,4	1,3	Z	3	6,825

Pred okna so vgrajeni različni tipi senčil, ker niso avtomatizirana, jih skladno z določilom v TSG-1-004:2010 v izračunu nisem upošteval.

Lastnosti vgrajenih vrat v objektu so zbrane v **preglednici 48**. Vrednost U_w lesenih vrat starejše izvedbe je $3 \text{ W/m}^2\text{K}$, novejših PVC vrat pa $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Preglednica 48: Karakteristike vgrajenih zunanjih vrat v stavbi.

Dimenzije v/š (m)	A (m^2)	Cona	U_w ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Orientacija
2,1/1,2	2,52	OC1	3	J
2,1/1,75	3,68	OC1	3	J
2,1/1,0	2,10	OC1	3	S
2,25/1,0	2,25	OC1	3	S
2,45/1,0	2,45	OC2	1,5	J
2,5/1,7	4,25	OC2	1,5	Z
2,0/1,2	2,40	OC3	3	J
3,0/1,4	4,20	OC3	3	J
2,1/1,2	2,52	NC1	3	S

4.1.3 Energijska bilanca obstoječega stanja stavbe

V obstoječem stanju sem analiziral vse dejavnike, ki nastopajo v procesu energijske bilance stavbe.

V **preglednici 49** so zbrane vrednosti energijskih dejavnikov, ki imajo na porabo energije v stavbi pozitiven in negativen vpliv, ter vrednosti Q_{NH} in Q_{NC} . Vse vrednosti so podane na enoto efektivne prostornine (V_e) posamezne cone. V_e je enaka bruto prostornini (V) pomnoženi s faktorjem 0,8 [26].

Preglednica 49: Vrednosti parametrov energijske bilance obstoječega stanja.

Cona	Q_{tr}/V_e (kWh/m^3)	Q_{ve}/V_e (kWh/m^3)	Q_{sol}/V_e (kWh/m^3)	Q_{int}/V_e (kWh/m^3)	Q_{NH}/V_e (kWh/m^3)	Q_{NC}/V_e (kWh/m^3)
OC 1	48,31	13,39	7,19	11,14	47,09	/
OC 2	79,20	12,14	8,89	9,54	76,39	/
OC 3	19,91	8,9	5,09	4,20	22,28	/
Skupaj	47,99	11,84	7,06	8,58	47,60	0,33

Razvidno je, da so najbolj izrazite potrebe po toploti v sezoni ogrevanja. Te so v sorazmerju s Q_{tr} , tako za celotno stavbo, kot za posamezno cono. Q_{tr}/V_e so največje v OC2, kjer so za 65 % večje glede na Q_{tr}/V_e celotne stavbe. V OC1 so Q_{tr}/V_e približno enake Q_{tr}/V_e celotne stavbe, v OC3 pa so za 60 % nižje. Glede na to, da je prostornina OC3 še nekoliko večja od OC2, gre nizko Q_{NH} v OC3 pripisati predvsem poziciji cone v stavbi in temperaturnemu režimu v njej. OC3 se namreč nahaja med ostalima ogrevanima conama, zato ima tudi najmanjši delež zunanjih sten. Vpliv temperaturnega režima se kaže v nižjih projektnih temperaturah, saj se prostor ob uporabi ogreva le na $18 \text{ }^\circ\text{C}$, v stanju nezasedenosti pa je notranja temperatura samo $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Vseeno se mi je pojavil dvom v pravilnost visoke vrednosti Q_{NH}/V_e v OC2, saj je vrednost za 62 % večja kot v OC1. Predvidevam, da je to posledica lege celotne OC2 nad NC z NK (neogrevana klet), ločilni KS AB plošča, pa ima visoko U vrednost ($3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$), posledično pa ima določen vpliv tudi toplotni most na stiku z zunanjo steno, ki pri ostalih conah ni prisoten. Drugi razlog je, da OC2 s treh strani obdaja NC1 (stopnišče), zaradi geometrije OC2 je tako delež površin s povečanimi toplotnimi tokovi, večji. Svoj prispevek ima tudi višja projektna temperatura v prostoru, saj je zahodni del stavbe edini, kjer je stanovanje in trgovina

neprenehoma v uporabi. Če so predvidevanja pravilna, se bo izkazalo v nadaljevanju, pri predlogih ukrepov za znižanje transmisijskih izgub.

Največja vrednost Q_{sol}/V_e je v OC2, ki ima izmed vseh con najmanjšo V_e . Najmanjša vrednost je v OC3, kjer sem g vrednost zaradi fiksnega roloja znižal na vrednost 0,5.

Q_{ve} so najbolj izrazite v OC1, vzrok za to so nekoliko povečane izhodiščne vrednosti urnih izmenjav zraka ($1,0 \text{ h}^{-1}$), ki so posledica večjega števila uporabnikov.

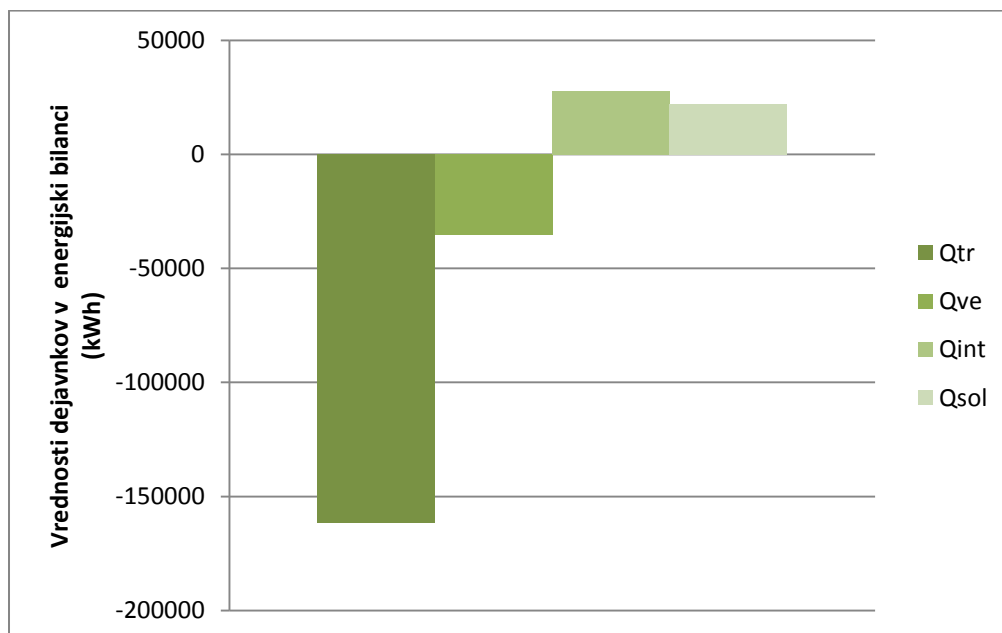
Na enoto V_e so Q_{int} posamezne cone po vrednostih podobno razporejene kot Q_{ve} . Pregled **preglednic 29-32**, kjer so predstavljene vrednosti Q_{int} za posamezno obdobje, pojasni pripadajoče vrednosti posamezne cone. Najmanjši Q_{int} so v OC3, kjer so vrednosti dobitkov najnižje, samo $2,5 \text{ W/m}^2$.

Q_{NC} je v obstoječem stanju zanemarljiva. Primerjava Q_{NC} posamezne cone, v tej analizi ne bi izkazovala pravih rezultatov. Razlog za to se skriva v poenotenju obdobj nezasedenosti za celotno stavbo. Potrebe za hlajenje so najbolj izrazite v poletnem času, takrat pa zaradi poletnih počitnic OC1 v mesecu juniju, juliju in avgustu ni v uporabi. Pravilna interpretacija rezultatov bi bila, da je celotna potrebna energija za hlajenje namenjena izključno za OC2 ali OC3, zato bom v celotni analizi spremljal le kako se spreminja potreba po hlajenju celotne stavbe.

S PURES-2 predpisana vrednost Q_{NH} , ki je v tem konkretnem primeru $Q_{NHmax} = 52.591 \text{ kWh}$, je presežena. V obstoječem stanju je $Q_{NHdej} = 156.597 \text{ kWh}$, tako je dovoljena meja prekoračena za več kot 200 %.

PURES-2 določa tudi maksimalen dovoljen koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub (H_T') skozi površino ovoja stavbe, ki je za obravnavano stavbo 0,38. Glede na predpisano vrednost je dejanska presežena za 92 % saj je $H'_{Tdej} = 0,73$.

Delež posameznih dejavnikov, ki vplivajo na porabo energije v stavbi je razviden iz **grafikona 19**. Predznak vrednosti označuje kakšen vpliv ima posamezen dejavnik na porabo energije v stavbi. Najbolj vidno izstopa vrednost Q_{tr} .



Grafikon 19: Bilanca energijskih dejavnikov stavbe v obstoječem stanju.

4.2 Analiza in predlogi izboljšav

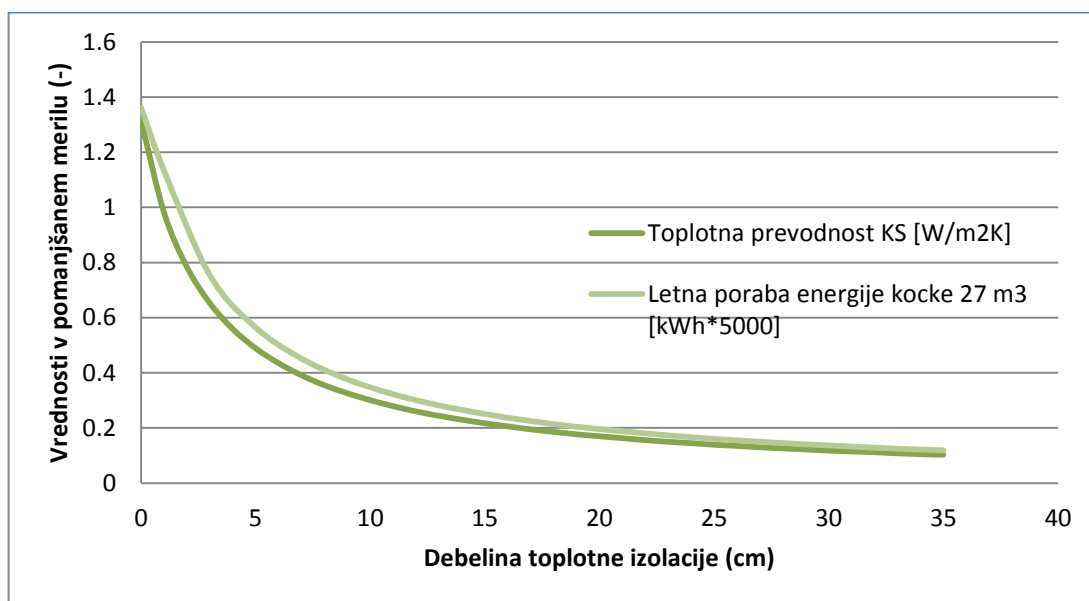
Že uvodoma povedano, sem določenim zahtevam PURES-2 glede energijske bilance stavbe, skušal zadostiti brez predlaganih ukrepov na področju strojnih instalacij in naprav. Pri posameznem ukrepu sem preveril samo spremembo dejavnika, za katerega sem domneval, da je imel izvedeni ukrep prevladujoč vpliv. Spremembe v stavbi po izvedenih ukrepi bodo:

- debelina zidu se bo povečala iz začetnih 45 cm na 60 cm, kar sem že predpostavil pri analizi osvetljenosti prostorov,
- zaradi toplotne izolacije tal na terenu se bo nekoliko zmanjšala bruto prostornina pritličnih in kletnih prostorov, kar bo nekoliko vplivalo na Q_{NH} in Q_{NC} , česar pa pri izračunu nisem upošteval, tako so rezultati na varni strani,
- na račun večje površine oken, pridobljenih iz analize osvetljenosti, se zmanjša površina netransparentnega stavbnega ovoja, kar sem pri analizi energijske bilance upošteval.

Spremembe energijskih dejavnikov sem spremljal le v sezoni ogrevanja, saj Q_{NC} predstavlja manj kot 1% celotne letne energije za obratovanje stavbe. Podrobneje sem preverjal le kako posamezni ukrepi vplivajo na spremembe celotne letne potrebne Q_{NH} .

4.2.1 Vpliv konstrukcijskih sklopov

Glede na podatke, ki sem jih pridobil v **podpoglavju 4.1**, sem na podlagi visokih vrednosti Q_{tr} na preprostem primeru prikazal spremembo, kako se spreminja U vrednost in Q_{NH} z debelino TI. Na osnovni primer opečnatega zidu iz polne opeke debeline 45 cm, sem postopoma dodajal EPS 70 od debeline 1 cm do 35 cm. Dobljene U vrednosti KS-ja sem uporabil pri analizi prostora 3 x 3 x 3 m, brez upoštevanja oken. U vrednost tal na terenu, zunanje stene in strehe, sem poenotil.



Grafikon 20: Sprememba vrednosti, z debelino EPS 70.

Iz **grafikona 20** je razvidno, da se Q_{NH} (v pomanjšanem merilu) zvezno spreminja z U vrednostjo KS-ja. Razlog za to je poenotenje U vrednosti tal na terenu, zunanje stene in strehe, ter neupoštevanja transparentnih površin. Zanimaril sem tudi vse vrste toplotnih dobitkov. Krivulja Q_{NH} bi začela limitirati pri debelini EPS 70 $d = 5$ cm, če bi v obravnavan prostor umestil tudi transparentne površine, odvisno od deleža slednjih. Razlog za to je, da se U vrednost trenutno najboljših oken dosegljivih na tržišču ne more primerjati z U vrednostjo EPS 70, debeline večje od 5 cm.

Za zunanjo steno sem na podlagi **grafikona 20** določil U vrednost $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$, kar je ekvivalentno EPS 70, pri debelini 15 cm. Izbrana debelina TI predstavlja 15 % večjo U vrednost, glede na neizoliran KS, kot ga dosega EPS 70 pri debelini 35 cm.

Maksimalna dovoljena U vrednost, določena v TSG-1-004:2010, je dosežena že z debelino 11 cm. Na podlagi razmerja med izbrano in predpisano vrednostjo sem pri vseh KS-jih postopal enako. Z ustrezno debelino TI sem dosegel mejne predpisane vrednosti, potem pa sem debeline TI povečal še za dodatnih 35 % debeline.

Lastnosti predlaganih izboljšav KS-jev so podani v nadaljevanju.

Preglednica 50: Predlagano stanje KS tla na terenu – vzhodni del stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Linolej	1	0,005	0,19
Cementni estrih	2	0,05	2,33
Polietilenska folija	3	0,005	0,19
XPS 30	4	0,11	0,034
Kamena volna	5	0,03	0,033
Izotekt Fragmat V4	6	0,005	0,19
Cementna malta	7	0,15	2,04
Beton	8	0,1	2,04
Gramozno nasutje	9	0,3	1,4
U - max TSG ($\text{W/m}^2\text{K}$)	U - max izračunan ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,3	0,22	/	DA

Preglednica 51: Predlagano stanje KS tla na terenu – zahodni del stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Keramične ploščice	1	0,02	1,28
Cementni estrih	2	0,05	2,33
Polietilenska folija	3	0,005	0,19
XPS 30	4	0,09	0,034
Kamena volna	5	0,03	0,033
Izotekt Fragmat V4	6	0,005	0,19
Beton	7	0,1	2,04
Gramozno nasutje	8	0,3	1,4
U - max TSG ($\text{W/m}^2\text{K}$)	U - max izračunan ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,35	0,25	/	DA

Preglednica 52: Predlagano stanje KS tla na terenu – osrednji del stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Parket	1	0,02	0,1

Preglednica 52 se nadaljuje na strani 59.

Cementni estrih	2	0,05	2,33
Polietilenska folija	3	0,005	0,19
XPS 30	4	0,11	0,034
Kamena volna	5	0,03	0,033
Izotekt Fragmat V4	4	0,005	0,19
Cementna malta	5	0,15	2,04
Beton	6	0,1	2,04
Gramozno nasutje	7	0,3	1,4
U - max TSG (W/m²K)	U - max izračunan (W/m²K)	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,3	0,22	/	DA

Preglednica 53: Predlagano stanje KS zunanja stena – vzhodni, osrednji in zahodni del stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ (W/m ² K)
Malta (fina+groba)	1	0,025	0,81
Polna opeka	2	0,4	0,58
Omet (teranova)	3	0,025	0,81
EPS 70	4	0,15	0,039
Plemenita fas. malta	5	0,005	0,7
U - max TSG (W/m²K)	U - max izračunan (W/m²K)	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,28	0,21	NE	DA

Preglednica 54: Predlagano stanje KS zunanja stena pod terenom – klet zahodnega dela stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ (W/m ² K)
Malta (fina+groba)	1	0,025	0,81
Polna opeka	2	0,4	0,58
Omet (teranova)	3	0,025	0,81
Izotekt Fragmat V4	4	0,005	0,19
XPS 30	5	0,1	0,034
U - max TSG (W/m²K)	U - max izračunan (W/m²K)	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,35	0,26	NE	DA

Preglednica 55: Predlagano stanje KS medetažna konstrukcija nad neogrevano kletjo – zahodni del stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ (W/m ² K)
Keramične ploščice	1	0,01	1,28
Lepilo	2	0,01	0,7
Cementni estrih	3	0,05	2,33
Polietilenska folija	4	0,001	0,19

Preglednica 55 se nadaljuje na strani 60.

EPS 70	5	0,12	0,039
AB plošča	6	0,18	2,33
EPS 70	8	0,05	0,039
U - max TSG (W/m²K)	U - max izračunan (W/m²K)	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,28	0,21	NE	DA

Preglednica 56: Predlagano stanje KS streha –vzhodni, osrednji in zahodni del stavbe.

Material	Plast	Debelina (m)	λ (W/m ² K)
Mavčnokartonske plošče	1	0,0125	0,21
PE folija	2	0,001	0,19
Steklena volna	3	0,03	0,041
Stekl. volna + roženiki	4	0,25	0,05
Deske	5	0,025	0,14
U - max TSG (W/m²K)	U - max izračunan (W/m²K)	Difuzija vod. pare	Ustreznost TSG
0,2	0,152	NE	DA

Na podlagi novih U vrednosti KS-jev sem ponovno izračunal energijsko bilanco. Glede na nižjo U vrednost posameznih KS-jev sem primerjal spremembe Q_{tr} in potrebne toplote za ogrevanje ter hladu za hlajenje stavbe. Spremembo energijske bilance sem posebej preveril za streho, zunanjo steno, tla na terenu in za medetažne konstrukcije. Spremembe energijskih dejavnikov v posameznem koraku so prikazane v **preglednici 57**.

Preglednica 57: Sprememba energijske bilance pri posameznih predlogih izboljšav KS-jev.

Dejavnik (kWh/m ³)	Obstoječe stanje	Izboljšava KS streha	Izboljšava KS zun. stena	Izboljšava KS tla na terenu	Izboljšava medet. KS-jev
Q_{tr} OC1	48,31	47,38	29,65	44,82	48,31
Q_{tr} OC2	79,2	78,18	52,95	79,05	60,03
Q_{tr} OC3	19,9	18,70	12,34	18,65	19,90
Q_{tr} stavba	47,99	46,66	30,66	46,4	42,80
Q_{NH} stavba	47,61	46,65	30,91	46,4	42,66
Q_{NC} stavba	0,33	0,33	0,54	0,41	0,33

Vse primerjave so narejene glede na obstoječe stanje. Na Q_{tr} je v tem izračunu najbolj vplivala TI na zunanji stene, saj se Q_{tr} celotne stavbe zmanjšajo za 36 %. Izvedba TI plošče nad neogrevano kletjo v OC2 predstavlja približno 10 % zmanjšanih Q_{tr} celotne stavbe, TI tal na terenu v OC1 in OC3 pa predstavlja 4 % zmanjšanih Q_{tr} celotne stavbe. Najmanj vpliva dodatna TI na strehah v vseh treh ogrevanih conah, kjer so se skupne Q_{tr} zmanjšale le za 3 %. Streha je namreč bila že v izhodiščnem stanju dobro toplotno izolirana, U vrednost v OC1 in OC2 je bila 0,22 W/m²K, v OC3 pa 0,25 W/m²K.

Vrednosti združenih vplivov izboljšanih KS-jev, glede na obstoječe stanje so zbrane v **preglednici 58**.

Preglednica 58: Rezultati energijske bilance po izboljšanju KS-jev.

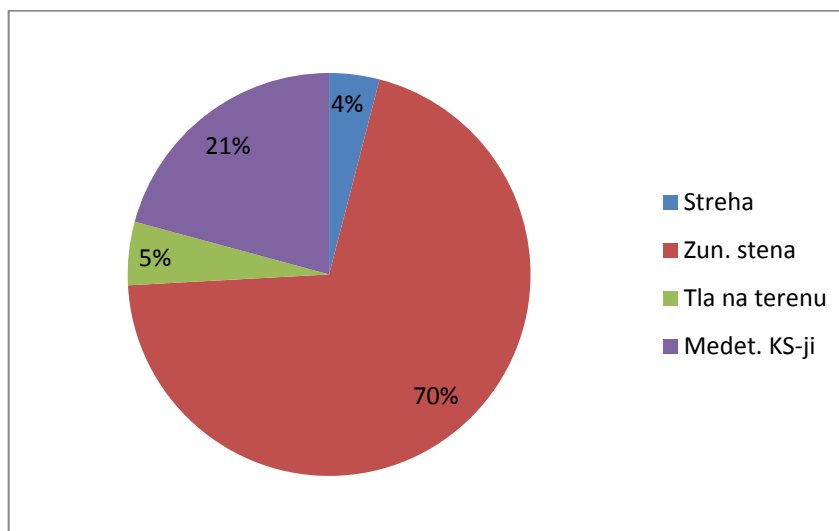
Cona	Q_{tr}/V_e (kWh/m ³)	Q_{ve}/V_e (kWh/m ³)	Q_{sol}/V_e (kWh/m ³)	Q_{int}/V_e (kWh/m ³)	Q_{NH}/V_e (kWh/m ³)	Q_{NC}/V_e (kWh/m ³)
OC 1	26,94	12,93	5,76	9,80	27,09	/
OC 2	30,7	12,29	5,82	8,08	30,29	/
OC 3	10,82	8,8	4,86	3,91	14,02	/
Stavba	23,03	11,49	5,58	7,53	23,96	0,71

Rezultati izračuna potrjujejo predvidevanja iz **razdelka 4.1.3**, kjer sem visok delež Q_{tr} v OC2 pripisal legi nad NC z NK, kjer je omenjeni cona ločevala samo toplotno neizolirana AB plošča. Po izboljšanju KS-jev, kjer je U vrednost plošče nad NC z NK 0,21 W/m²K, izkazuje OC2 bistveno manjše Q_{tr} , kot v obstoječem stanju. V OC1 so bile Q_{tr}/m^3 v obstoječem stanju za 33 % nižje kot v OC2, po izvedeni TI pa so nižje le še za 10 %. Glede na obstoječe stanje so se Q_{tr} posamezne cone najbolj zmanjšale v OC2, za 61 %, v OC3 za 46 %, najmanj pa v OC1, le za 44 %. V zelo podobnem razmerju se je zmanjšala tudi celotna Q_{NH} stavbe.

Izboljšanje KS-jev ima v primerjavi z Q_{NH} , negativen vpliv na Q_{NC} v stavbi. Iz začetne vrednosti 0,33 kWh/m³ se je povečala na 0,71 kWh/m³, kar je za 110 % več, v primerjavi z obstoječim stanjem. Še vedno celotna Q_{NH} predstavlja le slabe 3 % celotne potrebne energije v obeh obdobjih leta skupaj.

Koeficient H'_T , katerega maksimalna dovoljena vrednost za obravnavano stavbo je 0,38 se je glede na začetno stanje zmanjšal za 50 %, vrednost po sanaciji KS-jev pa znaša 0,37, kar je že skladno z mejnimi vrednostmi PURES-2. Vendar pa je raven potrebne Q_{NH} še vedno previsoka za približno 50 %, glede na omenjen predpis.

Delež doprinosa posameznega ukrepa zmanjšane Q_{NH} v tem koraku je razviden iz **grafikona 21**. Najbolj se Q_{NH} stavbe zmanjša po izvedeni TI zunanjih sten (70 %) in kletne plošče v OC2 (21 %).



Grafikon 21: Vpliv posameznega ukrepa, izražen z odstotki.

4.2.2 Odprava toplotnih mostov

Vpliv odpravljenih toplotnih mostov na Q_{NH} in Q_{NC} sem analiziral za vsak tip TM ločeno. Preverjal sem, kako posamezna vrsta toplotnih mostov vpliva na Q_{tr} v posamezni ogrevani coni. Ker se Q_{tr} spreminjajo zvezno z Q_{NH} in Q_{NC} , sem preverjal le skupne spremembe energije za celotno stavbo.

Ukrep 1: TM Tip B2 (stik balkon – zunanja stena)

Predpostavil sem TI balkona z uporabo XPS debeline 5 cm, po celotni površini, ki je v stiku z zunanjim okoljem.

Ukrep 2: TM Tip F2 (stik plošča – zunanja stena)

Predpostavil sem TI sten zunanjega oboda znotraj NC z NK z XPS debeline 5cm in tako preprečil povečan toplotni tok med ogrevano in neogrevano cono na stiku z zunanjo steno.

Ukrep 3: TM Tip W8 (stik okno – zunanja stena)

Predpostavil sem TI okenskih špalet z uporabo FRAGMAT XPS 30 debeline 5 cm tako, da XPS nalega na okenski okvir. Prostor med zunanjo in notranjo polico (pod okenskih okvirom) je zapolnjen s poliuretansko peno.

Ukrep 4: TM Tip G1 (stik temelj – zunanja stena)

Predpostavil sem, da je TI zunanje stene kontinuirana do spodnjega roba temelja. S FRAGMAT XPS 30 debeline 10 cm, je obložen tudi temelj.

Ukrep 5: TM Tip C6 (stik zunanja stena – zunanja stena)

Predpostavil sem, da so stiki vogalnih delov zunanje stene, na vsako stran cca. 80 cm, obloženi z FRAGMAT XPS 30. Toplotna prevodnost izbranega materiala je $\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$, z debelino 15 cm, se vrednost U vogalnih delov sten zmanjša na $0,188 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ukrep 6: TM Tip R2 (stik streha – zunanja stena)

Predpostavil sem, da je stik zunanje stene in strehe zvezen (TI strešne lege).

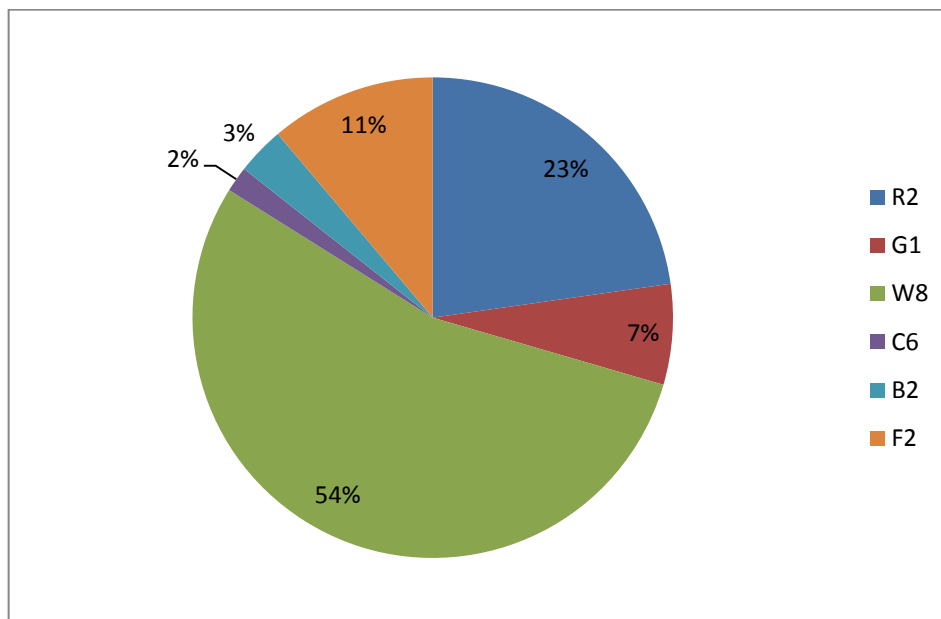
S predlaganimi ukrepi je izpolnjeno določilo TSG-1-004:2010, saj je linijska toplotna prehodnost $\Psi_e < 0,2 \text{ W/mK}$, kar pomeni, da se lahko TM upošteva na poenostavljen način, s povečanjem U vrednosti celotnega ovoja stavbe za $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Preglednica 60 prikazuje kako se spreminja energijska bilanca pri posameznih ukrepih za vsako vrsto TM. Končne vrednosti v posameznem primeru niso najbolj točne, saj med analiziranjem ukrepov vplivi TM niso bili upoštevani po poenostavljeni metodi, skladno s TSG-1-004:2010. Vrednosti so merodajne za določanje deleža izboljšav posameznega TM, glede na skupne izboljšave vseh TM. Točne vrednosti po izvedenih ukrepih, so prikazane v **preglednici 59**.

Preglednica 59: Rezultati energijske bilance po izboljšanju TM.

Cona	Q_{tr}/V_e (kWh/m ³)	Q_{ve}/V_e (kWh/m ³)	Q_{sol}/V_e (kWh/m ³)	Q_{int}/V_e (kWh/m ³)	Q_{NH}/V_e (kWh/m ³)	Q_{NC}/V_e (kWh/m ³)
OC 1	39,75	13,39	7,19	11,14	38,70	/
OC 2	66,35	12,74	8,87	9,51	63,67	/
OC 3	16,78	8,90	5,00	4,20	19,75	/
Skupaj	39,93	11,84	7,06	8,58	39,67	0,42

Vpliv posameznih TM na Q_{tr} celotne stavbe, je prikazan v **grafikonu 22**.



Grafikon 22: Delež posameznega vpliva TM na celotne zmanjšane Q_{tr} po izračunu.

Glede na obstoječe stanje ima pri celotni stavbi, na izboljšanje TM največji vpliv toplotno izolirana okenska špaleta (W8), ki predstavlja 54 % celotnih zmanjšanih Q_{tr} po izboljšanju vpliva TM, 23 % pa predstavlja toplotno izoliran stik med zunanjo steno in streho (R2). Oba omenjena TM zavzemata največji delež skupnih dolžin vseh TM v obravnavani stavbi.

V **preglednici 60** je prikazana energijska bilanca po izboljšanju posameznega tipa TM.

Preglednica 60: Sprememba energijske bilance pri posameznih predlogih izboljšav TM.

Dejavnik (kWh/m ³)	Obst. stanje	Ukrep 1 TM - R2	Ukrep 2 TM - G1	Ukrep 3 TM - W8	Ukrep 4 TM - C6	Ukrep 5 TM - B2	Ukrep 6 TM - F2
$Q_{tr} OC1$	48,31	46,00	47,17	42,21	48,12	48,17	48,31
$Q_{tr} OC2$	79,20	76,56	79,16	72,15	78,88	78,28	75,36
$Q_{tr} OC3$	19,90	18,5	19,45	17,99	19,90	19,90	19,9
$Q_{tr} stav.$	47,99	45,87	47,36	42,92	47,83	47,69	46,95
$Q_{NH} stav.$	47,61	45,54	47,00	42,67	47,45	47,51	46,58
$Q_{NC} stav.$	0,33	0,35	0,34	0,38	0,33	0,33	0,33

Razlike Q_{tr} v posamezni coni po izboljšanju TM, so primerjane glede na obstoječe stanje.

Celotne Q_{tr} v OC1 so se po izboljšanju vseh TM zmanjšale za 18 %. Toplotna izolacija okenskih špalet (W8) prispeva 62 % k celotnem zmanjšanju Q_{tr} zaradi vpliva TM. Toplotno izoliran stik med streho in zunanjo steno (R2) predstavlja 23 % vseh Q_{tr} v OC1, 12 % pa neprekinjen stik TI med zunanjo steno in temeljem (G1). Le 3 % celotnega deleža zmanjšanja Q_{tr} v OC1, predstavljata TM tipa B2 in C6.

Q_{tr} v OC2 so se glede na obstoječe stanje zmanjšale za 17 %. Razporeditev je v tej coni nekoliko drugačna. Po izvedenih ukrepih ima največji delež izboljšanje TI izolacija okenskih špalet (W8), ki predstavlja 48 % vseh Q_{tr} , stik med zunanjo steno in pritlično ploščo (F2) pa predstavlja 26 % vseh izgub. Stik med zunanjo steno in streho (R2) predstavlja 18 % celotnih izgub zaradi TM. Izolacija balkona (B2) na južni strani predstavlja 6 % vseh Q_{tr} , le 2 % pa stik zunanjih sten v vogalu (C6).

V OC3 največ prispeva izolacija okenskih špalet (W8), ki predstavlja 51 % vseh zmanjšanih Q_{tr} po sanaciji TM. Toplotno izoliran stik med zunanjo steno in streho (R2) predstavlja 37 % vseh izboljšanih Q_{tr} , zvezen stik TI temelja in zunanje stene (G1) pa 12 %.

Q_{NH} se je po izvedeni predlogih, glede na obstoječe stanje zmanjšala za več kot 16 %. Q_{NH} celotne stavbe v tem koraku, ne ustreza predpisanim vrednostim PURES-2 2010, saj je

$$Q_{NHdej} = 131.030 \text{ kWh} < Q_{NHmax} = 52.591 \text{ kWh}.$$

Vrednost H'_{Tdej} se je po analizi zmanjšala na vrednost 0,59, kar še vedno za 55 % presega s PURES-2 predpisano vrednost za celotno stavbo (0,38).

Nekoliko se je povečala tudi Q_{NC} , ki se je glede na obstoječe stanje celotne stavbe po sanaciji zvišala za 27 %.

4.2.3 Vpliv zasteklitve na porabo energije

Karakteristike oken, pridobljene iz predhodne analize osvetljenosti, sem uporabil pri analizi spremembe energijske bilance vpliva zasteklitve. Za analizo sem uporabil večkomorna PVC okna, z vrednostjo $U_w = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ za trojno zasteklitev (2 x low-e namaz, xenon) in $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ za dvojno zasteklitev (low-e namaz, zmes inertnih plinov) [29]. Energijska prepustnost dvojne zasteklitve je $g = 0,58$, trojne zasteklitve pa $g = 0,5$. Zaradi spremenjenih površin oken, se nekoliko spremenijo tudi faktorji okvirov (F_f). Karakteristike oken so podane v **preglednici 61**.

Preglednica 61: Karakteristike oken, pridobljene na podlagi analize osvetljenosti prostorov.

Prostor	Dimenzije b/h (m)	A (m ²)	Število	F_f (-)	g (-)	Orientacija
SS (2 zas.)	2,40/1,30	3,12	2	0,16	0,58	Z
	2,40/1,30	3,12	1	0,16	0,58	S
SS (3 zas.)	2,70/1,30	3,51	2	0,16	0,5	Z
	2,70/1,30	3,51	1	0,16	0,5	S
T-KD (2 zas.)	5,00/2,95	14,75	3	0,15	0,58	J
T-KD (3 zas.)	5,00/3,20	16,00	3	0,15	0,50	J
DP (2 zas.)	1,90/3,50	6,65	1	0,06	0,58	J
DP (3 zas.)	1,90/3,50	6,65	1	0,06	0,5	J
UP (2 zas.)	1,10/2,25	2,48	3	0,11	0,58	V
	0,90/10,35	9,32	1	0,03	0,58	V
	2,75/1,10	3,03	1	0,19	0,58	S
UP (3 zas.)	1,10/2,75	3,03	3	0,09	0,5	V
	0,90/10,35	9,32	1	0,03	0,5	V
	2,75/1,10	3,03	1	0,19	0,5	S
UM (2 zas.)	0,78/0,98	0,76	4	0,21	0,58	V
	1,18/0,78	0,89	4	0,26	0,58	V
UM (3 zas.)	0,78/0,98	0,76	4	0,21	0,5	V
	1,18/0,94	1,1	4	0,22	0,5	V

Za vsak obravnavan prostor sem primerjal energijsko bilanco z upoštevanjem karakteristik oken, pridobljene v analizi osvetljenosti prostorov. Ker nobeden izmed obravnavanih prostorov, ni orientiran na sever, sem na severni strani primerjal energijsko bilanco, pri menjavi tipa zasteklitve na obstoječih

površinah oken, zraven pa dodal še severni okni pridobljeni na podlagi analize osvetljenosti. V primeru pritlične učilnice sem analizo izvajal z dvakratno površino oken, s tem pa upošteval tudi učilnico v nadstropju, ki ima enake dimenzije in ekvivalentne pogoje osvetljenosti, kot pritlična učilnica. Izjemoma v tej analizi nisem energijskih dejavnikov primerjal na enoto V_e , saj so razlike tako majhne, da primerjava vrednosti pri uporabi različne vrste zasteklitve, ne bi izkazovala razlik. Razlike energetske bilance po menjavi oken v posameznem prostoru glede na obstoječe stanje, pri uporabi dvojne zasteklitve so zbrane v **preglednici 62**, pri uporabi trojne zasteklitve pa v **preglednici 63**.

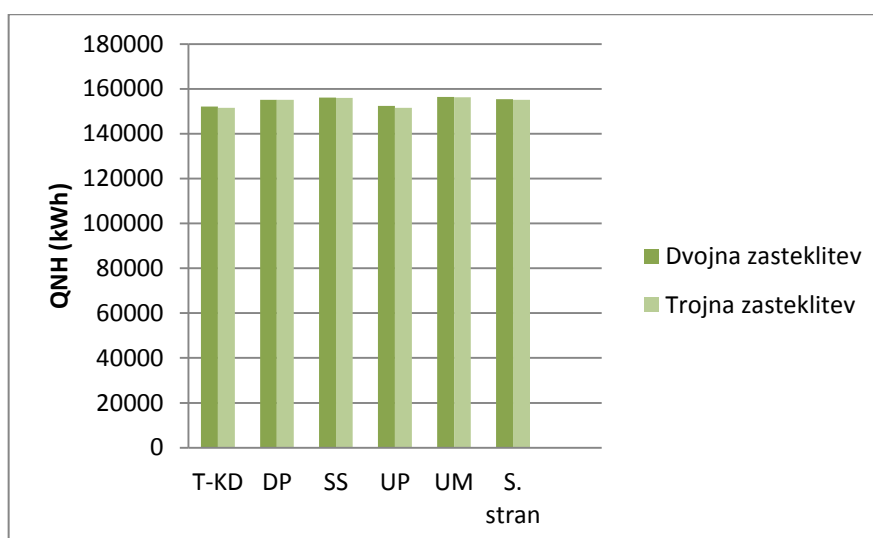
Preglednica 62: Rezultati energetske bilance pri uporabi dvojne zasteklitve.

Menjava	Q_{NH} (kWh)	Q_{NC} (kWh)	Q_{tr} (kWh)	Q_{sol} (kWh)	ΔA_{oken} (m ²)	Orient.
T-KD	151.760	2.247	157.463	32.404	28,0	J
DP	154.742	1.284	158.272	25.325	4,4	J
SS	156.134	1.280	158.611	24.531	1,7	Z
UP	151.988	1.952	155.822	26.062	19,8	V
UM	155.999	1.324	158.282	23.686	3,8	V
Sever	155.335	1.331	157.571	23.612	6,0	S

Preglednica 63: Rezultati energetske bilance pri uporabi trojne zasteklitve.

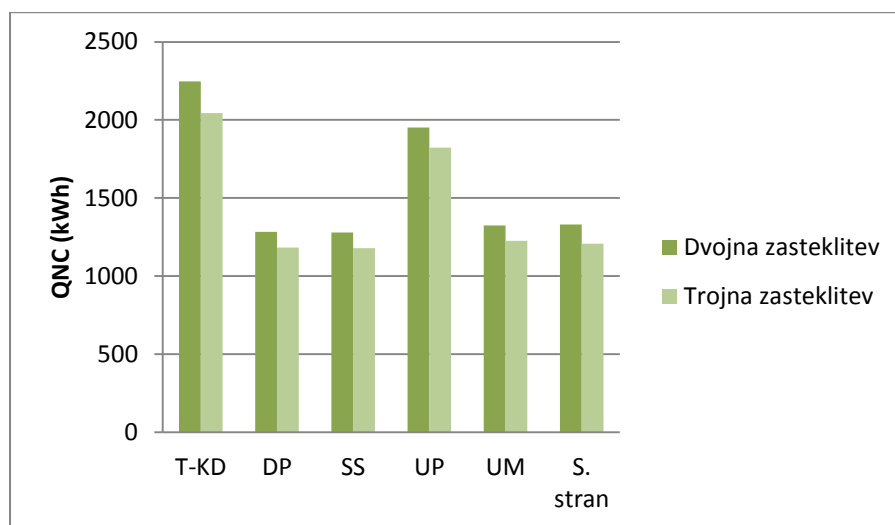
Menjava	Q_{NH} (kWh)	Q_{NC} (kWh)	Q_{tr} (kWh)	Q_{sol} (kWh)	ΔA_{oken} (m ²)	Orient.
T-KD	151.470	2.044	156.392	31.471	31,1	J
DP	155.130	1.182	158.049	23.031	4,4	J
SS	155.430	1.179	158.280	24.379	2,5	Z
UP	151.523	1.823	154.755	25.737	23,1	V
UM	156.193	1.225	158.053	23.656	4,4	V
Sever	155.036	1.207	156.676	23.276	6,5	S

Iz **grafikona 23** je razvidno, da se glede na obstoječe stanje v vseh primerih Q_{NH} zmanjša, razlike pri različni vrsti uporabljene zasteklitve, pa so zelo majhne.



Grafikon 23: Primerjava Q_{NH} pri različnem uporabljenem tipu zasteklitve.

Grafikon 24 prikazuje spremembe pri Q_{NC} pri različnem uporabljenem tipu zasteklitve, glede na obstoječe stanje. Razlike so nekoliko večje, kot v primerjavi Q_{NH} . Največje razlike so v T-KD, kjer je pri uporabi dvojne zasteklitve Q_{NC} večja za 10 %, kot pri trojni zasteklitvi.



Grafikon 24: Primerjava Q_{NC} pri različnem uporabljenem tipu zasteklitve.

Iz **grafikona 23** je razvidno, da je pri obravnavani stavbi bolje vgraditi dvojno zasteklitev, saj so razlike zelo majhne. Pri uporabi trojne zasteklitve bi morala biti okna večja, kar bi ceno oken še povišalo, to pa bi izbiro dvojne zasteklitve še bolj utemeljilo. Zato sem vsa okna v stavbi nadomestil z okni z dvojno zasteklitvijo, rezultati energijske bilance pa so zbrani v **preglednici 64**.

Preglednica 64: Rezultati energijske bilance po zamenjavi oken.

Cona	Q_{tr}/V_e (kWh/m ³)	Q_{ve}/V_e (kWh/m ³)	Q_{sol}/V_e (kWh/m ³)	Q_{int}/V_e (kWh/m ³)	Q_{NH}/V_e (kWh/m ³)	Q_{NC}/V_e (kWh/m ³)
OC 1	46,21	13,29	9,40	10,45	43,6	/
OC 2	77,98	12,73	10,77	9,43	73,86	/
OC 3	19,06	8,79	13,92	3,89	18,40	/
Skupaj	46,52	11,72	11,21	8,17	44,09	0,83

Končna energijska bilanca analize je pozitivna, kljub temu, da se je skupna površina oken precej povečala. Glede na obstoječe stanje se je v celotni stavbi Q_{NH} zmanjšala za 8 %, predvsem na račun Q_{sol} , ki so se povečali za 59 %. Negativno pa Q_{sol} vplivajo na Q_{NC} , ki se je glede na obstoječe stanje povečala za 152 %, še vedno pa predstavljajo le 2 % celotne potrebne energije za obratovanje stavbe. Q_{tr} so se v vseh ogrevanih conah nekoliko zmanjšale, kljub večji površini oken.

Q_{sol} so se glede na obstoječe stanje izrazito povečali v OC3, kar za 174 %, zaradi 27,6 m² večje površine oken. Najmanj so se glede na obstoječe stanje povečali v OC2, za 21 %, v OC1 pa za 31 %.

$H_{T'dej}$ se je glede na obstoječe stanje zmanjšal za 1,4 %, na vrednost 0,71.

4.2.4 Uporaba nočne izolacije

Na podlagi določila TSG-1-004:2010, sem uporabil avtomatiziran sistem NI. Podrobne analize pri obravnavanem ukrepu nisem izvajal, sej ne pričakujem občutnih sprememb pri potrebni Q_{NH} in Q_{NC} .

V članku Energy Saving Window Treatments [30] so navedene R – vrednosti, za posamezne ukrepe izolacije oken. Pri analizi sem uporabil U vrednost NI, ki je ekvivalentna centimetru XPS 30, to je 3 W/m²K.

Rezultati analize so zbrani v **preglednici 65**. Kot pričakovano, glede na obstoječe stanje po izvedenih ukrepih ni velikih sprememb. Q_{NC} se ne spremeni, Q_{NH} pa zmanjša za dobrih $0,47 \text{ kWh/m}^3$, kar je manj kot 1 %.

Preglednica 65: Rezultati energijske bilance po vgradnji NI.

Cona	Q_{tr}/V_e (kWh/m^3)	Q_{ve}/V_e (kWh/m^3)	Q_{sol}/V_e (kWh/m^3)	Q_{int}/V_e (kWh/m^3)	Q_{NH}/V_e (kWh/m^3)	Q_{NC}/V_e (kWh/m^3)
OC 1	47,82	13,39	7,18	11,14	46,60	/
OC 2	78,58	12,74	8,89	9,54	75,77	/
OC 3	19,59	8,9	5,00	4,20	22,51	/
Skupaj	47,52	11,84	7,06	8,58	47,14	0,33

Glede na obstoječe stanje, se celotna Q_{NH} stavbe zmanjša le za 0,7 %. V OC1 so se glede na obstoječe stanje zmanjša za 1 %, V OC2 za 0,8 %, največ pa v OC3, za 1,5 %.

Vrednost $H_{T' \text{ dej}}$ po izvedenem ukrepu ostaja nespremenjena (0,73).

Ker delež v končni primerjavi zaradi spremenjene površine oken v **razdelku 4.2.3** ne bo izkazoval prave vrednosti, sem analizo naredil še na primeru predhodne analize, kjer so se glede na obstoječe stanje površine oken povečale. Rezultati so zbrani v **preglednici 66**.

Preglednica 66: Rezultati energijske bilance po vgradnji NI, po menjavi oken.

Cona	Q_{tr}/V_e (kWh/m^3)	Q_{ve}/V_e (kWh/m^3)	Q_{sol}/V_e (kWh/m^3)	Q_{int}/V_e (kWh/m^3)	Q_{NH}/V_e (kWh/m^3)	Q_{NC}/V_e (kWh/m^3)
OC 1	45,61	13,29	9,40	10,45	42,99	/
OC 2	77,51	12,73	10,79	9,44	73,38	/
OC 3	18,73	8,79	13,92	3,89	18,08	/
Skupaj	46,03	11,72	11,21	8,17	43,61	0,83

Glede na stanje po menjavi oken, se je celotna Q_{HN} stavbe zmanjšala za 1,4 %. Za 1,3 % se je zmanjšala v OC1, za 0,7 % v OC2, največ pa v OC3, kjer se je zmanjšala za 1,7 %. Razvidno je, da razlike sledijo površini povečanega deleža oken v posamezni coni, tako je največja razlika v OC3, kjer so se v **razdelku 4.2.3** okna povečala za $27,6 \text{ m}^2$, potem v OC1, kjer se je površina oken v učilnici povečala za 20 m^2 , najmanj pa v OC2, kjer se je v SS in DP površina oken skupno povečala za 6 m^2 .

4.2.5 Zmanjšanje ventilacijskih izgub

Izmenjave zraka sem zmanjšal na minimalne predpisane vrednosti in predpostavil, da je ovoj stavbe zrakotesen. Iz Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb [31] sledi, da je minimalna urna izmenjava zraka, ob prisotnosti ljudi $0,5 \text{ h}^{-1}$, ob nezasedenosti pa $0,2 \text{ h}^{-1}$. Prostori, namenjeni učilnicam, imajo minimalno količino zraka na osebo $7,2 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ (navodila TOST, tabela 6 [32]), preračunano to pomeni $0,95 \text{ h}^{-1}$ izmenjavo zraka. Takšno vrednost sem predpostavil že v analizi obstoječega stanja, zato te vrednosti nisem spreminjal. Vrednosti nočne izmenjave zraka predstavljajo tudi vrednosti izmenjav, ko posamezna cona ni v uporabi (**Preglednica 67**).

Preglednica 67: Urne izmenjave zraka po izvedenih ukrepih.

Prezračevanje [h^{-1}]	OC1	OC2	OC3	NC1	NC2	NC z NK
podnevi	1,0	0,6	0,5	0,6	10	0,2
ponoči	0,2	0,3	0,2	0,3	10	0,2

V **preglednici 68** so zbrani podatki energijske bilance po izvedenem ukrepu.

Preglednica 68: Rezultati energijske bilance po znižanju urnih izmenjav zraka.

Cona	Q_{tr}/V_e (kWh/m ³)	Q_{ve}/V_e (kWh/m ³)	Q_{sol}/V_e (kWh/m ³)	Q_{int}/V_e (kWh/m ³)	Q_{NH}/V_e (kWh/m ³)	Q_{NC}/V_e (kWh/m ³)
OC 1	48,25	10,85	7,13	11,13	44,51	/
OC 2	76,44	8,67	8,93	9,52	69,68	/
OC 3	19,80	5,18	4,99	4,16	19,07	/
Skupaj	47,18	8,55	7,05	8,56	43,55	0,33

V primerjavi z obstoječim stanjem se je Q_{NH} celotne stavbe znižala za 8,5 %. Q_{NH} v posamezni coni se je sorazmerno zmanjšala s Q_{ve} . Najbolj izrazite spremembe so v OC3, kjer so se skupne Q_{ve} glede na obstoječe stanje znižale za 42 %, najmanj pa v OC1, kjer so se zmanjšale le za 19 %, kjer je tudi predpisana minimalna izmenjava zraka nekoliko višja, kot v ostalih conah (1,0 h⁻¹). V OC2 so se Q_{ve} , glede na obstoječe stanje, zmanjšale za 29 %.

4.3 Sinteza in analiza predlaganih ukrepov

Končni rezultat vseh predlaganih ukrepov v **podpoglavju 4.2**, izračunan glede na obstoječe stanje je prikazan v **preglednici 69**.

Preglednica 69: Rezultati sinteze vseh predlaganih ukrepov za izboljšanje energijske bilance.

Cona	Q_{tr}/V_e (kWh/m ³)	Q_{ve}/V_e (kWh/m ³)	Q_{sol}/V_e (kWh/m ³)	Q_{int}/V_e (kWh/m ³)	Q_{NH}/V_e (kWh/m ³)	Q_{NC}/V_e (kWh/m ³)
OC 1	17,18	10,89	5,27	8,74	15,45	/
OC 2	19,90	9,01	6,38	7,01	16,72	/
OC 3	7,88	4,75	11,95	3,19	5,5	/
Skupaj	15,07	8,46	7,72	6,58	12,86	3,40

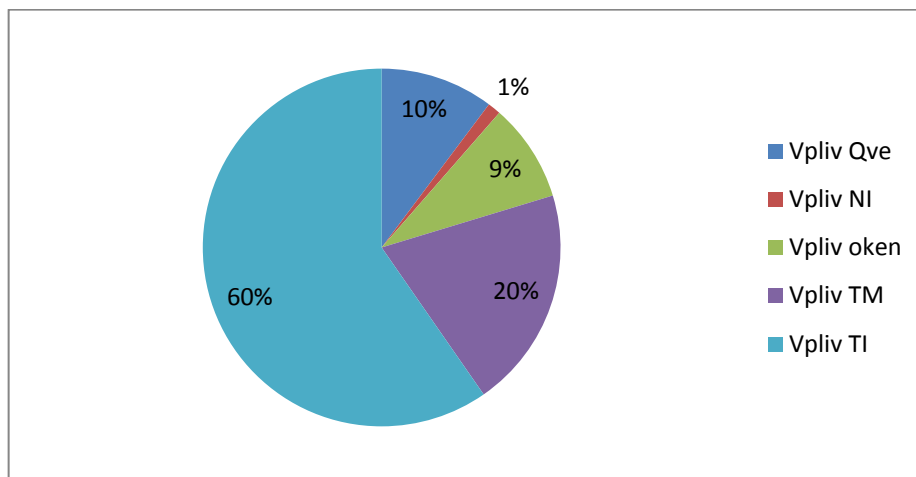
V vseh treh conah so razlike narejene v primerjavi z obstoječim stanjem.

Celotne Q_{tr} v OC1 so se zmanjšale za 65 %, posledično se je zmanjšala tudi Q_{NH} za 67 %. Q_{ve} so se zmanjšale za 19 %. Zaradi manjših Q_{tr} v sezoni ogrevanja, so se posledično zmanjšali Q_{sol} za 27 %, podobno tudi Q_{int} za 22 %.

V OC2 je najbolj izrazita razlika v Q_{tr} , ki so se v končni varianti zmanjšale za 75 %, podobno tudi Q_{NH} , za 78 %. Za 26 % so se zmanjšale Q_{ve} . Iz istega razloga, kot v OC1 so se tudi v tej coni Q_{sol} zmanjšali za 28 % in Q_{int} za 26 %.

V OC3 so se Q_{tr} zmanjšale za 60 %, za nekoliko večji odstotek, pa se je zmanjšala Q_{NH} , za 75,3%. Razlog za to je v povečanem deležu Q_{sol} , ki se je glede na obstoječe stanje povečal za 122 %. Za razliko med OC1 in OC2 so se solarni dobitki v OC3 izrazito povečali, na račun večje površine oken na južni orientaciji. Za 23 % so se zmanjšali Q_{int} .

Končno stanje Q_{NH} celotne stavbe po izvedenih ukrepih kaže, da se je z začetne vrednosti 156.597 kWh, znižala na vrednost 42.416 kWh, kar je 73 % manj, kot v obstoječem stanju. V tej fazi stavba zadosti mejni vrednosti Q_{NH} , predpisane s PURES-2, saj je za 19 % nižja od mejne vrednosti 52.591 kWh. Vpliv deleža posameznega predlaganega ukrepa je razviden v **grafikonu 25**.

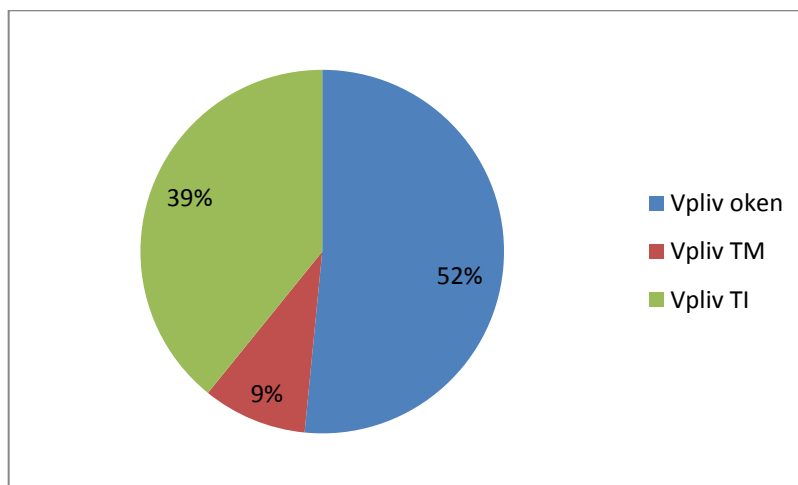


Grafikon 25: Primerjava deleža posameznega ukrepa, pri spremembi končne Q_{NH} po izvedenih ukrepih.

Iz grafikona je razvidno, da izvedba TI predstavlja 60 % celotne zmanjšane Q_{NH} . Izboljšani TM predstavljajo 20 %, manjše ventilacijske izgube 10 %, menjava oken 9%, najmanj pa na celotno zmanjšano Q_{NH} vpliva vgradnja NI, samo 1 %.

Vrednost H'_{Tdej} je po izvedenih ukrepih 0,25, kar je skladno s PURES 2 2010 predpisani mejni vrednosti je $H'_{Tdov} = 0,38$.

Izvedeni ukrepi pa, glede na obstoječe stanje negativno vplivajo na spremenjeno Q_{NC} . Iz začetne vrednosti 1.089 kWh se je po izvedenih ukrepih Q_{NC} povečala na vrednost 11.226 kWh, kar je za 930% več, kot v obstoječem stanju.

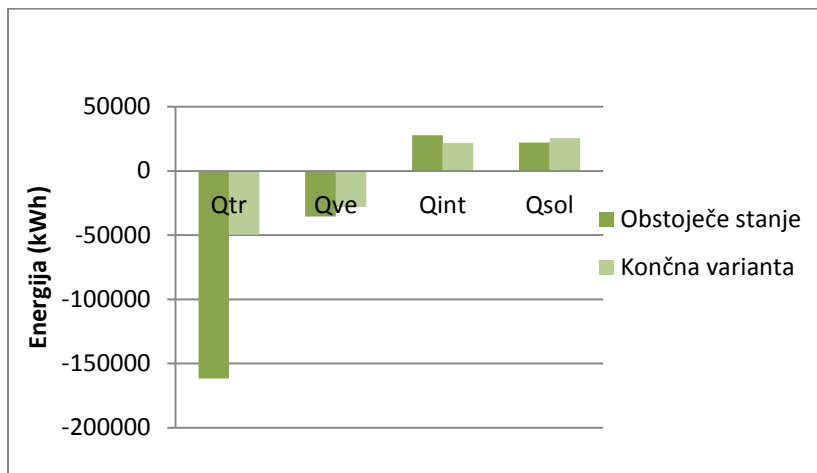


Grafikon 26: Primerjava deleža posameznega ukrepa, pri spremembi končne Q_{NC} po izvedenih ukrepih.

Največ se, glede na izhodiščno stanje poveča po menjavi oken, kar za 52 %. Večji Q_{sol} nimajo le pozitivnega vpliva v sezoni ogrevanja, temveč tudi negativno vplivajo v sezoni hlajenja, ko večji delež povečuje pregrevanje stavbe. Izvedba TI stavbnega ovoja predstavlja 39 % celotne Q_{NC} stavbe, 9 % pa sanacija TM. Razlog za to je energija, pridobljena iz notranjih in solarnih dobitkov. Dobro toplotno izoliran ovoj v stavbi zadržuje pridobljeno toploto iz različnih virov, kar je v sezoni hlajenja, ko je razlika med notranjo in zunanjo temperaturo nižja, še bolj izrazito kot v sezoni ogrevanja. Glede na to, da je polovica deleža povečane Q_{NC} povezana z menjavo oken, bi lahko s primernim senčenjem v sezoni hlajenja, bistveno zmanjšali Q_{NC} celotne stavbe, ki jo izkazuje stanje po izvedenih ukrepih.

Po izvedenih ukrepih Q_{NC} predstavlja 21 % celotne energije za ogrevanje in hlajenje, kar je za 20,3 odstotne točke več, kot v obstoječem stanju.

Primerjava med energijskimi dejavniki v obstoječem stanju in po izvedenih ukrepih je razvidna v **grafikonu 27**.



Grafikon 27: Primerjava energijskih dejavnikov obstoječega stanja in končne variante.

Glede na obstoječe stanje, so se po izvedenih ukrepih skupne Q_{tr} stavbe zmanjšale za 69 %, ventilacijske pa za 29 %. Solarni dobitki so se na račun OC3 povečali za 9 %, notranji dobitki pa zmanjšali za 23 %.

V 2. odstavku 21. člena PURES-2 je naveden izraz, za mejno vrednost potrebne energije za ogrevanje, ki je navzgor omejen, in sicer

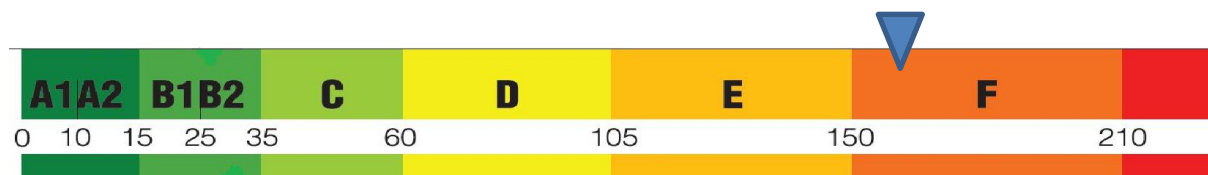
$$Q(NH)/V(e) \leq 0,29 (56 + 60 f(0) - 4,5 T(L)) \text{ (kWh/m}^3\text{a)} \quad (4)$$

Za obravnavano stavbo je oblikovni faktor $f(0) = 0,7$; povprečna letna temperatura je $9,5^\circ\text{C}$; kondicionirana V_e stavbe znaša 3.298 m^3 . Obravnavna stavba ustreza zgornji enačbi, saj je Q_{NH} manjša od predpisane

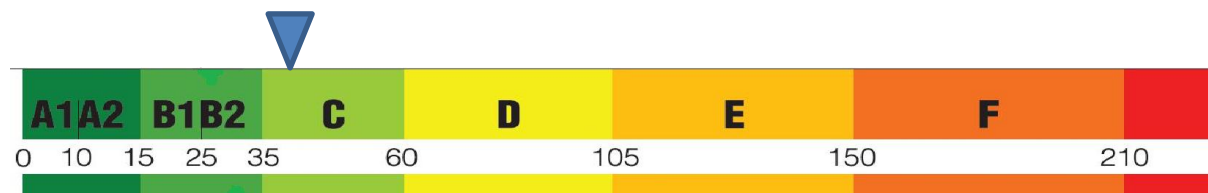
$$12,9 \text{ kWh/m}^3\text{a} < 16,0 \text{ kWh/m}^3\text{a}.$$

Zanimiva je tudi primerjava Q_{NH} posamezne ogrevane cone po izvedenih ukrepih. Razlika manjše Q_{NH} OC1 glede na OC2, se je po izvedenih ukrepih znižala za 30,5 odstotnih točk. Povprečje celotne stavbe najbolj znižuje OC3, kjer je zaradi nižjih projektnih temperatur Q_{NH}/V_e precej pod povprečjem, le $7,88 \text{ kWh/m}^3$.

Čeprav pravilnik ne predpisuje izračuna letne porabe energije za ogrevanje na kvadratni meter površine, sem vrednost primerjal na evropski lestvici, ki opredeljuje razrede varčnosti. Primerjal sem obe vrednosti, pred in po sanaciji. Primerjava med razliko Q_{NH}/m^2 obstoječega stanja in po predlaganih ukrepih je razvidna iz **sl. 41** in **42**.



Slika 41: Letna Q_{NH} za doseganje notranjih projektnih temperatur na enoto tlorisa pred izvedenimi ukrepi.



Slika 42: Letna Q_{NH} za doseganje notranjih projektne temperatur na enoto tlorisa po izvedenih ukrepih.

Letna Q_{NH} na kvadratni meter pred predlaganimi ukrepi je znašala $168 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (*slika 41*), kar stavbo uvršča med zelo potratne stavbe, v razred F. Za razredom F je možna le še uvrstitev v razred G in razred s porabo nad $300 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Po sanaciji se je energija zmanjšala za 72,9 %, na $45,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (*slika 42*), stavba pa se uvrsti v razred C.

5 Medsebojni vpliv osvetljenosti prostorov in energijske bilance

Primerna dnevna osvetljenost prostorov in učinkovita energijska bilanca v mnogih pogledih delujeta vzajemno. Večje površine oken, pridobljene na podlagi analize osvetljenosti prostorov imajo na energijsko bilanco negativen in pozitiven vpliv hkrati. Zaradi večji površin oken se poveča tudi delež solarnih dobitkov v stavbi, ki pozitivno vpliva na Q_{NH} v sezoni ogrevanja in negativno na Q_{NC} v sezoni hlajenja. Izključno negativno pa večja površina oken prispeva, k povečanim transmisijским izgubam stavbe. Ravno tako tudi izboljšanje energijske bilance stavbe vpliva na osvetljenost prostorov. Energijsko učinkovita zasteklitev ima manjšo svetlobno transmisivnost, posledično je delež svetlobe, ki prodre v prostor, manjši. Prav tako se po izvedeni TI debelina zunanje stene poveča, kar pa posledično zmanjša delež svetlobe vpadle na zasteklitev.

Preveril sem, kako se vrednosti KDS v prostoru povečajo glede na končno varianto analize osvetljenosti, brez izvedbe TI zunanje ovojne stavbe. Primerjava vrednosti KDS pri različni debelini stene je zbrana v **preglednici 70**.

Preglednica 70: Primerjava vrednosti KDS pri debelini zidu pri brez in z TI.

		SS	T-KD	DP	UP	UM
Vgrajena TI	KDSpov (%)	5,1	3,1	4,4	5,2	5,0
	KDSmin (%)	2,6	1,4	1,3	2,9	2,7
Ni vgrajena TI	KDSpov (%)	5,9	3,4	4,6	5,4	5,2
	KDSmin (%)	3,1	1,6	1,3	3,0	2,7

Primerjava vrednosti iz preglednice kaže, da bi se brez izvedbe TI nivo osvetljenosti posameznih prostorov izboljšal. Sprememba debeline zidu iz 60 cm na 45 cm, bi najbolj vplivala na nivo osvetljenosti v SS, kjer bi se KDSpov povečal za 0,8 odstotne točke, v T-KD pa za 0,3 odstotne točke. Najmanjša razlika bi bila v DP, kjer bi se KDSpov povečal za 0,2 odstotne točke, zaradi nizke vrednosti Ff. Za 0,2 odstotni točki bi se KDSpov povečal tudi v UP in UM, razlika bi bila manjša kot v primeru DP, saj so vrednosti KDSpov v UP in UM nekoliko višje. Vrednosti kažejo, da se osvetljenost prostorov v vseh primerih izboljša po zmanjšanju debeline zidu. Glede na debelino zidu 60 cm, bi se pri debelini stene 45 cm KDSpov, za posamezne prostore izboljšal od 3 – 15 %.

Glede vrste zasteklitve je iz obeh analiz, osvetljenosti in energijske bilance, razvidno, da je dvojna zasteklitev bolj ugodna z vidika osvetljenosti prostorov, kot tudi za energijsko bilanco stavbe. Primerjava deležev posameznih tipov zasteklitve v **podpoglavju 3.5** kaže, da je pri uporabi trojne zasteklitve, za ekvivalenten nivo osvetljenosti v primerjavo z dvojno zasteklitvijo, v vseh primerih potrebno povečati površino oken. Razlike pri energijski bilanci, kjer je narejena primerjava za Q_{NH} , pri različnem tipu zasteklitve (**grafikon 23**), so pri ekvivalentnem nivoju osvetljenosti prostora, minimalne.

Primerjava vrednosti iz **preglednice 62** in **63** v **poglavju 4.2.3** kaže, da večje površine oken, pridobljene iz rezultatov analize osvetljenosti, v vseh obravnavanih prostorih izkazujejo manjše potrebe po ogrevanju stavbe. Sočasno se poveča potreba po hlajenju stavbe, slednjo pa je mogoče znižati s pravilno uporabo zunanjih senčil v sezoni hlajenja. To pomeni, da imajo za obravnavano stavbo v obstoječem stanju, pri povečanem deležu zasteklitve, solarni dobitki, ki prehajajo skozi zasteklitev, prevladujoč vpliv nad transmisijскими izgubami zasteklitve.

Ugotovitve, glede vpliva spremenjene površine oken na energijsko bilanco, so smiselne v primerjavi Pajkovimi [11] ugotovitvami. Rezultati njegove analize na zahodni orientaciji so pokazale, da na intervalu med površino oken 6 in 8 m², funkcija Q_{NH} doseže minimum, kar pomeni, da se z večanjem površine oken povečuje tudi potrebna Q_{NH} . Površina oken v sejni sobi, se je na podlagi analize osvetljenosti na obstoječem stanju stavbe, povečala na dobrih 6 m², z večjo površino oken pa se je Q_{NH} zmanjšala, to pa se ujema z rezultati Pajkove analize. S Pajkovimi rezultati se ujema tudi sprememba

Q_{NH} na južni orientaciji v primeru telovadnice, kjer se pri povečani površini oken za $27,6 \text{ m}^2$, Q_{NH} zniža za približno 3,2 %. Na vzhodni strani, kjer se je površina oken v pritlični in nadstropni učilnici skupno povečala za $19,8 \text{ m}^2$ na $33,5 \text{ m}^2$ pa se vrednosti ne ujemajo. Q_{NH} se je namreč zmanjšala za 3 %, glede na Pajkove ugotovitve, pa bi morala pri tej površini oken precej višja, kot v izhodiščnem stanju. Takšna razlika je posledica različnih toplotnih prehodnosti KS-jev obeh analiz. Pri obravnavani stavbi je bila primerjava narejena na obstoječem stanju konstrukcije, z visoko toplotno prehodnostjo KS-ja zunanje stene. Ker je U zasteklitve $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, U stene pa $1,09 \text{ W/m}^2\text{K}$, so razlike v transmisijskih izgubah v primerjavi okna in zunanje stene zelo majhne, solarni dobitki pa imajo posledično prevladujoč vpliv nad transmisijskimi izgubami. Ugotovitve obeh analiz kažejo, da je nemogoče posploševati vpliv deleža površine oken na Q_{NH} , saj je odvisen od razmerja U vrednosti zasteklitve in stavbnega ovoja. Na nivoju energijske bilance pa je odvisno, kateri dejavnik ima prevladujoč vpliv, transmisijske izgube ali solarni dobitki, slednji pa so povezani tudi orientacijo stavbe.

Sinteza obeh analiz kaže, da izboljšanje osvetljenosti obravnavanih prostorov pozitivno vpliva na energijsko bilanco, ob predpostavki, da se Q_{NC} zmanjša z uporabo senčil v sezoni hlajenja. Razlog za takšne ugotovitve gre pripisati predvsem prisojni legi in hkrati odprtem terenu, saj je izkoriščen celoten delež zimskega sončnega sevanja.

6 ZAKLJUČEK

Analiza obstoječega stanja izkazuje nezadosten nivo osvetljenosti v vseh obravnavanih prostorih. Izkazuje se, da ima trenutna neenakomerna razporeditev odprtín po zunanji steni, oziroma strešini, določen vpliv na slabšo povprečno osvetljenost prostora, kot tudi na enakomernost osvetljenosti posameznih delov prostora. Osvetljevanje z dveh strani bistveno izboljša pogoje osvetljenosti, na primer z umestitvijo oken na severni strani. Zaradi lege prostorov v stavbi pa se ukrepa ni mogoče posluževati v vseh izmed obravnavanih prostorov. Umestitev zunanje svetlobne police se je pri dveh izmed obravnavanih prostorov izkazala kot učinkovita za znižanje deleža osvetljenosti v neposredni bližini oken in za dvig osvetljenosti v globini. Pravilna izbira širine in višine umestitve le-te, ne vpliva na osvetljenost prostora v globini, posledično pa je prostor z globino bolj enakomerno osvetljen. Za najbolj učinkovita so se izkazala strešna okna, s katerimi lahko dosežemo visok nivo osvetljenosti prostora pri precej manjšem deležu oken na enoto površine prostora, kot pri uporabi vertikalnih oken.

Predlogi ukrepov za izboljšanje energijske bilance obratno vplivajo na količino potrebne toplote v sezoni ogrevanja in hladu v sezoni hlajenja. Pri povečanem deležu oken v zunanjem ovoju stavbe se je izkazalo, da se občutno poveča potreba po hlajenju stavbe, saj je delež slednje večji kar za 50 % vseh zmanjšanih potreb po ogrevanju stavbe, v primerjavi z izhodiščnim stanjem. Izvedba toplotne izolacije stavbnega ovoja predstavlja 60 % celotnega zmanjšanja potrebne toplote za ogrevanje, po vseh izvedenih ukrepih. Precejšen vpliv na potrebno toploto za ogrevanje v stavbi imajo tudi toplotni mostovi, ki zastopajo 20 % delež celotnega zmanjšanja potreb po toploti. Izmed slednjih, na energijsko bilanco najbolj vpliva toplotni most na stiku med okni in zunanjo steno, ki predstavlja več kot polovico transmisijских izgub vseh toplotnih mostov na stavbi. Zmanjšanje ventilacijskih izgub bistveno k učinkoviti energijski bilanci ni prispevalo, kar nekoliko pogojuje tudi visoka urna izmenjava zraka v šolskih prostorih. Zanemarljiv vpliv na energijsko bilanco ima vgradnja nočne izolacije. Vgradnja bi bistveno prispevala k zmanjšanju potrebnega hladu v sezoni hlajenja, če bi se uporabljala tudi v ta namen.

Učinkovita energijska bilanca neugodno vpliva na delež dnevne svetlobe v prostorih. To se kaže predvsem po izvedeni toplotni izolaciji zunanjega ovoja stavbe, kjer se zaradi debelejših sten delež svetlobe v prostorih nekoliko zmanjša. Zaradi manjše svetlobne transmisivnosti stekel, se pri menjavi oken z uporabo energijsko učinkovite zasteklitve ravno tako zmanjša delež prepuščene svetlobe v prostor. Obratno pa zadovoljiva osvetljenost prostorov ugodno vpliva na spremembo energijske bilance. Za zagotovitev dobre osvetljenosti prostorov se je moral delež oken v zunanjem ovoju stavbe povečati. Izkazalo se je, da ima delež povečanih solarnih dobitkov prevladujoč vpliv, nad povečanim deležem transmisijских izgub, ki so posledica večje površine zasteklitve.

Izvedeni ukrepi obeh analiz prikazujejo optimizirano varianto, ki bi zagotavljala ugodno dnevno osvetljenost prostorov, ob sočasnih primernih energijskih bilanci. V realnosti so zaradi stanja stavbe in velikih posegov v konstrukcijsko zasnovo, težje izvedljivi. Kljub temu pa nazorno prikazujejo, kako se v analizi osvetljenosti s spreminjanjem dimenzij in pozicij oken spreminja potek osvetljenosti v prostoru, pri energijski bilanci pa ovrednotijo vpliv posameznega ukrepa na spremembo energijske bilance v stavbi.

Že pred analizo sem pričakoval, da delež dnevne svetlobe v obravnavanih prostorih ne bo dosegel priporočenih nivojev osvetljenosti, vendar sem vseeno pričakoval nekoliko višje vrednosti, kot so se izkazale v analizi obstoječega stanja. Najbolj me je presenetilo dejstvo, da imajo večje površine oken na južni strani tolikšen doprinos solarnih dobitkov, da je bilanca glede potrebne toplote za ogrevanje stavbe pozitivna. Pričakoval sem namreč, da se po ukrepu stanje ne bo spremenilo, oziroma se bodo potrebe po toploti malenkostno povečale. Zanimivo je tudi, da izolacija kletne plošče v zahodnem delu stavbe občutno zmanjša transmisijские izgube, kar posledično prispeva k 10 % deležu celotne zmanjšane potrebe po toploti za ogrevanje stavbe.

Z vidika obeh analiz trenutno stanje v stavbi ni zadovoljivo. V kolikor bi bila stavba v uporabi še nadaljnjih 20 let, bi se bilo smiselno usmeriti v sanacijo stavbnega ovoja, saj bi se s primerno izvedbo toplotne izolacije energijska bilanca občutno izboljšala. Z izolacijo zunanje stene, zmanjšanjem

vplivov toplotnih mostov na stiku med zunanjo steno in okni, ter izolacijo kletne plošče v zahodnem delu stavbe, bi se potrebna toplota za ogrevanje prepolovila. Z navedenimi ukrepi sicer ne bi bile dosežene mejne vrednosti predpisane s PURES-2, vendar bi se stanje kljub temu znatno izboljšalo. Z vidika analize osvetljenosti, bi bilo nujno potrebno zagotoviti boljše pogoje osvetljenosti obravnavanih prostorov. Zaradi večji površin oken, bi se posledično povečala tudi potreba po hlajenju stavbe v poletnem času, katero bi lahko z vgradnjo zunanjih senčil precej znižali. Zaradi dejstva, da je bila stavba grajena v časih, ko še ni bilo na razpolago sodobne gradbene mehanizacije in so morali vaščani večino dela opraviti ročno, bi bilo rušenje stavbe za marsikoga boleče, zato bi bilo bolj smiselno izvesti njeno sanacijo.

Viri

- [1] SIST EN ISO 13790:2008 Toplotne značilnosti stavb – Računanje potrebne energije za ogrevanje in hlajenje prostora.
- [2] SIST EN ISO 14683 Toplotni mostovi v gradbenih konstrukcijah.
- [3] Boubekri, M. 2008. Daylighting, Architecture and Health, Buliding Design Strategies. Amsterdam, Elsevier:144 str.
- [4] Košir, M., Krainer, A., Dovjak, M., Kristl, Ž. 2011. Automatically controlled daylighting for visual and non-visual effects. Lighting Research and Technology 43, 11: 439–455.
- [5] EPA. 1991. Indoor Air Facts No. 4 Sick Building Syndrome. US Environmental Protection Agency. 4 str.
- [6] Autodesk Inc. 2013. AutoCAD Design Suite.
- [7] Velux Daylight Visualizer 2. 2013.
- http://viz.velux.com/daylight_visualizer/download (Pridobljeno 2. 12. 2013.)
- [8] Krainer, A., Predan, R. 2009. Računalniški program (TEDI) za analizo toplotnega prehoda, toplotne stabilnosti in difuzije vodne pare skozi večplastne KS. Ljubljana, UL FGG, KSKE.
- [9] Krainer, A., Predan, R. 2009. Računalniški program (TOST) za izračun podatkov, potrebnih za končno poročilo oziroma dokaz o ustreznosti toplotne zaščite stavbe. Ljubljana, UL FGG, KSKE.
- [10] Košir, M., Krainer, A., Kristl, Ž. 2011. Integral control system of indoor environment in continuously occupied spaces. Automation in Construction 21, 12:199-209.
- [11] Pajek, L. 2012. Parametrična študija osvetljenosti in porabe energije za ogrevanje. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba L. Pajek): 29 str.
- [12] Prostorski informacijski sistem občin. 2013.
- <http://www.geoprostor.net/PisoPortal/vstopi.aspx> (Pridobljeno 5. 12. 2013.)
- [13] Li, H.W. 2007. Daylight and energy implications for CIE standard skies. Building and Environment 48,7:745-755.
- [14] Anker Hvid, C., Nielsen, T. R., Svendsen, S. 2008. Simple tool to evaluate the impact of daylight on building energy consumption. Solar Energy 82, 8:787-798.
- [15] Tilley, A. R., Dreyfuss, H. 1993. The Measure of Man & Woman revised edition, Human factors in design. New York, John Wiley & Sons: 96 str.
- [16] Green Buliding, Tehnični modul o ovoju stavbe. 2013: 20 str.
- http://www.rcp.ijs.si/ceu/files/Modul_klimatizacija_V2.pdf (Pridobljeno 8. 12. 2013.)
- [17] Načrtovanje naravne zasteklitve pri energijsko učinkovitih objektih. 2013: 8 str.
- <http://www.velux.si/sl-SI/Documents/prispevek%20VELUX%20internet.pdf>

(Pridobljeno 9. 12. 2013.)

[18] Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj. Uradni list RS št. 1/2011.

[19] Pravilnik o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrta. Uradni list RS št. 47/2013.

[20] Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih. Uradni list RS št. 43/2011.

[21] KSKE, ZOE. 2010. Navodila za izvedbo vaje pri predmetu ZOE, Osvetljenost prostora z dnevno svetlobo. Ljubljana, UL FGG, KSKE. Neobjavljeno študijsko gradivo: 8 str.

[22] Jurak, G. 2012. Analiza šolskega športnega prostora s smernicami za nadaljnje investicije. Zaključno poročilo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport: 273 str.
http://www.fsp.uni-lj.si/COBISS/Monografije/Analiza_skupaj3.pdf (Pridobljeno 15. 1. 2014.)

[23] Zunanja svetlobna polica. 2014.
<http://www.epa.gov/region7/p2/offtheshelf/offshelfpage4.htm> (Pridobljeno 11. 1. 2014.)

[24] L. Bellia, A. Pedace, G. Barbato. 2013. Lighting in educational environments: an example of a complete analysis of the effects of daylight and electric light on occupants. Building and Environment 68, 13: 50-65.

[25] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS št. 52/2010.

[26] Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010. Učinkovita raba energije. Ministrstvo za okolje in prostor.

[27] Uredba o uvedbi in uporabi enotne klasifikacije vrst objektov in o določitvi objektov državnega pomena. Uradni list RS št. 33/2003.

[28] Atlas okolja. 2013. http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso
(Pridobljeno 5. 12. 2013)

[29] Zavrl, M. Š., Tomšič, M. 1999. Energetsko učinkovita zasteklitev in okna. Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK, Razvojna skupina za bivalno okolje in gradbeno fiziko. Konzorcij FEMOPET Slovenija: 26 str.
<http://www.aure.gov.si/eknjiznica/V8-zasteklitev.pdf> (Pridobljeno 12. 1. 2014.)

[30] Van Rensselaer Hall, M. 2000. Energy Saving Window Treatments. Cornell University, Department of Design & Environmental Analysis, Ithaca: 8 str.
<http://www.ccechemung.org/wp-content/uploads/2013/08/window-treatments.pdf>

(Pridobljeno 13. 1. 2014.)

[31] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Uradni list RS št. 42/02.

[32] Krainer, A., Predan, R. 2009. Uporabniški priročnik za računalniški program (TOST). Ljubljana, UL FGG, KSKE: 47 str.
<http://kske.fgg.uni-lj.si/programi/TOSTNavodila%20ZOE%202012.pdf> (Pridobljeno 15. 12. 2013.)