

Projektiranje unutarnje rasvjete sakralnog objekta

Ivanković, Sara

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:442804>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Sveučilišni diplomski studij

**PROJEKTIRANJE UNUTARNJE RASVJETE
SAKRALNOG OBJEKTA**

Diplomski rad

Sara Ivanković

Osijek, 2020

Sadržaj

1. UVOD	4
2. OSNOVNE SVJETLOTEHNIČKE VELIČINE	5
2.1 Svjetlosni tok.....	5
2.2 Intenzitet svjetlosti	5
2.3 Rasvjetljenost	6
2.4 Luminancija.....	8
2.5 Svjetlosna iskoristivost.....	9
3. FAKTORI KVALITETE UNUTARNJE RASVJETE	11
3.1 Temperatura boje.....	11
3.2 Faktor uzvrata boje	11
3.3 Razina rasvjetljenosti	12
3.4 Ravnomjernost rasvjetljenosti.....	13
3.5 Raspodjela sjajnosti.....	14
3.6 Ograničenje bliještanja	14
3.7 Smjer upada svjetla i sjene	16
4. UMJETNI IZVORI SVJETLOSTI	19
4.1 Žarulja sa žarnom niti.....	20
4.2 LED rasvjeta.....	21
5. UMJETNA RASVJETA I SAKRALNI OBJEKTI	24
5.1 Središnji prostor okupljanja vjernika	24
5.2 Prezbiterij	25
5.3 Ulazni dio i kor.....	26
6. PROJEKT RASVJETE CRKVE SV. PETRA I PAVLA U OSIJEKU	27
6.1 Stanje postojeće rasvjete	27
6.2 Koncept novog svjetlotehničkog rješenje	28
6.3. Princip rasvjete pojedinih arhitektonskih elemenata.....	29
6.3.1 Rasvjeta glavnog i pomoćnih oltara	30

6.3.2 Rasvjeta freski, vitraja i rozeta	36
6.3.3 Rasvjeta orgulja, kora, stupova, svodova i partera	44
6.4 Scenariji rasvjete i upravljanje rasvjetom	49
6.4 Sigurnosna rasvjeta	50
6.5 Nacrti.....	50
7.ZAKLJUČAK	60
LITERATURA	61
SAŽETAK.....	62
ABSTRACT.....	62
ŽIVOTOPIS	63

1. UVOD

Vid, kao čovjekovo najvažnije osjetilo, daje čak 80% informacija o okolini. U današnje, moderno, doba kada sve više vremena provodimo u zatvorenom prostoru, važnost umjetne rasvjete postala ne zamjenjiva. Budući da svjetlo u velikoj razini utječe na raspoloženje i osjećaje, vrlo je bitno osigurati što kvalitetnije unutarnje osvjetljenje. Paralelno s povećanjem važnosti osvjetljenja, razvijalo se i projektiranje rasvjete, a danas je projekt rasvjete neizostavan dio nastanka većine građevina. Kvalitetan projekt rasvjete nudi cijeli spektar usluga za unutarnja i vanjska svjetlotehnička rješenja, daje procjenu potrebe i funkcija, utvrđuje kriterije rasvijetljenosti, specificira rasvjetna tijela te daje pregled okvirnih troškova izvođenja. Dobro projektirano svjetlotehničko rješenje obogatit će prostor, omogućiti njegovu optimalnu iskoristivost te pomoću raznih rasvjetnih tijela dodati će estetsku komponentu prostoru, a uz sve to zadovoljit će i kriterij energetske učinkovitosti rasvjete.

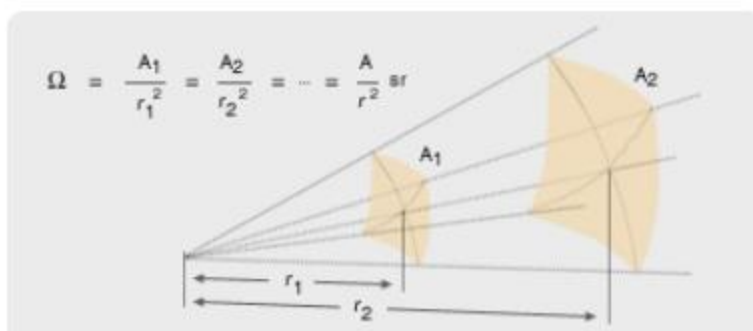
Ovaj rad bavit će se projektiranjem unutarnje rasvjete sakralnog objekta, točnije crkve Sv. Petra i Pavla u Osijeku. Kako bi razumijevanje samog projekta bilo što jasnije, u početnim poglavljima biti će objašnjeni osnovni faktori bitni za unutarnju rasvjetu, zatim će biti rečeno nešto o izvorima svjetlosti, te prije samog uvoda u projekt opisat će se neke karakteristike projektiranja rasvjete za spomenike kulture. Kao glavni dio rada biti će dan detaljan uvid u projekt rasvjete navedene crkve. Na ovom projektu radila sam kao suradnik u sklopu stručne prakse u tvrtki Nova-lux d.o.o u Osijeku.

2. OSNOVNE SVJETLOTEHNIČKE VELIČINE

Kako bi kreiranje projekta rasvjete bilo moguće, potrebno je poznavati osnovne veličine kojima se opisuju svjetlosni efekti, odnosno izvori svjetlosti te njihovo djelovanje na prostor i energetske karakteristike rasvjetnih tijela. U ovom poglavlju obraditi će se osnovne svjetlotehničke veličine, a to su: svjetlosni tok, jakost svjetlosti, rasvijetljenost i luminancija.

2.1 Svjetlosni tok

U literaturi [9] svjetlosni tok definiran je kao „ukupan iznos svjetlosti (ili zračenja) koju neki izvor svjetla emitira u svim smjerovima u jednoj sekundi“. Svjetlosni tok označava se Φ_s , a njegov iznos daje se u lumenima (lm). U literaturi [2] lumen se definira kao „svjetlosni tok koji daje točkasti monokromatski izvor kada u prostorni kut od jednog steradiana zrači svjetlosnom jakosti iznosa jedna kandela (cd).“



Slika 2.1 Prostorni kut [1]

- površine kugle (A)

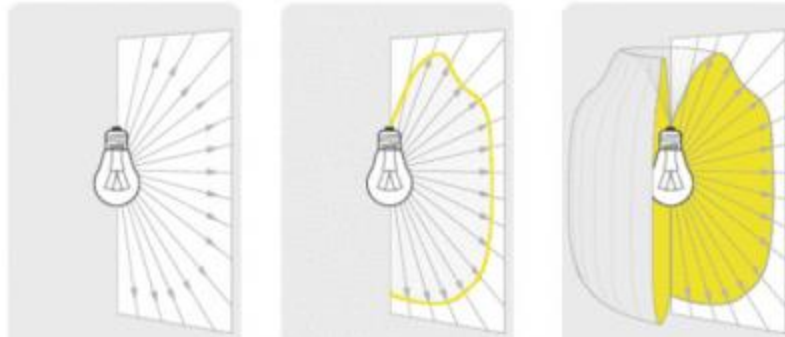
-kvadrata polumjera kugle (r)

2.2 Intenzitet svjetlosti

„Intenzitet svjetlosti predstavlja snagu zračenja koju svjetlosni izvor emitira u određenom smjeru u prostoru“ [3]. Računa se prema relaciji (2-1), odnosno kao omjer svjetlosnoga toka Φ_s koji emitira točkasti izvor svjetlosti i kuta ω .

$$I_s = \frac{\Phi_s}{\omega} \quad (2-1)$$

Candela (cd) je jedinica za jačinu svjetlosti definirana kao „intenzitet svjetlosti koju u određenom smjeru zrači monokromatski izvor svjetla frekvencije 540×10^{12} Hz i snage zračenja u tom smjeru od $1/683$ W/sr (Watt/steradian)“. [1]

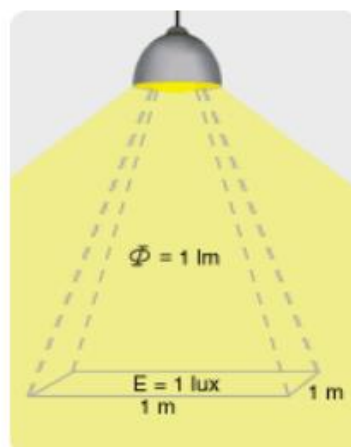


Slika 2.2 Vektorski prikaz intenziteta svjetlosti [1]

Intenzitet svjetlosti može se predstaviti vektorom. Spajanjem svi vrhovi vektora u jednoj ravni izvora svjetlosti, dobit će se krivulja distribucije intenziteta svjetlosti odnosno fotometrijska krivulja.

2.3 Rasvjetljenost

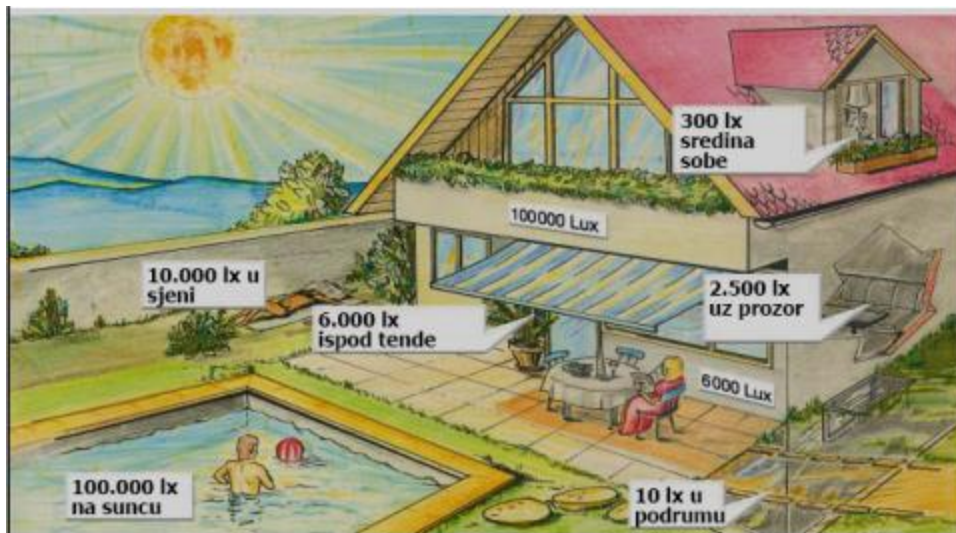
Rasvjetljenost predstavlja količinu svjetlosnog toka koja pada na neku površinu, a izražava se u lux-ima (lx). Luks se definiran kao „svjetlosni tok iznosa 1 lm koji pada ravnomjerno na površinu 1m^2 “. [4]



Slika 2.3 Definicija lux-a [1]

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2-2)$$

Analizirajući formulu za izračun rasvjetljenosti danu izrazom (2-2), vidljivo je da se udaljavanjem svjetlosnog izvora od neke plohe smanjuje rasvjetljenost jer se svjetlosni tok dijeli na veću površinu.



Slika 2.4 Prikaz različitih razina rasvjetljenosti [1]

Razlikuju se dvije vrste rasvjetljenosti, plošna rasvjetljenost i rasvjetljenost u točki.

Plošna rasvjetljenost definira se kao „odnos svjetlosnog toka izvora svjetlosti koji pada normalno na zadanu površinu i zadane površine.“ [1] U slučaju da svjetlosni tok pada na zadanu površinu pod nekim kutom računa se prema (2-3)

$$E^* = E * \cos\alpha \quad (2-3)$$

Rasvjetljenost točke određene površine je „odnos intenziteta izvora svjetlosti koja pada normalno na tu točku i kvadrata udaljenosti“ [1], i prema (2-4) iznosi :

$$E = \frac{I}{r^2} \quad (2-4)$$

Srednja vrijednost rasvjetljenosti površine računa se kao srednja vrijednost rasvjetljenosti nekog broja točaka te površine odnosno prema izrazu (2-5)

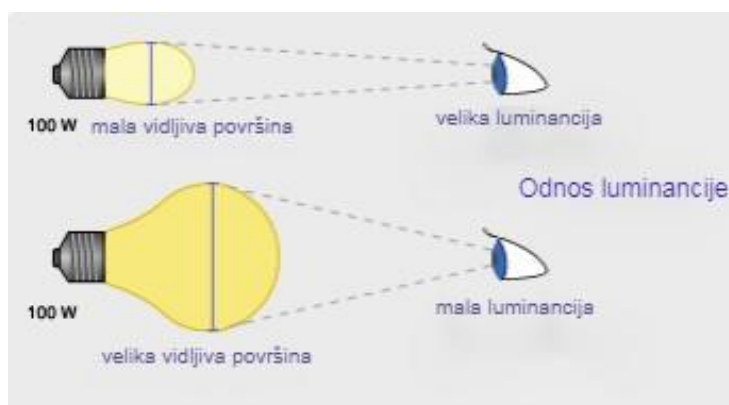
$$E_{sr} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i \quad (2-5)$$

2.4 Luminancija

„Luminancija (L) je efekt sjajnosti rasvijetljene površine kako je vidi ljudsko oko.“ [3] Mjerna jedinica luminancije je candela po površini, najčešće candela/metrar kvadratni tj. candela/centimetar kvadratni, te se računa prema izrazu (2-6).

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos\beta} \quad (2-6)$$

- $A \cdot \cos\beta$ - prividna površina

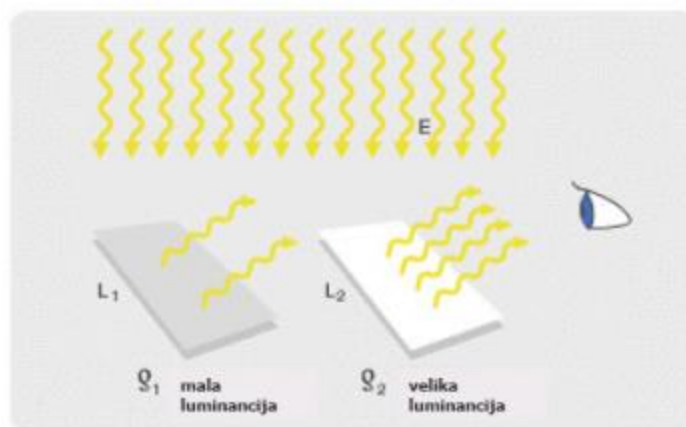


Slika 2.5 Luminancija i ovisnost o površini [1]

Luminancija predstavlja najvažniji čimbenik projektiranja javne rasvjete. Difuzne refleksne površine (faktor refleksije jednak u svim smjerovima) uglavnom se nalaze kod unutrašnjih prostora, te je za njih moguće jednostavno povezati luminanciju i osvjetljenje pomoću izraza (2-7):

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \quad (2-7)$$

Na slici 2.6 vidljiva je ovisnost luminancije o površini.



Slika 2.6 Prikaz ovisnost luminancije o površini [1]

„Budući da je luminanciju u tom slučaju jednostavno izračunati putem osvjetljenosti onda se vrijednosti za unutrašnju rasvjetu uvijek daju u lx (osvjetljenost). Kod javne rasvjete, gdje okolina nema karakteristike difuzne refleksije, već prevladava miješana refleksija, ovaj izraz ne vrijedi, i vrijednosti za javnu rasvjetu daju se u cd/m² (luminancija).“ [1] Koeficijent luminancije, q (sr^{-1}), ovisi o vrste materijala i od položaju izvora svjetlosti i promatrača. Luminancija se računa prema izrazu (2-8)

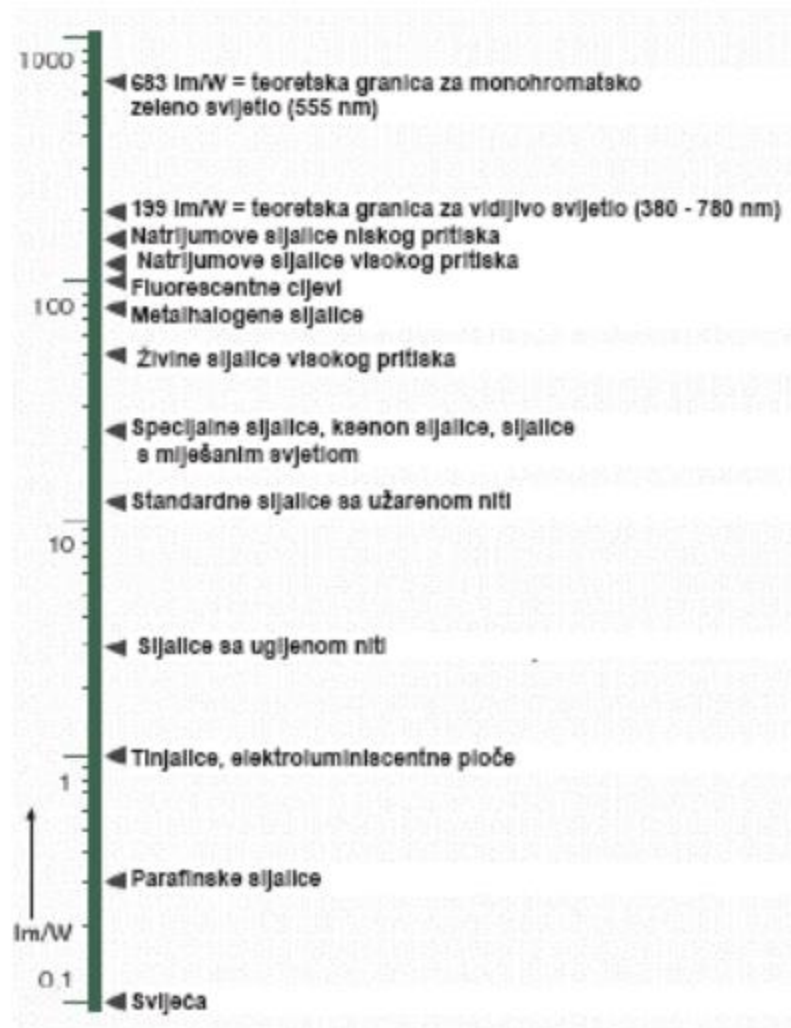
$$L = q * E \quad (2-8)$$

2.5 Svjetlosna iskoristivost

„Svjetlosna iskoristivost je omjer svjetlosnog toka nekog izvora svjetlosti i snage koju taj izvor svjetlosti koristi za razvijanje tog svjetlosnog toka.“ [4] Označava se slovom η , računa se prema relaciji (2-9) a mjerna jedinica je lm/W (lumen/vat)

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (2-9)$$

Napretkom tehnologije povećavala se i svjetlosna iskoristivost izvora svjetlosti, a svoj vrhunac doživjela je razvojem svjetlećih LED dioda. Uspoređujući najveću svjetlosnu iskoristivost 2006. godine koja je iznosila 161 lm/W, s najvećom svjetlosnom iskoristivošću 2014. godine u iznosu od 303 lm/W, vidljiv je dupli porast u samo osam godina razlike.



Slika 2.7 Okvirne vrijednosti svjetlosne iskoristivosti za pojedine izvore svjetlosti [1]

3. FAKTORI KVALITETE UNUTARNJE RASVJETE

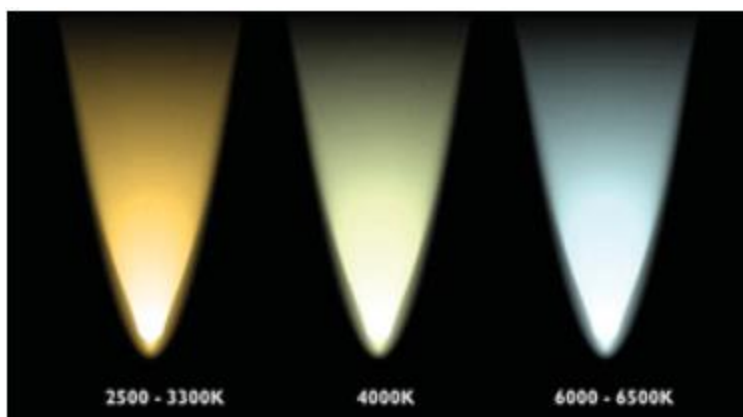
Osim osnovnih svjetlotehničkih veličina, prilikom izrade projekta rasvjete potrebno je obratiti pažnju i na dodatne veličine kojima se karakteriziraju pojedini izvori svjetlosti a to su: temperatura boje, faktor uzvrata boje, nivo rasvijetljenosti, ravnomjernost rasvijetljenosti, raspodjela sjajnosti, ograničenje bliještanja i smjer upada svjetla i sjene. U nastavku poglavlja biti će objašnjeni navedeni faktori, budući da je njihovo poznavanje, uz poznavanje svjetlotehničkih veličina, najvažniji čimbenik za kreiranje optimalnog rasvjetnog koncepta.

3.1 Temperatura boje

„Temperatura boje izvora svjetlosti definira se kao temperatura na koju je potrebno zagrijati idealno crno tijelo da bi počelo zračiti istom bojom kao i sam izvor svjetlosti.“ [5]

Prema standardima temperature boje izvora svjetlosti dijele se na tri grupe:

- dnevno svjetlo (>5000 K)
- neutralno bijelo (3500 – 5000 K)
- toplo bijelo (<3500 K)



Slika 3.1 Grafički prikaz temperature boje [6]

3.2 Faktor uzvrata boje

„Faktor uzvrata boje kvantitativna je mjera kojom se opisuje razina vjernosti uzvrata boje nekog objekta osvjetljenog izvorom svjetlosti, u odnosu na idealni izvor, odnosno dnevnu svjetlost.“[5] Važno je znati da uzvrat boje i temperatura boje nisu povezani, te se na osnovu temperature boje ne može zaključiti ništa o kvaliteti izvora svjetlosti. U tablici 3.1 dana je podjela obzirom na iznos faktora uzvrata boje, Ra.

Tablica 3.1 Uzvrat boje i faktor uzvrata boje [7]

Uzvrat boje	Kategorija uzvrata boje	Faktor uzvrata boje
VRLO DOBAR	1A	≥ 90
	1B	80-89
DOBAR	2A	70-79
	2B	60-69
DOVOLJAN	3	40-59
LOŠ	4	≤ 39

Izvori svjetlosti čiji je faktor uzvrata boje niži od 80 ne bi se trebali razmatrati kao opcije za rasvjetljavanje radnih prostora i drugih prostora u kojima ljudi duže borave.

3.3 Razina rasvjetljenosti

Kako bi se kvalitetno mogli izvršiti svakodnevni radni i vidni zadaci, potrebna je određena količina svjetlosti u prostorima u kojima se boravi. Razina sjajnosti ima direktan utjecaj na vid. Budući da povećanjem razine rasvjetljenosti raste osjetljivost oka na kontraste, te vid postaje oštrije a brzina raspoznavanja veća, poželjno je da je što viša. Razlikuju se tri osnovna područja rasvjetljenosti kod unutrašnje rasvjete:

- minimalna razina rasvjetljenosti za komunikacijske prostorije

„Za uspješno prepoznavanje crta lica potrebna je sjajnost približno 1 cd/m^2 . Spomenutoj vrijednosti odgovara vertikalna rasvjetljenost lica 10 lx , odnosno horizontalna rasvjetljenost 20 lx . Vrijednost od 1 cd/m^2 predstavlja minimalnu razinu rasvjetljenosti za komunikacijske prostorije.“[8]

- minimalna razina rasvjetljenosti za radni prostor

„Za prepoznavanje crta ljudskog lica potrebna je sjajnost između 10 i 20 cd/m^2 . Kako bi se postigla tolika sjajnost potrebna je vertikalna rasvjetljenost od najmanje 100 lx , odnosno horizontalna rasvjetljenost od najmanje 200 lx . „[8]

- optimalna razina rasvjetljenosti za radne prostore

Prema istraživanjima, opće osvjetljenje u radnim prostorijama daje optimalne rezultate u području rasvjetljenosti između 1500 i 200 lx . Kod vidnih zadataka potrebno je puno veće

osvjetljenje te je za postizanje maksimalne kontrastne osjetljivosti potrebna sjajnost od 1000cd/m² , što odgovara rasvjetljenost od 20 000lx [8]

Prema [8] rasvjetljenost radnog područja može se podijeliti u tri skupine

- 20-200 lx za opću rasvjetu u prolaznim i malo upotrebljavanim prostorijama
- 200-2000 lx za opću rasvjetu u radnim prostorijama
- 2000-20000 lx za dodatnu rasvjetu radnih mjesta kod vrlo finih vidnih zadataka.

3.4 Ravnomjernost rasvjetljenosti

Kako ne bi došlo do umora i smanjenja vidnih sposobnosti tijekom obavljanja različitih zadataka, potrebno je osigurati dobro raspoređenu strukturu izvora svjetlosti, odnosno ravnomjernu rasvjetljenost prostora. Ravnomjernost rasvjetljenosti definirana je kao „omjer minimalne i prosječne vrijednosti rasvjetljenosti“.[1]

$$\rho = \frac{E_{min}}{E_{sr}} \quad (3-1)$$

Ravnomjernost rasvjetljenosti treba biti najmanje 0.8. što znači da rasvjetljenost na radnom mjestu ne smije biti manje od 80% srednje rasvjetljenosti prostorije, a ni veće od 1 : 1,25 (E_{min}:E_{sr}). Ovaj faktor ima veliki utjecaj prilikom odabira svjetiljki i njihova razmještaja u prostoru stoga je vrlo važan čimbenik prilikom projektiranja unutarnje rasvjete. U tablici 3.2 dane su vrijednosti ravnomjernosti rasvjetljenosti.

Tablica 3.2 Ravnomjernost rasvjetljenosti

VIDNI ZAHTJEV	RAVNOMJERNOST RASVIJETLJENOSTI E_{min}/E_{sr}
Vrlo mali	1:6 do 1:3
Mali	1:3
Srednji	1:2.5
Veliki Vrlo veliki Vanredno veliki	1:1.5

3.5 Raspodjela sjajnosti

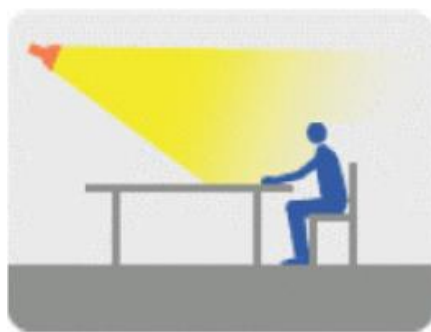
Vidni uvjeti u prostoru su bolji što je razlika sjajnosti između radne površine i okolnih površina manja. Za postizanje prikladnih vidnih uvjeta i povoljne raspodjele sjajnosti u prostoriji, potrebno je pridržavati se najvećih dopuštenih omjera sjajnosti. Preporučeni omjer za sjajnost radnog područja i neposredne okoline je 3:1, za radno područje i dalju okolinu najviše 10 : 1, a za izvor svjetlosti i susjednu površinu maksimalno 20 : 1. Prema literaturi [8] postoje tri osnovna područja sjajnosti:

- područje minimalnih sjajnosti (od 1 do 20 cd/m²)
- područje preporučenih sjajnosti (između 100 i 400 cd/ m²)
- područje granične sjajnosti (između 500 i 10000 cd/m²)

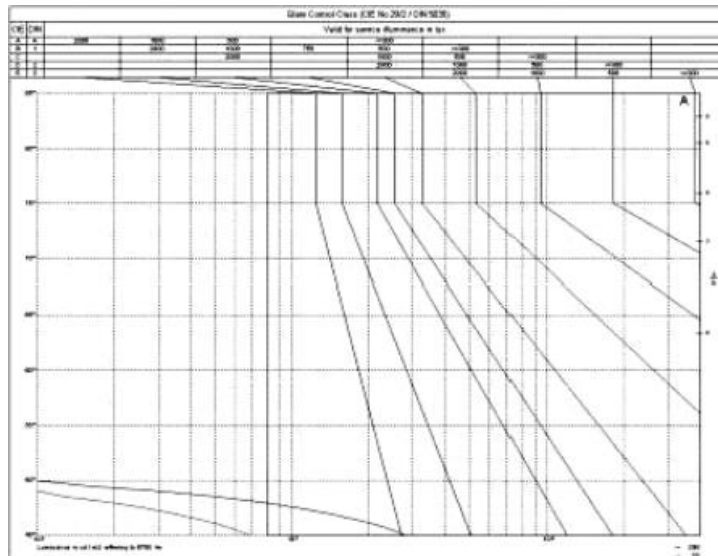
3.6 Ograničenje bliještanja

Kada se vrši odabir svjetiljki i planira njihovo pozicioniranje potrebno je voditi računa o bliještanju. „Bliještanje uzrokuje smanjenje vidnih sposobnosti, a kod dužeg zadržavanja u prostoriji psihičku neudobnost i zamor čime se smanjuje radna sposobnost.“[9] Izbor neadekvatnih pozicija može proizvesti direktno ili indirektno bliještanje. U svrhu smanjenja bliještanja odabiru se mat radne površine, a preporučena luminancija unutar sobe ne smije biti veća od 200 cd/m².

Do direktnog bliještanja dolazi ukoliko je sjajnost svjetiljki puno veća od sjajnosti opće rasvjete u prostoru. Ovakva vrsta bliještanja ovisi o: sjajnosti svjetiljki, boji svjetiljki, veličini svjetlećih površina, broju svjetiljki u vidnom polju, položaju svjetiljki u vidnom polju te o sjajnosti površina posredne i neposredne okoline rasvjetnog tijela. Direktno bliještanje je moguće kontrolirati izborom odgovarajućih rasvjetnih tijela. Smatra se da je kontrola bliještanja uspješna, ako za kutove gledanja između 45° i 85° sjajnost nije veća od vrijednosti krivulje ograničenja bliještanja tzv. Söllner krivulje.

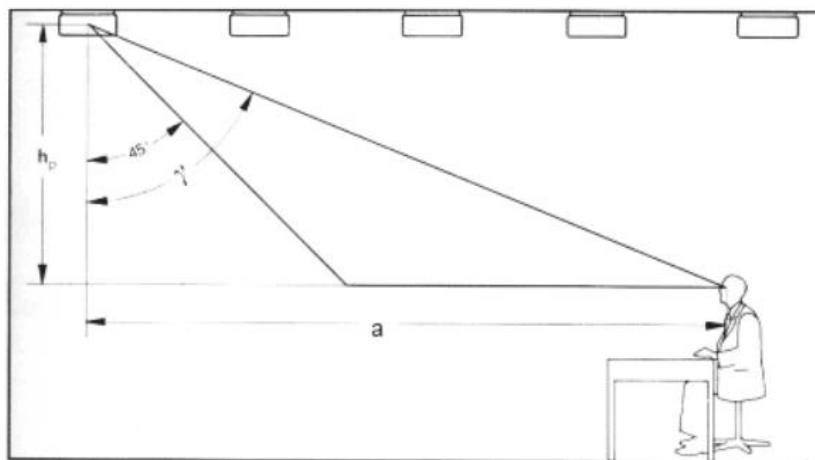


Slika 3.2 Direktno bliještanje [1]



Slika 3.3 Primjer Söllner krivulje [1]

Budući da metoda Söllner krivulja uzima u obzir samo bliještanje pojedine svjetiljke, a ne cijelog sustava rasvjetnih tijela nije česta u upotrebi. Kako bi se mjerio utjecaj svih rasvjetnih tijela skupa sa sjajnošću pozadine razvijena je metoda UGR (Unified Glare Rating).



Slika 3.4 Odnos promatrača i svjetiljke prilikom računanja UGR-a [1]

$$UGR = 8 \log \left(\frac{0.25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (3-2)$$

- L_b -sjajnost površine
- L - sjajnost svjetiljke u smjeru promatrača
- ω - prostorni kut promatrača
- p - Guth indeks

Maksimalna vrijednost koja se dobije za sve moguće kombinacije promatrača i svjetiljke uzima se kao UGR indeks prostora.

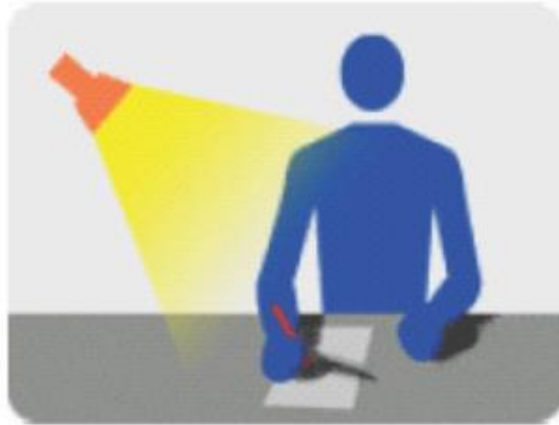
Kada dođe do refleksije na zrcalnim površinama u prostoriji nastaje indirektno (refleksno) bliještanje. Refleksno bliještanje eliminira se na način da se stvaraju grupe svjetiljki pri postavljanju rasvjete stropova. Također je vrlo važno voditi računa da se smjer odbijanja svjetlosti ne poklapa sa smjerom gledanja.



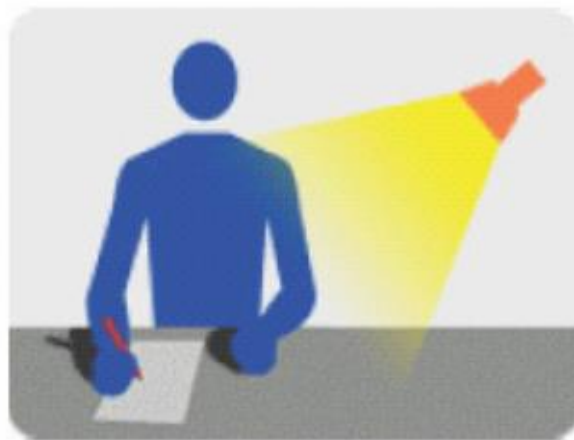
Slika 3.3 Indirektno bliještanje [1]

3.7 Smjer upada svjetla i sjene

Na raspoznavanje predmeta u prostoru, prepoznavanje njihovih oblika i površina, utječe raspodjela upadnog svjetla. Na slikama 3.4 i 3.5 dani su primjeri za nepovoljan i povoljan upad svjetlosti. Rasvjeta ne smije biti siromašna sjenama, ali sjene ne smiju biti „tvrde“ i granica prijelaza mora biti mekana. Kod mnogih zadataka (npr. čitanje, pisanje, crtanje) sjene nisu poželjna pojava, stoga ih se nastoji smanjiti upotrebom svjetiljke velike svjetleće površine koje će stvarati difuznu svjetlost. Difuzna rasvjeta u velikim prostorijama, često zamara i daje dojam monotonosti, pa je u takvim prostorima poželjna upotreba svjetiljki s jakim usmjerenim svjetlom. Odabrane svjetiljke ne smiju utjecati na izvršavanje vidnih zadatak, ali trebaju oku omogućiti opuštenost i ugodu.

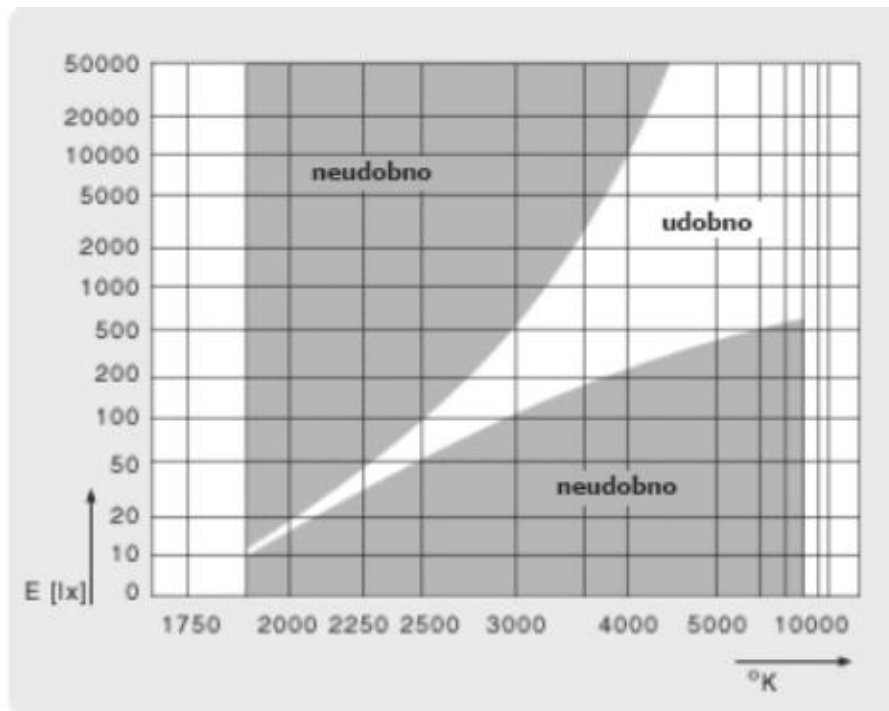


Slika 3.3 Nepovoljan upad svjetlosti [1]



Slika 3.4 Povoljan upad svjetlosti [1]

Na slici 3.5 prikaza je Kruithof-ova krivulja na kojoj je vidljivo koje su vrijednosti rasvjetljenosti udobne pri kojoj temperaturi boje.

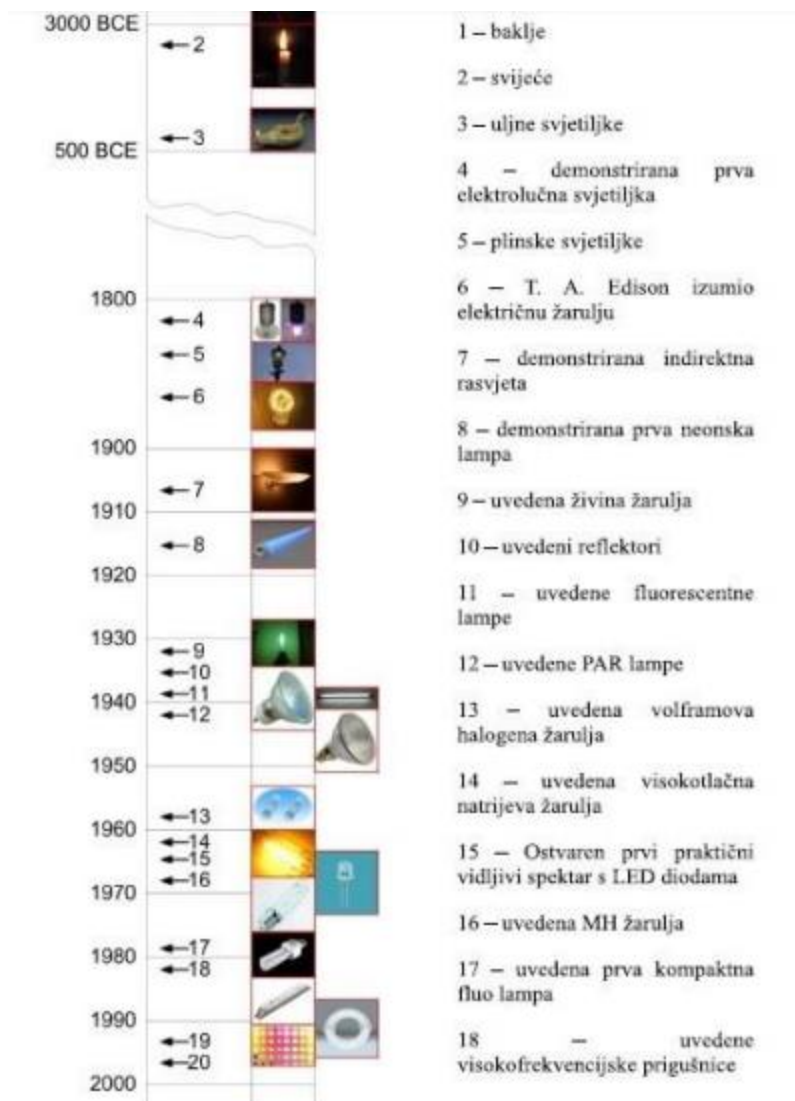


Slika 3.5 Kruithof-ova krivulja [1]

Općenito, viša temperatura boje zahtjeva višu rasvjetljenost. Odabirom određene temperature svjetla postavlja se atmosfera rasvjetnog sustava. Ukoliko se želi postići intimnija atmosfera preporučuje se upotreba toplijih temperatura boja, što više odgovara manjim razinama rasvjetljenosti. Ovisno o vrsti zadataka koji se izvršavaju, odabiru se i odgovarajuća rasvjetna tijela s pripadajućim faktorom reprodukcije boje.

4. UMJETNI IZVORI SVJETLOSTI

Otkrićem prvih izvora svjetlosti, baklje i svijeće, ljudi su shvatili da im je život puno jednostavniji uz postojanje umjetne rasvjete. Tehnološkim napretkom umjetna rasvjeta postajala je sve sofisticiranija. Na slici 4.1 dan je kronološki razvoj umjetnih izvora svjetlosti.



Slika 4.1 Kronološki prikaz razvoja umjetnih izvora svjetlosti [3]

Obzirom na način na koji daju svjetlost umjetni izvori dijele se u tri skupine:

1. izvori svjetlosti s termičkim zračenjem
2. izvori svjetlosti s izbojem u plinovima
3. Poluvodički izvori svjetlosti

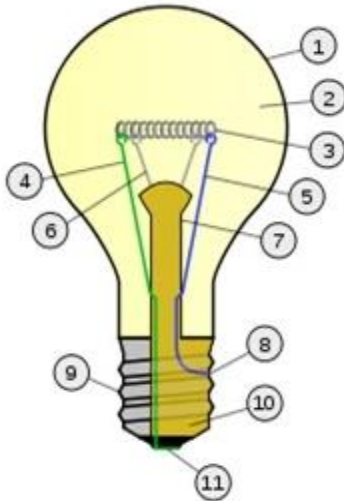
Tablica 4.1 Podjela umjetnih izvora svjetlosti

UMJETNI IZVORI SVJETLOSTI				
Žarulje s termičkim zračenjem		Izvori svjetlosti s izbojem u plinovima		Poluvodički izvori svjetlosti
Žarulje sa žarnom niti	Halogene žarulje (230V)	Niskotlačne žarulje	Visokotlačne žarulje	LED (Light Emitting Diode)
		Fluorescentne žarulje	Živine žarulje	
	Niskonaponske halogene žarulje (12V, 24V)	Kompaktne fluorescentne žarulje	Metalhalogene žarulje	
		Niskotlačne natrijeve žarulje	Visokotlačne natrijeve žarulje	

U tablici 4.1 dan je prikaz podjele umjetnih izvora svjetlosti. U ovom odlomku biti će obrađene žarulje sa žarnom niti, kao izvori svjetlosti široke primjene te LED rasvjeta, kao suvremeni svjetlosni izvori korišteni u projektu rasvjete crkve Sv. Petra i Pavla.

4.1 Žarulja sa žarnom niti

Žarulja sa žarnom niti jedna je od vrsta žarulja koje imaju najširu uporabu. Princip njihova rada temelji se na termičkom zračenju. Kod žarulja sa žarnom niti svjetlost nastaje prolaskom struje kroz užarenu nit od Wolfram-a i zagrijava je na temperaturu od 2.600 – 3.000 K te ju usijava. Osnovna svojstva ove žarulje su svjetlosna iskoristivost i vijek trajanja, a na njih najviše utječe temperatura užarene niti. Porastom temperature raste svjetlosna iskoristivost je veća, ali se životni vijek skraćuje. Za različite voltaže, žarulja sa žarnom niti ima različitu efikasnost, ali se uobičajeno smatra da se više od 90% električne energije pretvara u toplinsko zračenje, dok se u manje od 10% pretvara u svjetlost. Tako obična žarulja od 100W, koja zrači tok od oko 1700 lumena, prosječno po danu može potrošiti 1 kWh struje. Na slici 4.2 prikazani su dijelovi od kojih je klasična žarulja sa žarnom niti konstruirana.



1. Stakleni balon
2. Interi plin pod niskim tlakom (argon, azot, neon)
3. Wolfram-ova nit
4. Kotna žica (izlazi iz osnove)
5. Kotna žica (ide u osnovu)
6. Potporne žice
7. Osnova (stakleno postolje)
8. Kontaktna žica (izlazi iz osnove)
9. Navojna kapica
10. Izolacija
11. Električni kontakt

Slika 4.2 Konstrukcija klasične žarulje [10]

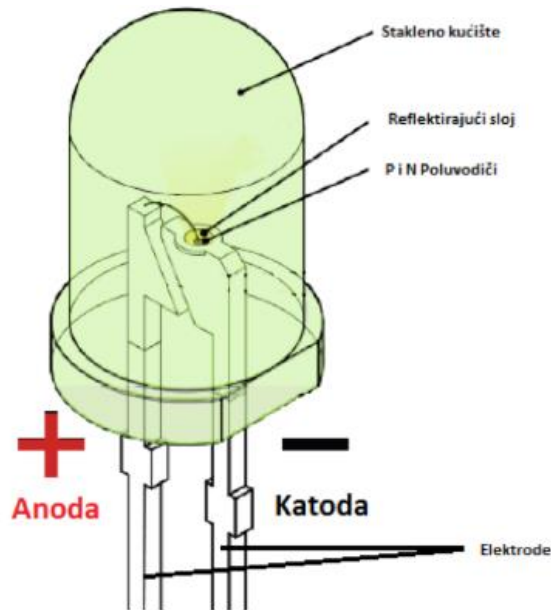
Posebnu grupu žarulja sa žarnom niti predstavljaju reflektorske žarulje. Pomoću tih žarulja se postiže usmjeravanje svjetlosnog toka u željenom smjeru, čime se podiže iskoristivost rasvjetnog sustava. Najupotrebljavanije reflektorske žarulje su žarulja s ogledalom na vrhu balona, žarulja sa spotlight posrebnim reflektorom te žarulja s PAR reflektorom i prešanim staklom.

Još od jedna vrsta standardnih žarulja su halogene žarulje. One koriste princip termičkog zračenja pri stvaranju svijetla. Dodatak halogenih tvari (broma, klora, flora i joda) punjenju skoro potpuno sprječava tamnjenje balona žarulje te se na taj način održava gotovo konstantan svjetlosni tok tijekom cijelog vremena trajanja. Osim boljeg svjetlosnog toka tijekom vijeka trajanja, prednosti halogenih žarulja pred standardnim žaruljama su manje dimenzije, viša temperatura boje, optimalna kontrola svjetla, duži vijek trajanja i bolja svjetlosna iskoristivost.

4.2 LED rasvjeta

LED rasvjeta je jedan od najmodernijih oblika rasvjete. Sastoji se od svjetlećih dioda (LED eng. Light Emitting Diode) potpomognutih CREE čipom koji im daje super performanse od 90-100 lm/W. LED dioda ima dvije elektrode. Pozitivnu elektrodu, anodu i negativnu elektrodu, katodu. Ukoliko se na LED diodu dovede napon koji će učiniti da je anoda na pozitivnijem potencijalu od katode ona će provesti struju i zasjati., u suprotnom slučaju LED neće svijetliti. Polarizacija diode u kojoj je smjer napona takav da dovodi do stvaranja struje, odnosno nastanka svjetlosti naziva se propusna polarizacija i u tom slučaju potrebno je voditi brigu o iznosu struje koja prolazi kroz diodu. Većini LED dioda dovoljna je struja od nekoliko

miliampera ($1\text{mA}=0.001\text{A}$) do 20mA i svaki veći iznos struje može uzrokovati oštećenje. Kako do toga ne bi došli, LED diode se uvijek spajaju u seriju s otpornikom koji ograničava struju na željenu vrijednost. Na slici 4.3 prikazani su dijelovi LED diode.



Slika 4.3 Građa LED diode [10]

Ukoliko se dobro promotri građa LED diode vidljivo je kako je jedna nožica duža od druge. Duža nožica je uvijek označava anodu dok kraća označava katodu.

Diode se mogu spajati u seriju ili u paralelu, ali je važno paziti na to da se pri serijskom spajanju naponi zbrajaju dok se kod paralelnog spoja zbrajaju struje.

Tržište nudi mnoštvo različitih LED dioda, te se one biraju ovisno o potrebama i njihovim karakteristikama: boja svjetla, valna duljina svjetla, intenzitet svjetla, kut svjetla, pad napona i materijal od kojeg su građene. Neke od navedenih karakteristika prikazane su u tablici 4.2.

Tablica 4.2 Karakteristike LED dioda

VALNA DULJINA (nm)	BOJA	NAPON (V)	MATERIJAL
< 400	ultraljubičasta	3.1-4.4	AlN, AlGaN, AlGaInN
400-450	ljubičasta	2.8-4.0	InGaN
450-500	plava	2.5-3.7	InGaN, SiC
500-570	zelena	1.9-4.0	GaP, AlGaInP, AlGaP
570-590	žuta	2.1-2.2	GaAsP, AlGaInP, GaP
590-610	narančasta	2.0-2.1	GaAsP, AlGaUInP, GaP
610-760	crvena	1.6-2.0	AlGaAs, GaAsP, AlGaInP, GaP
> 760	infracrvena	< 1.9	GaAs, AlGaAs

LED rasvjeta sve češće mijenja zastarjele tipova rasvjetnih proizvoda pružajući uštedu električne energije do 80% te duži vijek trajanja, od preko 50.000 sati. Kada je vijek trajanja u pitanju, on se klasificira od strane proizvođača oznakama L50 i L75, što označava prestanak vijeka trajanja s padom svjetlosnog toka na 50% odnosno na 75%. Također, za razliku od klasičnih žarulja sa žarnom niti te štednih CFL žarulja, LED diode nisu osjetljive na dodir, ne emitiraju UV ili IR zračenje, ne troše energiju za zagrijavanje te imaju puno nižu radnu temperaturu (do 70°C).

5. UMJETNA RASVJETA I SAKRALNI OBJEKTI

U ovom odlomku iznijeti će se neke smjernice kojima se treba voditi prilikom projektiranja rasvjete sakralnog objekta. Tekst koji slijedi, u cijelosti je napisan na osnovu literature [11] budući da je ova tema jako malo obrađena.

U samim začetcima stvaranja projekta rasvjete sakralnog objekta, potrebno je definirati što je sakralni prostor sa stajališta projektanta. Prema [11] to je „prostor naglašene duhovnosti, često s vrijednim umjetninama i specifičnim liturgijskim događanjima“. Budući da pri projektiranju rasvjete sakralnog objekta nisu postavljeni jasni kriteriji ni pravila, kao što je to slučaj za neke druge objekte, projektant mora prostor raščlaniti na manje dijelove prema određenoj liturgijskoj funkciji, arhitektonskim obilježjima ili likovnim vrijednostima. Na osnovu raščlambe postavljaju se kriteriji i zahtjevi rasvjete, pri čemu je potrebno voditi brigu o tome da svi, odvojeno tretirani dijelovi, a prostorno povezani, imaju određenu logiku i sklad. Također, vrlo je važno rasvjetom privući pažnju na vrijedne umjetničke radove, ali ih istovremeno sačuvati od propadanja uslijed prejakog svjetla.

Projekt rasvjete sakralnog objekta zahtjeva usku suradnju arhitekata, svjetlotehničara i investitora, a kod povijesnih objekata i suradnju s konzervatorima.

Autor literature [11] navodi kako se prostor može podijeliti na središnji prostor okupljanja vjernika, prezbiterij, ulazni dio i kor.

5.1 Središnji prostor okupljanja vjernika

Središnji prostor okupljanja vjernika može se sagledati sa stajališta važnosti obreda bogoslužnja. Svakodnevni obredi i molitve su učestale situacije te autor [11] predlaže rasvijetljenost od 50lx, za nedjeljne molitve predložena je razina od 100lx dok je za blagdanske obrede predložena razina od 150lx.

Rasvjeta unutar prostora može biti izravna i neizravna. Neizravna rasvjeta upotrebljava se za naglašavanje volumena prostora, strukture svoda ili zida. Ukoliko su površine refleksije svjetlije, neizravnom rasvjetom se postiže zadovoljavajuća rasvijetljenost na visini 0.8m od poda, što odgovara visini sjedenja ili klečanja. Također, ta vrsta svjetla je vrlo blaga i jednolična te pruža umirujući ugođaj vjernicima. Najbolji rezultati neizravnom rasvjetom postižu se ukoliko je prostor visine preko 10m, a visina svjetiljki 4-6m.

Nedostatak neizravne rasvjete je u tome što ne pruža dovoljnu refleksiju svjetlosti kod svodova tamnije boje ili oslikanih svodova. Taj problem se rješava dodavanjem izravnog svjetla. Izravna rasvjeta koristi se i kod prostora sa nižim stropom, budući da se u takvim prostorima, zbog male razlike visine svjetiljke i visine stropa, dobiva prejak rasvijetljenost stropa u odnosu na pod. Za lagano naglašavanje volumena prostora, uobičajeno se izvodi rasvijetljenosti stropa i poda u omjeru 1:1.5.

5.2 Prezbiterij

Prezbiterij je središnje mjesto liturgijskih događaja, stoga je potrebno postići njegovu dominaciju u prostoru. Refleksijom predviđene rasvjete u središnjem prostoru objekta postiže se određena količina svjetlosti i u prostoru prezbiterija. Kako bi se taj prostor dodatno naglasio koriste se reflektori širokog snopa svjetlosti koji postavljeni, uglavnom, na bočnim zidovima prezbiterija izravno rasvijetljavaju prostor. Odnos rasvijetljenosti središnjeg dijela i prezbiterija treba biti proporcionalan. Prema [11] predviđena količina rasvijetljenosti prezbiterija za svakodnevne obrede i molitve je 100lx, za nedjeljni obred 200lx, dok za blagdanske obrede iznosi 300lx. Prethodno navedene vrijednosti su dane za generalnu rasvjetu prezbiterija, ali potrebno je znati da se još dodatno naglašavaju bitni dijelovi prostora, glavni oltar, menza, ambon i sakralni detalji. Za rasvjetu ovih dijelova, najčešće se upotrebljavaju reflektori s uskim snopom distribucije svjetlosti. Iako je teško dati točne količine rasvijetljenosti za pojedine dijelove prezbiterija, budući da se oni ne promatraju kao cjelina, nego ovise o pozadini i vertikalnoj rasvijetljenosti prostora, u [11] su navedene okvirne vrijednosti za svaki dio. Oltarna menza 400-1000 lx, ambon 400-800 lx, detalji glavnog oltara, kipovi svetaca i slike 600-1500 lx. Prilikom slaganja rasporeda reflektora vrlo je važno voditi brigu da ne dođe do zaslepljivanja.

Za prethodno navedene slučajeve korištenja svjetiljki u prostoru, poželjno je koristiti izvore svjetlosti bijele boje, s indeksom uzvrata većim od 70%, te mogućnošću odabira hladnog ili toplog tona. Kada se vizualno želi naglasiti detalj u odnosu na njegovu pozadinu, on se osvjetljava hladnim tonovima, a pozadina toplim. Detalji se također mogu naglasiti povećanjem jačine rasvijetljenosti u odnosu na pozadinu. Autor literature [11] predlaže da se, u tom slučaju, pozadina i detalji rasvijetle u omjeru 1:1,8.

Prilikom svakodnevnih obreda i molitvi, ulogu glavnom oltara, vrlo često, preuzima pomoćni oltar pa se u tom slučaju on osvjetljava kao i glavni oltar za isti obred. Većina povijesnih crkvi

su trobrodne, te se u bočnim lađama postavlja ista razina rasvijetljenosti kao na pomoćnom oltaru.

Postaje križnog puta uglavnom su smještene u bočnim lađama ili na zidovima lijevo i desno od ulaza, pa se taj prostor rasvijetljava s 50 lx, a za rasvjetu postaja koriste se usmjereni izvori svjetlosti sa zida ili stropa koji ih naglašavaju rasvijetljenošću od 300 do 500 lx.

5.3 Ulazni dio i kor

Ulazni prostor potrebno je osvjetliti diskretnom rasvjetom jačine 50 lx, pomoću zidnih ili stropnih rasvjetnih tijela. Ukoliko je ulazni prostor natkriven korom, potrebno je voditi računa o tome da izvori svjetlosti ne bliješte i ne ometaju pogled u dubinu prostora, te ne remete mirnoću i osjećaj duhovnosti.

Autor [11] preporučuje kor rasvijetliti jačinom od 300 lx, pomoću usmjerenih izvora svjetlosti.

Kada se svi prethodno navedeni dijelovi spoje u jednu cjelinu dobiti će se dojam postupnog pojačavanja rasvijetljenosti, gledajući od ulaza prema središnjem prostoru do prezbiterija na kojeg je stavljen najveći naglasak.

6. PROJEKT RASVJETE CRKVE SV. PETRA I PAVLA U OSIJEKU

U ovom projektu rađena je rekonstrukcija postojeće unutarnje rasvjete crkve Sv. Petra i Pavla u Osijeku. Na projektu sam sudjelovala kao suradnik u sklopu stručne prakse u tvrtki Nova-lux d.o.o, Osijek.

6.1 Stanje postojeće rasvjete

Pri izradi projekta prvo se krenulo u analizu postojećeg stanja kojim je uočeno da postojeća rasvjeta interijera velikim dijelom nije u funkciji. Razlog tomu je nemogućnosti održavanja zbog teško dostupnih lokacija rasvjetnih tijela, ali i tehnologija rasvjete koja je tada korištena, a koja je u zadnjih deset godina značajno napredovala. Naime, rasvjeta interijera bila je izvedena najvećim dijelom metal-halogenim i halogenim izvorima jer su u to vrijeme to bila jedina dostupna i adekvatna rješenja rasvjete. Metal-halogeni izvori imaju relativno nizak uzvrat boja te je razina rasvijetljenosti nezadovoljavajuća. Pored toga metal-halogeni izvori tijekom vremena mijenjaju boju svjetlosti u zelenkaste tonove, što nije baš poželjno. Nakon nekoliko godina je dio metal-halogenih rasvjetnih tijela bilo izvan funkcije (metal-halogeni izvori imaju vijek trajanja cca 10.000 sati), a zbog nedostupnih lokacija bilo ih je teško zamijeniti. S druge strane, halogeni izvori imaju znatno veći uzvrat boja pa je prikaz pojedinih dijelova rasvijetljenih na taj način znatno kvalitetniji, ali je njihova snaga znatno manja. Uz to, halogeni su izvori vrlo kratkog vijeka trajanja (između 2.000 i 8.000 sati). S obzirom da su lokacije postavljanja halogenih rasvjetnih tijela također teško dostupne, rasvjeta je već nakon nekoliko godina postala krnja i neadekvatna. Pored navedenog, problem predstavlja i bliještanje pojedinih svjetlosnih izvora. Trenutno stanje rasvjete je prikazano na slikama u nastavku.



Slika 6.1 Postojeća rasvjeta (pogled na središnji prostor s glavnog oltara)



Slika 6.2 Postojeća rasvjeta
(pogled na glavni oltar)



Slika 6.3. Postojeća rasvjeta
(pogled na bočni oltar)



Slika 6.4 Postojeća rasvjeta (indirektna rasvjetna tijela)

6.2 Koncept novog svjetlotehničkog rješenje

Nakon analiza postojećeg stanja, krenulo se u planiranje novog svjetlotehničkog rješenja. Koncept nove rasvjete napravljen je primjenjujući najnovija tehnološka rješenja. Planirano je da sva postavljena rasvjeta bude u potpunosti upravljiva. To podrazumijeva mogućnost pokretanja različitih, unaprijed programiranih svjetlosnih scenarija. Programirani scenariji moći će kombinirati razne intenzitete i različite nijanse bijele boje svjetlosti, različitih grupa rasvjetnih tijela. Važno je napomenuti kako će postojati ogroman broj kombinacija jer će svakom rasvjetnom tijelu biti moguće mijenjati intenzitet i boju bijele svjetlosti, ovisno o ulasku dnevnog svjetla, vrsti zbivanja u crkvi i sl.

Rasvjeta će također biti u potpunosti adaptibilna zbivanjima u crkvi, što znači da će pored isticanja arhitektonske vrijednosti prostora, rasvjeta biti prilagodljiva liturgijskim i drugim aktivnostima koje se odvijaju u crkvi.

U svrhu što kvalitetnijeg prikaza svih elemenata crkve, a posebice mnogobrojnih freski, rasvjetna tijela imati će vrlo visok indeks uzvrata boja (tzv. CRI indeks, koji pokazuje koliko dobro izvor svjetla može reproducirati boje u odnosu na sunčevu svjetlost), zbog čega će boje biti znatno izraženije i prirodnije.

Nova rasvjeta biti će usklađena sa dnevnim svjetlom. To znači kako će sva rasvjetna tijela imati mogućnost podešavanja nijansi bijele boje svjetlosti (od hladno bijele odnosno dnevne boje svjetlosti, to toplo bijele odnosno žuto-narančaste boje) ovisno o ulasku dnevnog svjetla. Ova sposobnost omogućiti će bolje uklapanje umjetne rasvjete sa sunčevom svjetlošću koja ulazi u crkvu u dnevnim i večernjim satima, a kontrast boja svjetlosti će biti manji i time prirodniji i ljepši. Sva rasvjetna tijela imati će LED izvore svjetlosti koji su vrlo dugotrajni (preko 50.000 sati), te će biti ugrađen kvalitetan sustav upravljanja rasvjetom. Kako bi cjelokupan sustav rasvjete odgovarao estetskim kriterijima, koristit će se rasvjetna tijela minimalnih dimenzija i velike snage te će tako svjetlosna instalacija biti manje uočljiva. Posebna briga posvetiti će se postizanju minimalne količine blještanja svjetlosnih izvora. U tu svrhu će sva rasvjetna tijela usmjerena prema dolje i imati će ugrađenu specifičnu opremu protiv blještanja.

Budući da će rasvjetna tijela sadržavati LED izvore svjetlosti, njihova potrošnja biti će minimalna čime će se postići znatne uštede u potrošnji električne energije u odnosu na prijašnje svjetlotehničko rješenje

Pri izradi ovog projekta konzultirani su svi relevantni sudionici, počevši od Crkvenih poglavara, župnika, predstavnika Konzervatorskog odjela u Osijeku zaduženih za ovaj objekt, pa sve do pjevača u zboru i časnih sestara koje su zadužene za održavanje i čišćenje crkve, a sve u svrhu prilagođavanja rasvjete svim korisnicima.

6.3. Princip rasvjete pojedinih arhitektonskih elemenata

Načelni princip arhitekturne rasvjete crkve Sv. Petra i Pavla biti će baziran na isticanju arhitekture difuznom svjetlošću, sa diskretnim naglascima na pojedine elemente poput glavnog oltara, sporednih oltara, freski i vitraja. Pri tome će se voditi briga da se za vrijeme bogoslužja rasvjeta prilagodi potrebama crkvenih dužnosnika i vjernika. Različiti svjetlosni scenariji će se

programirati unaprijed i pokretati jednostavnim odabirom programa odnosno scenarija. U pojedinim scenarijima neke grupe rasvjetnih tijela će se u potpunosti gasiti, ovisno o tome što se u interijeru želi naglasiti a što ne i ovisno o namjeni interijera u zadanom trenutku.

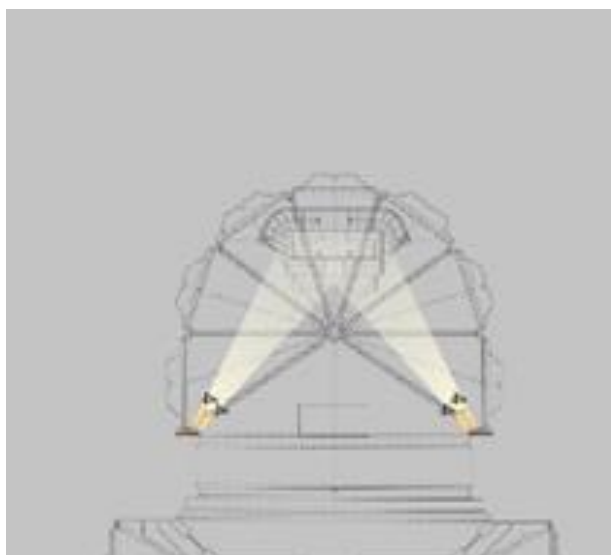
6.3.1 Rasvjeta glavnog i pomoćnih oltara

Svi oltari biti će rasvijetljeni malo jačim intenzitetom u odnosu na okolne plohe i zidove. Pri rasvjeti oltara se vodit će se briga o što manjem kreiranju oštih sjena na kipovima, kao i oštih sjena ornamenata na okolnim zidovima, stoga će pozicije rasvjetnih tijela biti korigirane u odnosu na prijašnje rješenje rasvjete.

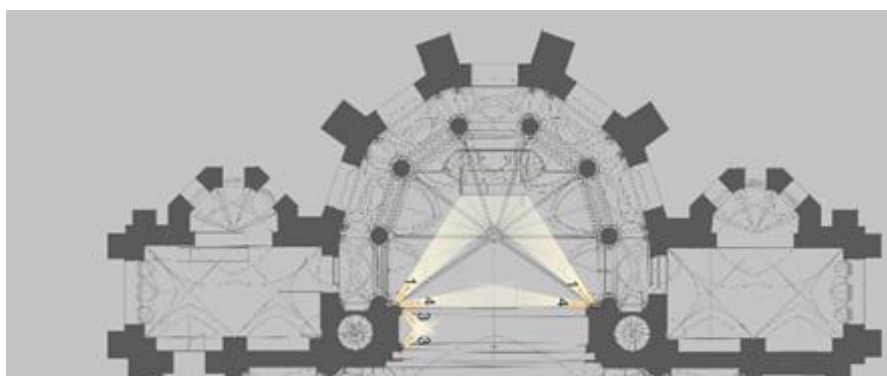
Glavni oltar biti će rasvijetljen s dvije razine kako bi se naglasio volumen i postigao svečaniji dojam. Rasvjetna tijela na obje razine bit će postavljena na strujnim šinama. Svjetlosni snopovi bit će usmjereni tako da svaka svjetiljka rasvjetljava suprotnu stranu svetišta kako bi se postigla dovoljna količina svjetlosti, ali bez oštih prijelaza i sjena. Na oltaru se također nalaze svijećnjaci čiji će se postojeći svjetlosni izvori biti zamijeniti novim (retrofit žaruljama) jačeg intenziteta i toplije boje svjetlosti. Na slici 6.5 biti će prikazan stvarni izgled glavnog oltara dok će na slikama u nastavku biti prikazane skice načelnih pozicija rasvjetnih tijela za rasvjetu glavnog oltara, sa usmjerenjima snopova svjetlosti.



Slika 6.5 Prikaz glavnog oltara



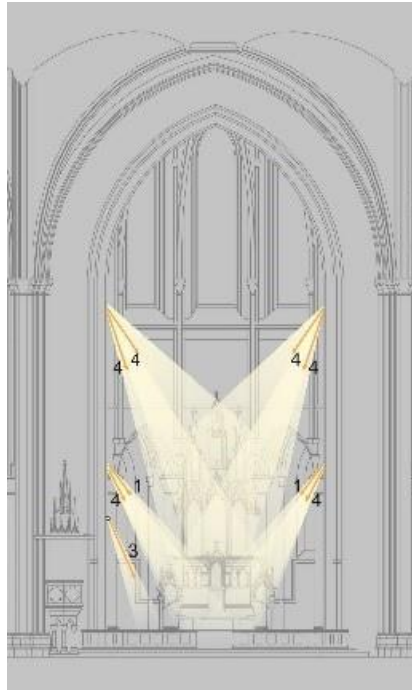
Slika 6.6 Prikaz načelnih pozicija rasvjetnih tijela i snopova svjetlosti za glavni oltar



Slika 6.7 Prikaz načelnih pozicija rasvjetnih tijela i snopova svjetlosti za glavni oltar

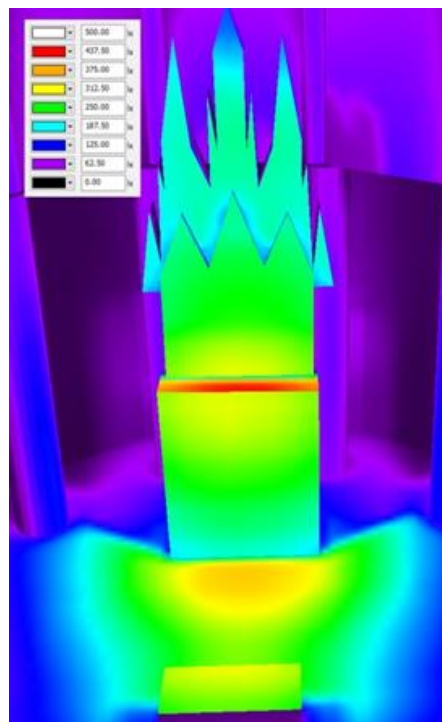


Slika 6.8 Prikaz načelnih pozicija rasvjetnih tijela i snopova svjetlosti za glavni oltar (gledano bočno)



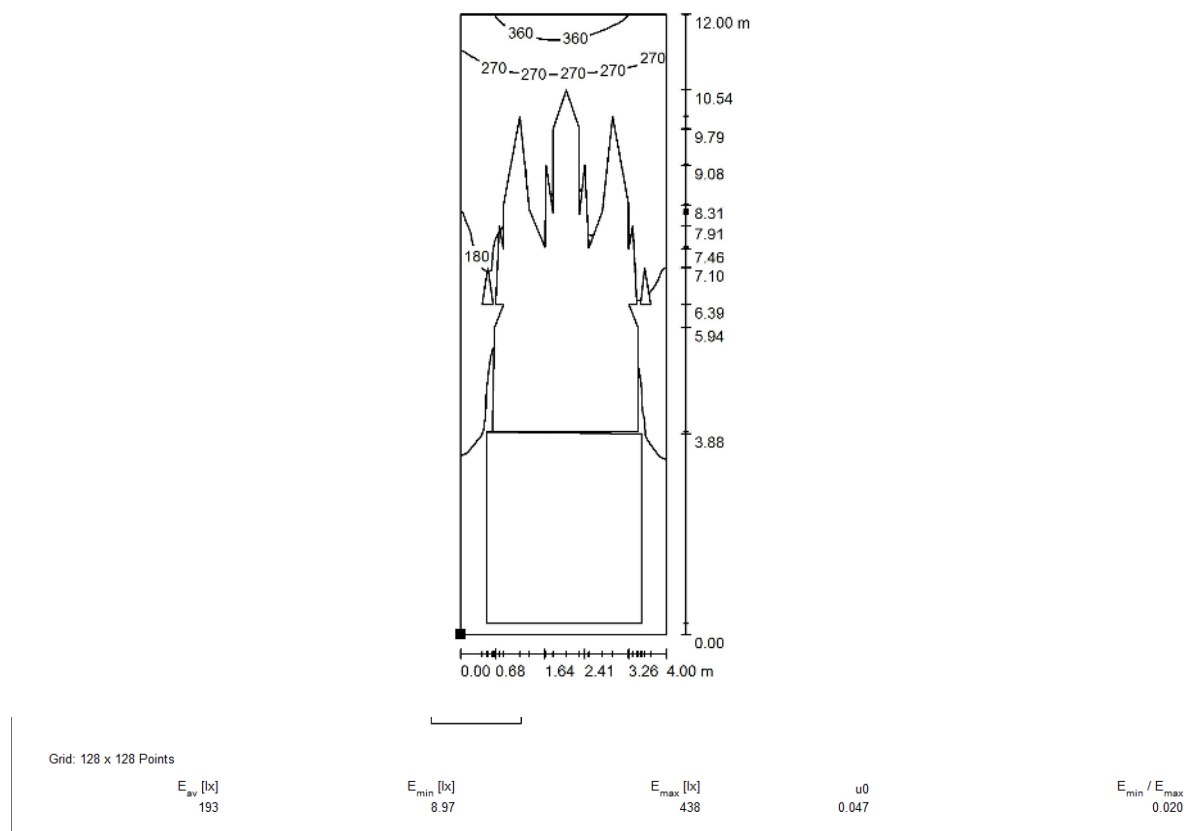
Slika 6.9 Prikaz načelnih pozicija rasvjetnih tijela i snopova svjetlosti za glavni oltar (frontalni pogled)

Na slikama 6.10 i 6.11 prikazan je svjetlotehnički proračun za glavni oltar iz programa Dialux.



Slika 6.10 svjetlotehničkog proračuna za glavni oltar (boje na prikazu ne prikazuju realne boje svjetlosti, već intenzitet svjetlosti u mjernim jedinicama - lux)

Na slici 6.10 prikazana je skala vrijednosti boja. Vidljivo je da crna boja označava minimalnu rasvjetljenost (0 lx), a bijela maksimalnu (500 lx) te je vidljiv princip rasvjetljavanja pojedinih arhitektonskih elemenata o kojem je bilo riječi u prethodnom tekstu. Rezultati proračuna pokazuju kako je na oltaru jačina rasvjetljenosti veća nego na njegovoj pozadini, što rezultira željenim naglaskom na sam oltar i stvaranjem vizualne dubine prostora iza oltara.



Slika 6.11 Prikaz svjetlotehničkog proračuna za glavni oltar

Dobivene vrijednosti rasvjetljenosti prikazane su u tablici 6.1.

Tablica 6.1.

E_{min} [lx]	8.97
E_{max} [lx]	438
E_{min} / E_{max}	0.02
E_{sr} [lx]	193

Crkva Sv. Petra i Pavla posjeduje četiri pomoćna oltara koji će također biti rasvjetljeni malo jačim intenzitetom u odnosu na okolne plohe. Budući da su pomoćni oltari smješteni u

poprečnoj lađi, u kojima su svodovi niži nego u glavnoj, rasvjetna tijela je moguće pozicionirati samo iznad kapitela stupova niže razine. Snopovi svjetlosti rasvjetnih tijela bit će usmjereni na način da osvijetljavaju oltare uvijek iz dva smjera kako bi se ublažile sjene i time istaknuo volumen kipova i ornamenata. Na slici 6.12 je prikaz bočnih oltara.



Slika 6.12 Prikaz pomoćnog oltara

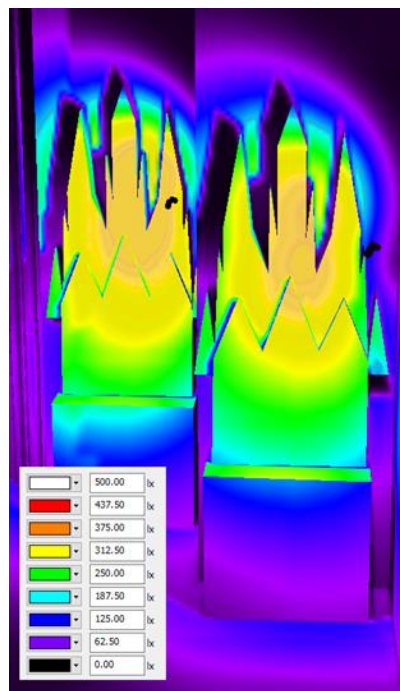
U nastavku će se prikazati načelne pozicije svjetlosnih izvora i pripadajućih snopova svjetlosti, te svjetlotehnički proračun.



Slika 6.13 Skica načelnih pozicija rasvjetnih tijela za rasvjetu glavnog oltara i pomoćnih oltara sa usmjerenjima snopova svjetlosti

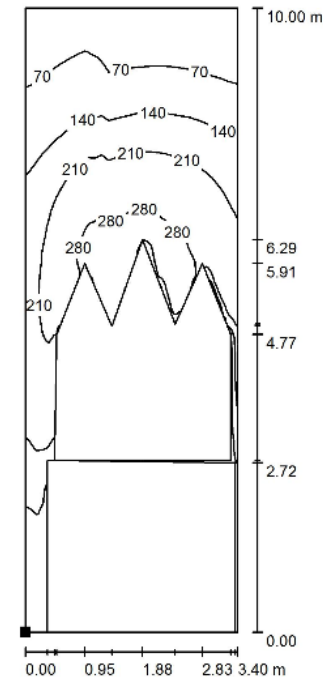


Slika 6.14 Skice načelnih pozicija rasvjetnih tijela za rasvjetu glavnog oltara i pomoćnih oltara, sa usmjerenjima snopova svjetlosti (bočni pogled)



Slika 6.15 Svjetlotehnički proračun za pomoćne oltare (boje na prikazu ne prikazuju realne boje svjetlosti, već intenzitet svjetlosti u mjernim jedinicama - lx)

Uspoređujući jačinu rasvjetljenosti u pojedinim dijelovima prostora, vidljivo je kako je najveća rasvjetljenost u centralnom području bočnih oltara, odnosno naglasak je na kipovima.



Grid: 128 x 128 Points

E_{av} [lx]
161

E_{min} [lx]
6.01

E_{max} [lx]
320

u_0
0.037

E_{min} / E_{max}
0.019

Slika 6.16. Svjetlotehnički proračun za bočni oltar

U tablici 6.2 prikazani su podaci dobiveni proračunom rasvjetljenosti u Dialux-u.

Tablica 6.2 Vrijednosti dobivene proračunom za bočni oltar

E_{min} [lx]	6.01
E_{max} [lx]	320
E_{min} / E_{max}	0.019
E_{sr} [lx]	161

Na svim pomoćnim oltarima, baš kao i na glavnom oltaru, postavljeni su svijećnjaci čiji će postojeći svjetlosni izvori biti zamijenjeni novim, retrofit LED izvorima, toplije (narančasto-žute) boje svjetlosti kako bi vizualno aludirali na svijeće.

6.3.2 Rasvjeta freski, vitraja i rozeta

Osječka konkatedrala bogata je freskama. Gledajući cjelinu, uz rasvjetu oltara, rasvjeta freski će biti dominantnija odnosno jačeg intenziteta u odnosu na rasvjetu ostalih arhitektonskih

elemenata, te će činiti uravnoteženu kompoziciju rasvjete interijera. Sve freske će biti tretirane na isti način i to tako da će svaka biti rasvijetljena difuznom svjetlošću bez oštrih naglasaka rubova snopova.

Freske iznad glavnog oltara će se rasvijetliti sa gornje razine, postavljanjem rasvjetnih tijela iznad kapitela stupova, kako se ne bi stvarale sjene oko glavnog oltara.

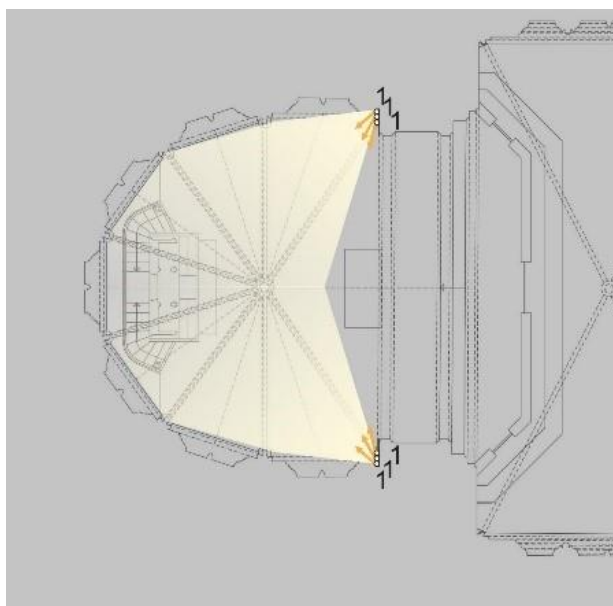
Freske iznad lukova će se rasvijetliti unakrsno, sa suprotnih strana glavne lađe, postavljanjem rasvjetnih tijela iznad kapitela stupova.

Sličan princip rasvjete primjenjivat će se i na freskama poprečne lađe, s time da će se snop svjetlosti usmjeriti blago prema gore. Na polju svetišta svjetiljke će se postaviti na gornju razinu iznad kapitela stupova,

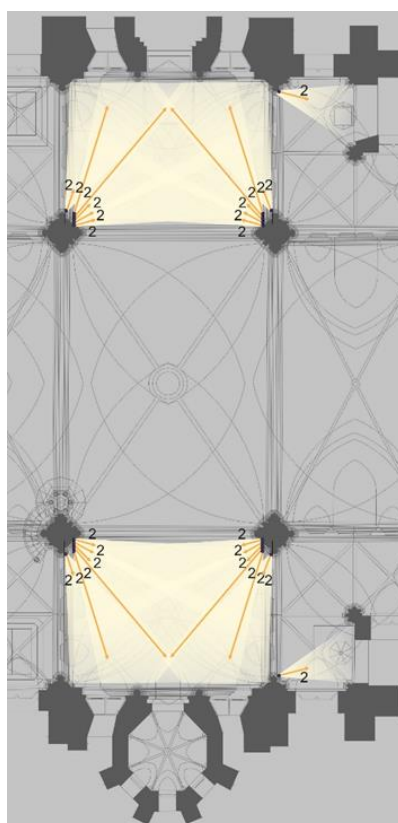
U drugom i trećem četvrtastom polju rasvijetlit će se sa lokacija iznad kapitela stupova, a sve prema prikazima u nastavku.



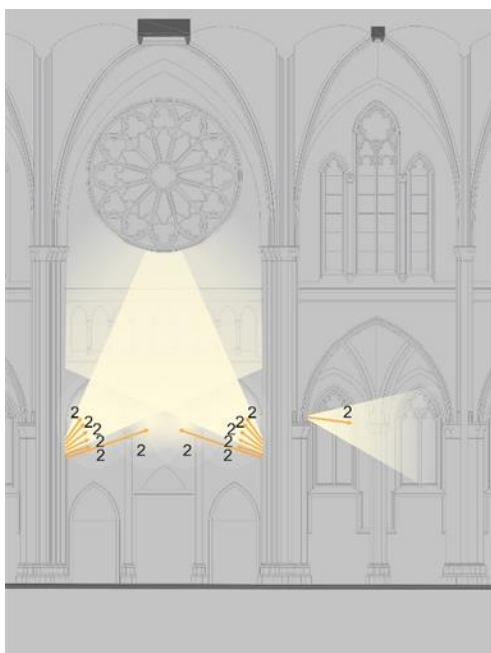
Slika 6.17 Skice načelnih pozicija rasvjetnih tijela i usmjerenja snopova svjetlosti rasvjetnih tijela za rasvjetu zidnih freski (prikaz prednje i stražnje strane gledano sa sredine prostora)



Slika 6.18 Skice načelnih pozicija rasvjetnih tijela i usmjerenja snopova svjetlosti rasvjetnih tijela za rasvjetu zidnih freski iznad glavnog oltara



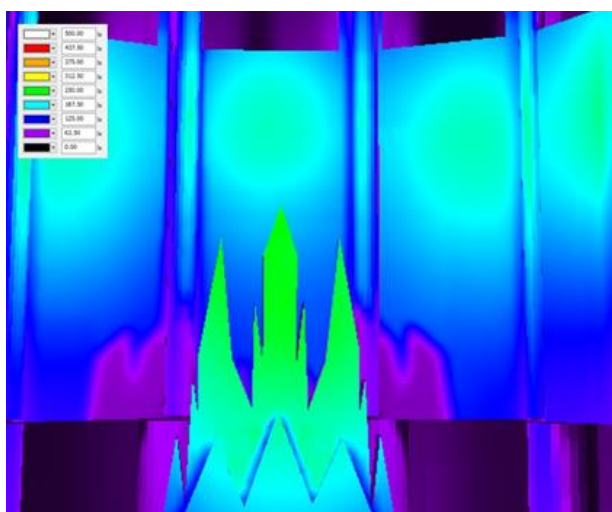
Slika 6.19 Skice načelnih pozicija rasvjetnih tijela i usmjerenja snopova svjetlosti rasvjetnih tijela za rasvjetu zidnih freski u poprečnoj lađi



Slika 6.20 Skice načelnih pozicija rasvjetnih tijela i usmjerenja snopova svjetlosti rasvjetnih tijela za rasvjetu zidnih freski u glavnoj lađi



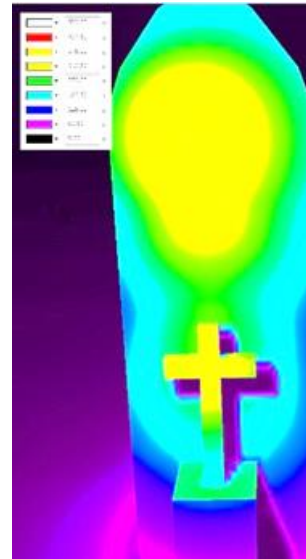
Slika 6.21 Fotografija freski iznad glavnog oltara



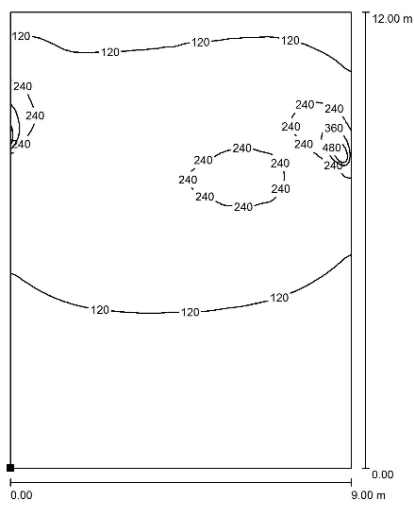
Slika 6.22 Svjetlotehnički proračuna za freske iznad glavnog oltara



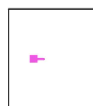
Slika 6.23 Fotografija freski iznad Raspela



Slika 6.24 Svjetlotehnički proračun za freske iznad raspela



Position of surface in room:
Marked point: (22.741 m, 38.392 m, 0.000 m)



Values in Lux, Scale 1 : 94

Grid: 128 x 128 Points

E_{av} [lx]
137

E_{min} [lx]
21

E_{max} [lx]
609

u_0
0.152

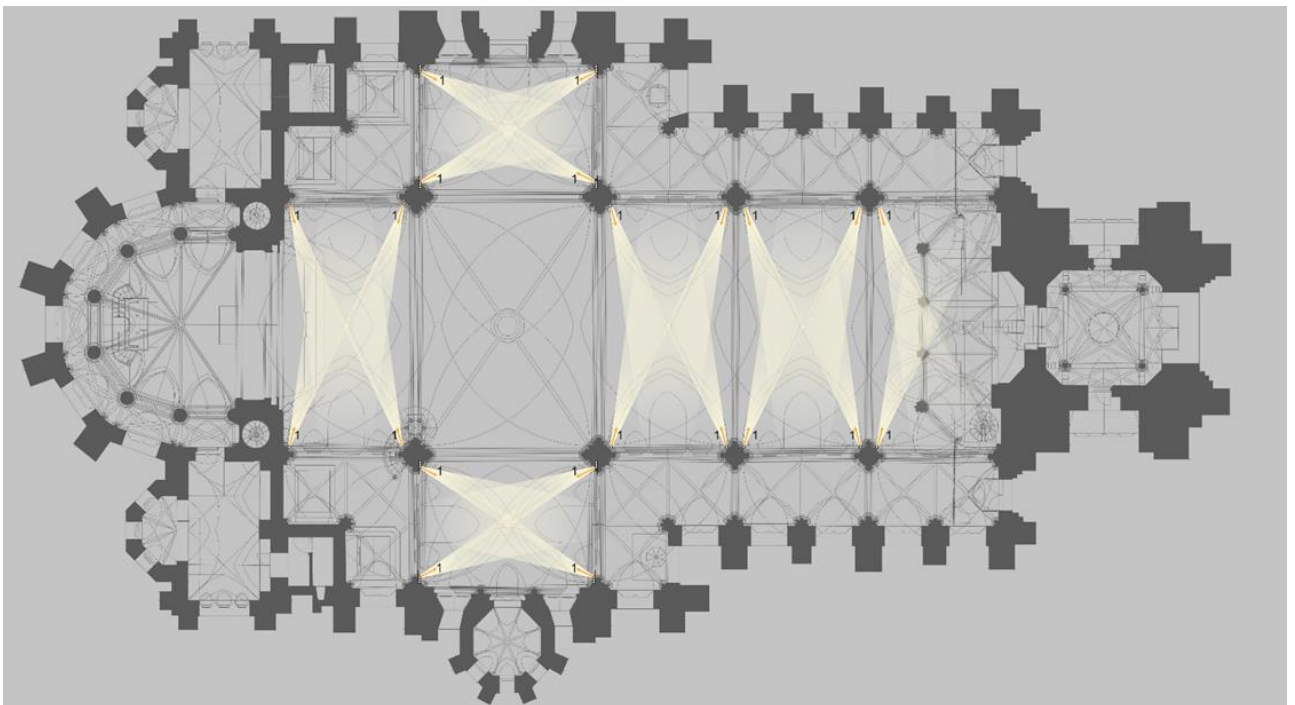
E_{min} / E_{max}
0.034

Slika 6.25 Svjetlotehnički proračuna freski

Tablica 6.3 Dobivene vrijednosti proračuna u Dialux-u

E_{min} [lx]	21
E_{max} [lx]	609
E_{min}/E_{max}	0.034
E_{sr} [lx]	137

Crkvu krasi 33 vitraja s likovnim sadržajem i 7 s koloriranim ornamentima. Oni će se rasvijetliti blagom, difuznom svjetlošću manjeg intenziteta u odnosu na oltare i freske, kako bi se postigla opća razina rasvijetljenosti bez tamnih zona, ali istovremeno i kako bi se vitraji istaknuli gledajući crkvu izvana.

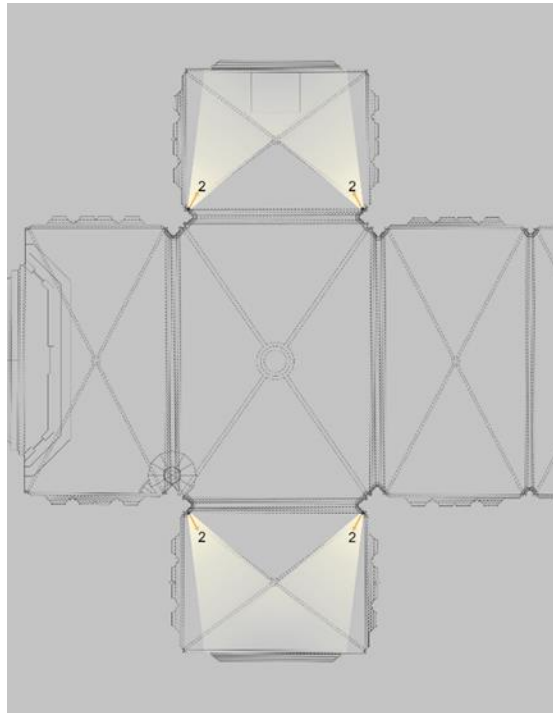


Slika 6.26 Skica načelnih pozicija rasvjetnih tijela za rasvjetu vitraja, na tlocrtu, sa usmjerenjima snopova svjetlosti, za rasvjetna tijela pozicionirana iznad kapitela stupova niže razine

Budući da su u svrhu proračuna rađeni modeli prostora izravno u Dialuxu, nije bilo moguće postaviti uvijete ulaska vanjskog svjetla koji su potrebni za proračun, stoga za vitraje nije rađena detaljna svjetlotehnička analiza.

Rozete će se naglasiti rasvjetom smještenom iznad kapitela visokih stupova, dok će vitraji u prozorima biti osvijetljeni sa kapitela stupova niže razine. Svjetlosni snopovi koji će

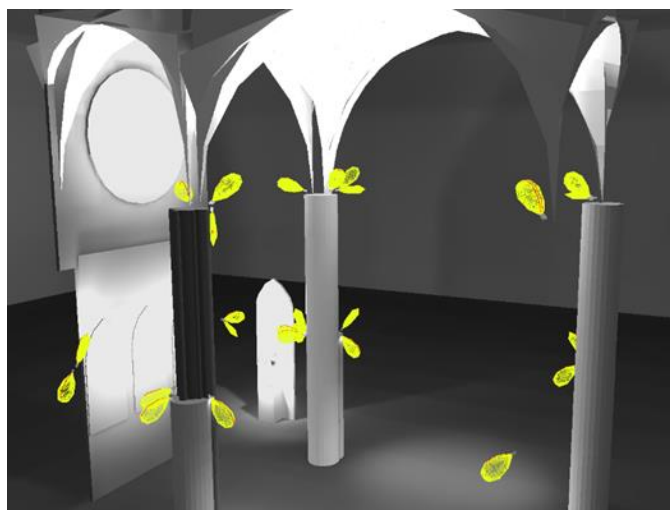
osvjetljavati rozete i vitraje biti će usmjereni tako da se međusobno križaju kako bi se postigla što manja asimetrija sjena.



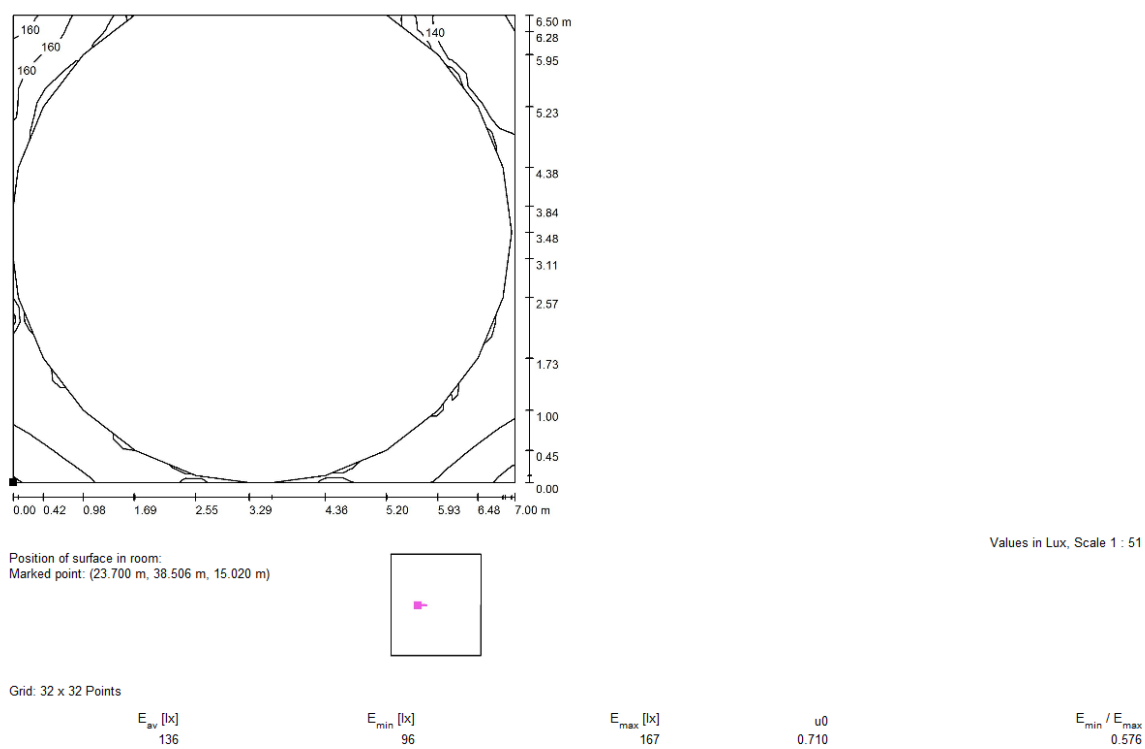
Slika 6.27 Skica načelnih pozicija rasvjetnih tijela za rasvjetu rozeta, na tlocrtu, sa usmjerenjima snopova svjetlosti, za rasvjetna tijela pozicionirana iznad kapitela stupova više razine



Slika 6.28 Skica načelnih pozicija rasvjetnih tijela za rasvjetu vitraja i rozeta, sa usmjerenjima snopova svjetlosti (presjek)



Slika 6.29 Prikaz rasvjetljenosti rozete u Dialux-u



Slika 6.30 Svjetlotehnički proračun za rozetu

Tablica 6.4 Podaci dobiveni svjetlotehničkim proračunom u Dialux-u

E_{min} [lx]	96
E_{max} [lx]	167
E_{min} / E_{max}	0,576
E_{sr} [lx]	137

Prilikom proračuna rasvjetljenosti rozeta i vitraja problem su stvarali stvarni uvjeti koje je u ovom slučaju bilo nemoguće imitirati. Zbog toga su vrijednosti dobivene pri proračunu rozeta samo okvirne i u prilikom proračuna u obzir nisu uzete vrijednosti prirodne i umjetne rasvjete koja kroz rozete dopire u unutrašnjost crkve.

6.3.3 Rasvjeta orgulja, kora, stupova, svodova i partera

Orgulje i kor bit će rasvijetljeni rasvjetnim tijelima smještenima na strujnim šinama koji će se postaviti na bočne zidove. Snopovi svjetlosti biti će usmjereni tako da svjetlosni izvor rasvjetljava suprotnu stranu kora i orgulja. Ova rasvjetna tijela također će sadržavati zaštitu protiv bliještanja kako bi se smanjile smetnje orguljašima i zboru na koru.

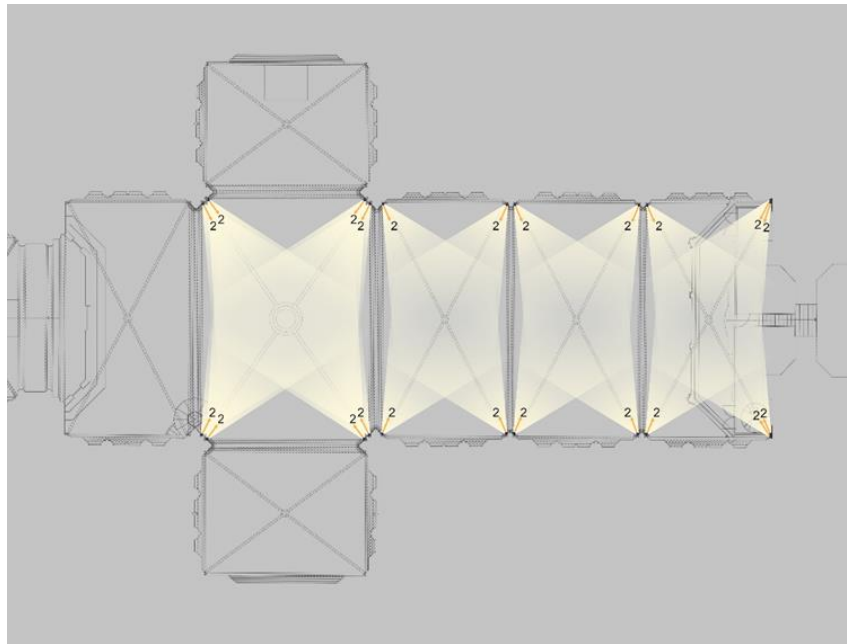
Stupovi se naglašavaju uskim snopovima svjetlosti i time se kompozicijski naglašava glavna lađa. Ova rasvjetna tijela će se uključivati u pojedinim svjetlosnim scenarijima. Rasvjetna tijela usmjerena prema dolje će imati instaliranu i dodatnu opremu protiv bliještanja.



Slika 6.31 Skica načelnih pozicija rasvjetnih tijela sa usmjerenjima snopova svjetlosti, za rasvjetu stupova, te kora i orgulja

Svodovi konkatedrale su također oslikani i njihovo isticanje svjetlošću je iznimno bitno radi kreiranja adekvatnog ugođaja u konkatedrali. Rasvjeta svodova je vrlo važna i zbog indirektna rasvjete poda svetišta koja će se postići refleksijom svjetlosti na podnu plohu.

Oslikani svodovi su radi lakšeg prikaza podijeljeni na tri razine: nisku, srednju i visoku razinu svodova. Sve tri razine naglasit će se difuznom svjetlošću pomoću rasvjetnih tijela koja će se smjestiti iznad kapitela stupova većinom na nižoj razini, a tamo gdje nije bilo moguće adekvatno rasvijetliti visoke svodove sa niže razine, rasvjetna tijela će se postaviti i iznad kapitela više razine stupova. Optika svakog rasvjetnog tijela će se odabrati ovisno o visini svoda, poziciji rasvjetnog tijela, i širini plohe koja će se pokrivati svjetlošću.

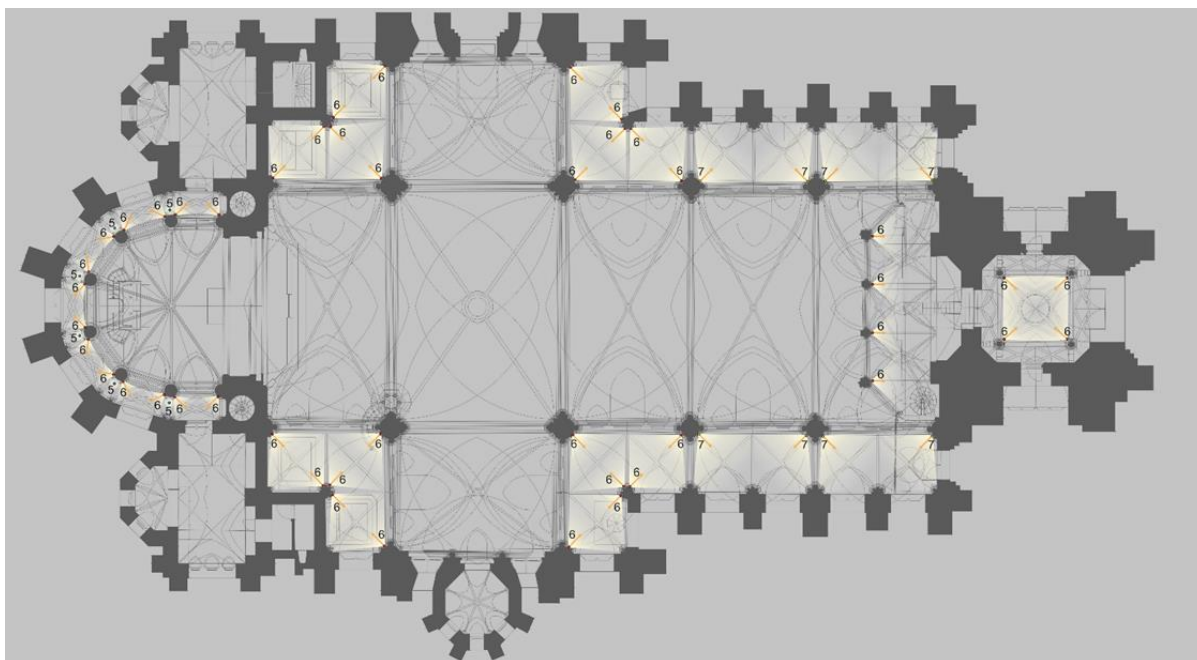


Slika 6.32 Skica načelnih pozicija rasvjetnih tijela sa usmjerenjima snopova svjetlosti, za rasvjetu svodova najviše razine, na tlocrtu



Slika 6.33 Skica načelnih pozicija rasvjetnih tijela sa usmjerenjima snopova svjetlosti, za rasvjetu svodova srednje i visoke razine

Na potpuno drugačiji način će se rasvijetljivati niski, uski svodovi iza glavnog oltara. U tu svrhu koristit će se postojeće podne svjetiljke čiji su snopovima svjetlosti usmjerenima prema gore. Na postojećim lokacijama, bit će zamijenjena dotrajala rasvjetna tijela novim, LED rasvjetnim tijelima koja će sadržavati dodatnu zaštitu od bliještanja.

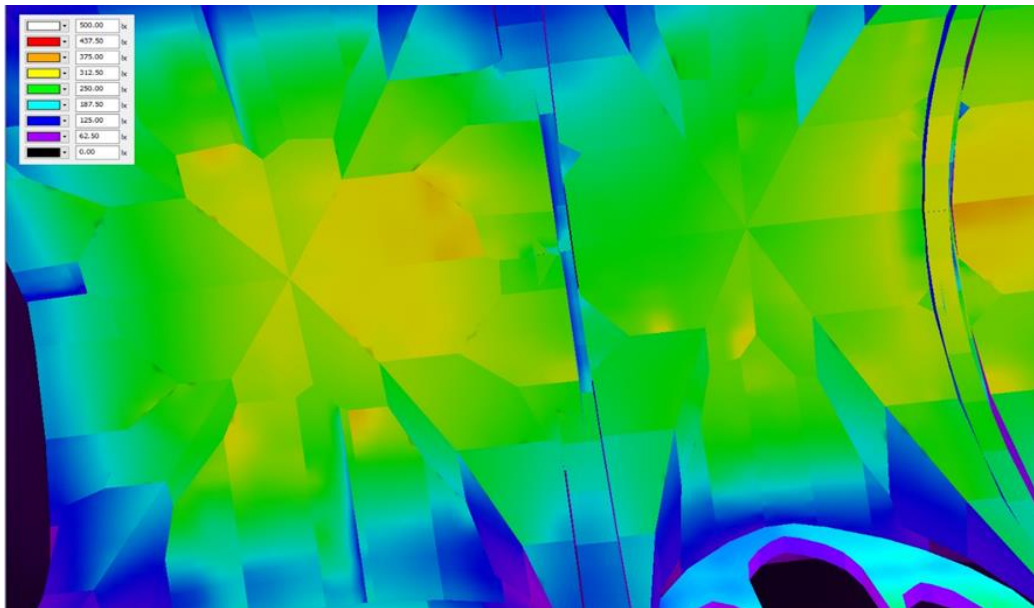


Slika 6.34 Skica načelnih pozicija rasvjetnih tijela sa usmjerenjima snopova svjetlosti, za rasvjetu svodova najniže razine

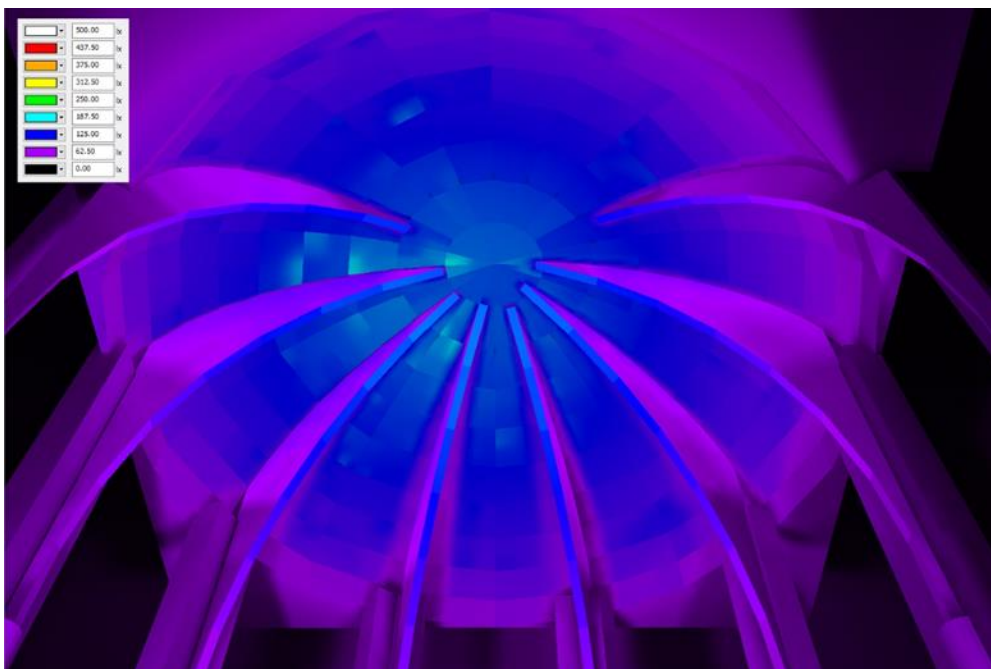


Slika 6.35 Skica načelnih pozicija rasvjetnih tijela sa usmjerenjima snopova svjetlosti, za rasvjetu svodova najniže razine (gledano prema naprijed i prema natrag sa središta prostora)

Proračunima u Dialux-u dobivena jačina rasvjetljenosti svodova. Zbog modela koji su rađeni u samom programu u svrhu okvirnog proračuna, nije bilo moguće napraviti relevantnu analizu. Dobiveni podaci su samo okvirne vrijednosti intenziteta svjetlosti.

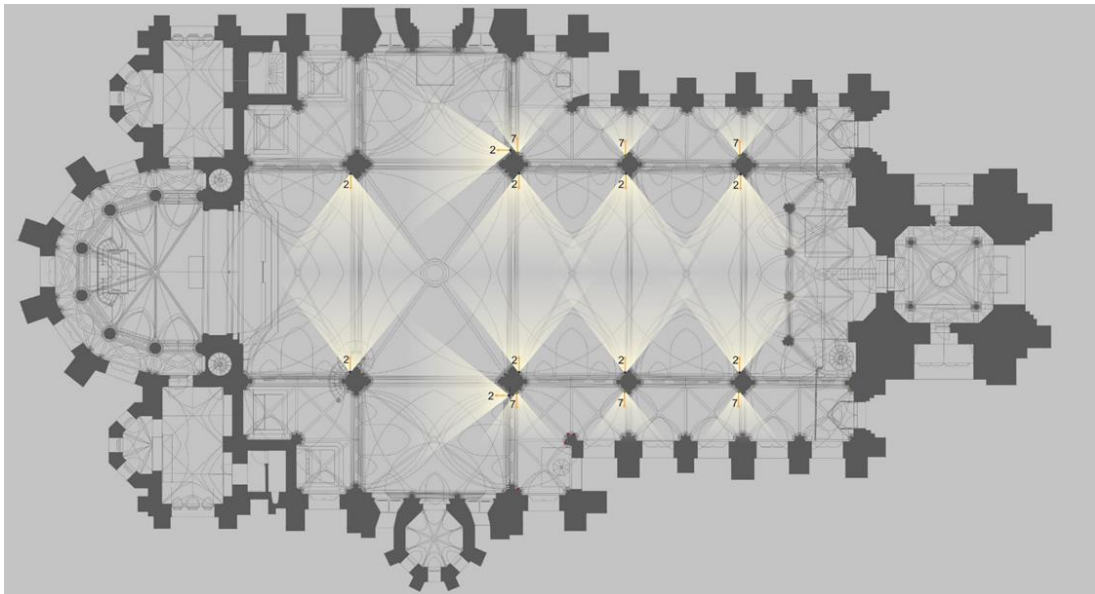


Slika 6.36 Svjetlotehnički proračun za visoke svodove u glavnoj lađi



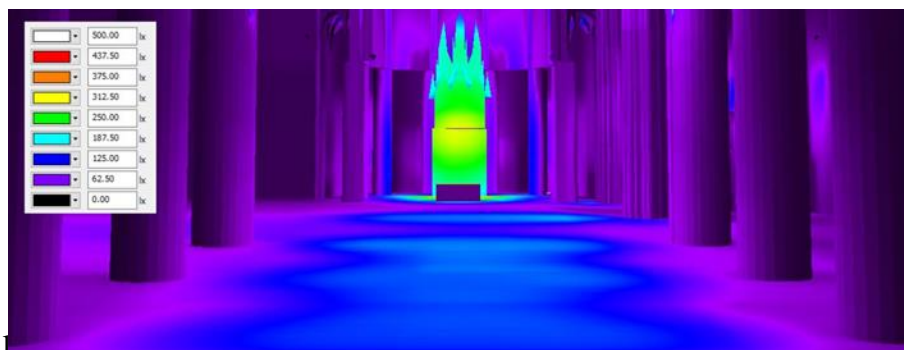
6.37 Svjetlotehnički proračun za niske svodove u poprečnim lađama

Refleksijom svjetlosti od stropa i zidnih ploha dijelom će se postići i opća rasvjetljenost crkve. Međutim, a prema naputku predstavnika Đakovačko-Osječke nadbiskupije, parter je potrebno dodatno rasvijetliti, kako bi se omogućilo nesmetano obavljanje svih crkvenih aktivnosti u prostor. Stoga, će parter biti direktno osvjetljen svjetilkama postavljenim iznad kapitela stupova na nižoj razini, sa snopovima svjetlosti usmjerenim prema dolje, a prema principu sa slike 6.38.



Slika 6.38 Skica načelnih pozicija rasvjetnih tijela sa usmjerenjima snopova svjetlosti, za opću rasvjetu partera

Prema svjetlotehničkim proračunima, kombinacijom svjetlosnih efekata na parteru dobiven je dovoljan nivo rasvjetljenosti za kretanje, a u središnjem dijelu (gdje su postavljene klupe) i za čitanje (približno 125 lx).



Slika 6.39 Svjetlotehnički proračun razine rasvjetljenosti za parter

6.4 Scenariji rasvjete i upravljanje rasvjetom

Kako bi se nova rasvjeta mogla maksimalno prilagoditi potrebama crkve i njezinih korisnika, te kako bi bila što jednostavnija za korištenje, definirat će se scenariji rasvjete i programirati svaka scena nakon postavljanja kompletne instalacije. Pri tome će svako rasvjetno tijelo imati svoju adresu odnosno bit će moguće zasebno upravljati intenzitetom i bojom svjetlosti svakog pojedinog rasvjetnog tijela, kako bi se definirali svjetlosni scenariji, ali i kako bi se tijekom kasnijeg korištenja rasvjete mogla korigirati i time prilagoditi raznim potrebama.

Osnovni preprogramirani scenariji su:

1. Redovna dnevna misa u večernjim i noćnim satima – rasvjeta je difuzna, uz blagi naglasak svjetla na pozicije govornika, boja svjetlosti je pretežito topla, uz znatno topliji naglasak na prostor ispred glavnog oltara, na mjestu gdje se nalazi govornik
2. Redovna dnevna misa uz ulazak dnevnog svjetla – rasvjeta je prilagođena jakom intenzitetu svjetla koja dolazi izvana, a uključena u zonama koje nisu rasvijetljene sunčevom svjetlošću, boja svjetlosti je neutralna (nije žuto-narančasta, već plavkasta)
3. Nedjeljna misa u večernjim i noćnim satima - rasvjeta je difuzna, uz blagi naglasak svjetla na pozicije govornika i dijelom na arhitekturu (oltari, freske)
4. Nedjeljna misa uz ulazak dnevnog svjetla – akcenti na govornike i na arhitekturu (oltari, freske, svodovi)
5. Svečana misa u večernjim i noćnim satima – akcenti svjetlosti i na arhitekturu (oltari, freske, svodovi, stupovi) radi svečanog efekta
6. Svečana misa uz ulazak dnevnog svjetla – kao za noćni scenarij ali uz korekcije boje svjetlosti i intenziteta ovisno o ulasku dnevnog svjetla
7. Svečana misa sa zborom na koru i/ili glazbom orgulja – dodatni akcenti svjetlosti na koru i orguljama
8. Rasvjeta za razgledavanje u večernjim i noćnim satima – rasvjeta je difuzna i diskretna, omogućuje razgledavanje ali i neometane molitve pojedinaca vjernika, uz dodatni naglasak na oltare i freske, te vitraje čiji glavni smjer gledanja je izvana
9. Rasvjeta za razgledavanje uz ulazak dnevnog svjetla – rasvjeta uzima u obzir ulazak sunčeve svjetlosti u crkvu, a u donjem dijelu u koji ne dopire dnevno svjetlo je rasvjeta difuzna i diskretna, uz naglasak rasvjete na oltarima, omogućuje razgledavanje ali i neometane molitve pojedinaca vjernika
10. bdijenje - diskretna rasvjeta (samo orijentacijska, kada se u Crkvi ne održavaju nikakvi događaji, ali omogućava neometano kretanje), uz blage naglaske rasvjete na oltarima

11. rasvjeta tijekom čišćenja, renoviranja, popravaka i sl. (jakog intenziteta, uz mogućnost uključivanja svakog pojedinog segmenta zasebno)

Svaki scenarij će imati specifične intenzitete rasvjete za pojedine grupe rasvjetnih tijela, što će se definirati od strane projektanta a nakon instalacije kompletnog sustava rasvjete i usmjerenja svih rasvjetnih tijela.

Sva rasvjeta će biti upravljiva. Rasvjetom se upravlja putem računala / tableta / mobitela, ali je moguće i upravljanje putem sklopki glavne razdjelnice. Sustav upravljanja rasvjetom će se ugraditi u razvodni ormar RO-RAS. Dio rasvjetnih tijela unutar središnjeg dijela crkve ima direktne prekidače (za čitanje tijekom mise, te na koru dodatna rasvjeta za orguljaša i zbor), koji se mogu direktno upaliti i ugaziti.






















6.4 Sigurnosna rasvjeta

U slučaju nepredviđenih opasnih događaja ili nestanka mrežnog električnog napajanja predviđeno je postavljanje sigurnosne rasvjete, čija će rasvjetna tijela biti raspoređena na svim evakuacijskim putevima, ali i ostalim bitnim mjestima za sigurnu evakuaciju ljudi iz građevine u slučaju nužde. Sustavom sigurnosne rasvjete potrebno je osigurati minimalnu rasvijetljenost navedenih prostora prema EN1838, kao i minimalnu autonomiju svjetiljki od 60 minuta. Uključenje svjetiljki u slučaju nestanka mrežnog napajanja vrši se automatski, kao i gašenje nakon povratka mrežnog napajanja.

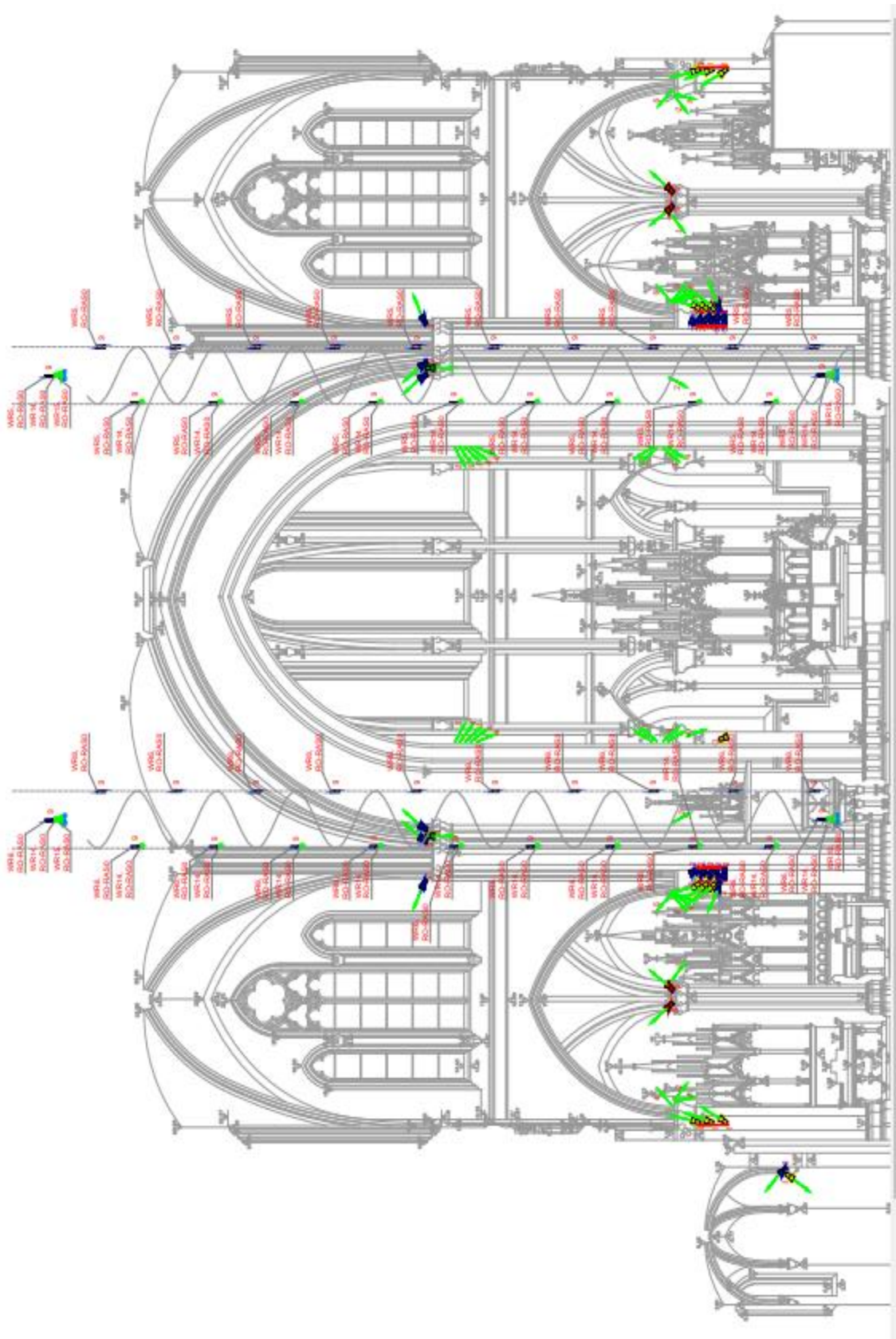
Na evakuacijskim putevima i iznad izlaza potrebno je postaviti sigurnosne svjetiljke sa oznakama smjera kretanja u slučaju opasnosti. I ove sigurnosne svjetiljke moraju imati autonomijom od minimalno 60 minuta, a pale se i gase automatski. Oznake smjera kretanja i izlaza moraju biti postavljeni prema HRN EN 60598-2-22.

6.5 Nacrti

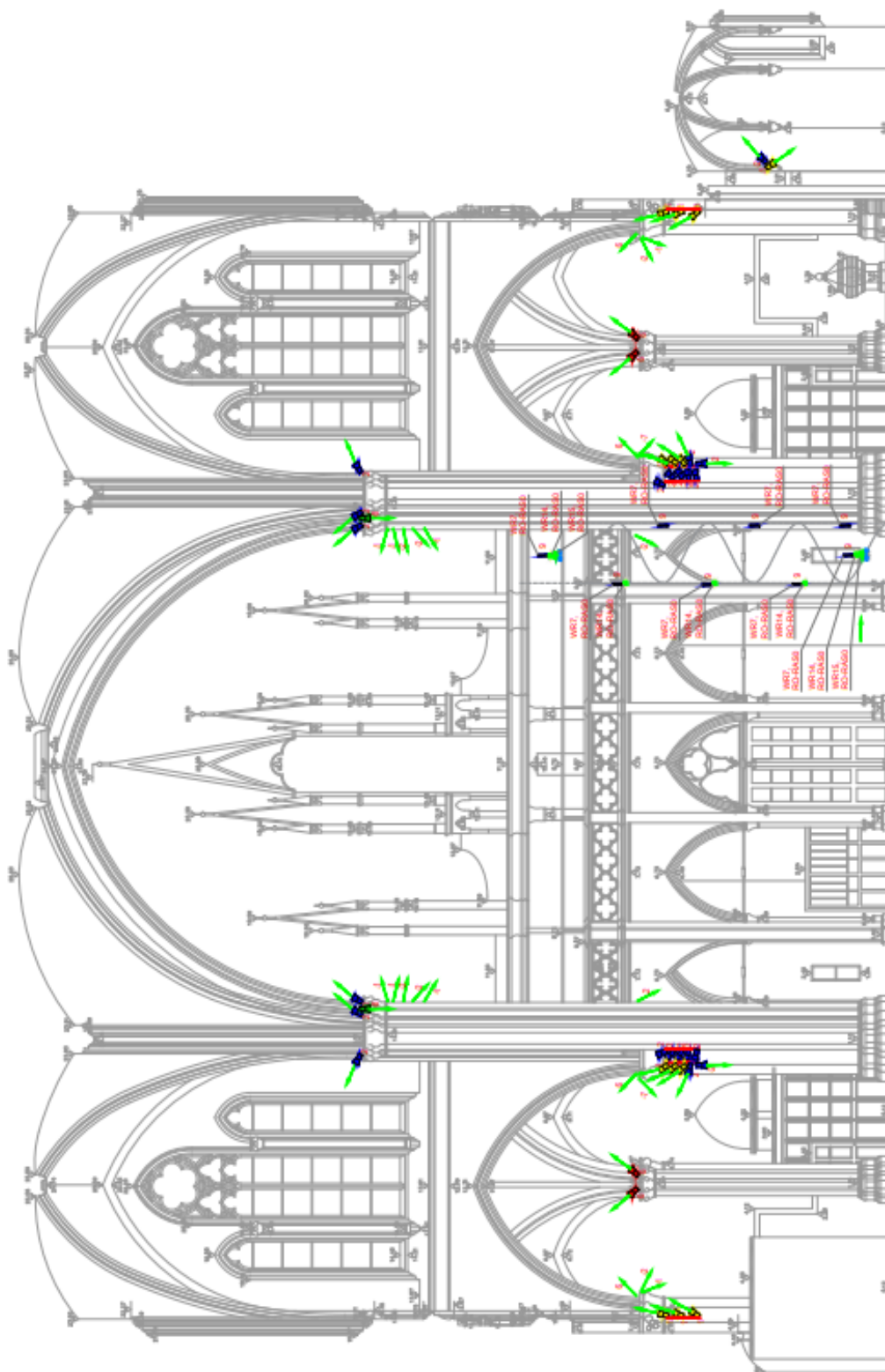
Na slici 6.40 prikazana je legenda simbola koja vrijedi za sve nacрте koji će biti dani u nastavku.

LEGENDA	
Svjetiljka LTS Jett100, 50W, širina snopa 35° Tunable white	 1
Svjetiljka LTS Jett100, 50W, širina snopa 50° Tunable white	 2
Svjetiljka LTS Jett100, 20W, širina snopa 25° Tunable white	 3
Svjetiljka LTS Jett100, 50W, širina snopa 25° Tunable white	 4
Svjetiljka L&L Corso 3.0, 15W, širina snopa 13° Tunable white	 5
Svjetiljka LTS Jett100, 20W, širina snopa 50° Tunable white	 6
Svjetiljka LTS Jett100, 30W, širina snopa 50° Tunable white	 7
Svjetiljka LTS Jett100, 30W, širina snopa 25° Tunable white	 8
Svjetiljka LTS Jett100, 50W, širina snopa 35° sa štitnikom protiv bještanja Tunable white	 1
Svjetiljka LTS Jett100, 50W, širina snopa 50° sa štitnikom protiv bještanja Tunable white	 2
Svjetiljka LTS Jett100, 20W, širina snopa 25° sa štitnikom protiv bještanja Tunable white	 3
Svjetiljka LTS Jett100, 50W, širina snopa 25° sa štitnikom protiv bještanja Tunable white	 4
Svjetiljka LTS Jett100, 30W, širina snopa 50° sa štitnikom protiv bještanja Tunable white	 7
Svjetiljka LTS Jett100, 30W, širina snopa 25° sa štitnikom protiv bještanja Tunable white	 8
Svjetiljka LPANZERI YPSILON AO7201.000.0101	 9
Svjetiljka TREVOS FUTURA 2.4 ft PC AI 6400/840	 10
Svjetiljka FAGERHULT 56994-402 Zoft Wall	 11
Protupanična svjetiljka	
Sigurnosna svjetiljka s piktoqramom	
Trofazna šina	
Razvodni omar rasvjete	

Slika 6.40 Legenda simbola

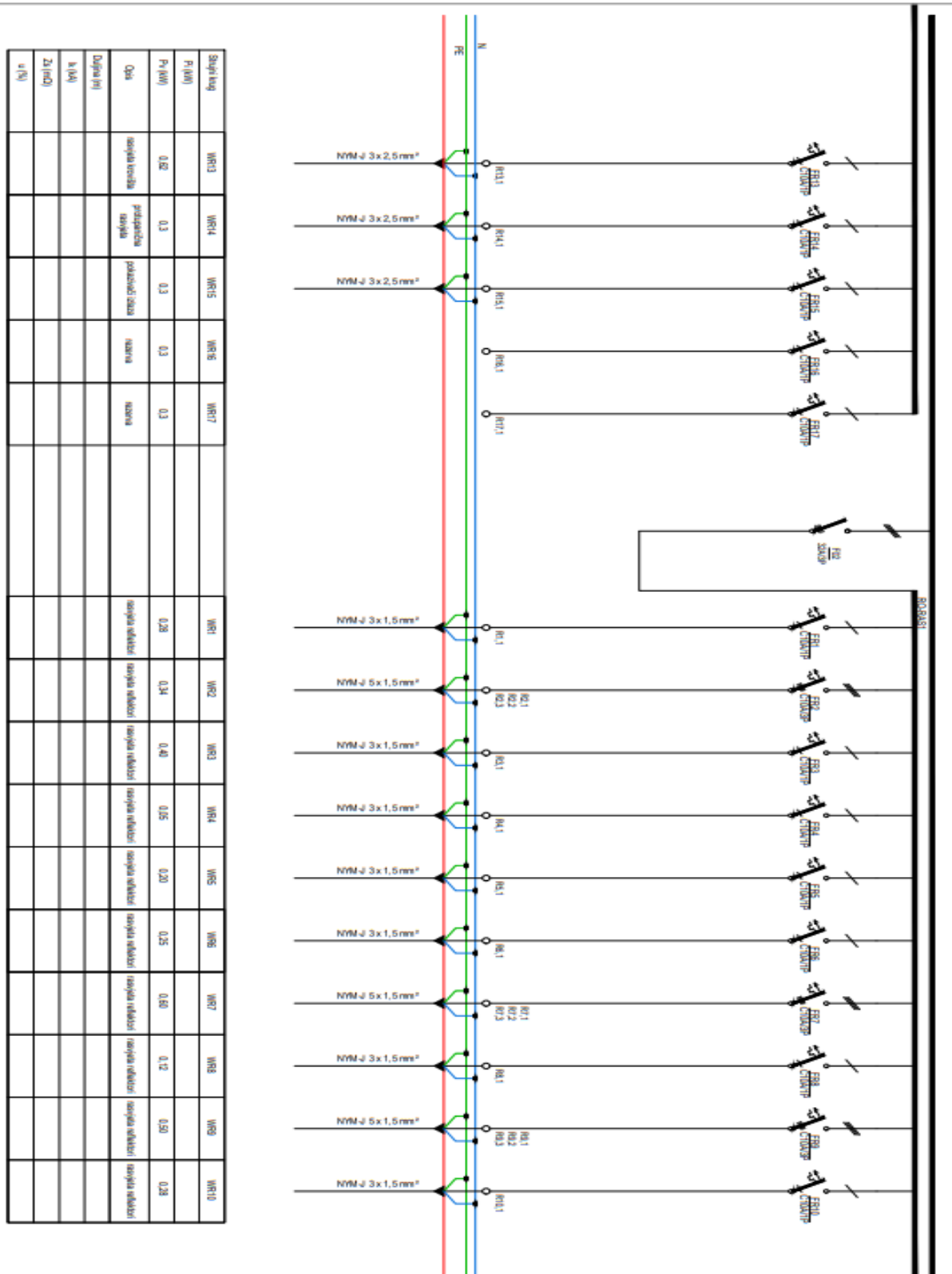


Slika 6.42 Instalacije rasvjete-presjek kroz prostor s pogledom prema zapadu

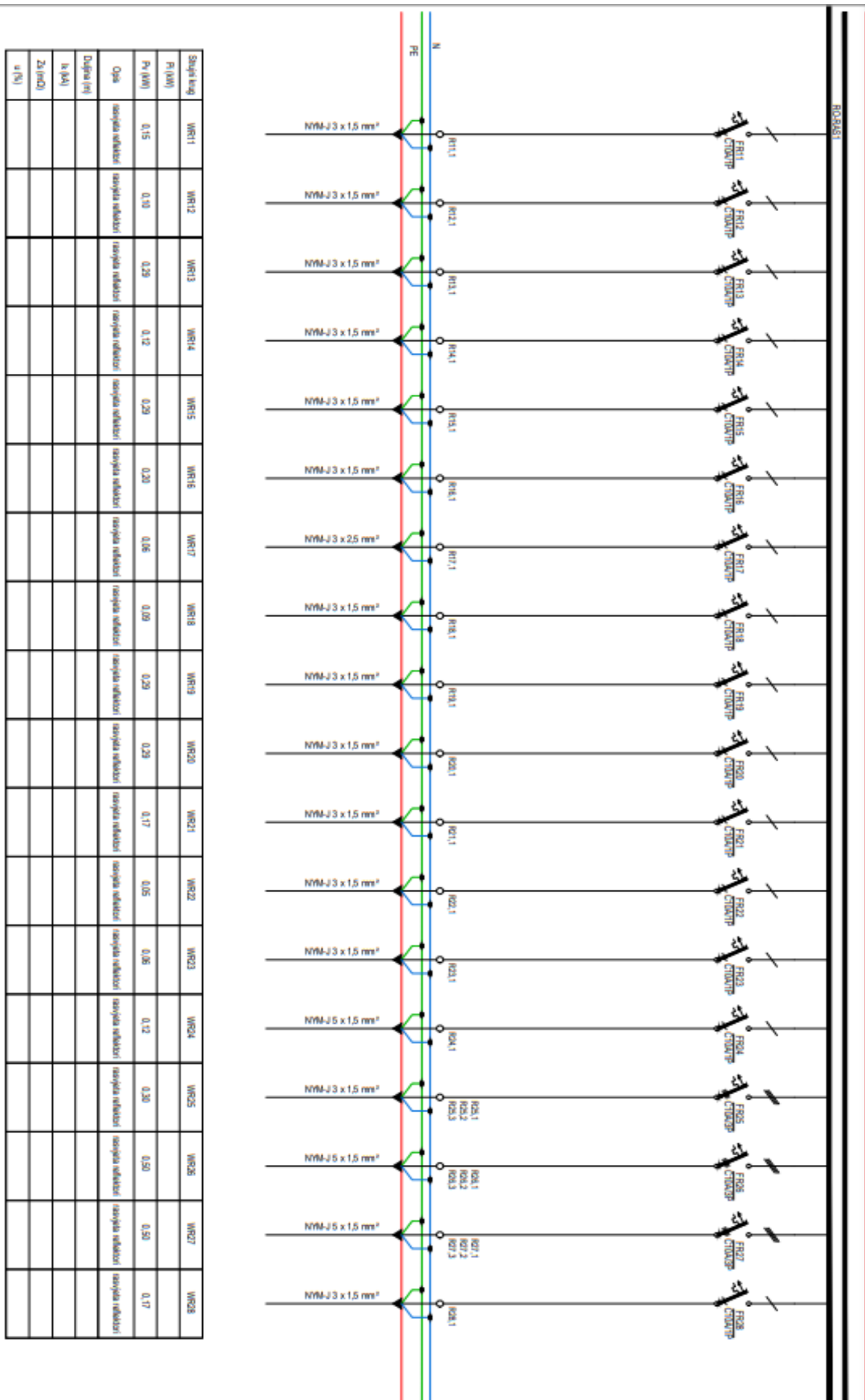


Slika 6.43 Instalacije rasvjete-presjek kroz prostor s pogledom prema istoku

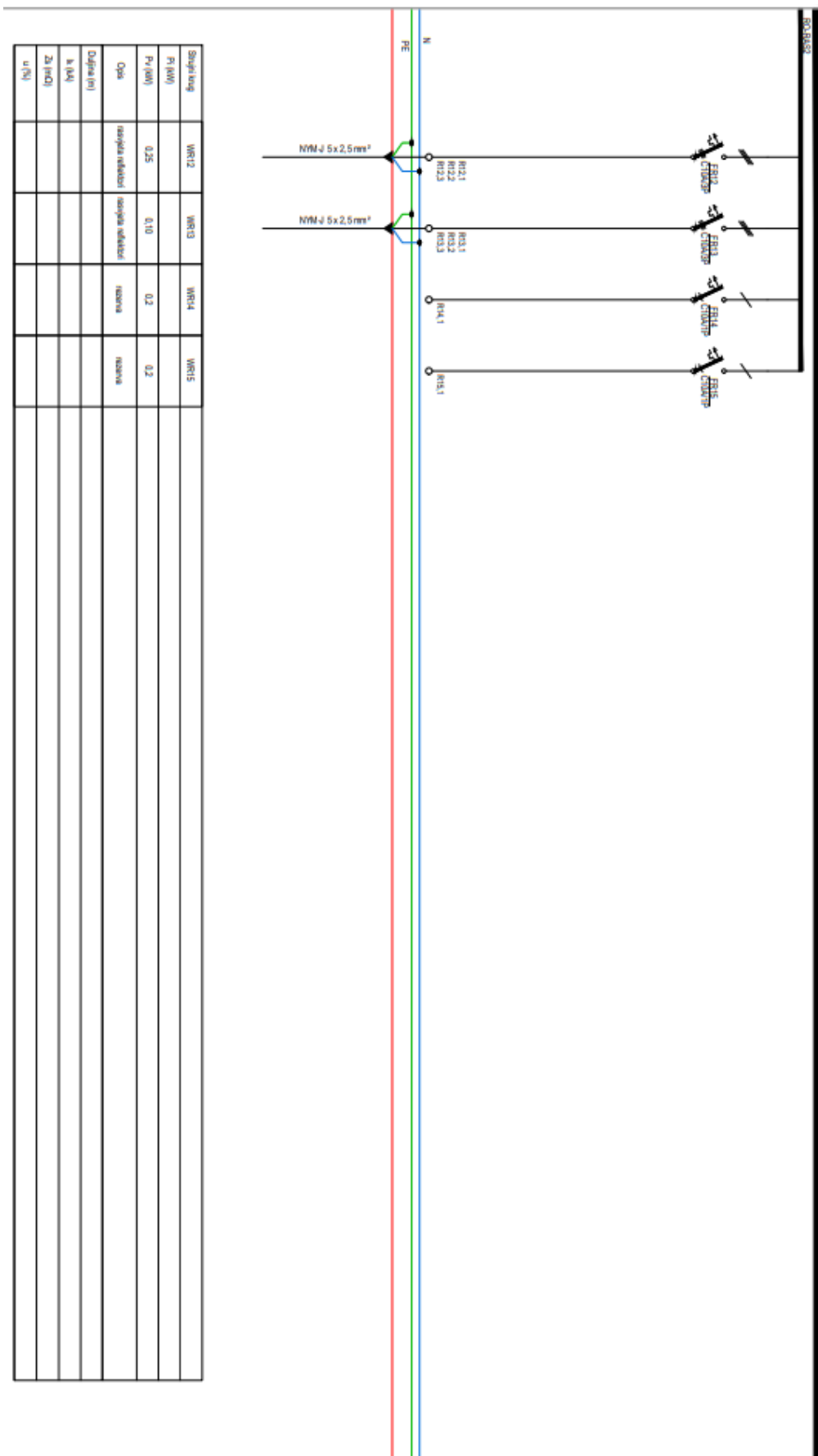
Na slikama 6.44 do 6.48 prikazane su jednopolne sheme za razvodni ormar RO-RAS.



Slika 6.45 Jednopolna shema RO-RAS (2.dio)



Slika 6.46 Jednopolna shema RO-RAS (3.dio)



Slika 6.48 Jednopolna shema RO-RAS (5.dio)

7.ZAKLJUČAK

Projektiranja rasvjete nekog sakralnog objekta, osim raznih uvjeta koje nameću pojedine norme, zahtjeva zadovoljavanje arhitektonskih i individualnih uvjeta postavljenih od strane crkvenih dužnosnika i osoba koje obavljaju određeni rad u prostoru, te zadovoljavanje uvjeta konzervatorskog odjela. Budući da za ovu vrstu građevina ne postoje striktni zahtjevi struke, pri projektiranju rasvjete vrlo je bitna uska suradnja stručnjaka iz više područja, od arhitekata, preko projektanata, do stručnjaka za zaštitu kulturne baštine i samih crkvenih dužnosnika, što projekt čini dosta složenim i zahtjevnim. Vrlo je važno stvoriti uvjete koji će zadovoljiti dovoljnu količinu rasvijetljenosti za obavljanje liturgijskih obreda i svakodnevnih zbivanja u prostoru a koji će istovremeno dati poseban naglasak na arhitekturu i umjetničke vrijednosti prostora. Potrebno je paziti na doziranje intenziteta rasvjete kako bi se postigao svečan i umirujući dojam. Rasvjeta u sakralnom objektu ne smije biti prejaka, ne smije kreirati sjene i oštre prelaze, a mora pružati optimalnu količinu svjetlosti za čitanje, kretanje i razgledavanje. U ovom projektu rekonstruirana je stara rasvjeta koja je dotrajala i bila je energetski neučinkovita. Stara rasvjeta zamijenjena je LED rasvjetom koja predstavlja najmoderniji tehnološki trend. Razne mogućnosti LED rasvjetnih tijela (upravljivost, adaptibilnost, mijenjanje intenziteta i boje ...) omogućuju širok primjenu i mnoštvo svjetlosnih scenarija. Odabrana vrsta rasvjetnih tijela zadovoljava i kriterij energetske učinkovitosti te pruža dug vijek trajanja. Izvedeni proračuni i dane skice su rađeni u programu Dialux te pružaju uvid u okvirnu buduću situaciju u prostoru. Budući da je kompozicija prostora vrlo složena i zahtjevna dobiveni proračuni odstupaju od stvarnih vrijednosti koje će biti ostvarene u prostoru. Nedostatak literature, zahtjeva struke i složenost arhitekture omogućavaju projektantu slobodu stvaranja, ali istovremeno pred njega stavljaju vrlo težak zadatak. Za stvaranje ovakvog projekta potrebno je široko znanje iz raznih područja (arhitektura, umjetnost, projektiranje rasvjete i električnih instalacija...) i veliko iskustvo, što ovaj projekt čini odličnim primjerom uske povezanosti elektrotehnike i mnogih drugih sfera društva.

LITERATURA

- [1] https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_22703/objava_31147/fajlovi/ELEKTROINST3.pdf (03.07.2020.)
- [2] Z.Klaić, D.Topić, Električna rasvjeta, PowerPoint, FERIT Osijek
- [3] Marinko Stojkov, Damir Šljivac, Danijel Topić, Kruno Trupinić, Tomislav Alinjak, Stevče Arsoski, Zvonimir Klaić, Dražan Kozak, ENERGETSKI UČINKOVITA RASVJETA, Osijek 2015
- [4] S.Krajcar, A.Šribar, L.Lugarić, Izvori svjetlosti, FER Zagreb 2011
- [5] <https://korak.com.hr/korak-050-lipanj-2015-energetska-efikasnost-u-sustavima-unutarnje-rasvjete/> (5.7.2020.)
- [6] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Color_temperature.svg (5.7.2020.)
- [7] <https://korak.com.hr/korak-051-svjetlost-1-dio-svjetlotehnicke-velicine-mjerne-jedinice-vrste-rasvjetnih-tijela/> (5.7.2020.)
- [8] PODLIPNIK, P., A. ČOP (1978): Svjetlotehnički priručnik, Elektrovina, Maribor
- [9] Filip Prebeg; Ivan Horvat, Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava rasvjete u zgradama, Zagreb 2017
- [10] <https://e-radionica.com/hr/blog/2015/08/19/led-dioda-light-emiting-diode/> (6.7.2020.)
- [11] Giancarlo Castaldi, Služba Božja, 41(2001),3 str 237-244

SAŽETAK

U ovom radu bilo je potrebno upoznati se sa svjetlotehničkim veličinama i faktorima kvalitete unutarnjeg osvjetljenja. Nakon teorijske obrade pojmova koji su ključni za razumijevanje rada, opisan je odnos umjetne rasvjete i sakralnih objekata, te se zatim prešlo na glavni dio rada . Dan je uvid u detalje projekta unutarnje rasvjete crkve Sv. Petra i Pavla u Osijeku. Iznesen je princip osvjetljenja pojedinih arhitektonskih elemenata, opisan je planirani sustav rasvjete, dani su pripadajući proračuni iz programa Dialux te su na kraju prikazani nacrti instalacija rasvjete i jednopolne sheme za razvodni ormar RO-RAS.

Ključne riječi: svjetlotehničke veličine, faktori kvalitete unutarnje rasvjete, projektiranje rasvjete, umjetni izvori svjetlosti, rasvjeta sakralnog objekta

ABSTRACT

In this paper, it was necessary to get acquainted with the values of lighting and quality factors of indoor lighting. After a theoretical treatment of the concepts that are crucial for understanding the work, the relationship between artificial lighting and sacral objects is described, and then we move on to the main part of the paper. Insight into the details of the interior lighting project of the church of Sv. Peter and Paul in Osijek. The principle of lighting of individual architectural elements is presented, the planned lighting system is described, the corresponding calculations from the Dialux program are given, and at the end the drawings of lighting installations and single-pole schemes for the RO-RAS switchboard are presented

Keywords: lighting quantities, indoor lighting quality factors, lighting design, artificial light sources, sacral building lighting

ŽIVOTOPIS

Sara Ivanković, rođena 14. siječnja 1996. godine u Slavanskom Brodu. Osnovnu školu završila 2010. godine u Županji. Nakon toga upisala Matematičku gimnaziju u Županji koju je završila 2014. godine. Po završetku srednje škole upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Na drugoj godini studiranja opredjeljuje se za smjer elektroenergetika. Preddiplomski studij završava 2017.g te dobiva naziv Sveučilišne prvostupnice elektrotehnike. Iz privatnih razloga pauzira godinu dana, a zatim 2018. godine upisuje Diplomski studij na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, smjer Elektroenergetika, izborni blok Elektroenergetski sustavi.