

Optimiziranje opće rasvjete radnih prostora obrazovne ustanove i usklađivanje s odgovarajućom normom

Tomić, Bernarda

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:312867>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni diplomski studij računarstva

**OPTIMIZIRANJE OPĆE RASVJETE RADNIH
PROSTORA OBRAZOVNE USTANOVE I
USKLAĐIVANJE S ODGOVARAJUĆOM NORMOM**

Diplomski rad

Bernarda Tomić

Osijek, 2020.

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. Zadatak rada | 4 |
| 2. OPTIMIZIRANJE RASVJETE | 5 |
| 2.1. Energetska učinkovitost..... | 5 |
| 2.2. LED rasvjeta | 6 |
| 2.3. Optimizirana rasvjeta u obrazovnim ustanovama | 7 |
| 2.4. Primjeri sličnih projekata optimizacije rasvjete | 8 |
| 3. POSTOJEĆE STANJE RASVJETE | 10 |
| 3.1. Opis postojećeg stanja rasvjete | 10 |
| 3.2. Izračun trenutno instalirane snage rasvjete | 12 |
| 4. PREDLOŽENO NOVO STANJE RASVJETE | 17 |
| 4.1. Relux..... | 17 |
| 4.2. Projektiranje nove rasvjete u Relux-u | 18 |
| 4.3. Rezultati projektiranja rasvjete u Relux-u | 26 |
| 5. IZRAČUN ENERGIJE | 29 |
| 5.1. Postojeće stanje..... | 29 |
| 5.2. Predloženo novo stanje | 30 |
| 6. IZRAČUNI OSTVARENIH UŠTEDA I TROŠKOVNIK..... | 31 |
| 7. PRORAČUN EKONOMSKE ISPLATIVOSTI | 34 |
| 8. ZAKLJUČAK | 38 |
| LITERATURA..... | 39 |
| SAŽETAK..... | 41 |
| ABSTRACT | 41 |
| ŽIVOTOPIS | 42 |

1. UVOD

Svjetlost je jedan od sastavnih dijelova naših života. Prirodna (dnevna) svjetlost koja dolazi od Sunca oduvijek postoji, dok se oblici umjetnog osvjetljenja mijenjaju kroz stoljeća. Ljudska bića trebaju svjetlost prvenstveno zato što najbolje vide pod svjetlošću, odnosno u tami im je vid ograničen. Nadalje, izloženost svjetlu održava zdravlje, omogućuje produktivnost, pridonosi boljem raspoloženju te općenito čini moderni život mogućim. U ovisnosti na prirodne izmjene godišnjih doba ili vremenskih prilika, dostupnost prirodnog svjetla se mijenja, a umjetno osvjetljenje omogućuje konstantnu količinu svjetla neovisno o prirodnim čimbenicima. Osvjetljenje se može definirati kao namjerna upotreba svjetlosti s ciljem postizanja praktičnih ili estetskih učinaka. Za postizanje osvjetljenja u unutarnjim prostorima koristi se kombinacija dnevne svjetlosti koja pristiže kroz prozore i upotreba brojnih umjetnih izvora svjetlosti.

Prema izvoru [1] postoje dva načina generiranja umjetnog svjetla: termičko i luminiscentno zračenje koje čine osnovu podjele izvora svjetlosti. Termičko zračenje radi na principu prolaska električne struje kroz materijal (primjerice kroz žarnu nit od volframa) dok ona zagrijavanjem ne dođe do temperature na kojoj dobivamo vidljiv spektar svjetlosti. Kod žarulja na izboj svjetlost se dobiva principom luminiscentnog zračenja. Generira se na način da električni izboj u staklenoj cijevi napunjenoj plinom ili parama rezultira kretanjem elektrona koji se pod djelovanjem magnetskog polja sudaraju s atomima plina. S obzirom na tip žarulje i premaz staklene stijenke dobivamo vidljivo svjetlo, a jačina struje se regulira predspojnom napravom koja se naziva prigušnica [1]. Podjela svjetiljki koje rade po navedenim principima, termičko (svjetiljke s čvrstom tvari) i luminiscentno (svjetiljke na izboj) zračenjem, prikazana je na slici (Slika 1.1.). Važno je uočiti položaj fluorescentnih i LED svjetiljki unutar podjele kako bi imali jasniju predodžbu o njima prilikom njihovog navođenja u daljnjem radu.

Prema izvoru [2], ako osvjetljenje pojedinih ploha predmeta nije dovoljno, oko ne može raspoznavati sitne detalje i slika nije dovoljno jasna što dovodi do naprezanja vida, a time i zamora oka i čitavog tijela te smanjenja produktivnosti. Dakle, osvjetljenje na radnom mjestu mora biti prilagođeno dobi zaposlenika (osoba koje borave u prostoru) i težini rada. Dobra i ugodna rasvjeta mora zadovoljiti određene zahtjeve koji većinom ovise o svojstvima organa vida i vrsti djelatnosti koja se obavlja na određenom mjestu. Izvor [2] također navodi da se od suvremene rasvjete zahtjeva da radna mjesta budu dovoljno osvjetljena, da svjetlost bude što više jednolika u vremenu i prostoru, da dolazi iz poželjnog smjera, a da pri tome ne stvara ni prevelike ni premale sjene i da

u vidnom polju nema točaka prevelike rasvijetljenosti. Bitno je izbjeći treperenja i titranja svjetla koja se pojavljuju u preopterećenim mrežama, razlika između najjače i najslabije osvijetljenog mjesta ne smije biti prevelika, a rasvjeta mora stvarati blage sjene kako bi se stvorio dojam prostornosti [2]. Minimalne vrijednosti osvijetljenja različitih radnih mjesta, prostorija i javnih površina dane su raznim normama, propisima i preporukama.

Izvor [3] daje spoznaje o važnosti svjetlosti za održavanje života i funkcioniranje većine bioloških ritmova u tijelu te navodi da su osnovne odlike svjetlosti koje utječu na ljudsko zdravlje jakost, izloženost i boja svjetlosti. Činjenica je da svaka boja svjetlosti pri određenom trajanju izloženosti i u određenim uvjetima utječe na prirodne biološke ritmove kod čovjeka čiji poremećaj može uzrokovati različite zdravstvene probleme kao što su poremećaj spavanja, prehrane, depresije ili tumora. Izvor [3] također navodi da se glavni cirkadijanski sat (koji kontrolira dnevni ili 24 satni cirkadijanski ritam unutar tijela) u mozgu za svoj rad i vremensku orijentaciju koristi vanjskim promjenama intenziteta svjetlosti da bi odredio prijelaze iz dana u noć i noći u dan. Iako se svi biološki čimbenici kontroliraju iznutra, ipak postoje vanjski čimbenici koji mogu utjecati na njegovu regularnost, a jedan od njih je prilagodba umjetne svjetlosti kojoj se čovjek izlaže. Neprikladno umjetno osvijetljenje može povećati rizik od pojave depresije, povećati učestalost glavobolje, stres, iscrpljenost, povišen krvni tlak, slabljenje vida te greške pri radu na radnom mjestu. Sve navedene činjenice ukazuju na važnost odgovarajućeg osvijetljenja prvenstveno zbog očuvanja ljudskog zdravlja, a zatim i poboljšanja učinkovitosti u radu.

Osim općenitih informacija o svjetlu, prilagodbi svjetla unutar radne okoline te utjecaju osvijetljenja na čovjeka, važan pojam koji vežemo za osvijetljenje je i energetska učinkovitost. Energetska učinkovitost je skup mjera čiji je cilj racionalno korištenje električne energije kroz minimalnu potrošnju. Izvor [4] navodi da je prvi korak u postizanju energetske učinkovitosti rasvjete poslovnih zgrada njihova arhitektonska prilagodba rješenjima koja omogućuju optimalno upravljanje prodorom dnevnog svjetla što dublje u unutrašnjost zgrade pazeći pritom na zaštitu od pregrijavanja prostora i bliještanje. Drugi korak koji izvor navodi je primjena svih mogućih načina upravljanja rasvjetom koji moraju obuhvaćati upravljanje prema korištenju prostora, prema dostupnoj količini dnevnog svjetla i prema starenju rasvjetne instalacije kako bi se omogućilo održavanje konstantne projektirane rasvijetljenosti tijekom vremena. Također, navedeni izvor ukazuje na globalni problem potrošnje električne energije zbog njene cijene i sve većeg utjecaja na okoliš. Iako bi se globalna emisija CO₂ mogla značajno smanjiti poboljšanjem energetske učinkovitosti, ipak se najviše pažnje posvećuje uštedama jer je cijena električne energije presudan faktor [4]. Prilikom projektiranja nove, energetske učinkovitije rasvjete, osim zadovoljavanja svih

postavljenih normi jednako je bitno provesti proračun njene isplativosti, odnosno izračunati vrijeme povrata investicije jer ukoliko projekt nije isplativ besmisleno je pokretati njegovu realizaciju.

Dakle, prema svemu navedenom, glavni cilj manipulacije osvjetljenjem je pronaći optimalne izvore svjetlosti potrebnih karakteristika te njihovim razmještajem u određenoj prostoriji, ovisno o njenoj svrsi, stvoriti željenu radnu atmosferu, uvjete pogodne za zdravlje čovjeka, ali i postizanje ekonomke uštede.

Ovim radom analizirano je zatečeno stanje rasvjete objekta obrazovne ustanove, Osnovna škola Antuna Kanižlića u Požegi i projektirana je novu rasvjetu koja zadovoljava normu HRN EN 12464-1: 2012, Svjetlo i rasvjeta, Rasvjeta radnih mjesta, 1. dio: Unutrašnji radni prostori [5]. S obzirom da rasvjeta u predmetnoj zgradi nije rekonstruirana duži vremenski period, pretpostavka je da većina ili gotovo niti jedna prostorija ne udovoljava svim uvjetima iz norme. Dane su smjernice za optimizaciju i poboljšanje u skladu s odgovarajućom normom, analizirana je potrošnja električne energije postojeće rasvjete, ukazano na ekonomsku isplativost potrebne investicije te je prikazana energetska učinkovitost projektirane rasvjete u odnosu na postojeću rasvjetu. Također pri projektiranju rasvjete u obzir je uzeta geografska orijentacija prostora i optimizirano je upravljanje rasvjetom u odnosu na prirodno svjetlo. Diplomski rad podijeljen je u šest dijelova.

U prvom dijelu rada opisani su osnovni pojmovi vezani za optimizaciju rasvjete. Opisan je pojam energetske učinkovitosti, karakteristike LED rasvjete, važnost optimizacije rasvjete u obrazovnim ustanovama te primjeri projekata sličnih ovom radu.

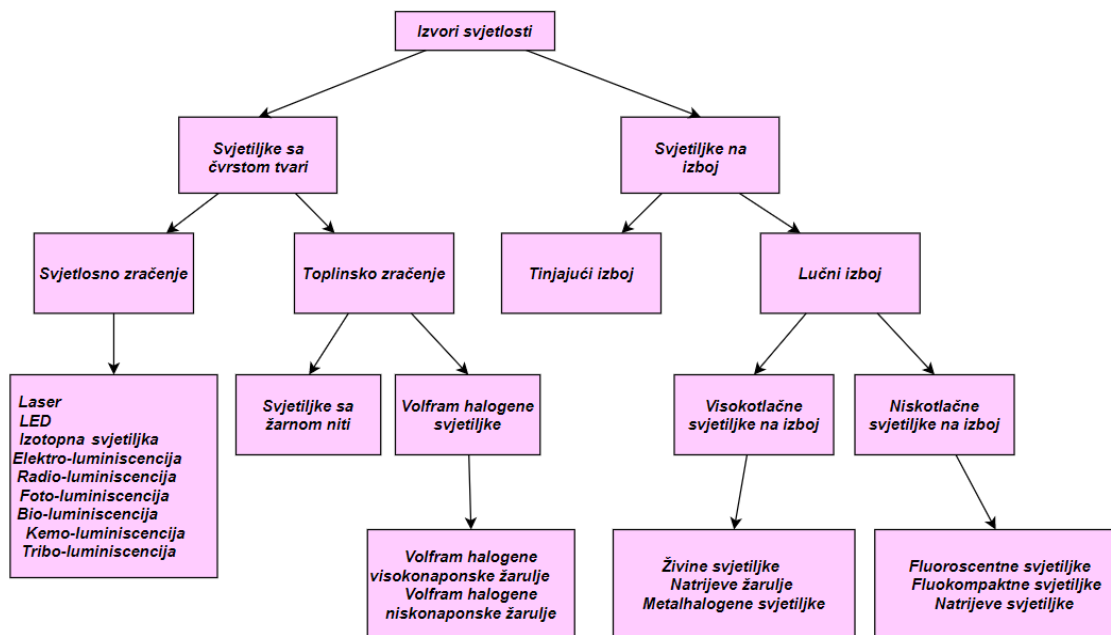
U drugom dijelu analizirano je zatečeno stanje rasvjete u školi na pojedinim katovima i izvršen je izračun trenutne instalirane snage.

U trećem dijelu rada je korištenjem programa Relux na modelu izvršena zamjena postojeće rasvjete učinkovitijom rasvjetom koja zadovoljava norme postavljene u skladu sa zahtjevima i funkcijama pojedine prostorije. Provedeni su potrebni proračuni s ciljem utvrđivanja zadovoljava li novoprojektirana rasvjeta uvjete iz norme i kolika je instalirana snaga nove rasvjete.

Četvrti dio rada posvećen je izračunu potrošnje električne energije postojeće i nove rasvjete. Izračuni su vršeni prema normi HRN EN 15193-1:2017, Energetska svojstva zgrade- Energetski zahtjevi za rasvjetu - 1.dio [6].

U petom dijelu rada proveden je izračun ušteda snage i električne energije koje se postižu zamjenom konvencionalne rasvjete novom LED rasvjetom. Također, u ovom dijelu je kreiran troškovnik investicije, odnosno prikaz cijena materijala i instalacije.

U posljednjem dijelu rada, nakon svih prikupljenih podataka, izvršen je proračun ekonomske isplativosti cjelokupnog projekta usporedbom troška početne investicije za instalaciju nove rasvjete i predviđenih troškova za električnu energiju korištenjem nove rasvjete u sljedećih deset godina.



Slika 1.1. Raspodjela umjetnih izvora svjetlosti

1.1. Zadatak rada

Zadatak rada je analizirati zatečeno stanje rasvjete u objektu obrazovne ustanove, dati smjernice za optimizaciju i poboljšanje u skladu s odgovarajućom normom. Potrebno je analizirati potrošnju električne energije postojeće rasvjete i ukazati na ekonomsku isplativost potrebne investicije te energetske učinkovitost projektirane rasvjete u odnosu na postojeću rasvjetu. Pri projektiranju rasvjete uzeti u obzir geografsku orijentaciju prostora i optimizirati upravljanje rasvjetom u odnosu na prirodno svjetlo.

2. OPTIMIZIRANJE RASVJETE

2.1. Energetska učinkovitost

Energetska učinkovitost je rezultat smanjenja potrošnje energije proizvoda što dovodi do smanjenja računa za struju i ekonomske isplativosti. Izvor [7] navodi da energetski učinkovit proizvod troši manje energije za obavljanje iste funkcije u usporedbi s istim proizvodom s većom potrošnjom energije. Energetska učinkovitost u području rasvjete štedi električnu energiju pritom zadržavajući dobru kvalitetu i količinu svjetlosti. Nadalje, energetski učinkovita rasvjeta podrazumijeva zamjenu (ili ponovo osvjetljavanje) tradicionalnih svjetiljki (u predmetnoj zgradi: fluorescentnih svjetiljki) onima koje su energetski učinkovite, poput LED svjetiljki. Također uključuje određene kontrole poput kontrolera koji automatski isključuju svjetlo kada se ne koristi (posebno preko dana) te elektroničke prigušnice koje po potrebi mogu postići prigušivanje svjetla [7]. Energetski učinkoviti pristup, uz smanjenje potrošnje energije, poboljšava kvalitetu osvjetljenja, povećava sigurnost i dobrobit osoblja te smanjuje štetne utjecaje na okoliš. Tradicionalne svjetiljke ne samo da troše velike količine energije, već velik dio potrošene energije koriste za proizvodnju topline, a ne svjetlosti. Upravo se smanjenjem proizvodnje topline smanjuje i zagrijavanje prostora što vodi manjoj potrošnji energije za hlađenje prostora.

Izvor [8] navodi da su se standardni iznosi rasvjete tijekom godina povećali što predstavlja izazov u implementaciji mjera energetske učinkovitosti tijekom rekonstrukcije postojeće rasvjete. Često se događa da se prilikom rekonstrukcije rasvjete zamjenjuje novom bez valjanog projekta i provedena proračuna usklađenosti sa zadanom normom što rezultira dobivanjem veće instalirane snaga od one koja je bila prije rekonstrukcije. Upravo iz toga razloga je nužna provjera usklađenosti sa normom i smanjenje instaliranje snage koje rezultira energetski učinkovitim rasvjetom. [8]

Instalacija energetski učinkovite rasvjete zahtjeva početno ulaganje u investiciju koja će zatim smanjiti količinu potrošnje energije što će rezultirati nižim računima za struju, a time i dugoročnim uštedama.

2.2. LED rasvjeta

LED predstavlja „light emitting diode“. Prema izvoru [9] dioda je električna komponenta s dva priključka koja provode električnu energiju samo u jednom smjeru. Električnom strujom dioda emitira snažno svjetlo oko male žarulje. Dakle, spajanje diode na električnu struju pobuđuje elektrone unutar diode potičući ih da oslobađaju fotone koje vidimo kao svjetlost. Boja svjetlosti je izravna posljedica energetskog rasporeda unutar poluvodiča diode. To znači da LED diode proizvode spektar boja velike svjetline vrlo lako, koristeći pritom malo električne energije. U potrazi za energetski učinkovitim rasvjetom, upravo LED diode su se pokazale kao najučinkovitije dostupne žarulje. LED žarulje odlikuju se iznimno dugim životnim vijekom trajanja, više od 11 godina neprestanog rada (oko 100 000 sati). Izvor [10] navodi da su karakteristike LED-a visoka svjetlosna učinkovitost, izostanak UV ili IR zračenja, svjetlosni tok od 50 do 130 lm/W, trenutno paljenje, osjetno manja potrošnja, prosječni vijek trajanja od 10 do 15 godina, odnosno gotovo 100 puta dulji od vijeka trajanja tradicionalnih žarulja, otpornost na mehanička oštećenja i vibracije, izuzetna trajnost, ne sadrži opasne tvari kao što su živa, olovo i štetni plinovi. Nadalje, prednosti LED svjetiljki su njihove vrlo male dimenzije i masa, razne mogućnosti konstrukcije, fokusiranost svjetlosnog snopa, izrazita efektivnost, RGB (eng. red, green, blue) i 16 000 000 boja. Također, vrlo važne karakteristike LED svjetiljki u usporedbi s konvencionalnim svjetiljkama su izuzetno niski troškovi održavanja (do 90 posto manji), visoka energetska učinkovitost i 80 posto manja emisija topline [10].

Međutim, unatoč brojnim navedenim prednostima LED osvjetljenja, najveći problem potrošača pri kupnji takve rasvjete je njezina visoka cijena. Ovisno o veličini i marki LED žarulje, one mogu koštati dva do šest puta više nego tradicionalne fluo svjetiljke. Prilikom zamjene žarulja na većem broju rasvjetnih tijela visoka cijena odvrća mnoge potencijalne potrošače, ali pozitivna činjenica je da se proizvodnja LED rasvjete znatno povećava i poboljšava te će iz toga razloga postajati sve pristupačnija.

2.3. Optimizirana rasvjeta u obrazovnim ustanovama

Prema izvoru [11] u organizmu čovjeka odvijaju se ritmički procesi različitih perioda, a među njima najvažniju ulogu za funkcionalno stanje čovjeka imaju ritmovi čiji je period oko 24 sata, tzv. cirkadijanski (24 satni ili dnevni) ritmovi. U svakodnevnom životu te cikličke promjene u organizmu su pod utjecajem ritmičkih promjena u okolini. Vanjski ritmički utjecaji pomažu da se ritmičke promjene u organizmu bolje sinkroniziraju i da se organizam kao cjelina bolje prilagodi okolini [11]. Jedan od vanjskih ritmičkih utjecaja je upravo regulacija osvjetljenja.

Izvor [12] ukazuje na to kako današnji način života i rada uvjetuju čovjeka na provođenje velike količine vremena pod umjetnim svjetlom. Istraživanja pokazuju da dulji boravak pod umjetnom rasvjetom može uzrokovati brojne fizičke, fiziološke i psihosocijalne smetnje. Jedan od glavnih i najočitijih problema koji se pojavljuje kod loše postavljene rasvjete je bliještanje koje uzorkuje kratkotrajnu zaslijepljenost i probleme vida. Umjetni izvori svjetlosti imaju spektre koji se razlikuju od prirodne dnevne svjetlosti te zato predugo izlaganje njima može uzrokovati opasnost za kožu (crvenilo), oštećenja rožnice oka, poremećaje spavanja, prehrane, pojavu depresije te izazvati rak.

Nedavna istraživanja navedena u izvoru [13] pokazala su da umjetna optimizirana rasvjeta koja simulira dnevnu svjetlost ima mogućnost povećanja koncentracije, kognitivnih performansi i kreativnosti kod učenika. Također, LED rasvjeta kod učenika stvara osjećaj sigurnosti prilikom boravka u školi. Takozvana „biološki optimizirana“ rasvjeta korištena prilikom istraživanja proizvedena je kombinacijom plavih i bijelih LED dioda. Dokazano je da su učenici koji rade pod biološki optimiziranom rasvjetom postizali bolje rezultate u testovima koncentracije od usporedne skupine koja je radila pod standardnim, neoptimiziranim osvjetljenjem. Zaključeno je da optimizirano svjetlo stimulira tijelo kao da je osoba na otvorenom što daje brojne pogodnosti učenicima, ali i profesorima. Vidljiv je smanjen jutarnji umor koji se obično posebno uočava kod mladih ljudi [13]. Nadalje, vrlo važan rezultat optimiziranja rasvjete u školskim ustanovama je i postizanje boljeg ugleda i modernijeg izgleda škole. Također, energetske učinkovite LED rasvjete ne sadrže toksične materijale te omogućuje prilagodljive temperature svjetlosnih boja za optimalno osvjetljenje učionice prikladne određenim aktivnostima.

Sve navedene činjenice ukazuju na važnost optimizacije osvjetljenja u bilo kojem prostoru, a osobito u obrazovnim ustanovama gdje boravi veliki broj djece. Uspostava ravnoteže cirkadijanskog ritma (povećanje budnosti, produktivnosti, koncentracije, kreativnosti, poboljšanje učenja i raspoloženja), smanjenje navedenih negativnih utjecaja osvjetljenja na zdravlje,

poboljšanje uvjeta za rad i postizanje modernijeg izgleda prostorija moguće je postići projektiranjem i postavljanjem rasvjete koja će zadovoljavati uvjete iz norme HRN EN 12464-1: 2012 (Svjetlo i rasvjeta, Rasvjeta radnih mjesta, 1. dio: Unutrašnji radni prostori).

2.4. Primjeri sličnih projekata optimizacije rasvjete

S obzirom na brzi razvoj LED rasvjete omogućena nam je optimizacija troškova uz poboljšanje kvalitete rasvjete u područjima unutarnjih i vanjskih prostora, ali i projektiranje prilagođene LED rasvjete u različite svrhe. Brojne starije zgrade i radni prostori imaju zastarjelu rasvjetu i uvelike neprimjerenu zadanim normama. Također, s istim problemom suočene su i starije vanjske infrastrukture kao što su kolodvori, prometnice i ulice. Upravo iz navedenih razloga projekti optimizacije rasvjete su vrlo česta pojava u današnje vrijeme. Ovim poglavljem opisana je potreba za suvremenom rasvjetom u određenim prostorima te su opisani projekti čija je svrha bila optimizacija ili prilagodba rasvjete određenog unutarnjeg ili vanjskog prostora i njeno usklađivanje sa odgovarajućom normom za određenu svrhu. Projekti navedeni u daljnjem tekstu imaju zajedničku poveznicu upravo sa zadatkom ovoga diplomskog rada – optimizacija rasvjete.

Prvi primjer primjene LED rasvjete je zanimljivo istraživanje o utjecaju LED osvjetljenja na prinos i parametre rasta rajčice. Cilj istraživanja bio je utvrditi kakav utjecaj ima dodatno LED osvjetljenje na visinu i promjer stabljike te masu i prinos ploda rajčice u hidroponskom uzgoju (razvoj biljke u posebnom supstratu umjesto u tlu) na kokosovim vlaknima. Iznad redova su postavljane LED lampe opremljene plavim i crvenim diodama. Biljke su bile dodatno osvijetljene u prosjeku 5 sati dnevno tijekom 112 dana. Utvrđeno je kako je dodatno LED osvjetljene znatno utjecalo na povećanje mase i prinosa ploda te na promjer i visinu stabljike (dodatno osvijetljene stabljike su bile niže, što je znak uravnoteženog rasta). Međutim, ekonomska analiza pokazala je da LED lampe u ovoj primjeni nisu dovoljno energetski učinkovite, s obzirom na ukupno povećanje prinosa ploda i ostvarenu dobit. [14]

Drugi primjer je rad na temu projektiranja električne instalacije u ugostiteljskom objektu. U ovom radu napravljen je model ugostiteljskog objekta te su prema zahtjevima normi određene svjetlotehničke veličine koje je potrebno zadovoljiti i prema zadanim zahtjevima odabrati vrste svjetiljki kojima će prostor biti rasvijetljen. Rasvjeta je projektirana u programu Relux korištenjem tri različite vrste svjetiljki: rasvjetna tijela s halogenim žaruljama, rasvjetna tijela s fluorescentnim cijevima i LED rasvjetna tijela. Usporedbom proračuna za svaki od tri scenarija rješavanja

problema rasvjete referentnog prostora zaključeno je da upravo LED svjetiljke zahtijevaju najmanje energije za isti učinak te su one najbolje rješenje za predmetni prostor. [15]

Treći primjer prilagodbe rasvjete je znanstveni rad na temu svjetla u sakralnom prostoru. Najprije je sakralni prostor raščlanjen na manje dijelove prema određenoj liturgijskoj funkciji, odnosno arhitektonskoj ili likovnoj vrijednosti i postavljeni su kriteriji razine osvjetljenosti na temelju primjera osvjetljenja sličnih građevina, pazeći pritom da prostorno povezani dijelovi imaju određenu logiku i sklad. Zadatak svjetlotehničara je najprije oblikovati prostor svjetlom uz kvalitetno osvjetljenje liturgijskih svečanosti, naglašavanje svih detalja prostora, a zatim traženje kompromisa u odabiru svjetiljke, odnosno učiniti je nevidljivom koliko je to moguće. Funkcionalno osvjetljenje podijeljeno je na središnji prostor okupljanja vjernika, prezbiterij, ulazni dio, kor, osvjetljenje povijesnih sakralnih prostora i rasvjetnu režiju (jedna sklopka s više položaja za paljenje pojedinih grupa svjetiljki). [16]

Sljedeći primjer je važnost optimizacije rasvjete u muzeju. Izvor [17] ističe važnost osvjetljenja u muzeju koje se ondje koristi u svrhu promjene ugođaja izložbenog prostora, za privlačenje pogleda na određene umjetničke radove ili skulpture te se suptilna igra svjetla i tame može koristiti za vođenje posjetitelja kroz muzej. Svi navedeni efekti mogu se postići upravo dobro optimiziranom LED rasvjetom. Uvođenjem LED rasvjete u muzeju se može osigurati maksimalna fleksibilnost za privremene izložbe, „last-minute“ prilagodbe svjetla i poboljšanje jednostavnosti upotrebe pomoću LED tehnologije koja omogućuje prigušivanje rasvjete ručnim uređajima (regulatorima rasvjete, engl. „dimmers“). Nadalje, vrlo važna uloga LED rasvjete u muzeju je očuvanje autentičnosti umjetničkih djela osvjetljenjem koje čuva vjerodostojnost boja, zaštita izložaka rasvjetom koja ne emitira štetne UV ili IR zrake te mogućnost isticanja pojedinosti u umjetničkim djelima s pojedinačno podešenim i fokusiranim svjetlosnim točkama. Provođenjem navedenih poboljšanja korištenjem LED rasvjete udovoljava se međunarodnim kriterijima za očuvanje umjetnosti i privlače se i vode posjetitelji svjetlosnim vizualnim kontrastima koji prikazuju i najmanje detalje. [17]

I posljednji primjer je rad na temu modeliranja i analize javne rasvjete. Javna rasvjeta obuhvaća rasvjetljavanje prometnica i javnih površina koje su namijenjene kretanju vozila i pješaka, a ovim radom analizirano je osvjetljenje jedne ulice. Izvor [18] navodi kako je pri projektiranju javne rasvjete bilo potrebno za ulicu odabrati odgovarajuću geometriju i elemente instalacije, utvrditi svjetlotehničke i ostale zahtjeve te odrediti lokacije stupova i orijentaciju lampi. U praktičnom dijelu simulirana su dva modela istih karakteristika u dva različita programa za analizu rasvjete:

Relux i Dialux. Svi rezultati dobiveni svjetotehničkim proračunima zadovoljili su zadane norme i nakon usporedbe rezultata iz oba programa zaključeno je da su odstupanja u izlaznim vrijednostima zanemariva. Utvrđeno je da LED svjetiljke mogu u potpunosti zadovoljiti zahtjeve jednolikosti i rasvijetljenosti koji su postavljeni u normama te pružiti velike uštede u potrošnji električne energije, a time i smanjiti troškove održavanja javne rasvjete. [18]

3. POSTOJEĆE STANJE RASVJETE

3.1. Opis postojećeg stanja rasvjete

Na temelju službenog izvješća o provedenom energetsom pregledu građevine dobiven je detaljan uvid u trenutno stanje zgrade.

Prema izvoru [19] predmetna građevina je namijenjena za osnovno obrazovanje te spada u kategoriju javne namjene. Građevina se nalazi na adresi Antuna Kanižlića 2, 3400 Požega, izgrađena je 1902. godine, a energetska pregled je izvršen 16. ožujka 2014. godine. Rasvjeta je posljednji put mijenjana 1995. godine, a od tada se vrši periodička zamjena pregorenih lampi ili prigušnica. U većem djelu prostorija se koristi rasvjeta s fluorescentnim cijevima tip T8. Ploča u učionicama je osvijetljena cijevima tipa T8, a u manjem broju učionica i s tipom T12. U prostorijama gdje se rasvjeta rijetko koristi (poput spremišta) se upotrebljavaju standardne žarulje sa žarnom niti. Rasvjeta u učionicama je sastavljena od aluminijskih fluo raster svjetiljki s tri ugradbene cijevi po svjetiljki, a ovisno o dimenzijama prostorije i s dvije ugradbene cijevi (Slika 3.1.). U potkrovlju u učionici informatike se koriste nadgradne tračne svjetiljke postavljene na kosom unutarnjem zidu prema krovu. U hodniku se koriste svjetiljke s lamelarnim rasterom (Slika 3.2.), a u sanitarnim prostorima i prostorima s potencijalnom povećanom vlagom u zraku se koriste zidne i stropne vodotijesne svjetiljke (Slika 3.3.). S obzirom na zatečeno stanje zaključeno je kako je potrebno redovitije održavanje svjetiljki zbog postizanja pune razine svjetlosti. Također je zamijećeno da nije redovito vršena zamjena svih rasvjetnih tijela, te da na pojedinim svjetiljkama nedostaje primjerena vodotijesna zaštita. [19]

Prema provedenim mjerenjima i usporedbi s normom HRN EN 12464-1: 2012 (Svjetlo i rasvjeta, Rasvjeta radnih mjesta, 1. dio: Unutrašnji radni prostori) zaključeno je da učionice ne zadovoljavaju propisane minimalne uvjete osvijetljenja te da je potrebna zamjena konvencionalnih svjetiljki novima koje će zadovoljiti moderne standarde i pritom ostvariti uštede.



Slika 3.1. Trenutno stanje - svjetiljke u učionici [19]



Slika 3.2. Trenutno stanje – rasvjeta u hodniku [19]



Slika 3.3. Trenutno stanje – rasvjeta u sanitarnim prostorima [19]

3.2. Izračun trenutno instalirane snage rasvjete

AutoCAD tlocrti vidljivi na slikama koje slijede (Slika 3.4., Slika 3.5., Slika 3.6., Slika 3.7.) prikazuju zatečeni raspored rasvjete na pojedinim katovima zgrade. Svaka vrsta svjetiljke na tlocrtu označena je istim slovnim oznakama koje su zatim navedene i u tablicama (Tablica 3.1., Tablica 3.2., Tablica 3.3., Tablica 3.4.). U tablicama su vidljive točne količine pojedinih vrsta svjetiljki, broj izvora unutar jedne svjetiljke, snaga pojedinog izvora [W], ukupna snaga [W] za svaku prostoriju te ukupna instalirana snaga na cijelom katu (P_i). Ukupna snaga pojedine prostorije dobivena je kao umnožak prethodne tri vrijednosti (broj svjetiljki, broj izvora i snaga izvora), a ukupna instalirana snaga na cijelom katu dobivena je kao zbroj snaga u pojedinim prostorijama. Naposljetku su zbrojene ukupne postojeće instalirane snage svakog kata te je dobivena ukupna instalirana snaga cijele zgrade (Tablica 3.5.). Dobiveni rezultat ukupne potrošnje snage korišten je u daljnjem radu s projektom prilikom izračuna potrošnje električne energije.



Slika 3.4. Tlocrt prizemlja – zatečeno stanje rasvjete

Tablica 3.1. Podatci o postojećoj instaliranoj snazi rasvjete u prizemlju

| Postojeće stanje - PRIZEMLJE | | | | | | |
|------------------------------|-----------------------|--------|----------|----------|------------------|------------------|
| r.br. | Prostor | Oznaka | Br. svj. | br. lzv. | snaga izvora [W] | Ukupna snaga [W] |
| 1 | Učionica 1 | S1 | 5 | 3 | 36 | 540 |
| 2 | Učionica 2 | S1 | 4 | 3 | 36 | 432 |
| | | S3 | 2 | 1 | 36 | 72 |
| 3 | Učionica 3 | S2 | 8 | 2 | 36 | 576 |
| 4 | Učionica 4 | S1 | 6 | 3 | 36 | 648 |
| | | S3 | 2 | 1 | 36 | 72 |
| 5 | Učionica 5 | S1 | 6 | 3 | 36 | 648 |
| | | S3 | 2 | 1 | 36 | 72 |
| 6 | Knjižnica | S1 | 6 | 3 | 36 | 648 |
| | | S4 | 7 | 2 | 18 | 252 |
| 7 | Hodnik | S2 | 4 | 2 | 36 | 288 |
| 8 | Kabinet - 4 | S3 | 1 | 1 | 36 | 36 |
| 9 | Kabinet - 5 | S3 | 1 | 1 | 36 | 36 |
| 10 | WC M | S2 | 1 | 2 | 36 | 72 |
| 11 | WC Ž | S2 | 1 | 2 | 36 | 72 |
| 12 | WC - prolaz | S2 | 1 | 2 | 36 | 72 |
| 13 | Ulazni prostor | S2 | 3 | 2 | 36 | 216 |
| | | S3 | 1 | 1 | 36 | 36 |
| Snaga Pi - UKUPNO: | | | | | | 4788 |



Slika 3.5. Tlocrt prvog kata – zatečeno stanje rasvjete

Tablica 3.2. Podatci o postojećoj instaliranoj snazi rasvjete na prvom katu

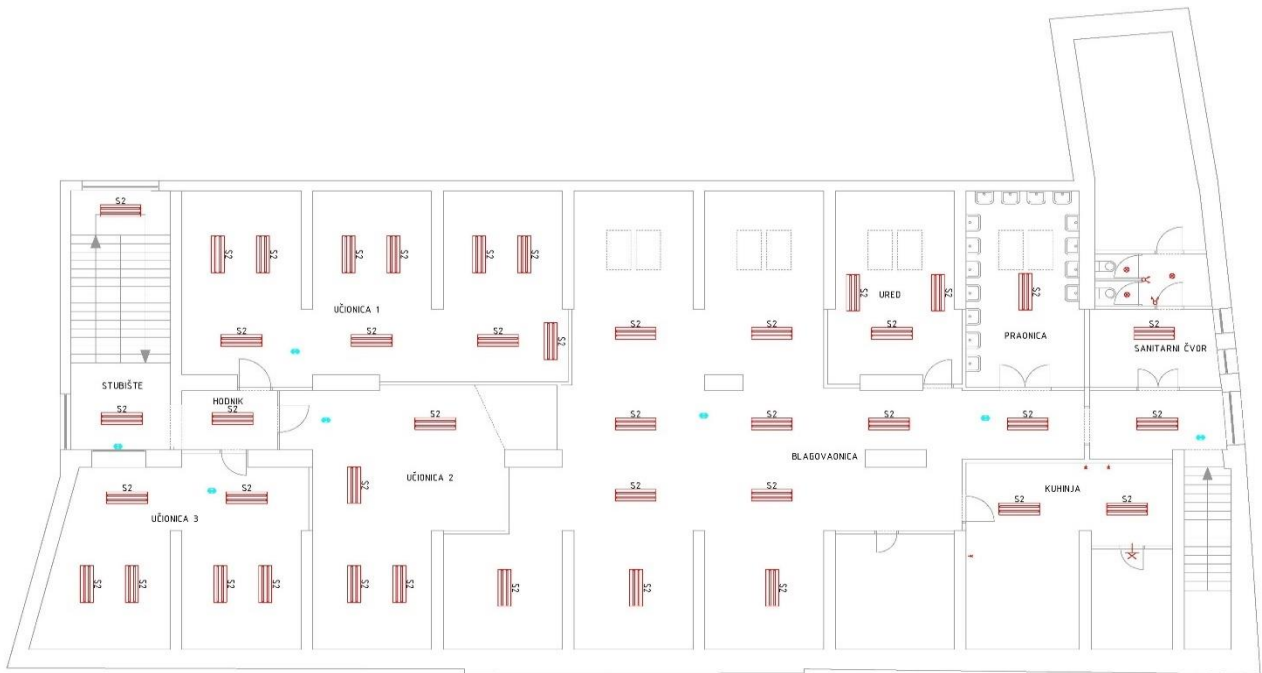
| Postojeće stanje - PRVI KAT | | | | | | |
|-----------------------------|---------------|--------|----------|----------|------------------|------------------|
| r.br. | Prostor | Oznaka | Br. svj. | br. Izv. | snaga izvora [W] | Ukupna snaga [W] |
| 1 | Učionica 1 | S1 | 6 | 3 | 36 | 648 |
| | | S3 | 2 | 1 | 36 | 72 |
| 2 | Učionica 2 | S1 | 6 | 3 | 36 | 648 |
| | | S3 | 2 | 1 | 36 | 72 |
| 3 | Učionica 3 | S1 | 6 | 3 | 36 | 648 |
| | | S3 | 2 | 1 | 36 | 72 |
| 4 | Učionica 4 | S1 | 6 | 3 | 36 | 648 |
| | | S3 | 2 | 1 | 36 | 72 |
| 5 | Zbornica | S1 | 3 | 3 | 36 | 324 |
| 6 | Računovodstvo | S1 | 1 | 3 | 36 | 108 |
| 7 | Ravnatelj | S1 | 1 | 3 | 36 | 108 |
| 8 | Tajništvo | S1 | 1 | 3 | 36 | 108 |
| 9 | Pedagog | S1 | 1 | 3 | 36 | 108 |
| 10 | WC - prolaz | S2 | 1 | 2 | 36 | 72 |
| 11 | WC - M | S2 | 1 | 2 | 36 | 72 |
| 12 | WC - Ž | S2 | 1 | 2 | 36 | 72 |
| 13 | Čajna kuhinja | S2 | 1 | 2 | 36 | 72 |
| 14 | Hodnik | S2 | 4 | 2 | 36 | 288 |
| 15 | Stubište | S2 | 2 | 2 | 36 | 144 |
| Snaga Pi - UKUPNO: | | | | | | 4356 |



Slika 3.6. Tlocrt drugog kata – zatečeno stanje rasvjete

Tablica 3.3. Podatci o postojećoj instaliranoj snazi rasvjete na drugom katu

| Postojeće stanje - DRUGI KAT | | | | | | |
|------------------------------|---------------|--------|----------|----------|------------------|------------------|
| r.br. | Prostor | Oznaka | Br. svj. | br. Izv. | snaga izvora [W] | Ukupna snaga [W] |
| 1 | Učionica 1 | S1 | 6 | 3 | 36 | 648 |
| | | S3 | 2 | 1 | 36 | 72 |
| 2 | Učionica 2 | S1 | 6 | 3 | 36 | 648 |
| | | S3 | 2 | 1 | 36 | 72 |
| 3 | Učionica 3 | S1 | 4 | 3 | 36 | 432 |
| | | S3 | 2 | 1 | 36 | 72 |
| 4 | Učionica 4 | S1 | 6 | 3 | 36 | 648 |
| | | S3 | 2 | 1 | 36 | 72 |
| 5 | Učionica 5 | S1 | 6 | 3 | 36 | 648 |
| | | S3 | 2 | 1 | 36 | 72 |
| 6 | Učionica 6 | S1 | 6 | 3 | 36 | 648 |
| | | S3 | 2 | 1 | 36 | 72 |
| 9 | Mala zbornica | S2 | 1 | 3 | 36 | 108 |
| 10 | WC - prolaz | S2 | 1 | 2 | 36 | 72 |
| 11 | WC - M | S2 | 1 | 2 | 36 | 72 |
| 12 | WC - Ž | S2 | 1 | 2 | 36 | 72 |
| 13 | Hodnik | S2 | 4 | 2 | 36 | 288 |
| 14 | Stubište | S2 | 3 | 2 | 36 | 216 |
| Snaga Pi - UKUPNO: | | | | | | 4932 |



Slika 3.7. Tlocrt potkrovlja – zatečeno stanje rasvjete

Tablica 3.4. Podatci o postojećoj instaliranoj snazi rasvjete u potkrovlju

| Postojeće stanje - POTKROVLJE | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|--------|----------|----------|------------------|------------------|
| r.br. | Prostor | Oznaka | Br. svj. | br. Izv. | snaga izvora [W] | Ukupna snaga [W] |
| 1 | Učionica 1 | S2 | 10 | 2 | 36 | 720 |
| 2 | Učionica 2 | S2 | 4 | 2 | 36 | 288 |
| 3 | Učionica 3 | S2 | 6 | 2 | 36 | 432 |
| 4 | Hodnik | S2 | 1 | 2 | 36 | 72 |
| 5 | Stubište | S2 | 2 | 2 | 36 | 144 |
| 6 | Blogovaonica | S2 | 12 | 2 | 36 | 864 |
| 7 | Kuhinja | S2 | 2 | 2 | 36 | 144 |
| 10 | Praonica | S2 | 1 | 2 | 36 | 72 |
| 11 | San. Čvor | S2 | 1 | 2 | 36 | 72 |
| 12 | Ured | S2 | 3 | 2 | 36 | 216 |
| Snaga Pi - UKUPNO: | | | | | | 3024 |

Tablica 3.5. Podatci o postojećoj ukupnoj potrošnji snage cijele zgrade

| Postojeće stanje - UKUPNO | | |
|---------------------------|-------------------|------------------|
| r.br. | Prostor | Ukupna snaga [W] |
| 1 | PRIZEMLJE | 4788 |
| 2 | 1. KAT | 4356 |
| 3 | 2. KAT | 4932 |
| 4 | POTKROVLJE | 3024 |
| Snaga Pi - UKUPNO: | | 17100 |

4. PREDLOŽENO NOVO STANJE RASVJETE

4.1. Relux

Kako bi odredili najisplativiju novu rasvjetu koja će zadovoljavati zadane norme (HRN EN 12464-1: 2012), korišten je Relux softver dizajniran upravo za tu namjenu. Pored brojnih alata za arhitektonsko dizajniranje rasvjete, među najistaknutijima i najraširenijima je upravo Relux koji pruža široke svjetlotehničke proračune unutarnje i vanjske rasvjete. Program je razvila tvrtke Relux Informatik AG sa sjedištem u Švicarskoj. Tvrtka je osnovana prije više od dvadeset godina te je od samog početka specijalizirana za razvoj i proizvodnju software-a za projektiranje i simulaciju rasvjete, prezentaciju proizvoda i izradu kataloga proizvoda. Relux Informatik AG 1998. imao je samo tri proizvođača rasvjetnih tijela u bazi, a danas je vodeći standard u svijetu kada je riječ o BIM rješenjima (informacijsko modeliranje zgrada) i sudjeluju u mnogim nacionalnim i međunarodnim odborima. [20] Relux omogućuje korisniku digitalni izbor svih tipova svjetiljki brojnih proizvođača koje se nakon odabira postavljaju u odabrani prostor na željeni položaj. Osim svjetiljki, korisnik ima mogućnost dodavanja namještaja i predmeta kako bi prostor učinio realističnim. Nakon postavljanja svjetiljki i uređenja prostora, Relux ima mogućnost prikazivanja rezultata u numeričkom i grafičkom obliku što korisniku omogućuje usporedbu dobivenih rezultata s onima koje postavlja odabrana norma.

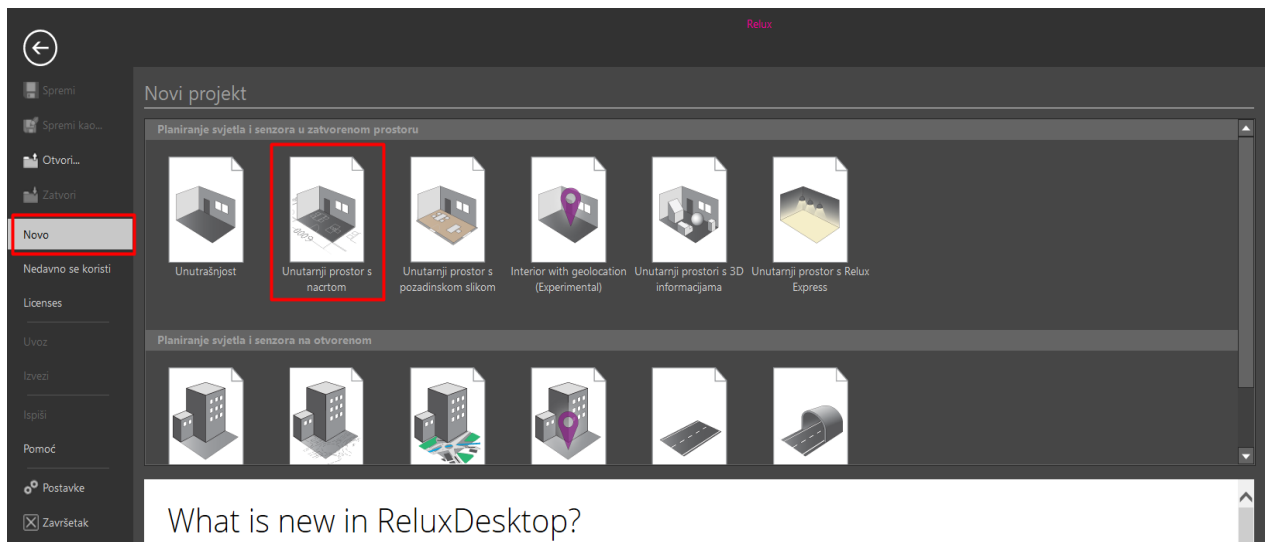
4.2. Projektiranje nove rasvjete u Relux-u

S obzirom na to da zgrada koja je predmet ovog projekta ima četiri kata od kojih je svaki projektiran u programu Relux, u ovom poglavlju nasumično je odabran jedan kat te jedna referentna prostorija na tom katu na čijem primjeru će biti prikazan način projektiranja rasvjete. Prema izvoru [8] prilikom proračuna razine rasvijetljenosti u obzir se uzimaju tehničke karakteristike sustava rasvjete pri čemu je sukladno normi potrebno definirati srednju rasvijetljenost E_m [lx] te odgovarajuću jednoličnost rasvijetljenosti U_0 koja je definirana omjerom minimalne i prosječne rasvijetljenosti (E_{min}/E_m).

U sljedećih nekoliko koraka ukratko je prikazan način unosa tlocrta odabranog drugog kata iz autoCAD programa. Nakon pripremljenog tlocrta prikazan je način projektiranja rasvjete učionice 2 na odabranom katu. Na isti način u Relux-u projektirana je rasvjeta svih ostalih katova i prostorija.

Uvoz tlocrta iz autoCAD-a u Relux objašnjen je sljedećim koracima te prikazan popratnim slikama:

1. Odaberemo ikonu *Novo*, zatim *Unutarnji prostor s nacrtom*. (Slika 4.1.)
2. U sljedećem koraku unosimo opće podatke o prostoru koji projektiramo. Zahtijevani podatci su: broj projekta, objekt (zgrada za koju radimo proračun rasvijetljenosti), prostor, stranka (investitor), naziv projektanta, datum izrade i opis projekta. (Slika 4.2.)
3. Zatim odabiremo vrstu projekta unutrašnjosti (kat), unosimo visinu kata te uvozimo autoCAD tlocrt odabranog kata (drugi kat) s računala. (Slika 4.3.)



What is new in ReluxDesktop?

Slika 4.1. Uvoz tlocrta iz autoCAD-a u Relux- 1. korak

Unesi podatke o projektu

Broj projekta: /

Objekt: Osnovna škola Antuna Kanižlića Požega

Prostor: Unutarnji radni prostori

Stranka: Osnovna škola

Projektirao: Bernarda Tomić

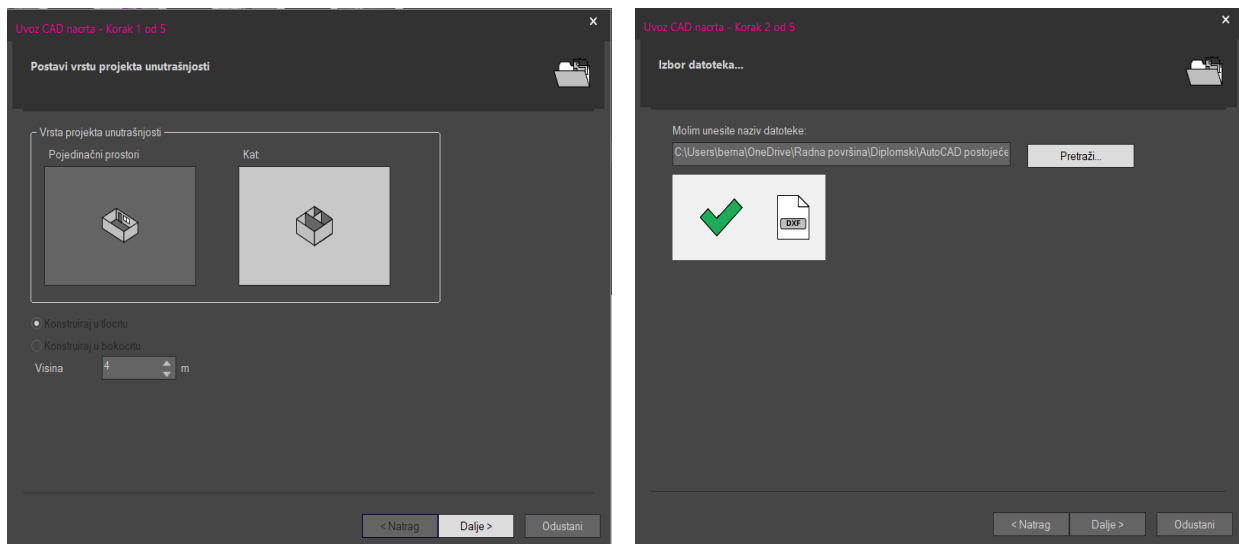
Datum: 19.05.2020 Današnji datum

Opis projekta

Proračun rasvjetljenosti na referentnim površinama radnog prostora. Prikaz uvoza tlocrta drugog kata iz autoCAD-a i proračun jedne prostorije gdje je potrebno odabrati odgovarajuće svjetiljke i izračunati rasvjetljenost prema zahtjevima iz Norme HRN EN 12464-1: 2012.

U redu Odustani

Slika 4.2. Uvoz tlocrta iz autoCAD-a u Relux- 2. korak



Slika 4.3. Uvoz tlocrta iz autoCAD-a u Relux- 3. korak

Nakon pripremljenog tlocrta odabirana je jedna po jedna prostoriju te je za svaku postavljena odgovarajuća kategorija iz norme (Tablica 4.1.) prema kojoj će biti rađen daljni izračun, odnosno usporedba dobivenih vrijednosti s onima zadanim u normi. Postavljanje odgovarajuće norme objašnjeno je u nekoliko koraka na primjeru referentne učionice:

1. Kliknemo padajući izbornik na ikoni *Kat 1*, odaberemo željenu prostoriju (učionica 2). Unutar kategorije *Željene vrijednosti* odabiremo ikonu *Uredi* nakon čega nam se otvara novi prozor s popisom normi (HRN EN 12464-1: 2012, Svjetlo i rasvjeta, Rasvjeta radnih mjesta, 1. dio: Unutrašnji radni prostori).

Na primjeru učionice 2 odabrana je norma u kategoriji *Obrazovne premise* → *Obrazovne ustanove* → *Predavaonice*.

Svi navedeni koraci vidljivi su na priloženoj slici. (Slika 4.4.)

2. Parametari koje postavlja odabrana norma:

E_m – srednja rasvijetljenost

U_0 – ravnomjernost

U_{GRL} - klasa kontrole bliještanja rasvjete

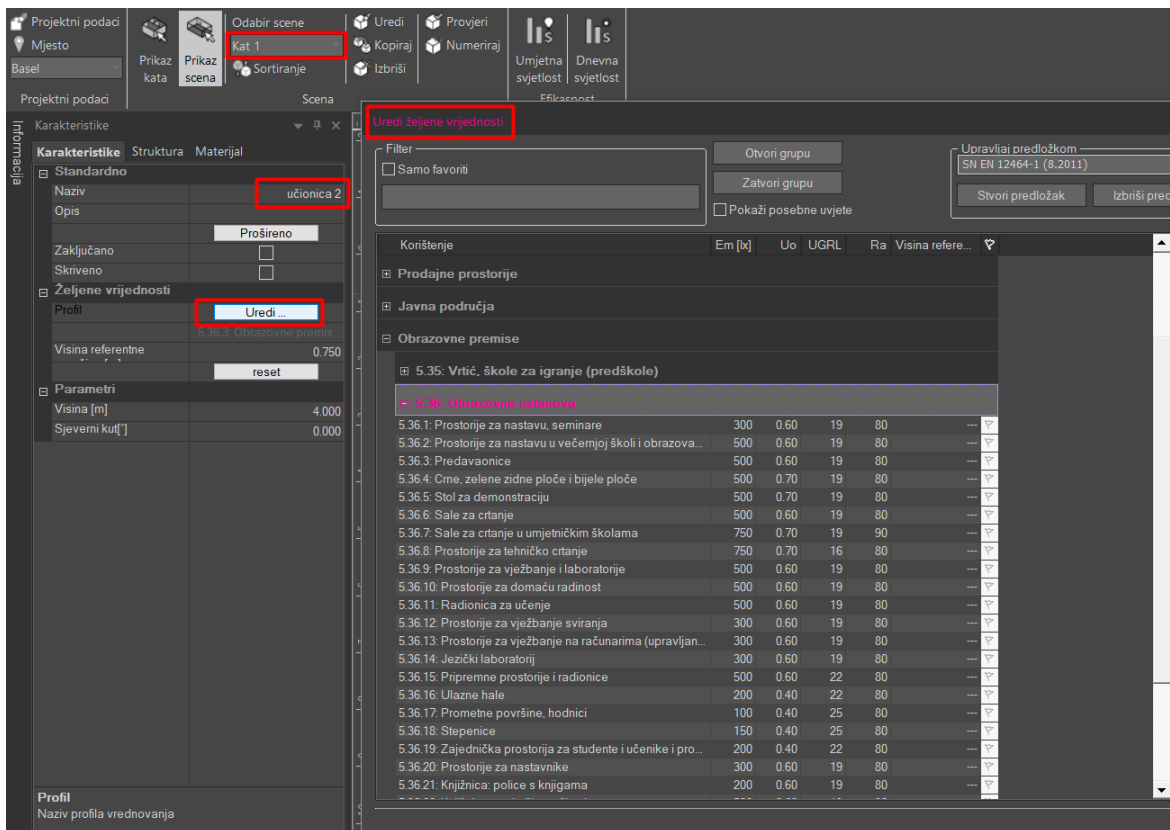
R_a - uzvrat boje

Točne minimalne vrijednosti parametara za odabranu učionicu vidljive su na priloženoj slici. (Slika 4.5.)

Tablica 4.1. Kategorije iz norme HRN EN 12464-1: 2012, Svjetlo i rasvjeta, Rasvjeta radnih mjesta, 1. dio: Unutrašnji radni prostori

| Redni broj | Vrsta područja, zadatka ili aktivnosti | Em [lx] | UGRL | Uo | Ra | Posebni zahtjevi |
|------------|--|---------|------|-----|----|--|
| 5.36.1 | Prostorije za nastavu, seminare | 300 | 19 | 0,6 | 80 | Osvjetljenje treba biti kontrolirajuće. |
| 5.36.2 | Prostorije za nastavu u večernjoj školi i obrazovanje odraslih | 500 | 19 | 0,6 | 80 | Osvjetljenje treba biti kontrolirajuće. |
| 5.36.3 | Predavaonice, dvorane | 500 | 19 | 0,6 | 80 | Osvjetljenje treba biti kontrolirajuće da bi udovoljilo različitim A/V potrebama. |
| 5.36.4 | Crne, zelene i bijele zidne ploče | 500 | 19 | 0,7 | 80 | Zrcalna refleksija mora biti spriječena. Predavač/ profesor mora biti osvijetljen odgovarajućim vertikalnim osvjetljenjem. |
| 5.36.5 | Stol za demonstraciju | 500 | 19 | 0,7 | 80 | U halama za predavanje 750 lx. |
| 5.36.6 | Prostorije za crtanje | 500 | 19 | 0,6 | 80 | |
| 5.36.7 | Prostorije za crtanje u umjetničkim školama | 750 | 19 | 0,7 | 90 | 5 000 K < Tcp 6 500 K. |
| 5.36.8 | Prostorije za tehničko crtanje | 750 | 16 | 0,7 | 80 | |
| 5.36.9 | Prostorije za vježbanje i laboratoriji | 500 | 19 | 0,6 | 80 | |
| 5.36.10 | Prostorije za domaću radinost | 500 | 19 | 0,6 | 80 | |
| 5.36.11 | Radionica za učenje | 500 | 19 | 0,6 | 80 | |
| 5.36.12 | Prostorije za vježbanje sviranja | 300 | 19 | 0,6 | 80 | |
| 5.36.13 | Prostorije za vježbe na računalima (upravljanje preko izbornika) | 300 | 19 | 0,6 | 80 | DSE-posao, pogledati 4.9. |
| 5.36.14 | Jezični laboratorij | 300 | 19 | 0,6 | 80 | |
| 5.36.15 | Pripreme prostorije i radionice | 500 | 22 | 0,6 | 80 | |
| 5.36.16 | Ulazne hale | 200 | 22 | 0,4 | 80 | |
| 5.36.17 | Prometne površine, hodnici | 100 | 25 | 0,4 | 80 | |
| 5.36.18 | Stepenice | 150 | 25 | 0,4 | 80 | |
| 5.36.19 | Zajedničke prostorije za učenike i zbornice | 200 | 22 | 0,4 | 80 | |
| 5.36.20 | Prostorije za nastavnike | 300 | 19 | 0,6 | 80 | |
| 5.36.21 | Knjižnica: police s knjgama | 200 | 19 | 0,6 | 80 | |
| 5.36.22 | Knjižnica: područja za čitanje | 500 | 19 | 0,6 | 80 | |
| 5.36.23 | Prostor za čuvanje nastavnog materijala | 100 | 25 | 0,4 | 80 | |
| 5.36.24 | Sportske hale, gimnastičke prostorije, bazeni | 300 | 22 | 0,6 | 80 | Pogledati EN 12193 za uvjete treninga. |
| 5.36.25 | Školske kantine | 200 | 22 | 0,4 | 80 | |
| 5.36.26 | Kuhinja | 500 | 22 | 0,6 | 80 | |

Izvor: izradio autor prema HRN EN 12464-1: 2012, tablica 5.36

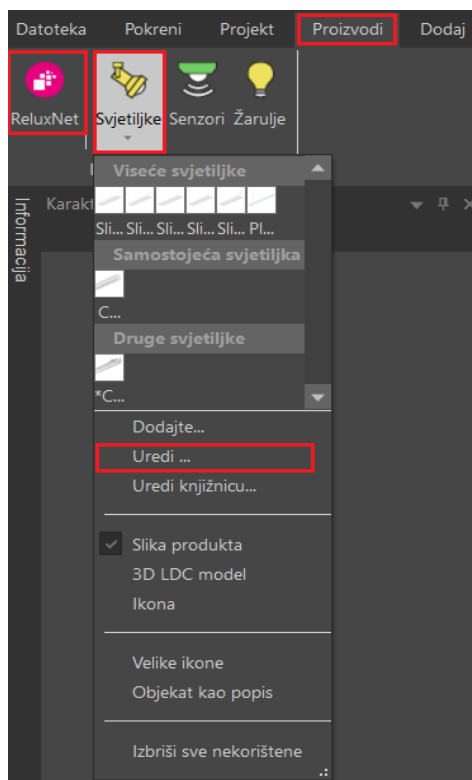


Slika 4.4. Postavljanje odgovarajuće norme

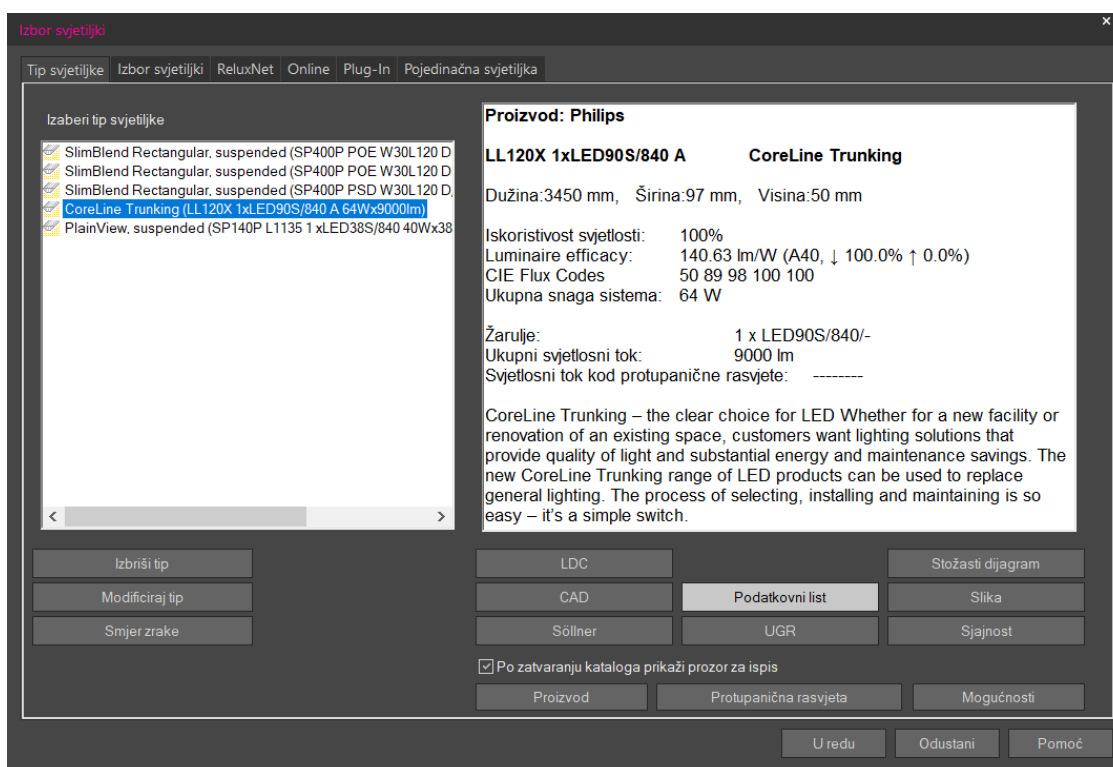
| Referentna površina | |
|---------------------|--|
| Profil | Obrazovne premise - Obrazovne ustanove: Predavaonice |
| Referentni broj | 5.36.3 (EN 12464-1, 8.2... |
| Em [lx] | 500.00 |
| Uo | 0.60 |
| UGRL | 19 |
| GRL | 0 |
| Ra | 80 |
| Visina referentne | 0.75 |
| Zidovi | |
| Em [lx] | 50.00 |
| Uo | 0.10 |
| Strop | |
| Em [lx] | 30.00 |
| Uo | 0.10 |

Slika 4.5. Vrijednosti parametara odabrane norme

Nakon odabira odgovarajuće norme slijedi postavljanje odabranih svjetiljki i namještaja (stolovi, stolice, vrata, prozori, ploča) unutar prostorije. Svjetiljke su odabrane klikom na ikonu *Proizvodi* nakon čega se otvore ikone *ReluxNet* i *Svjetiljke* (Slika 4.6.). Klik na *ReluxNet* odvodi nas na službenu stranicu Relux-a gdje se nalazi velika baza svjetiljki različitih vrsta i brojnih proizvođača. Nakon odabira i uvoza željenih svjetiljki u projekt, klikom na ikonu *Svjetiljke* → *Uredi* otvara se prikaz svih odabranih svjetiljki s detaljnim specifikacijama (Slika 4.7.).

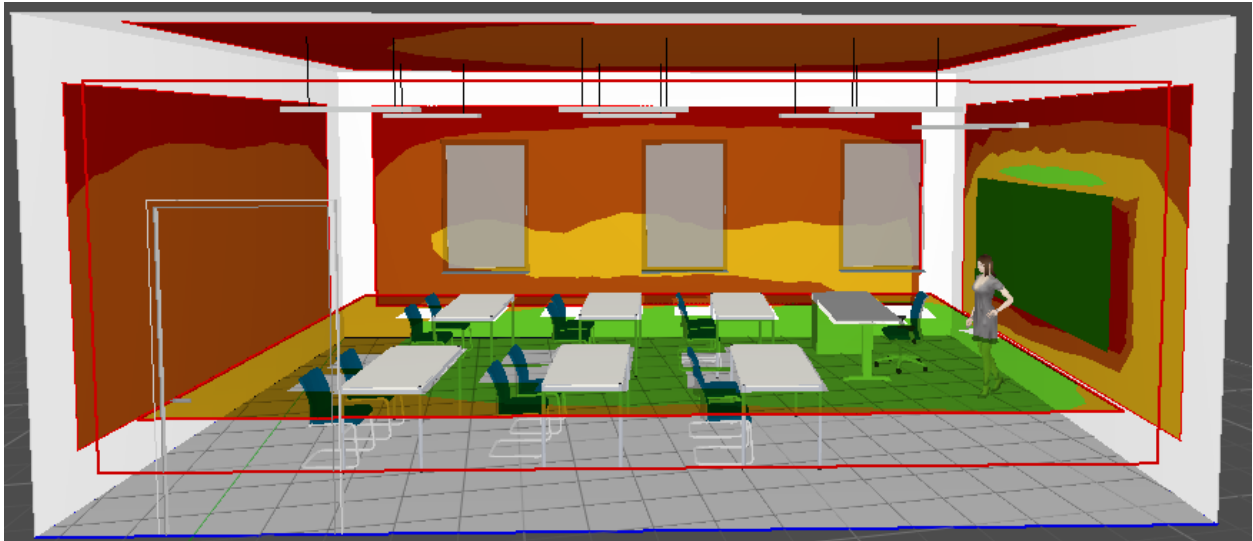


Slika 4.6. Odabir svjetiljki u programu Relux

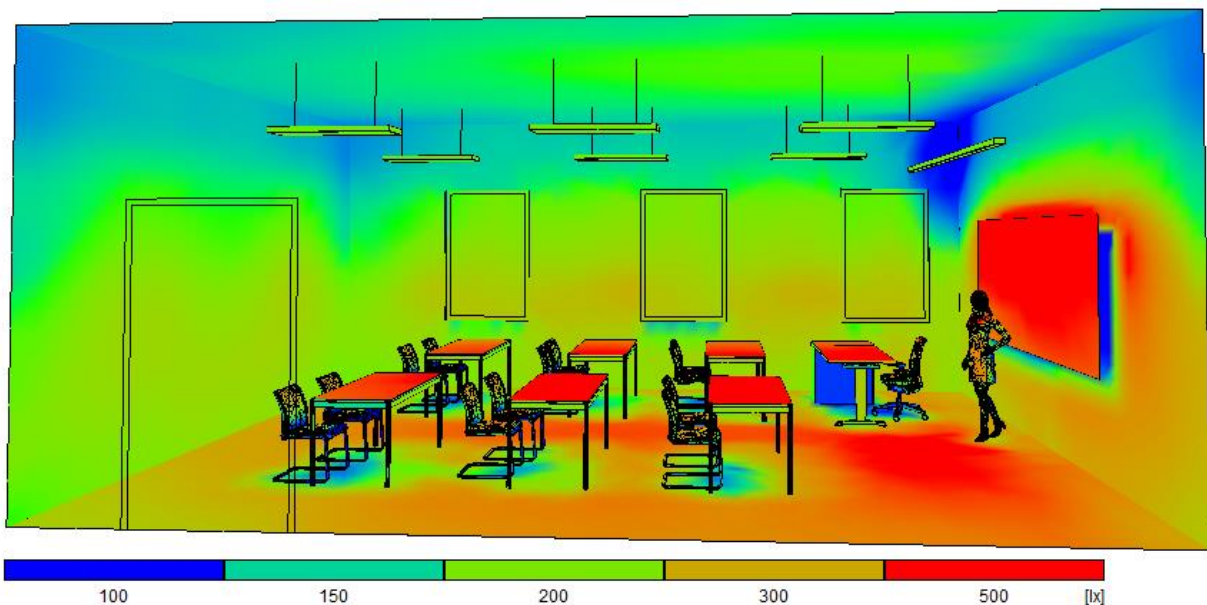


Slika 4.7. Popis uvezenih svjetiljki s detaljnim specifikacijama

Konačni prikaz prostora s elementima u trodimenzionalnom obliku vidljiv je na slici (Slika 4.8.). Isti prostor s rezultatima proračuna prikazan pseudo bojama koje prikazuju raspon rasvjetljenosti svih površina usklađen sa zadanom normom vidljiv je na sljedećoj slici (Slika 4.9.). Pseudo boje prikazuju boje za tri valne duljine koje slika s pravim bojama ne bi prikazala, odnosno boje koje nisu prirodno vidljive ljudskom oku.



Slika 4.8. Prikaz izračunane raspodjele svjetla u 3D prostoru



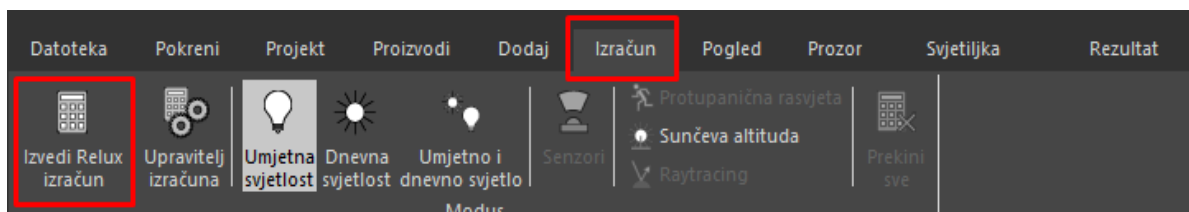
Slika 4.9. Prikaz raspodjele svjetlosti u 3D prostoru pseudo bojama

U konačnici, nakon postavljanja svih elemenata provodi se izračun koji služi u svrhu usporedbe dobivenih rezultata sa zadanom normom. Ukoliko neki od parametara u izračunu nije dosegao minimalnu vrijednost koja je propisana normom HRN EN 12464-1: 2012 (Svjetlo i rasvjeta, Rasvjeta radnih mjesta, 1. dio: Unutrašnji radni prostori), potrebno je provesti preraspodjelu svjetiljki ili pak odabrati svjetiljke drugih karakteristika.

Najprije odabiremo ikonu *Izračun*, zatim *Izvedi Relux izračun* (Slika 4.10.) nakon čega se otvara novi prozor s konačnim rezultatom (Slika 4.11.). Iz izračuna je vidljivo koji osnovni parametri moraju biti zadovoljeni kako bi rasvjeta bila uspješno projektirana.

E_{avg} (srednja rasvijetljenost) prema normi zadanoj za učionice mora biti minimalno 500 lx, a postignuta rasvijetljenost je 516 lx što zadovoljava normu.

$E_{min}/E_m (U_0)$ (omjer minimalne i srednje rasvijetljenosti/ ravnornjnost) prema normi zadanoj za učionice mora biti minimalno 0.60, a postignuto je 0.71 što također zadovoljava normu.



Slika 4.10. Provođenje Relux izračuna

| Površina izračuna 1 | Referentna površina 1.1 |
|---------------------------------------|--|
| Korisnički profil | <u>Obrazovne premise - Obrazovne ustanove</u> |
| | <u>5.36.3 (EN 12464-1, 8.2011) Predavaonice (Ra >80.00)</u> |
| | Horizontalno |
| <u>E_{avg}</u> | <u>516 lx (≥ 500 lx)</u> |
| E_{min} | 365 lx |
| <u>$E_{min}/E_m (U_0)$</u> | <u>0.71 (≥ 0.60)</u> |
| $E_{min}/E_{maks} (U_d)$ | 0.55 |
| Pozicija | 0.75 m |

Slika 4.11. Rezultat izračuna parametara referentne prostorije usklađen sa zadanom normom

4.3. Rezultati projektiranja rasvjete u Relux-u

Nakon uspješnog odabira novih rasvjetnih tijela i njihovog postavljanja u prostor korištenjem programa Relux tako da odgovarajuće norme iz HRN EN 12464-1: 2012 budu zadovoljene, kreirane su nove tablice s novim oznakama svjetiljki i novim izračunima instalirane snage u pojedinim prostorijama na svakom katu. Snaga rasvjete u svakoj prostoriji s novom rasvjetom dobivena je kao umnožak broja svjetiljki i snage izvora svjetiljke. Potom je za svaki kat izvršen izračun ukupne instalirane snage svjetiljki koja je dobivena kao zbroj snaga svake prostorije (Tablica 4.3., Tablica 4.4., Tablica 4.5., Tablica 4.6.). Naposljetku su zbrojene ukupne snage svakog pojedinog kata te je dobivena nova ukupna instalirana snaga unutar cijele zgrade (Tablica 4.7.). S obzirom da nove LED svjetiljke projektirane rasvjete imaju samo jedan izvor, u tablici novog stanja nije bilo potrebe za podatkom o broju izvora kao što je to bio slučaj kod postojeće rasvjete (primjer: br. izv. u Tablica 3.1.).

Tablica 4.2. Oznake svjetiljki u tablicama novog stanja

| OZNAKA | SNAGA IZVORA [W] |
|--------|---------------------|
| A1 | 38 |
| A2 | 32 |
| A3 | 40 |
| A4 | 48 |
| A5 | 64 |

Tablica 4.3. Podatci o instaliranoj snazi nove rasvjete projektirane u Relux-u za prizemlje

| Novo stanje - PRIZEMLJE | | | | | |
|-------------------------|----------------|--------|----------|---------------------------|------------------|
| r.br. | Prostor | Oznaka | Br. svj. | snaga izvora [W] | Ukupna snaga [W] |
| 1 | Učionica 1 | A1 | 8 | 38 | 304 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 2 | Učionica 2 | A1 | 6 | 38 | 228 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 3 | Učionica 3 | A1 | 8 | 38 | 304 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 4 | Učionica 4 | A1 | 6 | 38 | 228 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 5 | Učionica 5 | A1 | 6 | 38 | 228 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 6 | Knjižnica | A1 | 6 | 38 | 228 |
| | | A2 | 4 | 32 | 128 |
| 7 | Hodnik | A3 | 6 | 40 | 240 |
| 8 | Kabinet - 4 | A2 | 2 | 32 | 64 |
| 9 | Kabinet - 5 | A1 | 2 | 38 | 76 |
| 10 | WC M | A4 | 2 | 48 | 96 |
| 11 | WC Ž | A4 | 2 | 48 | 96 |
| 12 | WC - prolaz | A4 | 1 | 48 | 48 |
| 13 | Ulazni prostor | A3 | 2 | 40 | 80 |
| | | | | Snaga Pi - UKUPNO: | 2668 |

Tablica 4.4. Podatci o instaliranoj snazi nove rasvjete projektirane u Relux-u za prvi kat

| Novo stanje - PRVI KAT | | | | | |
|---------------------------|---------------|--------|----------|------------------|------------------|
| r.br. | Prostor | Oznaka | Br. svj. | snaga izvora [W] | Ukupna snaga [W] |
| 1 | Učionica 1 | A1 | 6 | 38 | 228 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 2 | Učionica 2 | A1 | 6 | 38 | 228 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 3 | Učionica 3 | A1 | 6 | 38 | 228 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 4 | Učionica 4 | A1 | 6 | 38 | 228 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 5 | Zbornica | A1 | 3 | 38 | 114 |
| 6 | Računovodstvo | A1 | 3 | 38 | 114 |
| 7 | Ravnatelj | A1 | 3 | 38 | 114 |
| 8 | Tajništvo | A1 | 3 | 38 | 114 |
| 9 | Pedagog | A1 | 3 | 38 | 114 |
| 10 | WC - prolaz | A4 | 1 | 48 | 48 |
| 11 | WC - M | A4 | 1 | 48 | 48 |
| 12 | WC - Ž | A4 | 1 | 48 | 48 |
| 13 | Čajna kuhinja | A4 | 1 | 48 | 48 |
| 14 | Hodnik | A3 | 5 | 40 | 200 |
| 15 | Stubište | A3 | 2 | 40 | 80 |
| Snaga Pi - UKUPNO: | | | | | 2210 |

Tablica 4.5. Podatci o instaliranoj snazi nove rasvjete projektirane u Relux-u za drugi kat

| Novo stanje - DRUGI KAT | | | | | |
|---------------------------|---------------|--------|----------|------------------|------------------|
| r.br. | Prostor | Oznaka | Br. svj. | snaga izvora [W] | Ukupna snaga [W] |
| 1 | Učionica 1 | A1 | 6 | 38 | 228 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 2 | Učionica 2 | A4 | 6 | 48 | 288 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 3 | Učionica 3 | A1 | 4 | 38 | 152 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 4 | Učionica 4 | A1 | 6 | 38 | 228 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 5 | Učionica 5 | A1 | 6 | 38 | 228 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 6 | Učionica 6 | A1 | 6 | 38 | 228 |
| | | A5 | 1 | 64 | 64 |
| 9 | Mala zbornica | A1 | 2 | 38 | 76 |
| 10 | WC - prolaz | A3 | 1 | 40 | 40 |
| 11 | WC - M | A3 | 2 | 40 | 80 |
| 12 | WC - Ž | A3 | 2 | 40 | 80 |
| 13 | Hodnik | A3 | 4 | 40 | 160 |
| 14 | Stubište | A3 | 2 | 40 | 80 |
| Snaga Pi - UKUPNO: | | | | | 2252 |

Tablica 4.6. Podatci o instaliranoj snazi nove rasvjete projektirane u Relux-u za potkrovlje

| Novo stanje - POTKROVLJE | | | | | |
|--------------------------|---------------------|--------|---------------------------|------------------|------------------|
| r.br. | Prostor | Oznaka | Br. svj. | snaga izvora [W] | Ukupna snaga [W] |
| 1 | Učionica 1 | A1 | 9 | 38 | 342 |
| 2 | Učionica 2 | A2 | 5 | 32 | 160 |
| 3 | Učionica 3 | A2 | 6 | 32 | 192 |
| 4 | Hodnik | A3 | 1 | 40 | 40 |
| 5 | Stubište | A3 | 2 | 40 | 80 |
| 6 | Blagovaonica | A2 | 11 | 32 | 352 |
| 7 | Kuhinja | A1 | 4 | 38 | 152 |
| 10 | Praonica | A4 | 1 | 48 | 48 |
| 11 | San. Čvor | A4 | 1 | 48 | 48 |
| 12 | Ured | A2 | 4 | 32 | 128 |
| | | | Snaga Pi - UKUPNO: | | 1542 |

Tablica 4.7. Ukupna instalirana snaga nove rasvjete projektirane u Relux-u za cijelu zgradu

| Novo stanje - UKUPNO | | |
|----------------------|---------------------------|------------------|
| r.br. | Prostor | Ukupna snaga [W] |
| 1 | PRIZEMLJE | 2668 |
| 2 | 1. KAT | 2210 |
| 3 | 2. KAT | 2252 |
| 4 | POTKROVLJE | 1542 |
| | | |
| | Snaga Pi - UKUPNO: | 8672 |

5. IZRAČUN ENERGIJE

Za potrebe izračuna potrošnje energije postojeće i nove rasvjete korištena je norma HRN EN 15193-1:2017, Energetska svojstva zgrade - Energetski zahtjevi za rasvjetu- 1.dio. U tablicama koje slijede navedene su vrijednosti i izrazi preuzeti iz navedene norme.

5.1. Postojeće stanje

Tablica 5.1. Izračun energije potrebne za postojeću rasvjetu

| Svi prostori zajedno - postojeće stanje | | | | | |
|--|-----------|-----------------|-------|--|---|
| Ulazni parametri | Oznaka | Mjerna jedinica | Iznos | Izvor podataka | Izraz prema kojem se radi izračun |
| Ukupna instalirana snaga rasvjete | P_n | [W] | 20520 | Energetski pregled($P_n=17100$); HRN EN 15193-1:2017 izraz (D.3) | $17100 \times 1,2$ |
| Faktor konstante osvjetljenosti | F_C | broj | 1 | HRN EN 15193-1:2017 tablica 2 ; tablica B.3.3.7 | |
| Faktor ovisnosti umjetne rasvjete o dnevnom osvjetljenju | F_D | broj | 1 | HRN EN 15193-1:2017 tablica 2 | |
| Faktor okupiranosti prostora | F_0 | broj | 1 | HRN EN 15193-1:2017 tablica 2; izraz 6.4.3.4.2. | |
| Radno vrijeme rasvjete za razdoblje dana | t_D | [h] | 1800 | HRN EN 15193-1:2017 tablica 2 i tablica B.2 | |
| Radno vrijeme rasvjete za razdoblje noći | t_N | [h] | 200 | HRN EN 15193-1:2017 tablica 2 i tablica B.2 | |
| Broj sati u godini | t_y | [h] | 8760 | | 365 dana \times 24 h |
| Podatci koji se računaju | | | | | |
| Energija potrebna za rasvjetu u određenom vremenskom periodu t | $W_{L,t}$ | [kWh] | 41040 | HRN EN 15193-1:2017 izraz (10) | $W_{L,t} = \frac{(P_n \times F_C) \times [(t_D \times F_0 \times F_D) + (t_N \times F_0)]}{1000}$ |
| Ukupna energija potrebna za rasvjetu u prostoriji u određenom vremenskom periodu t | W_t | [kWh] | 41040 | HRN EN 15193-1:2017 izraz (9) | $W_t = W_{L,t}$ |

Izvor: izradio autor korištenjem norme HRN EN 15193-1:2017

$$W_{L,t} = \frac{(P_n \times F_C) \times [(t_D \times F_0 \times F_D) + (t_N \times F_0)]}{1000} = \frac{(20520 \times 1) \times [(1800 \times 1 \times 1) + (200 \times 1)]}{1000} = 41040 \text{ kWh} \quad (5-1)$$

$$W_t = W_{L,t} = 41040 \text{ kWh} \quad (5-2)$$

5.2. Predloženo novo stanje

| Svi prostori zajedno - novo stanje | | | | | |
|--|-----------|-----------------|-------|--|---|
| Ulazni parametri | Oznaka | Mjerna jedinica | Iznos | Izvor podataka | Izraz prema kojem se radi izračun |
| Ukupna instalirana snaga rasvjete | P_n | [W] | 8672 | Energetski pregled | |
| Faktor konstante osvjetljenosti | F_C | broj | 1 | HRN EN 15193-1:2017 tablica 2 ; tablica B.3.3.7 | |
| Faktor ovisnosti umjetne rasvjete o dnevnom osvjetljenju | F_D | broj | 1 | HRN EN 15193-1:2017 tablica 2 | |
| Faktor okupiranosti prostora | F_0 | broj | 1 | HRN EN 15193-1:2017 tablica 2; izraz 6.4.3.4.2. | |
| Radno vrijeme rasvjete za razdoblje dana | t_D | [h] | 1800 | HRN EN 15193-1:2017 tablica 2 i tablica B.2 | |
| Radno vrijeme rasvjete za razdoblje noći | t_N | [h] | 200 | HRN EN 15193-1:2017 tablica 2 i tablica B.2 | |
| Broj sati u godini | t_y | [h] | 8760 | | 365 dana × 24 h |
| Podatci koji se računaju | | | | | |
| Energija potrebna za rasvjetu u određenom vremenskom periodu t | $W_{L,t}$ | [kWh] | 17344 | HRN EN 15193-1:2017 izraz (10) | $W_{L,t} = \frac{(P_n \times F_C) \times [(t_D \times F_0 \times F_D) + (t_N \times F_0)]}{1000}$ |
| Ukupna energija potrebna za rasvjetu u prostoriji u određenom vremenskom periodu t | W_t | [kWh] | 17344 | HRN EN 15193-1:2017 izraz (9) | $W_t = W_{L,t}$ |

Izvor: izradio autor korištenjem norme HRN EN 15193-1:2017

$$W_{L,t} = \frac{(P_n \times F_C) \times [(t_D \times F_0 \times F_D) + (t_N \times F_0)]}{1000} = \frac{(8672 \times 1) \times [(1800 \times 1 \times 1) + (200 \times 1)]}{1000} = 17344 \text{ kWh} \quad (5-3)$$

$$W_t = W_{L,t} = 17344 \text{ kWh} \quad (5-4)$$

Gdje je:

P_n – ukupna instalirana snaga rasvjete

F_C – faktor konstante osvjetljenosti

F_D – faktor ovisnosti umjetne rasvjete o dnevnom osvjetljenju

F_0 – faktor okupiranosti prostora

t_D – radno vrijeme rasvjete za razdoblje dana

t_N – radno vrijeme rasvjete za razdoblje noći

t_y – broj sati u godini

$W_{L,t}$ – energija potrebna za rasvjetu u određenom vremenskom periodu t

W_t – ukupna energija potrebna za rasvjetu u prostoriji u određenom vremenskom periodu t

6. IZRAČUNI OSTVARENIH UŠTEDA I TROŠKOVNIK

Tablica 6.1. Prikaz ostvarenih ušteda snage i električne energije

| Ostvarene uštede | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------------|------------|-------------|
| Podaci | Oznaka | Mjerna jedinica | Iznos | Postotak |
| Instalirana snaga | ΔP_{uk} (6-1) | [kW] | 11,85 | 57,75 (6-2) |
| Električna energija | W_t (6-3) | [kWh] | 23696 | 57,74 (6-4) |
| Ukupni iznos investicije (s PDV-om) | Investicija (tab. 6.2.) | [kn] | 430.140,25 | |

Izvor: izradio autor

Postupci izračuna za tablicu (6.1.) prikazani su u sljedećim jednadžbama:

- ušteda ostvarena na instaliranoj snazi

$$\Delta P_{uk} = P_{ips} - P_{ins} = 20,52 - 8,67 = 11,85 \text{ kW} \quad (6-1)$$

- postotna ušteda ostvarena na instaliranoj snazi

$$P\% = \left(1 - \frac{P_{ins}}{P_{ips}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{8,67}{20,52}\right) \times 100 = 57,75\% \quad (6-2)$$

- ušteda ostvarena na električnoj energiji

$$W_t = W_{tps} - W_{tns} = 41040 - 17344 = 23696 \text{ kWh} \quad (6-3)$$

- postotna ušteda ostvarena na električnoj energiji

$$W\% = \left(1 - \frac{W_{tns}}{W_{tps}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{17344}{41040}\right) \times 100 = 57,74\% \quad (6-4)$$

Gdje je:

ΔP_{uk} - ukupna razlika instalirane snage u zgradi

P_{ips} – instalirana snaga postojećeg stanja

P_{ins} – instalirana snaga novog stanja

$P\%$ - razlika instalirane snage u postotku

W_t – ukupna energija potrebna za rasvjetu u određenom vremenskom periodu t

W_{tps} – potrošnja električne energije postojećeg stanja kroz godinu

W_{tns} - potrošnja električne energije novog stanja kroz godinu

$W\%$ - razlika potrošnje električne energije u postotku

Tijekom izrade nove rasvjete glavni cilj bio je kreirati rasvjetu koja bi, uz usklađivanje uvjeta sa zadanom normom i modernizaciju rasvjete, bila ekonomski isplativa investicija. Kako bi se isplativost doista realizirala jedan od bitnih aspekata kojim je to postignuto bio je zadržavanje postojećeg broja rasvjetnih izvora (postojeće instalacije) kako se ne bi stvarali dodatni troškovi zamjenom/dodavanjem instalacije, kablova, oštećenja zidova itd. Dakle, na postojeće instalacije projektirane su nove svjetiljke veće jačine, a samo u nužnim slučajevima postavljeni su i dodatni izvori kako bi norme osvijetljenosti bile zadovoljene. Cijene novih svjetiljki i troškovi njihove instalacije prikazani su u tablici (Tablica 6.2.).

Tablica 6.2. Troškovnik nove rasvjete- nabava materijala i instalacija

| R.br. | Opis | Jedinica mjere | Količina | Cijena | Ukupno |
|---------------------------|---|----------------|----------|----------|-------------------|
| 1. | Nabava, dobava, montiranje i spajanje stropne ovjesne svjetiljke s LED izvorom svjetlosti, svjetlosni tok s uračunatim gubitcima u optičkom sustavu min 4200 lm, ukupna snaga sistema max 38 W, ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke 112 lm/W, temperatura boje svjetlosti 3000K. Dužina:1197 mm, širina:297 mm, visina:50 mm. Tip jednakovrijedan kao: Philips, SP400P POE W30L120 DIR 1 xLED42S/830, SlimBlend Rectangular, suspended, Oznaka u projektu: A1 | kom | 124 | 1.336,90 | 165.775,60 |
| 2. | Nabava, dobava, montiranje i spajanje stropne ovjesne svjetiljke s LED izvorom svjetlosti, svjetlosni tok s uračunatim gubitcima u optičkom sustavu min 3600 lm, ukupna snaga sistema max 32 W, ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke 112.5 lm/W. Dužina:1197 mm, širina:297 mm, visina:50 mm. Tip jednakovrijedan kao: Philips, SP400P POE W30L120 DIR 1 xLED36S/830, SlimBlend Rectangular, suspended, Oznaka u projektu: A2 | kom | 32 | 1.118,90 | 35.804,80 |
| 3. | Nabava, dobava, montiranje i spajanje stropne ovjesne svjetiljke s LED izvorom svjetlosti, svjetlosni tok s uračunatim gubitcima u optičkom sustavu min 3800 lm, ukupna snaga sistema max 40 W, ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke 95 lm/W, temperatura boje svjetlosti 3000K. Dužina:1135 mm, širina:58 mm, visina:82 mm. Tip jednakovrijedan kao: Philips, SP140P L1135 1 xLED38S/840, PlainView, suspended. Oznaka u projektu: A3 | kom | 29 | 1.615,50 | 46.849,50 |
| 4. | Nabava, dobava, montiranje i spajanje stropne ovjesne svjetiljke s LED izvorom svjetlosti, svjetlosni tok s uračunatim gubitcima u optičkom sustavu min 5000 lm, ukupna snaga sistema max 48 W, ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke 105.26 lm/W, temperatura boje svjetlosti 3000K. Dužina:1197 mm, širina:297 mm, visina:50 mm. Tip jednakovrijedan kao: Philips, SP400P PSD W30L120 D/I 1 xLED50S/830, SlimBlend Rectangular, suspended. Oznaka u projektu: A4 | kom | 17 | 2.019,90 | 34.338,30 |
| 5. | Nabava, dobava, montiranje i spajanje stropne ovjesne svjetiljke s LED izvorom svjetlosti, asimetrična, za osvjetljenje školske ploče, svjetlosni tok s uračunatim gubitcima u optičkom sustavu min 9000 lm, ukupna snaga sistema max 64 W, ukupna svjetlosna iskoristivost svjetiljke 140.63 lm/W. Dužina:3450 mm, širina:97 mm, visina:50 mm. Tip jednakovrijedan kao: Philips, LL120X 1xLED90S/840 A, CoreLine Trunking. Oznaka u projektu: A5 | kom | 15 | 3.589,60 | 53.844,00 |
| 6. | Izvedba i nadogradnja instalacije za novu rasvjetu. Stavka uključuje nabavu i dobavu kabela rasvjete tipa PPY 3 x 1,5 mm2 prosječne duljine 3m za spajanje nadograđenih svjetiljki na postojeće izvođe. Kabeli se uvlače u instalacijske cijevi CS20, polažu u izrađene prodore u stropu. Komplet sa završnim žbukanjem i gletanjem prodora nakon polaganja kabela. | kom | 60 | 125,00 | 7.500,00 |
| UKUPNO (neto): | | | | | 344.112,20 |
| PDV (25%): | | | | | 86.028,05 |
| SVEUKUPNO (bruto): | | | | | 430.140,25 |

Izvor: izradio autor

7. PRORAČUN EKONOMSKE ISPLATIVOSTI

Tablica 7.1. Podatci proračuna ekonomske isplativosti

| Godišnji trošak rasvjete | | | |
|--------------------------|--------------------|------------------------------|---|
| | Cijena [kn/kWh] | Električna energija [kWh] | Godišnji porast cijene - 5% |
| Konvencionalna | 1,15 | 41.040,00 | |
| LED | 1,15 | 17.344,00 | Razlika u potrošnji (5-4) - 57,74% |

| G _{pp} | G _k | T _{kr} [kn] | T _{lr} [kn] | U _{god} [kn] | U _{kumul} [kn] |
|-----------------------|----------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 0. | 2021. | 47.196,00 | 19.945,60 | 27.250,40 | 27.250,40 |
| 1. | 2022. | 49.555,80 | 20.942,88 | 28.612,92 | 55.863,32 |
| 2. | 2023. | 52.033,59 | 21.990,02 | 30.043,57 | 85.906,89 |
| 3. | 2024. | 54.635,27 | 23.089,53 | 31.545,74 | 117.452,63 |
| 4. | 2025. | 57.367,03 | 24.244,00 | 33.123,03 | 150.575,66 |
| 5. | 2026. | 60.235,38 | 25.456,20 | 34.779,18 | 185.354,84 |
| 6. | 2027. | 63.247,15 | 26.729,01 | 36.518,14 | 221.872,99 |
| 7. | 2028. | 66.409,51 | 28.065,46 | 38.344,05 | 260.217,04 |
| 8. | 2029. | 69.729,99 | 29.468,74 | 40.261,25 | 300.478,29 |
| 9. | 2030. | 73.216,49 | 30.942,17 | 42.274,31 | 342.752,60 |
| 10. | 2031. | 76.877,31 | 32.489,28 | 44.388,03 | 387.140,63 |
| UKUPNA UŠTEDA: | | | | | 387.140,63 |

Gdje je:

G_{pp} – godina provedbe projekta

G_k – kalendarska godina

T_{kr} – trošak konvencionalne rasvjete (kn)

T_{lr} – trošak LED rasvjete (kn)

U_{god} – ušteda po godini (kn)

U_{kumul} – kumulativna ušteda (kn)

Postupci izračuna za tablicu (Tablica 7.1.) prikazani su u sljedećim jednadžbama:

- Troškovi konvencionalne rasvjete

$$T_{kr,2021} = C_{konv} \times W_{konv} = 1,15 \times 41040 = 47.196,00 \text{ kn} \quad (7-1)$$

$$T_{kr,2022} = T_{kr,2021} \times 1,05 = 47.196,00 \times 1,05 = 49.555,80 \text{ kn} \quad (7-2)$$

Prilikom računanja T_{kr} za svaku sljedeću godinu, množi se rezultat prethodne godine pomnožen s 5% jer toliko iznosi prosječno povećanje cijene električne energije u svakoj godini. Zbog pojednostavljenog računanja korišten je koeficijent 1,05 koji predstavlja umnožak za povećanje od 5%. Analogno prethodnim postupcima, u sljedećem izrazu (7-3) prikazan je izračun troška konvencionalne rasvjete za posljednju predviđenu godinu, 2031.

$$T_{kr,2031} = T_{kr,2030} \times 1,05 = 73.216,49 \times 1,05 = 76.877,31 \text{ kn} \quad (7-3)$$

- Troškovi LED rasvjete

Korištenjem istih postupaka računaju se troškovi LED rasvjete.

$$T_{lr,2021} = C_{LED} \times W_{LED} = 1,15 \times 17344 = 19.945,60 \text{ kn} \quad (7-4)$$

$$T_{lr,2022} = T_{lr,2021} \times 1,05 = 19.945,60 \times 1,05 = 20.942,88 \text{ kn} \quad (7-5)$$

$$T_{lr,2031} = T_{lr,2030} \times 1,05 = 30.942,17 \times 1,05 = 32.489,28 \text{ kn} \quad (7-6)$$

- Godišnje uštede

$$U_{god,2021} = T_{kr,2021} - T_{lr,2021} = 47.196,00 - 19.945,60 = 27.250,40 \text{ kn} \quad (7-7)$$

Godišnja ušteda računa se kao razlika između troškova konvencionalne i LED rasvjete.

Analogno izrazu (7-7) računaju se uštede za sljedeće predviđene godine.

- Kumulativne uštede

$$U_{kumul,2021} = U_{god,2021} = 27.250,40 \text{ kn} \quad (7-8)$$

$$U_{kumul,2022} = U_{god,2022} + U_{kumul,2021} = 55.863,32 \text{ kn} \quad (7-9)$$

Kumulativne uštede za pojedine godine računaju se kao zbroj ušteda za tu godinu i kumulativne uštede prethodne godine. Primjeri izračuna vidljivi su u izrazima (7-8) i (7-9).

- Ukupna ušteda
Kumulativna ušteda za posljednju godinu predviđanja (2031.) predstavlja sveukupnu uštedu koja se postiže nakon 10 godina i iznosi 387.140,63 kn.

Gdje je:

$C_{konv} = C_{LED}$ – trenutna cijena električne energije s uračunatim PDV-om prema tarifnom modelu nadležnog distributera (1,15 kn)

W_{konv} – godišnja potrošnja električne energije korištenjem konvencionalne rasvjete

W_{LED} – godišnja potrošnja električne energije korištenjem nove LED rasvjete

Vrijednosti parametara:

Konvencionalna potrošnja električne energije: 41040 kWh (prema izrazu (5-2))

LED potrošnja električne energije: 17344 kWh (prema izrazu (5-4))

Vremenski period izračuna: 10 godina

Trenutna cijena električne energije prema tarifnom modelu nadležnog distributera je 1,02 kn/kWh + PDV 13% što iznosi ukupno 1,15 kn/kWh. Prosječni godišnji porast cijene električne energije u iznosu od 5% određen je na osnovu podataka o varijacijama cijena u tarifnom modelu za Osnovnu školu Antuna Kanižlića i na temelju prosječnih iznosa računa za električnu energiju u prethodnih 10 godina (period od 2010. do 2020. godine). Na temelju dobivenog prosječnog porasta cijene električne energije izračunana su predviđanja porasta za sljedećih 10 godina.

Kao što je već ranije prikazano u tablici (Tablica 6.1.), ušteda u potrošnji električne energije nakon zamjene konvencionalne rasvjete LED rasvjetom iznosila bi 57,74%. Nakon proračuna ekonomske isplativosti (Tablica 7.1.) donesen je zaključak da bi 10 godina korištenja LED rasvjete umjesto konvencionalne donijelo uštedu u iznosu od 387.140,63 kn. Prema tome možemo zaključiti kako je visok početni ulog u implementaciju LED rasvjete isplativ u roku od 11 godina njenog korištenja.

- **Dodatna ušteda:** ušteda pri obračunu vršne snage

Uz već izračunate uštede na električnoj energiji, dodatne uštede se postižu i na angažiranoj snazi (obračunska vršna radna snaga). Nadležni distributer (HEP – Operater distribucijskog sustava d.o.o.) za obračunska mjerna mjesta kojima vršna angažirana snaga prelazi 20kW postavlja tarifni model koji vršnu snagu obračunava očitajima brojila na mjesečnoj bazi. Kada mjerno brojilo u obračunskom mjesecu očita maksimalnu vršnu snagu, koja predstavlja najveće opterećenje u tom mjesecu, ona se naplaćuje po cijeni od 38 kn/kW. Prema jednadžbi (6-1) instalirana snaga projektirane rasvjete umanjena je za 11,85 kW. Dakle, dodatne uštede ostvaruju se na obračunskoj vršnoj radnoj snazi prema sljedećoj jednadžbi:

$$U_{OVS} = \Delta P_{uk} \times C_{OVS} = 11,85 \text{ kW} \times 38 \text{ kn/kW} = 450.30 \text{ kn/mj} \quad (7-10)$$

Gdje je:

C_{OVS} – jedinična cijena obračunske vršne radne snage (angažirane snage)

U_{OVS} – ukupna obračunska vršna radna snaga (angažirana snaga)

8. ZAKLJUČAK

Ovim diplomskim radom izrađen je projekt optimizacije rasvjete prostora obrazovne ustanove i usklađivanje s odgovarajućom normom. Predmetna zgrada rada je Osnovna škola Antuna Kanižlića u Požegi. Na temelju analize zatečenog stanja rasvjete u školi zaključeno je da trenutno korištena rasvjeta daleko odstupa od pravila osvjetljenja postavljenih normom HRN EN 12464-1: 2012 Svjetlo i rasvjeta, Rasvjeta radnih mjesta, 1. dio: Unutrašnji radni prostori. Takvo stanje uvelike utječe na ugled škole, ali i troškove s obzirom da konvencionalna rasvjeta troši veću količinu električne energije za istu funkciju u usporedbi s modernom LED rasvjetom. LED rasvjeta proizvodi znatno manje topline i manje zagrijava prostor što smanjuje potrošnju električne energije potrebne za hlađenje prostora. Također je utvrđeno da neoptimizirano osvjetljenje ima negativan utjecaj na radnu atmosferu, mogućnost koncentracije i produktivnosti učenika, ali i profesora. Svi navedeni razlozi dovoljan su pokretač izrade projekta kojim će se kreirati rasvjeta usklađena sa zadanom normom. Cjelokupni projekt je izrađen u simulacijskom programu Relux koji služi za arhitektonsko dizajniranje rasvjete. Ukratko su objašnjeni postupci postavljanja osvjetljenja u Relux-u te je izvršena analiza dobivenih izračuna. Pri projektiranju rasvjete u obzir je uzeta geografska orijentacija prostora i optimizirano je upravljanje rasvjetom u odnosu na prirodno svjetlo. Nadalje, izrađen je troškovnik kojim je utvrđena cijena investicije za novu rasvjetu u iznosu od 430.140,25 kn. Na temelju postojeće instalirane snage rasvjete unutar zgrade i vođenjem prema pravilima u normi HRN EN 15193-1:2017, Energetska svojstva zgrade- Energetski zahtjevi za rasvjetu- 1.dio, izračunana je potrošnja energije postojeće rasvjete. Analogno tome izvršen je izračun potrošnje energije nove rasvjete. Zaključeno je da bi nova rasvjeta trošila čak 57,74% manje električne energije te da bi nakon deset godina korištenja nove LED rasvjete postignuta ušteda iznosila 387.140,63 kn. Također je zaključeno da uz uštede na električnoj energiji postizemo i dodatne uštede na obračunskoj vršnoj radnoj snazi koja se mjesečno očitava na mjernom brojilu. Smanjenjem maksimalne vršne radne snage postiže se mjesečna ušteda u iznosu od 450,30 kn/mj. Usporedbom procijenjene uštede i cijene investicije zaključeno je da je investicija u zamjenu konvencionalne rasvjete novom LED rasvjetom isplativa u roku od 11 godina. S obzirom na sve prednosti LED rasvjete, činjenicu da bi nova rasvjeta zadovoljavala sve postavljene standarde te donijela uštede u potrošnji električne energije za osvjetljenje i hlađenje prostora, investicija u njenu implementaciju je opravdana prvenstveno zbog pozitivnog utjecaja na zdravlje i prednosti rada pod optimiziranom rasvjetom, a zatim i zbog njene ekonomske isplativosti.

LITERATURA

- [1] Regionalna energetska agencija sjeverozapadne Hrvatske, Suvremena energetska učinkovita javna rasvjeta, Zagreb, siječanj 2009., dostupno na: <http://regea.org/wp-content/uploads/2018/05/Suvremena-energetski-u%C4%8Dinkovita-javna-rasvjeta-sije%C4%8Danj-2009..pdf> [19.09.2020.]
- [2] B. Mijović, J. Pivac, I. Benić: Fizikalne značajke rasvjete radnog okoliša, Safety: journal for the safety in work organisation and living environment, br./2, sv./49, str. 91–102, Osijek, 2007., dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/13397> [19.09.2020.]
- [3] M. Martinis, V. Mikuta - Martinis: Život pod umjetnom rasvjetom i zdravlje, Safety: journal for the safety in the work organisation and living environment, br./2, sv./50, str. 97-103, Osijek, 2008., dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/24971> [19.09.2020.]
- [4] M. Stojkov, D. Šljivac, D. Topić, K. Trupinić, T. Alinjak, S. Arsoski, Z. Klaić, D. Kozak, Energetska učinkovita rasvjeta, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet Osijek, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Osijek, 2015.
- [5] HRN EN 12464-1: 2012, Svjetlo i rasvjeta, Rasvjeta radnih mjesta, 1. dio: Unutrašnji radni prostori
- [6] HRN EN 15193-1:2017, Energetska svojstva zgrade- Energetski zahtjevi za rasvjetu- 1.dio.
- [7] Electrical Technology, What is Energy Efficient Lighting and Techniques to Implement It, 2016., dostupno na: <https://www.electricaltechnology.org/2016/12/energy-efficient-lighting-techniques-to-implement-it.html> [19.9.2020.]
- [8] I. Čabraja, H. Glavaš, K. Tačković, I. Petrović, Analiza rasvjete unutarnjeg radnog prostora i usklađenosti sa HRN EN 12464-1, CIRED, Osijek, svibanj 2016., dostupno na: <https://www.bib.irb.hr/813073> [19.09.2020.]
- [9] Daniel Holzer, SFGate, What Does LED Stand For and How Does it Work?, 2018., dostupno na: <https://homeguides.sfgate.com/led-stand-work-78736.html> [19.9.2020.]
- [10] Mile Jurković, Razumno korištenje električne energije za rasvjetu vanjskih radnih prostora i unutarnjih radnih mjesta u HŽ infrastrukturi, Željeznice 21, br./3, sv./15, str. 19-24, 2016., dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/168362> [19.09.2020.]

- [11] S. Vidaček, M. Šarić: Cirkadijurne varijacije budnosti, spremnosti za rad i radnih sposobnosti, Archives of Industrial Hygiene and Toxicology, br./1, sv./42, str. 13-15, Zagreb, 1990., dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/151045> [19.09.2020.]
- [12] Dorian Božičević, Utjecaj svjetlosnog onečišćenja na ljudsko zdravlje, Zbornik radova, Prvi znanstveno stručni kongres „Lječilišni turizam i prirodni ljekoviti činitelji“, Rijeka 2018., dostupno na:
http://www.nasenebo.hr/useruploads/files/2018_bozicevic_svetlosno_ljudsko_zdravlje.pdf
[19.09.2020.]
- [13] LEDs magazine, Optimized lighting conditions help students improve performance, 2012., dostupno na: <https://www.ledsmagazine.com/architectural-lighting/indoor-lighting/article/16698488/optimized-lighting-conditions-help-students-improve-performance>
[19.09.2020.]
- [14] Vinković, T., Parađiković, N., Tkalec, M., Lisjak, M., Teklić, T., Zmaić, K., Vidaković, M. Utjecaj LED osvjetljenja na prinos i parametre rasta rajčice, Poljoprivreda, br./1, sv./22, str. 3-9, Osijek, 2016., dostupno na: <https://www.bib.irb.hr/836840?&rad=836840> [19.09.2020.]
- [15] Ivanković, M., Projektiranje električne instalacije u ugostiteljskom objektu, Završni rad, Osijek, 2019., dostupno na: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos%3A2255> [19.09.2020.]
- [16] Giancarlo Castaldi, Svjetlo u sakralnom prostoru, Divine Service: Liturgical periodical, br./3, sv./41, 2001., dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/169675> [19.09.2020.]
- [17] LED rasvjeta Lux, LED rasvjeta u muzeju ili umjetničkoj galeriji, dostupno na:
<http://www.ledrasvjeta.hr/vijesti/1054-led-rasvjeta-u-muzeju-ili-umjetnickoj-galeriji.html>
[19.09.2020.]
- [18] Šibila, M., Modeliranje i analiza javne rasvjete programom RELUX, Diplomski rad, Osijek, 2016., dostupno na: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos%3A1197> [19.09.2020.]
- [19] Speculum d.o.o., Izvješće o provedenom energetske pregledu građevine: OŠ „Antuna Kanižlića“ Požega, Zagreb, svibanj 2014.
- [20] ReluxNet, dostupno na: <https://reluxnet.relux.com/en/about-us.html> [19.09.2020.]

SAŽETAK

Radom je analizirano trenutno stanje rasvjete u objektu obrazovne ustanove. Dane su smjernice za optimizaciju i poboljšanje u skladu s odgovarajućom normom (HRN EN 12464-1) za rasvijetljenost unutarnjih radnih prostora. Analizirana je potrošnja električne energije postojeće rasvjete i ukazano je na ekonomsku isplativost potrebne investicije za objekt te energetska učinkovitost projektirane rasvjete u odnosu na postojeću. Korištenjem Relux programa za modeliranje rasvjete odabrane su nove LED svjetiljke i provedeni potrebni izračuni. Posebna pozornost pri davanju prijedloga za poboljšanja bila je usmjerena na geografsku orijentaciju prostora te je rasvjeta optimizirana u skladu s prirodnim svjetlom.

Ključne riječi: Relux, HRN EN 12464-1, optimiziranje rasvjete, LED rasvjeta, ekonomska isplativost, investicija, energetska učinkovitost

ABSTRACT

The paper analyzes the current state of lighting of the educational facility. In accordance with the appropriate standard (HRN EN 12464-1) for indoor lighting, the guidelines for optimization and improvement are provided. The paper analyzes electricity consumption of the existing lighting and indicates the economic profitability of the required investment in the facility and the energy efficiency of the designed lighting in relation to the existing one. Using the Relux lighting modeling program, new LED lightings were selected and the necessary calculations were performed. Special attention in giving suggestion for improvements was focused on the geographical orientation of the space and the lighting was optimized in accordance with the natural light.

Key words: Relux, HRN EN 12464-1, lighting optimization, LED lighting, economic profitability, investment, energy efficiency

ŽIVOTOPIS

Bernarda Tomić rođena je 08.05.1995. u Požegi. Nakon završene Osnovne škole fra Kaje Adžića u Pleternici, upisuje Klasičnu gimnaziju u Požegi. Po završetku srednje škole 2014., iste godine upisuje preddiplomski studij računarstva na FERIT-u u Osijeku. 2018. stječe akademsko zvanje sveučilišna prvostupnica inženjerka računarstva te iste godine upisuje diplomski studij računarstva, smjer računalno inženjerstvo.
