



Projektiranje rasvjete u pripremi turističkog uređenja speleološkog objekta

Julija Capjak Kovačević | Speleološki klub »Ozren Lukić«

*Raspodjela rasvijetljenosti pomoću
pseudoboja za stalaktit
Autor: Julija Capjak Kovačević*

Uvod

Pri projektiranju rasvjete u turistički uređenim speleološkim objektima potrebno je, uz rasvjetljavanje staza radi sigurnosti posjetitelja, obratiti pozornost i na očuvanje samog objekta koji podliježe strogoj zaštiti. Najveći je naglasak na prevenciji lampenflora i očuvanju fizikalnih značajki objekta. Lampenflora predstavlja složenu zajednicu fototrofnih organizama, sastavljenu uglavnom od cijanobakterija i algi, za koje je dokazano da degradiraju podzemna staništa (Baquedano Estavez i dr., 2019). Funkcionalno, rasvjetna tijela ne smiju ometati posjetitelje, a glavna im je zadaća osigurati sigurno kretanje te rasvijetliti špiljske ukrase i jedinstveni prostor, koji su i razlog samog posjeta objektu. U ovom su članku razrađeni zahtjevi i ograničenja za rasvjetu te je u programskom paketu ReluxDesktop izrađen idejni projekt rasvjete Šparožne pećine.

Prilikom pripreme projekta za turističko uređenje speleološkog objekta neophodno je napraviti procjenu utjecaja na okoliš, kako je prikazano na Slici 1. Prije početka ikakvih radova potrebno je prikupiti vrijednosti glavnih parametara za taj objekt, poput dnevnih i sezonskih promjena temperature, udjela vlage i koncentracije CO₂ u zraku. Prikupljeni podaci dat će prirodnu energetska bilancu speleološkog objekta, koja će služiti kao etalon pri praćenju poremećaja koji će nastati zbog uređenja staza, utjecaja rasvjete te fluktuacije posjetitelja. Potencijalne turističke prijete okolišu u turistički uređenim špiljama prikazane su u Tablici 1. Optimizacijski problem projekta ima za cilj odrediti razine rasvijetljenosti koje su u skladu s ograničenjima proizašlima iz studije utjecaja na okoliš, propisa i zakona o zaštiti podzemlja te ekonomske opravdanosti projekta.

Rašireno je mišljenje da uređenje speleološkog objekta za turističke posjete nužno predstavlja gubitak za prirodu i znanost, no ako se slijede pravila očuvanja okoliša prilikom razvoja i monitoringa špilje, ekonomski profit može se iskoristiti za dodatno ulaganje u istraživačke projekte i zaštitu špiljskog okoliša.

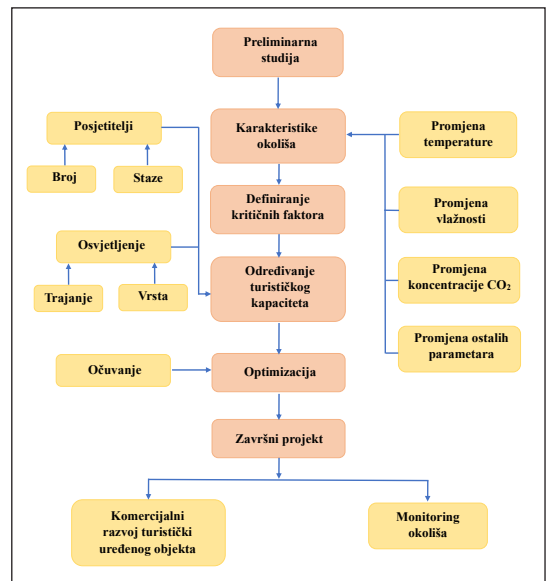
Održivost sustava najbitnija je stavka dugotrajne eksploatacije turističkog objekta, pa se važnost redovitog monitoringa ne može dovoljno naglasiti (Cigna, 2000).

Zahtjevi za rasvjetu

Osnovni sustav rasvjete u turistički uređenim špiljama sastoji se od glavne i protupanične rasvjete, centralnog i lokalnog upravljanja rasvjetom te opskrbe električnom energijom. Okolišni čimbenici na koje je prilikom postavljanja instalacija i rasvjetnih tijela u podzemlju potrebno obratiti pozornost su stopostotna vlaga, kapajuća voda i agresivno alkalna sredina. Zbog tih je čimbenika potrebno zaštititi sve električne spojeve i elektroničke komponente, minimizirati broj električnih priključaka te koristiti materijale otporne na koroziju.

Za napajanje rasvjetnih tijela u speleološkim objektima potrebno je iz sigurnosnih razloga koristiti niski napon od 24 do 30 V.

Prilikom postavljanja sustava rasvjete potrebno je, prije svega, osigurati sigurnost posjetitelja. Prema Normi HRN EN 1838:2013 (*Primjena rasvjete – nužna rasvjeta*, 2013), posjetiteljima mora biti omogućeno nesmetano kretanje stazama te je potrebno rasvijetliti gazne plohe s minimalnom rasvjetom od 1 lx. U slučaju nestanka rasvjete, puteve i izlaze u nuždi koji moraju biti rasvijetljeni potrebno je opskrbiti nužnom rasvjetom odgovarajuće jačine – protupaničnom rasvjetom. Protupanična rasvjeta upaljena je za vrijeme trajanja obilaska turistički



Slika 1. Procjena utjecaja planiranih zahvata na okoliš
Izvor: Cigna, 2000.

Tablica 1. Glavne prijetnje u turistički uređenim špiljama, mogući uzroci i posljedice (prema: Constantin, 2021)

Prijetnja	Uzroci	Posljedice
Promjena prirodnog protoka zraka	Probijanje umjetnih ulaza Promjene u geometriji špiljskih prolaza	Snižavanje relativne vlažnosti («sušenje» speleotema) Čestice u zraku koje tvore medij za razvijanje lampenflore Sprječavanje rasta speleotema Narušavanje ravnoteže taloženja
Promjena temperature	Zagrijavanje mikrolokacija uzrokovano električnom rasvjetom Periodične promjene temperature uzrokovane fluktuacijom posjetitelja	Razvijanje heterotrofnih filmova – rast lampenflore Promjena stabilne špiljske mikroklimе Migracije troglobionata
Promjena u koncentraciji CO₂	CO ₂ posjetitelja CO ₂ drugih izvora	Promjene u brzini taloženja kalcita Korozija speleotema zbog agresivne kondenzacije Razvoj lampenflore
Unos organske tvari	Organska tvar koju unesu posjetitelji – prašina, vlakna, spore, mikrobi	Razvoj mikrobnih filmova na zidovima, speleotemima, tlu i fosilnim ostacima koji uništavaju mikrofloru i čine temelj za nove trofičke lance Potencijalno širenje bolesti na špiljske životinje
Kemijska onečišćenja	Radovi na održavanju	Onečišćenje špiljskog okoliša koje utječe na troglobiontну faunu
Buka	Ultrazvučni šum električne opreme Buka posjetitelja	Može utjecati na kolonije šišmiša, što može rezultirati njihovim preseljenjem u druge špilje ili dublje, netaknute dijelove špilje

uređenog objekta, no dođe li do nestanka izmjeničnog napona ili kvara u opremi, prelazi na napajanje iz neovisnog izvora. Rasvjeta u nuždi osigurava zaštitu i sigurnost ljudi na način da daje odgovarajuću razinu rasvijetljenosti staze. Sustav protupanične rasvjete ima vlastiti izvor napajanja, neovisan o izvoru koji napaja sustav opće rasvjete zadužen za rasvijetljavanje reprezentativnih dijelova objekta. Kao izvor protupanične rasvjete može služiti i rasvjeta na katici koju bi svaki posjetitelj trebao koristiti prilikom obilaska špilje.

Rasvjetna tijela koja rasvijetljavaju karakteristične dijelove špilje moraju biti postavljena tako da ih rasvijetljavaju na jasan način, bez nepotrebnog raspršivanja svjetlosti. Ona moraju biti postavljena u skladu s dobrim praksama te na logičnim i prikladnim mjestima u prostoru. Također, potrebno ih je postaviti tako da posjetitelji ni s jednog dijela hodne površine ne vide izvor svjetlosti – najpogodnije uz stazu na način da svijetle od staze prema specifičnostima objekta.

Izvor svjetla ne smije svijetliti posjetiteljima u oči. To se može postići postavljanjem rasvjetnih

tijela iznad prosječne visine čovjeka i usmjeravanjem prema gore. U slučaju da su rasvjetna tijela postavljena na tlo, izvor svjetla potrebno je otkloniti od staze, koristiti sjenila za svjetiljke ili raspršeno svjetlo te postaviti rasvjetna tijela iza prirodnih prepreka poput odlomljenog kamenja, stalagmita i isturenih stijena.

Rasvjetna tijela i električne instalacije potrebno je nenametljivo pozicionirati i iskoristiti karakteristike speleološkog objekta kako bi ih se uklopilo u prostor tako da budu što manje upadljiva.

Sustav rasvjete potrebno je podijeliti u zone kako bi samo određeni dijelovi špilje u određenom dijelu obilaska bili rasvijetljeni. Na taj se način smanjuje period zagrijavanja lokacija u okolici rasvjetnih tijela, a samim time i isušivanje okoliša, te se smanjuje potrebna količina energije.

Zbog uvjeta koji vladaju u speleološkim objektima minimalan preporučeni stupanj mehaničke zaštite iznosi IP66, gdje prva znamenka označava potpunu zaštitu rasvjetnog tijela od prašine, dok druga označava zaštitu od privremenog uranjanja rasvjetnog tijela u vodu.

Lampenflora

U podzemlju postoje gotovo svi uvjeti za razvoj bi-ljaka, no izostaje onaj ključni, a to je svjetlost. U turistički uređenim špiljama na dijelovima stijene koji su rasvijetljeni umjetnom rasvjetom dolazi do pojave i širenja organskih obraštaja – lampenflo-re, prikazane na Slici 2. Fototrofni organizmi koji čine lampenfloru pretvaraju svjetlosnu energiju u kemijsku i time remete osjetljive odnose u podzemnim hranidbenim mrežama u kojima u normalnim uvjetima izostaju primarni producenti.

Postavljanjem umjetne rasvjete omogućena je fotosinteza. Ona je najintenzivnija na valnim duljinama u intervalima od 430 do 490 nm (plava svjetlost) i od 640 do 690 nm (narančasto-crvena svjetlost). Pri odabiru izvora rasvjete LED rasvjeta pokazala se kao dobar izbor jer, između ostalog, omogućava odabir valnih duljina koje manje pogoduju fotosintezi.

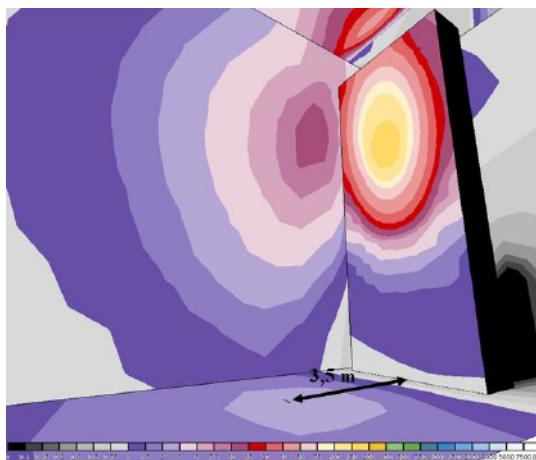
Kako bi se smanjilo stvaranje pogodnih uvjeta za razvoj lampenflo-re, potrebno je udaljiti rasvjetna tijela od površina na kojima se lampenflora može širiti, tj. od rasvijetljenih površina.

Debljina i raznolikost lampenflo-re ovise o intenzitetu svjetlosti. Minimalna razina svjetlosti za nesmetani rast organizama koji čine lampenfloru iznosi:

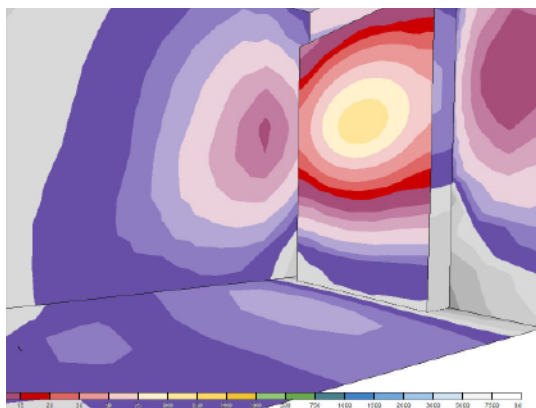
- od 10 do 50 lx za alge
- od 50 do 180 lx za mahovine
- minimalno 250 lx za paprati (Baquedano Estavez i dr., 2019).



Slika 2. Razvoj lampenflo-re u neposrednoj blizini reflektora
Autor: Najla Baković



Slika 3. Raspodjela rasvijetljenosti – reflektor je na udaljenosti od 3,5 m



Slika 4. Raspodjela rasvijetljenosti – reflektor je na udaljenosti od 10 m

Na Slikama 3 i 4 prikazana je rasvijetljenost u luksima na površinama koje su rasvijetljene reflektorima na različitim udaljenostima od površine koju rasvijetljavaju. Reflektor je CL-LQP Narrow, nazivne snage 13 W i svjetlosnog toka 1 332 lm.

Na Slici 3 reflektor je od površine koju rasvijetljava udaljen 3,5 m, a maksimalna rasvijetljenost iznosi otprilike 250 lx.

Na Slici 4 reflektor je od površine koju rasvijetljava udaljen 10 m, a maksimalna rasvijetljenost iznosi otprilike 113 lx.

Prikaz slučaja – Šparožna pećina

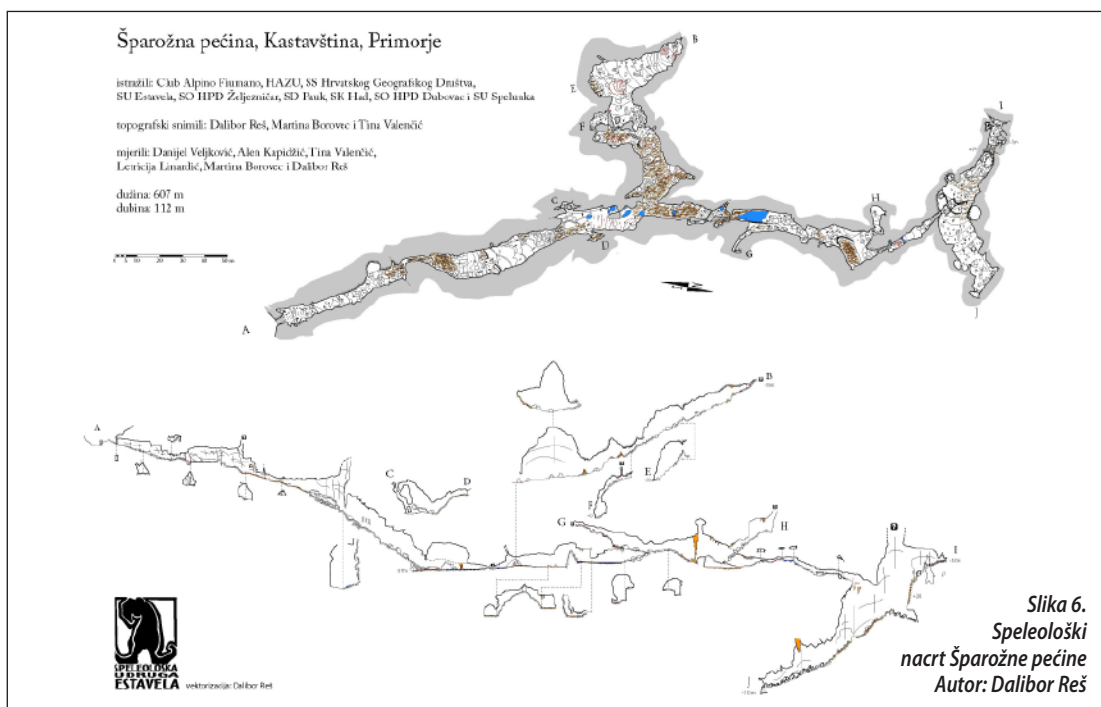
Šparožna pećina nalazi se sjeverno od grada Kastva, na okršenom platou između Čičarije i Gorskog kotara (Slika 5). Jednostavnog je morfološkog tipa,



Slika 5. Isječak topografske karte s označenim speleološkim objektom
 Izvor: Arkod

duljine 607 m i dubine 112 m (Slika 6). Špilja se nalazi na kastavskoj šetnici i nekontrolirano je posjećuju radoznali planinari. Uređena staza i rasvjetna tijela u Špazarjnoj pećini ne postoje, no zbog njene lokacije i atraktivnosti postoji veliki potencijal za

pretvaranje objekta u turistički uređeni speleološki objekt. Proračuni i projektiranje rasvjete za hodne plohe te neke od karakterističnih speleotema izvedeni su u programu ReluxDesktop. Program ReluxDesktop razvila je tvrtka Relux Informatik



Slika 6. Speleološki nacrt Špazarjine pećine
 Autor: Dalibor Reš

AG, koja je specijalizirana za razvoj softvera za planiranje rasvjete i prezentaciju proizvoda. Program je intuitivan za korištenje te nudi mogućnost proračunavanja unutarnje i vanjske rasvjete s jednostavnim načinom prostornog modeliranja, pozicioniranja rasvjetnih tijela i predmeta koje je potrebno osvjetliti. Na Slikama 7 i 8 prikazano je korisničko sučelje programa.

Program provodi svjetlotehničke proračune, a rezultati su prikazani numerički:

- ukupni svjetlosni tok svih žarulja [lm]
- ukupna snaga [W]
- ukupna snaga po površini [W/m^2]
- srednja, minimalna i maksimalna rasvjetljenost [lx]

te grafički:

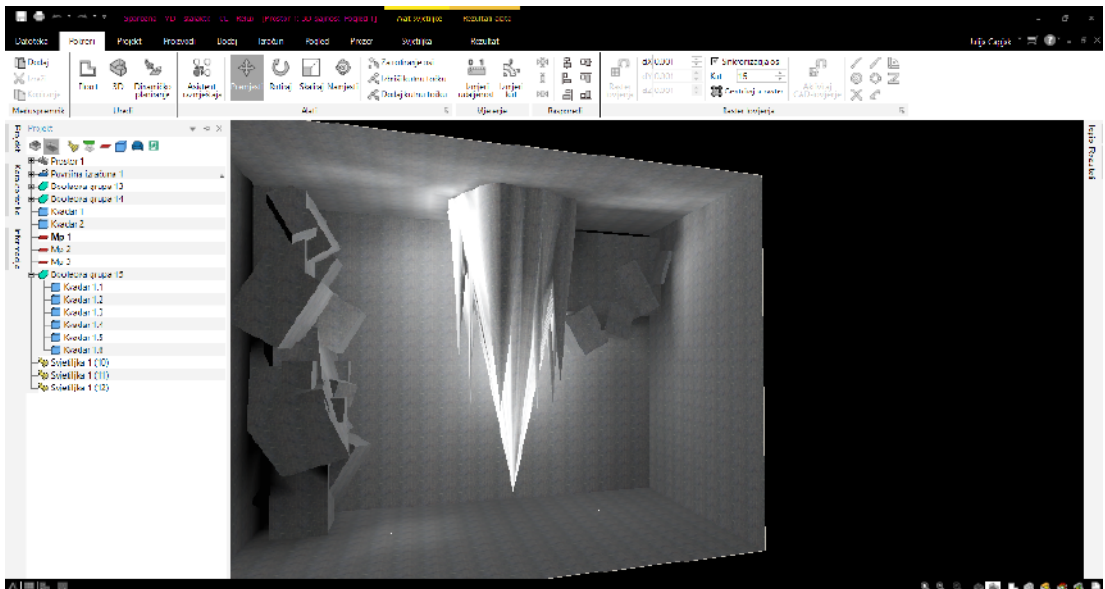
- rasvjetljenost modularane površine [lx]
- 3D raspodjela sjajnosti
- 3D prikaz pseudoboja.

Za analizu proračuna ReluxDesktop koristi europske norme iz područja rasvjete radnih mjesta – HRN EN 12464-1 (*Svjetlo i rasvjeta – Rasvjeta radnih mjesta – Unutrašnji radni prostori*, 2021) i HRN EN 12464-2 (*Svjetlo i rasvjeta – Rasvjeta radnih mjesta – Vanjski radni prostori*, 2014). Za projektiranje

rasvjete za speleološke objekte nisu propisane norme, pa su za potrebe ovog članka korištene smjernice za razvoj i upravljanje turistički uređenim objektima (*Recommended international guidelines for the development and management of show caves*, 2014), kojima se treba voditi prilikom osvjetljavanja speleološkog objekta, a koje su propisale Međunarodna speleološka unija (eng. *International Union of Speleology – UIS*), Međunarodna udruga turistički uređenih objekata (eng. *International Show Cave Association – ISCA*) i Međunarodna unija za očuvanje prirode (eng. *International Union for the Conservation of Nature – IUCN*).

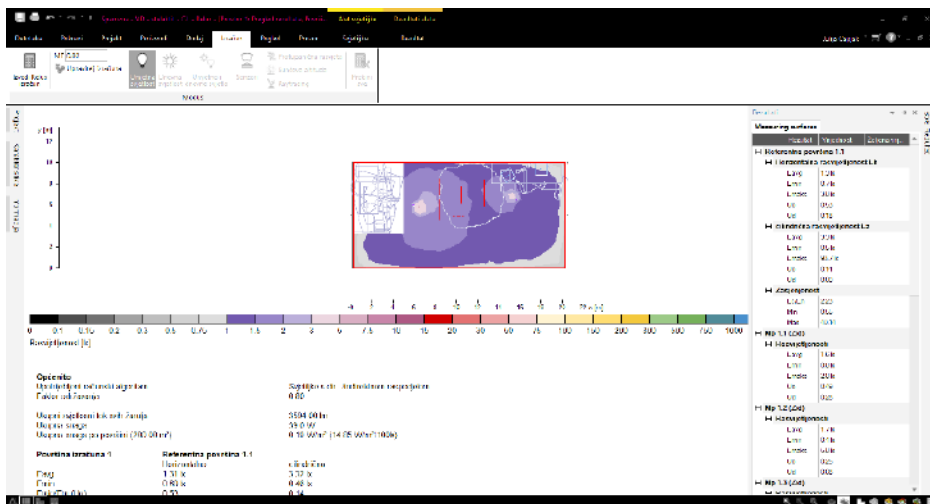
U nedostatku propisane norme kao gornja granica rasvjetljenosti izabrana je ona razina koja značajno doprinosi razvoju lampenflore. Iterativnim pozicioniranjem rasvjetnih tijela određene su pozicije koje daju maksimalnu rasvjetu ispod spomenute graniczne razine (10 – 70 lx).

Modeliranju karakterističnih prostora u ReluxDesktopu prethodio je posjet objektu te izrada tlocrta i profila speleološkog objekta s označenim karakterističnim prostorima koji su reprezentativni za rasvjetljenje i za koje je moguće ispoštovati sve zahtjeve postavljene za rasvjetu za rasvjetljavanje speleoloških objekata.



Slika 7. Sučelje programa ReluxDesktop

Autor: Julija Capjak Kovačević



Slika 8. Prikaz rezultata u programu ReluxDesktop
Autor: Julija Capjak Kovačević

Prema određenim dimenzijama odabranih prostora napravljeni su njihovi 3D modeli u ReluxDesktopu, u kojima su se zatim postavljala razna rasvjetna tijela te mjerila razina rasvijetljenosti na rasvijetljenim površinama. Rasvijetljenost na površini objekta procijenjena je iz grafičkog prikaza raspodjele svjetlosti u 3D prikazu pseudoboja, uz pomoć legende rasvijetljenosti.

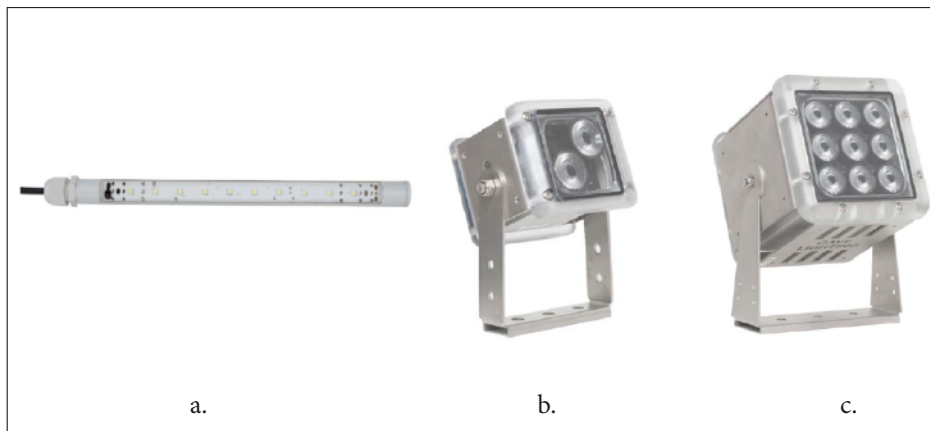
Modeli prostora izrađeni su u mjerilu uz pomoć gotovih geometrijskih tijela koje nudi ReluxDesktop, a površina speleotema, stijena, stepenica i staza odabrana je iz izbornika materijala, sve u cilju što vjernijeg dočaravanja prostora i utjecaja rasvjetnih tijela na te prostore.

Laserskim snimanjem objekta, kao što je napravljeno laserskim 3D skenerom u špilji Samograd

(Buzjak i Kalajžić, 2021), dobio bi se puno bolji uvid utjecaja rasvjetnih tijela na rasvijetljene površine, no zbog nedostatka potrebne opreme to nije bilo moguće napraviti. Unatoč tome što su podzemni prostori vrlo nepravilni i raznoliki, proračuni napravljeni u ReluxDesktopu na temelju pojednostavljenog modela prostora daju solidnu osnovu za postavljanje rasvjete.

Svjetiljke za rasvjetljavanje objekata

Turistički dio Šparožne pećine po svojoj se konfiguraciji ističe prostranim dvoranama, uz pokoje suženje duž glavnog kanala. Zbog tih je karakteristika pri izboru rasvjete naglasak na reflektorima koji se postavljaju na tlo i zidove špilje kako bi se dočarale visina i dubina dvorana. Na mjestima suženja



Slika 9. Rasvjetna tijela korištena za simulaciju rasvjete u programu ReluxDesktop:
a. CL-LMT Flood,
b. CL-LSQ,
c. CL-LQP
Izvor: Cave Lighting

ili mjestima gdje je potrebno rasvijetliti određeni speleotem odabir rasvjete može se suziti na podne reflektore.

Zbog jednostavne morfologije špilje predviđena staza u Šparožnoj pećini je dvosmjerna – vodi od ulaza do kraja objekta te istom stazom natrag.

Za simulaciju rasvijetljavanja hodnih površina, karakterističnih prostora i speleotema odabrana su LED rasvjetna tijela iz Cave Lighting ponude. Visoka vlaga i prašina u podzemlju predstavljaju nepovoljnu okolinu za elektroniku, pa rasvjetna tijela moraju biti izrađena od nehrđajućeg materijala.

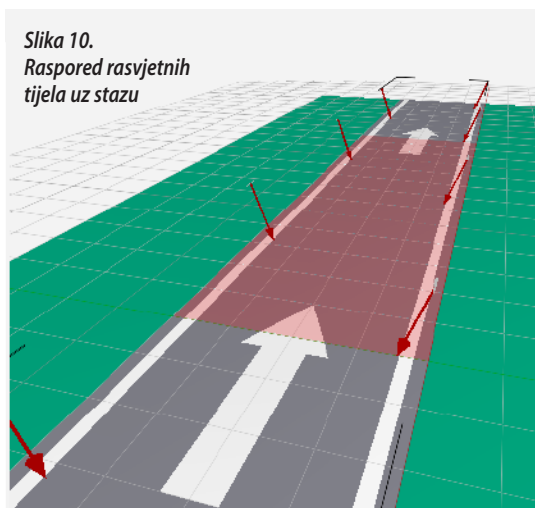
Nakon odabira prikladne serije proizvoda, sukladno dimenzijama hodnih površina, prostora i odabranog speleotema, za simulaciju su odabrana sljedeća rasvjetna tijela:

- za rasvijetljavanje hodnih površina odabrano je rasvjetno tijelo CL-LMT Flood ($\Phi_s = 53 \text{ lm}$) (Slika 9. a.)
- za rasvijetljavanje karakterističnih speleotema odabrani su reflektori CL-LSQ (Medium, $\Phi_s = 1 \text{ 198 lm}$ i Narrow $\Phi_s = 314 \text{ lm}$) i CL-LQP (Narrow $\Phi_s = 1 \text{ 332 lm}$) (Slike 9. b. i 9. c.)

Kako bi se povećala sigurnost posjetitelja u speleološkom objektu, napon svih svjetiljki iznosi 24 V. Pazilo se na to da je razmak između rasvjetnog tijela i speleotema ili stijene minimalno 2 m. Rasvjetna tijela postavljena su tako da posjetitelji sa staze ne mogu direktno vidjeti izvor svjetla, pa su prema poziciji u prostoru birana ona koja se mogu pričvrstiti na tlo i zidove špilje.

—		Aktivna scena
<input type="checkbox"/> Geometrijski parametar (samo glavna površina)		
<input type="checkbox"/> geo		
Širina [m]	1.00	
R tabela	R3, q0=0.07	
<input type="checkbox"/> Parametar svjetiljke (samo prvi raspored)		
<input type="checkbox"/> lum		
Tip svjetiljke	Proizvod "A5A51" lxCave Lighting CL-LMT Flood 1 W 53 lm	
Ukupni svjetlosni tok / pot...	53lm / 1W	
Dimming factor	1.00	
Tip	Obostrano pomaknuto	
Proširenje [m]	0.00	
Nagib [°]	20.00	
Visina izvora svjetlosti [m]	0.60	
Razmak između svjetiljki [m]	5.50	
<input type="checkbox"/> Rezultati: Cesta		
<input type="checkbox"/> E, P3		
Em >= 750 lx	7.57 lx	
Emin >= 1.50 lx	2.06 lx	
Ev,min >= 2.50 lx		
Esc,min >= 1.50 lx		

Slika 11. Svjetlotehnički proračun za staze širine 1 m



Slika 10. Raspored rasvjetnih tijela uz stazu

Hodne površine podijeljene su u dva sektora. U sektoru S1 širina hodnih površina iznosi 1 m, dok u sektoru S2 širina iznosi 2 m. Rasvjetna tijela postavljena su u rukohvate uz hodne površine na visini od 0,6 m, naizmjenično s obje strane staze, kao što je prikazano na Slici 10.

Staza širine 1 m pruža se od ulaza do otprilike 148. metra špilje. Rasvjetna tijela na tom su dijelu međusobno udaljena 5,5 m pa je time osigurana minimalna rasvijetljenost staze za sigurno kretanje posjetitelja. Provedeni proračun svjetlotehničkih veličina prikazan je na Slici 11.

Na stazi širine 2 m rasvjetna tijela udaljena su 3,2 m. Provedeni proračun svjetlotehničkih veličina prikazan je na Slici 12.

—		Aktivna scena
<input type="checkbox"/> Geometrijski parametar (samo glavna površina)		
<input type="checkbox"/> geo		
Širina [m]	2.00	
R tabela	R3, q0=0.07	
<input type="checkbox"/> Parametar svjetiljke (samo prvi raspored)		
<input type="checkbox"/> lum		
Tip svjetiljke	Proizvod "A5A51" lxCave Lighting CL-LMT Flood 1 W 53 lm	
Ukupni svjetlosni tok / pot...	53lm / 1W	
Dimming factor	1.00	
Tip	Obostrano pomaknuto	
Proširenje [m]	0.00	
Nagib [°]	20.00	
Visina izvora svjetlosti [m]	0.60	
Razmak između svjetiljki [m]	3.20	
<input type="checkbox"/> Rezultati: Cesta		
<input type="checkbox"/> E, P3		
Em >= 750 lx	7.61 lx	
Emin >= 1.50 lx	2.41 lx	
Ev,min >= 2.50 lx		
Esc,min >= 1.50 lx		

Slika 12. Svjetlotehnički proračun za staze širine 2 m

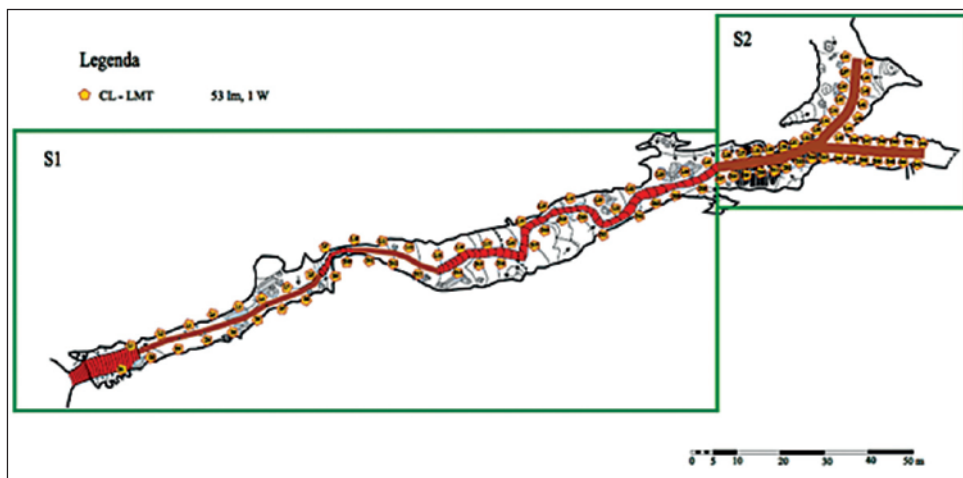
Grafički prikaz rezultata rasvjetljavanja karakterističnih speleotema

Na Slikama 13 i 14 prikazan je prostorni raspored rasvjetnih tijela za hodne površine, odnosno za neke od odabranih karakterističnih speleotema.

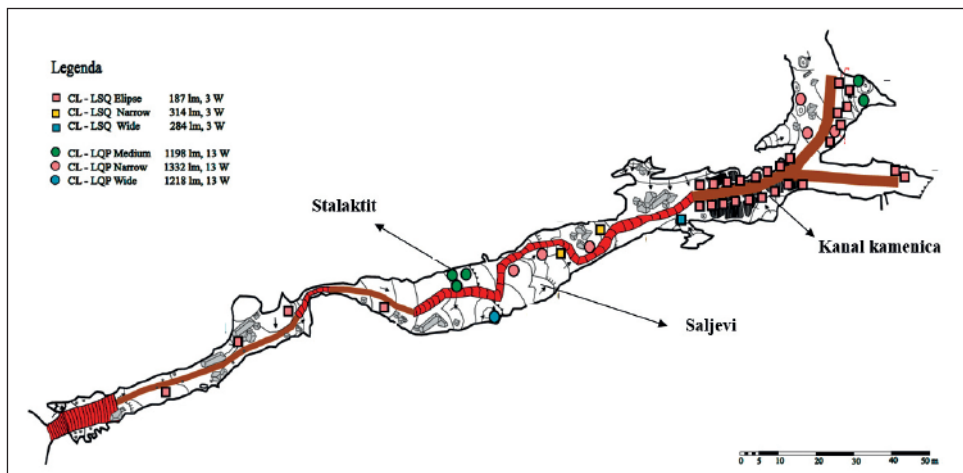
Na Slici 15 prikazan je saljev kao jedan od odabranih speleotema za simulaciju rasvjete u programu ReluxDesktop. Rezultati proračuna provedenih u ReluxDesktopu prikazani su na Slici 15. a. (raspodjela sjajnosti) te na Slici 15. b. (raspodjela rasvijetljenosti pomoću pseudoboja). Procijenjena maksimalna rasvijetljenost na saljevima iznosi 50 – 75 lx.

Idući speleotem odabran za simulaciju rasvjete jest upečatljivi stalaktit, prikazan na Slici 16. Rezultati proračuna provedenih u ReluxDesktopu prikazani su na Slici 16. a. (raspodjela sjajnosti) te na Slici 16. b. (raspodjela rasvijetljenosti pomoću pseudoboja). Procijenjena maksimalna rasvijetljenost na saljevima iznosi 50 – 70 lx.

Na Slici 17. prikazan je kanal špiljskih kamenica. Rezultati proračuna provedenih u ReluxDesktopu prikazani su na Slici 17. a. (raspodjela sjajnosti) te na Slici 17. b. (raspodjela rasvijetljenosti pomoću pseudoboja). Procijenjena maksimalna rasvijetljenost na kanalu špiljskih kamenica iznosi 50 – 75 lx.



Slika 13. Prostorni raspored rasvjetnih tijela – hodne površine



Slika 14. Prostorni raspored rasvjetnih tijela – karakteristični speleotemi



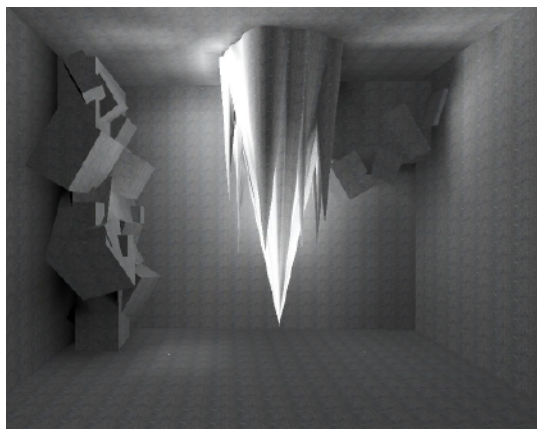
Slika 15. Primjer speleotema – saljevi
Autor: Damir Janton



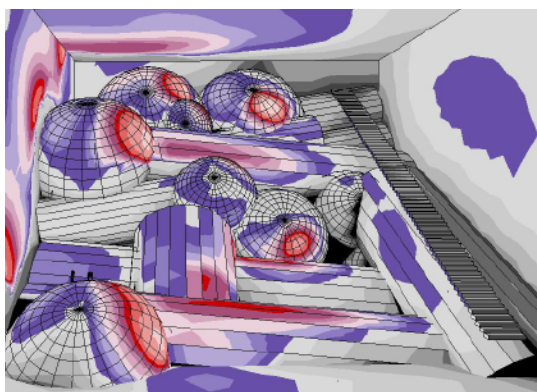
Slika 16. Primjer speleotema – stalaktit
Autor: Damir Janton



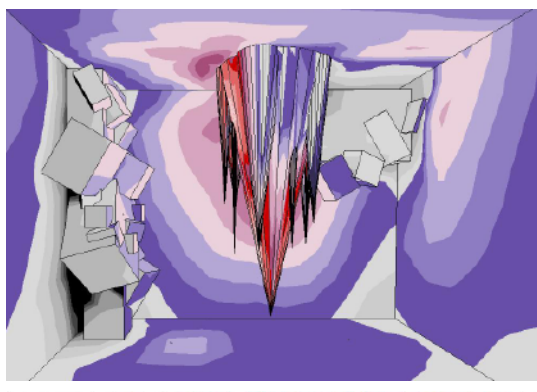
Slika 15. a. Raspodjela sjajnosti za saljeve u ReluxDesktopu



Slika 16. a. Raspodjela sjajnosti za stalaktit u ReluxDesktopu



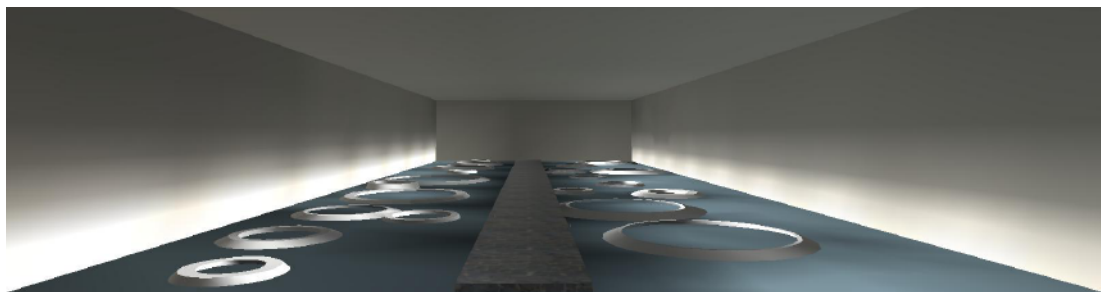
Slika 15. b. Raspodjela rasvijetljenosti pomoću pseudoboja za saljeve u ReluxDesktopu



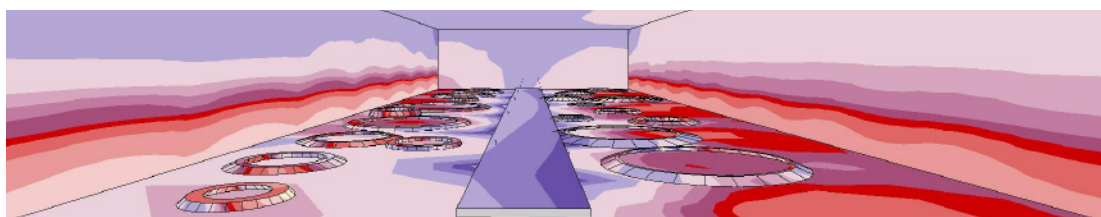
Slika 16. b. Raspodjela rasvijetljenosti pomoću pseudoboja za stalaktit u ReluxDesktopu



Slika 17. Kanal špiljskih kamenica
 Autor: Damir Janton



Slika 17. a. Raspodjela sjajnosti za kanal špiljskih kamenica u ReluxDesktopu



Slika 17. b. Raspodjela rasvijetljenosti pomoću pseudoboja za kanal špiljskih kamenica u ReluxDesktopu



Zaključak

U nedostatku propisa ne postoji jedno konačno i univerzalno rješenje za smanjivanje negativnih posljedica koje uzrokuje turističko uređenje špilja, no vrlo je bitna prevencija i svođenje tog utjecaja na minimum. Prikazani rezultati mogu poslužiti kao osnova za stvarno uređenje samog objekta. Da bi se taj proces olakšao, potrebno je propisati protokole zaštite te pripremiti planove upravljanja koji će biti specifični za svaki objekt.

Literatura

- Baković, N., 2016: Širenje lampenflore u špilji Veternici (Park prirode Medvednica) u razdoblju od 2012. do 2014. godine, *Subterranea Croatica* 14 (1), 26–30.
- Baquendo Estavez, C., Moreno-Merino, L., de la Rosa Roman, A., Duran Valsero, J. J., 2019: The lampenflora in showcaves and its treatment: an emerging ecological problem, *International Journal of Speleology* 48 (3), 249–277, DOI: 10.5038/1827-806X.48.3.2263.
- Božić, V., 2019: *Razvoj rasvjete za speleološke potrebe*, Hrvatski planinarski savez, Zagreb.
- Buzjak, N., Kalajžić, D., 2021: Probno lasersko snimanje spilje Samograd u Pećinskom parku Grabovača, *Subterranea Croatica* 19 (1), 87–91.
- *The Cave Lighting Product Catalog*, Cave Lighting, 2021, <https://www.cavelighting.de/led-luminaires.html> (4. 12. 2023.).
- Cigna, A. A., Burri, E., 2000: Development, management and economy of show caves, *International Journal of Speleology* 29 (1), 1–27, DOI: 10.5038/1827-806X.29.1.1.
- Constantin, S., Mirea, I. C., Petculescu, A., Arghir, R. A., Măntoiu, D. Ș., Kenez, M., Robu, M., Moldovan, O. T., 2021: Monitoring Human Impact in Show Caves. A Study of Four Romanian Caves, *Sustainability* 13 (4), 1619, DOI: 10.3390/su13041619.
- *Recommended International Guidelines for the Development and Management of Show Caves*, ISCA, IUCN, UIS, 2014, https://www.i-s-c-a.org/documentloader.php?id=837&filename=recommended-international_guidelines_final-3-november-2014.pdf (4. 12. 2023.).
- *Primjena rasvjete – nužna rasvjeta (HRN EN 1838:2013)*, Hrvatski zavod za norme, 2013, <https://repositorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+1838%3A2013> (4. 12. 2023.).
- *Svjetlo i rasvjeta – Rasvjeta radnih mjesta – Unutrašnji radni prostori (HRN EN 12464-1)*, Hrvatski zavod za norme, 2021, <https://repositorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+12464-1%3A2021> (4. 12. 2023.).
- *Svjetlo i rasvjeta – Rasvjeta radnih mjesta – Vanjski radni prostori (HRN EN 12464-2)*, Hrvatski zavod za norme, 2014, <https://repositorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+12464-2%3A2014> (4. 12. 2023.).
- Reš, D., 2010: Šparožna pećina, *Subterranea Croatica* 8 (12), 15–19.
- Rnjak, G., ur., 2019: *Speleologija, II. izmijenjeno i dopunjeno izdanje*, Speleološko društvo »Velebit«, Hrvatski planinarski savez, Hrvatska gorska služba spašavanja, Zagreb.

Lighting design for show caves

When designing lighting of show caves, in addition to lighting the paths for the safety of visitors, it is necessary to pay attention to the preservation of the cave, which is subject to strict protection. The greatest emphasis is on the prevention of lampenflora and the preservation of the physical features of the cave. Functionally, the lighting fixtures must not disturb visitors, while their main task is to ensure safety when passing through the cave and to illuminate the cave decorations and unique space, which are the reasons for visiting the cave itself. In this article, the requirements and restrictions on lighting were elaborated, and the lighting project of Šparožna pećina was created in the ReluxDesktop software package.