

Posebnosti polaganja energetskih kabela u kršovitim predjelima

Peculiarities of laying energy cables in rugged areas

Siniša Zorica^{a,*}, Slobodanka Jelena Cvjetković^a, Igor Sikirica^a, Marinko Lipovac^a

^aSveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije, Kopilica 5, 21000 Split, Hrvatska / University of Split, University department of professional studies, Kopilica 5, 21000 Split, Croatia

*corresponding author: szorica@oss.unist.hr

INFORMACIJE O ČLANKU

SAŽETAK

Kategorija:
Stručni članak

Cljučne riječi:
Niskonaponska mreža
energetski kabel
energija
održavanje

Licenca: CC BY-NC-SA 4.0.

Proizvodnja električne energije suvremenom društvu predstavlja temelj života. Pitanje gdje počinje i završava energetika od strateškog je značenja u svakodnevnoj potrošnji električne energije. Pristup projektiranju suvremene rasvjete u povijesnu jezgru Tvrđave Klis iznimno je važan korak u energetici. Tvrđava je srednjoevropska utvrda sagrađena od vapnenca, iznad istoimene općine, na nadmorskoj visini 360 metara. Postavljanje javne rasvjete na tako staroj građevini otvara nove ideje moderniziranja kulturološki zaštićenih povijesnih znamenitosti. Svi radovi i oprema na postojećoj niskonaponskoj (NN) mreži Tvrđave Klis izvest će se prema propisanim uvjetima od strane nadležnog elektrodistributivnog poduzeća i konzervatorskog nadzora. Održavanje električne instalacije u skladu je s tehničkim svojstvima prema zahtjevima koji su definirani projektom dokumentacijom. Pregled ugradnje instalacija u povijesnoj građevini u skladu je s važećim propisima postavljenim od strane Konzervatorskog zavoda u Splitu.

ARTICLE INFORMATION

ABSTRACT

Category:
Professional paper

Keywords:
Low voltage network
power cable
energy
maintenance

License: CC BY-NC-SA 4.0.



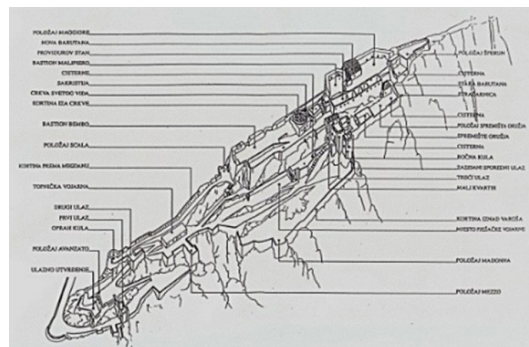
Production of electricity is the basis of life for modern society. The question of where energy begins and ends is of strategic importance in the daily consumption of electricity. Approaching the design of modern lighting in the historical core of the Klis Fortress is an extremely important step in energy. The fortress is a Central European fortress built of limestone, above the municipality of the same name, at an altitude of 360 meters. Installing public lighting on such an old building opens up new ideas for modernizing culturally protected historical landmarks. All works and equipment on the existing low-voltage (LV) network of the Klis Fortress will be carried out according to the prescribed conditions by the competent electricity distribution company and conservation supervision. The maintenance of the electrical installation is in accordance with the technical properties according to the requirements defined by the project documentation. The inspection of the installation of installations in the historic building is in accordance with the current regulations set by the Conservation Institute in Split.

1. Uvod

Tvrđava Klis je arhitektura povijesnog značenja. Pretpostavlja se da je izgrađena u doba Ilira u trećem stoljeću prije Krista. Tvrđava je srednjovjekovna utvrda sagrađena od vapnenca na nadmorskoj visini 360 metara. Zbog svog strateškog položaja između dvije planine, Kozjaka i Mosora, tvrđava je na strateški vojno ključnom položaju. Kao takva ima poseban pristup u suvremenom društvu glede bilo kakvog zadiranja u izmjene većeg ili manjeg opsega [1].

Do kraja 2016. obnovljena je povijesna jezgra tvrđave Klis – Knežev dvor, što je dovelo do kontinuiranog ulaganja u Tvrđavu. Provedeno je sudjelovanje u projektu Fortress ReInvented vrijednog više od 1,3 milijuna eura s 3D mapiranjem Kliške tvrđave.

Na slici 1. prikazana je arhitektura Tvrđave Klis. Posljednjih je godina doživjela porast posjećenosti zahvaljujući inovativnom modelu valorizacije i revitalizacije kulturne baštine, ali i popularnom serijalu „Igra prijestolja“.



Slika 1. Arhitektura Tvrđave Klis [2]
Figure 1 Architecture of Klis Fortress [2]

2. Projekt opće i akcentne rasvjete na tvrđavi Klis

Projekt "Akcentna rasvjeta na Tvrđavi Klis" izvršena je otvorenim postupkom u okviru (Interreg IPA CBC) Projekta Fortress ReInvented, a financira se iz Europskih (EU) fondova, te se planira provedba nove rasvjete za osvijetljenje zidina Tvrđave Klis.

2.1. Tehnički opis Tvrđave Klis

Tvrđava je srednje visine, dužine 304m, a na najširem mjestu široka je 53 m, dok je vanjski promjer tvrđave 725 m. Tvrđava ima tri obrambena zida, te glavni prvi ulaz na krajnjoj zapadnoj točki uz još drugi i treći ulaz unutar iste.

Od važnijih kulturno-povijesnih objekata u tvrđavi spominju se Oprah kula (slika 2.) na zapadnoj strani, prema istoku današnja crkva Sv. Vida (nekadašnja džamija iz 1537.), bastion Bembo lijevo do crkve, Providurova rezidencija, te bastion Malipiero. [3]



Slika 2. Oprah kula na zapadnoj strani [3]
Figure 2 Oprah Tower on the west side [3]

2.2. Energetski rasplet niskonaponske instalacije

Tvrđava Klis je priključena na elektroenergetski sustav kabelom tipa PP00-A 4x120 mm² s kućnog rasklopnog ormara (KRO) br. 2351. Na mjesto kućnog priključnog mjernog ormara (KPMO) postavio

se novi glavni razdjelno-mjerni ormar (GRMO) u koji se, uz postojeće brojilo, dodalo još pet novih brojila predviđenih za prenamjenu i adaptaciju postojećih objekata unutar tvrđave. Novi GRMO sadrži šest trofaznih dvotarifnih brojila s integriranim sustavom mrežnog tonfrekventnog upravljanja (MTU) i uklopnim satom, te zaštitnu i sklopnu opremu. GRMO je opremljen vratima s prozorčićima za očitavanje stanja brojila i položaja uklopnog sata, a ključevi se nalaze kod nadležne elektrodistributivne tvrtke. Ukupno opterećenje je 113,16 kW. Položena su četiri priključno-napojna kabela (NYRY-O 4x35 mm² do R-res, NYRY-O 4x25 mm² do R-prov, NYRY-O 4x16 mm² do R-caffe i NYRY-O 4x16 mm² do R-muz), tri napojna kabela do ormara javne rasvjete (NYRY-O 4x6mm² do KRO1-JR, NYRY-O 4x4mm² do KRO3-JR i NYRY-O 4x16 mm² do KRO2-JR, KRO4-J4 – KRO7-JR), te napojni kabel tipa NYRY-O 4x35 mm² do ormarića zajedničke potrošnje kako je vidljivo na slici 3. (R1-zp do R3-zp). Uz priključno-napojne

kabele predviđeno je polaganje Cu 50 mm² zaštitnog užeta s PE sabirnice u GRMO, te signalnog kabela tipa YSLY za sustav upravljanja rasvjetom. [4]

Energetski rasplet koncipiran je tako da svaki turističko-ugostiteljski objekt ima vlastiti razdjelni ormar i pripadno brojilo u GRMO-u. Svi radovi i oprema vezana za spajanje na postojeću NN mrežu, te ugradnja i plombiranje brojila izvedena su prema uvjetima postavljenim od strane nadležnog elektrodistributivnog poduzeća. Ormari javne rasvjete KRO-JR i zajedničke potrošnje R-zp napravljeni su u samostojećoj izvedbi s IP55 zaštitom, bojom kućišta kameno sivom (RAL 7030) kako bi se postiglo vizualno uklapanje u neposredni okoliš. Razdjelni ormarići su ugradbeni prema p/ž modularnoj izvedbi.



Slika 3. Razdjelnik 2, zajedničke potrošnje (R2-zp)
Figure 3 Distributor 2, common consumption (R2-zp)

Postavljen je TN-S sustav uzemljenja, gdje se posebno vode nulti i zaštitni vodič unutar instalacije. Na slici 4. je prikazan kabelski razdjelni ormar 1, javne rasvjete „KRO1-JR“.



Slika 4. Kabelski razdjelni ormar 1- javne rasvjete „KRO1-JR“
Figure 4 Cable distribution cabinet 1 - public lighting "KRO1-JR"

2.3. Vođenje instalacija po Tvrđavi Klis

Polaganje kabela vrši se u zajedničkom kabelskom rovu, zatim se po vertikalama izvodi ukopavanje ispod kamenih blokova, te ušlicavanje u stijene ili fuge kamenih zidova. Polaganje kabela provodi se prema

uvjetima nadležnog konzervatorskog odjela uz stalno prisutni arheološki nadzor. U slučaju nailaska na arheološke nalaze, instalaciju je potrebno prilagoditi.

Razvod instalacije izveden je kabelom NYY-J 3(5)x1,5(2,5) mm² za potrebe rasvjete, odnosno NYRY za glavne napojne strujne krugove pojedinih razdjelnika. Zbog mehaničke otpornosti na vlažna istezanja odabran je kabel NYRY. Kabeli su se većim dijelom položili u kabelski rov, a dijelom ukopavanjem duž kamenih zidova, betonskih popločenja ili stijena u zaštitnim PEHD cijevima tipa KABUPLAST-F. [4]

Za glavne napojne energetske kabele predvidio se zemljani rov dubine od 60-70 cm, a za sve ostale kabele za potrebe rasvjete na dubini cca 30 cm. Kabeli strujnih krugova rasvjete većim dijelom polažu se u zemlju u zaštitnim rebrastim PVC cijevima tip CS. Na pozicijama vertikalno uvlačili su se i položili u zaštitne PEHD cijevi otporne na UV zračenja i toplinu tipa KABUPLAST-F.

Svako sporno polaganje kabela (kroz fuge kamena, ukopavanje ispod kamenih blokova, šlicanje stijena živica i sl.) izvelo se uz prethodno odobrenje nadležnih osoba iz konzervatorskog odjela te uz stalno prisutan arheološki nadzor.

3. Održavanje električnih instalacija

Održavanjem električne instalacije kontroliraju se tehnička svojstva električne instalacije i ispunjavaju zahtjevi definirani Projektom i Tehničkim propisom za niskonaponske električne instalacije (N.N. 05/10).

Održavanje električne instalacije podrazumijeva:

- redovite preglede u vremenskim razmacima i na način određen projektom i pisanom izjavom izvođača,
- izvanredne preglede nakon izvanrednog događaja ili po zahtjevu inspekcije,
- izvođenje radova kojima se instalacija zadržava ili vraća u stanje određeno propisom u skladu s kojim je izvedena.

Učestalost redovitih pregleda u svrhu održavanja električne instalacije provode se:

- četiri godine za građevine javne namjene,
- četiri godine za električne instalacije za sigurnosne svrhe,
- petnaest godina za građevine odnosno dijelove građevina stambene namjene,
- četiri godine za sve ostale građevine odnosno njihove dijelove.

Način obavljanja redovitih pregleda električne instalacije određuje se projektom građevine, a uključuje najmanje:

- pregled u koji je uključeno utvrđivanje jesu li svi dijelovi električne instalacije u ispravnom stanju,
- mjerenje radi utvrđivanja je li električna instalacija u cjelini ispunjava zahtjeve određene projektom građevine što uključuje ispitivanje električne instalacije primjenom norme HRN HD 60364-6.

Izvanredni pregled električne instalacije provodi se nakon svake promjene i/ili nakon izvanrednog događaja koji može utjecati na tehnička svojstva električne instalacije te po zahtjevu iz inspeksijskog nadzora.

Zamjena dijelova električne instalacije provodi se

na način da se tim radovima ne utječe na zatečena tehnička svojstva građevine.

Dokumentaciju o pregledima te ugradnji dijelova električne instalacije kao i drugu dokumentaciju o održavanju električne instalacije dužan je trajno čuvati vlasnik građevine. Ispitivanje instalacija mogu vršiti isključivo ovlaštene pravne osobe.

4. Polaganje i montaža kabela

Obzirom na konstrukciju kabelski vodovi se polažu podzemno i nadzemno. Vodovi se mogu polagati u zemlju na dva načina, izravno i u kabelsku kanalizaciju. Pri polaganju kabela izravno u zemlju poduzima se više mjera zaštite, kao što su:

- pravilan izbor trase,
- propisana dubina ukopavanja,
- određena mehanička zaštita,
- elementi koji upozoravaju na postojanje kabela.

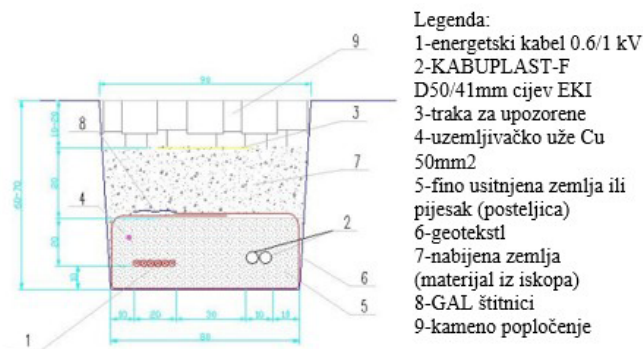
Prvo se obavlja trasiranje, a zatim se kopa rov pravocrtno, a na mjestima na kojima se predviđa izrada nastavaka rov se proširuje. Kako je nemoguće polagati kabele u pravcu, treba računati s 25 % većom duljinom kabela.

Pri izboru trase kabela različiti su zahtjevi u naseljenim mjestima i izvan njih. Za trasu u naseljenim mjestima propisana je minimalna horizontalna udaljenost od podzemnih postrojenja od 0,5 do 1,0 m. Za trasu izvan naseljenog mjesta propisane su različite minimalne horizontalne udaljenosti kabela:

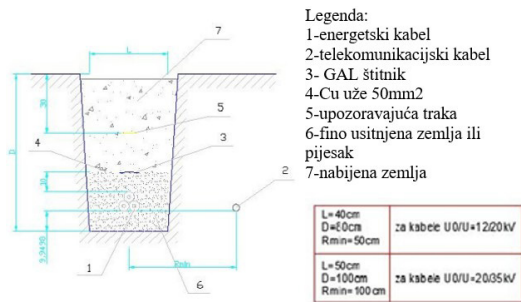
- od željezničkog nasipa ili autocesta 5 m,
- od živih ograda 3 m,
- od stabala 2 m.

Za polaganje kabela u naseljenim mjestima propisana je nazivna dubina ukopavanja 80 cm (70 - 90 cm), a izvan njih 90 cm (60 - 120 cm).

Kabel se polaže u rov na posteljicu od pijeska debljine najmanje 5 cm i zatim se zatrpa slojem pijeska debljine najmanje 15 cm. Pijesak služi kao zaštita od mehaničkih i kemijskih utjecaja. Rov u koji je položen kabel zatrpara se slojevima zemlje debljine 15-25 cm. U prostor između kabela i površine zemlje polažu se posebne mehaničke zaštite (opeke, ili posebni GAL štitnici od plastičnih masa). Ako se radi o jednom kabelu, mehanička zaštita se postavlja uzduž njega, a ako se radi o dva ili tri kabela, postavlja se poprijeko. Iznad mehaničke zaštite polaže se upozoravajuća vrpca s tekstom "POZOR ENERGETSKI KABEL". Ako je kabela više od tri, polažu se dvije upozoravajuće vrpce, s obje strane. Na slici 5 prikazani su standardni načini polaganja kabela u kamenu površinu, a na slici 6 polaganje kabela u zemlju.



Slika 5. Detalj polaganja kabela u kamenu površini
Figure 5 Detail of cable laying in stone surface [4]



Slika 6. Detalj polaganja kabela u zelenoj površini [4]
Figure 6 Detail of cable laying in the green area [4]

Na slici 7. prikazano je povlačenje energetskog kabela preko sprave za odmotavanje kabela koja se sastoji od dva nosača i osovine koja se smješta u sredinu bubnja kabela.



Slika 7. Povlačenje kabela preko nosača i osovine
Figure 7 Pulling the cable over the support and shaft

Na slici 8. prikazan je presjek energetskog kabela tipa NYRY 4x35 mm².



Slika 8. Presjek energetskog kabela tip NYRY 4x35 mm²
Figure 8 Section of power cable type NYRY 4x35 mm²

Kabel tip YSLY (slika 9) je signalni fleksibilni kabel koji se upotrebljava za nadzor i upravljanje mobilnih uređaja, u industriji, električnim postrojenjima ili uredima. Instalira se unutar suhih ili vlažnih prostorija, a vani samo uz zaštitu od ultraljubičastog zračenja.



Slika 9. Kabel tip „YSLY“ [5]
Figure 9 Cable type "YSLY" [5]

Od ormara javne rasvjete KROx-JR polažu se kabeli za rasvjetu (opću i svećanu). Kabel koji se najčešće koristi za vanjsko polaganje kabela javne rasvjete i ostale rasvjete je tip NYY 3x1,5 mm² (bakreni) prikazan je na slici 10. [10]

Polaganje kabela provodi se u skladu s propisanim pravilima i normama.



Slika 10. Polaganje kabela tip NYY 3x1,5 mm²
Figure 10 Laying of cables type NYY 3x1.5 mm²

5. Proračuni energetske instalacije

Zbog opterećenja energetskog sustava na Tvrđavi Klis potrebno je procijeniti i proračunati potrošnju električne energije, ali i zadovoljiti zahtjeve postavljanja instalacije i zaštite u skladu sa strukom i potrebnim normama.

5.1. Vršna opterećenja instalacije

Priključna vršna snaga potrošača procijenjena je na 113,16 kW. Prikaz procijene dan je u tablici 1. Budući da je napajanje realizirano kabelom tipa NAYBY-O 4x120 mm², a nazivna vršna struja iznosi 172 A vidljivo je da kabel zadovoljava predviđeno vršno opterećenje.

Zbog potencijalno velike udaljenosti postojeće priključne točke od pripadne postojeće TS, a time i graničnih padova napona, preporuča se zamjena postojećeg glavnog priključnog kabela s kabelom većeg presjeka tipa (NA2XY-O, 4x185 mm²) od pozicije novoplanirane TS direktno do KRO2351 na samoj tvrđavi. Ova preporuka je temeljena na činjenici da je većina planiranih potrošača, na tvrđavi, rasvjetna tijela te se nastoji održati što manje padove napona na pripadnim dovodnim kabelima.

Tablica 1. Procjena potrošnje snage u građevini [4]
Table 1 Estimation of power consumption in buildings [4]

	P vršno opterećenje [kW]	faktor snage	P ukupno opterećenje [kW]
Javna rasvjeta	22,08	1	22,08
R-res	27,60	1	27,60
R-muz	11,04	1	11,04
R-caffe	11,04	1	11,04
R-prov	13,80	1	13,80
Zajednička potrošnja	27,60	1	27,60
UKUPNO			113,16

Daljnijim proračunima tablično će se pokazati granične vrijednosti padova napona za kritične strujne krugove rasvjete prema postojećem priključku.

5.2. Dimenzioniranje kabela prema nazivnom opterećenju

Presjek i tip izoliranih vodiča i kabela određuje se prema trajno dopuštenoj struji kabela (N.B2.752), odnosno uvjet vrijedi da je trajno dopuštena struja kabela veća od nazivne struje potrošača. U tablici 2. prikazan je proračun kabela s obzirom na zagrijavanje vodiča. Iz tablice je vidljivo da su trajno dopuštene struje kabela veće od nazivnog trajnog opterećenja potrošača, te možemo zaključiti da izbor presjeka kabela zadovoljava u smislu članka 2.2.2. standarda N.B2.752.

5.3. Dimenzioniranje kabela prema padu napona

Dopušteni pad napona definira se prema članku 20. Pravilnika o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona (Službeni list» broj 53/88, «narodne novine» broj 5/02 - Pravilnik o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona). Prema tome, za strujni krug rasvjete odstupanje iznosi 3%, za strujni krug ostalih trošila 5% ako se električna instalacija napaja iz niskonaponske mreže. Odstupanje za strujni krug rasvjete iznosi 5%, a za strujni krug ostalih trošila 8% ako se električna instalacija napaja neposredno iz transformatorske stanice koja je priključena na visoki napon. Za električnu instalaciju čija je duljina veća od 100 m dopušteni pad napona povećava se za 0,005% po dužinskom metru iznad 100m, ali ne preko 0,5%. Pad napona računamo prema izrazu:

$$\Delta u = \frac{100 \cdot \sum P \cdot l}{\chi \cdot S \cdot U^2} [\%] \quad (1)$$

gdje su:

Δu - pad napona u %,

$\sum P \cdot l$ - suma momenata opterećenja [Wm],

S - presjek vodiča [mm²],

χ - električna vodljivost (56 S/m za Cu, 37 S/m za Al),

U - nazivni napon [V].

U tablici 3. prikazan je proračun kabela s obzirom na dozvoljeni pad napona za potrebe postavljanja instalacije na Tvrdavi Klis. Prema tablici, dobivene vrijednosti padova napona manji su od dopuštenih. Zaključuje se da izbor presjeka kabela zadovoljava Pravilnik o dozvoljenom padu napona u električnoj instalaciji.

5.4. Proračun zaštite od preopterećenja i struje kratkog spoja

Uređaj za nadstrujnu zaštitu postavlja se na mjestima gdje se smanjuje dozvoljena struja kratkog spoja. Odabrani zaštitni uređaji (automatski i rastalni osigurači) prekidaju struje preopterećenja prije nego što ona uzrokuje povišenje temperature. Izbor opreme odgovara zahtjevima Standarda tako da su radne karakteristike uređaja za zaštitu od preopterećenja odabrane prema nominalnom opterećenju strujnog kruga i dozvoljenom opterećenju kabela:

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad & I_b < I_n < I_z \\ \text{b)} \quad & I_2 < 1,45 I_z; I_2 = k I_n \end{aligned}$$

gdje su:

I_b - nazivna struja trošila,

I_z - trajno podnosiva struja kabela,

I_n - nazivna struja zaštitnog uređaja,

I_2 - struja koja izaziva pouzdano djelovanje zaštitnog uređaja,

k - koeficijent definiran ovisno o nazivnoj struji.

U tablici 4. prikazan je proračun zaštite od preopterećenja karakterističnih krugova. Iz tablice je vidljivo da izabrani zaštitni uređaji i kabeli za karakteristične krugove zadovoljavaju navedena dva uvjeta, te zaključujemo da je izbor zaštitnih uređaja i presjeka kabela zadovoljava i prema zahtjevima HRN standarda [N.B2.743 – HRN standard u pravilniku o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona (SL br. 53/88) za zaštitu od preopterećenja.

Za proračun zaštite od kratkog spoja, za kratke spojeve koji traju do pet sekundi, vrijeme unutar kojeg vodiči dosežu dopuštenu temperaturnu granicu, računa se prema izrazu:

$$\sqrt{t} = k \cdot \frac{S}{I_{ks}} [s] \quad (2)$$

gdje su:

t - vrijeme unutar kojeg odabrani zaštitni uređaj treba isključiti,

S - presjek vodiča [mm²],

I_{ks} - efektivna vrijednost stvarne struje kratkog spoja [A],

k - koeficijent ovisan o vrsti vodiča.

Koeficijent k nije definiran za: vodiče presjeka manjeg od 10 mm², kratke spojeve dulje od pet sekundi, druge vrste spojeva vodiča, gole vodiče, te vodiče sa mineralnom izolacijom. U tablici 5. prikazano je vrijeme prorade zaštitnih uređaja karakterističnih krugova.

Tablica 2. Proračun kabela s obzirom na zagrijavanje vodiča [4]
 Table 2 Cable calculation with regard to conductor heating [4]

Dionice kabela	P [kW]	I_{naz} [A]	l [m]	Y [S/m]	S [mm ²]	I_{kab} [A]	F_g	F_t	I_{dop} [A]
KRO2351 – GRMO	113,16	163,53	10	37	1 x 120	245	1	1	245
GRMO – KRO7-JR	1,4	2,02	310	56	1 x 16	101	1	1	101
KRO7-JR – str. kr. 001	0,3	1,3	75	56	1 x 2,5	36	0,7	1	25,2
GRMO – KRO1 – JR	3,04	4,39	70	56	1 x 6	58	0,7	1	40,6
KRO1-JR – str. kr. AS1	1,87	2,7	365	37	1 x 25	102	1	1	102

P - nazivna snaga trošila; I_{naz} - nazivna struja trošila; S - presjek kabela; I_{kab} - nazivna trajno dopuštena struja kabela; F_g - korekcijski faktor zbog grupnog polaganja; F_t - korekcijski faktor zbog temperature okoline; I_{dop} - stvarno dozvoljeno strujno opterećenje kabela

 Tablica 3. Proračun kabela s obzirom na dozvoljeni pad napona za karakteristične krugove [4]
 Table 3 Cable calculation with regard to the permitted voltage drop for characteristic circuits [4]

Dionice kabela	P [kW]	l [m]	Y [S/m]	S [mm ²]	U [V]	dU[%]	dU _{uk} [%]	dU _{doz} [%]
KRO2351 – GRMO	113,16	10	37	1 x 120	400	0,16	1,96	5
GRMO – KRO7-JR	1,4	310	56	1 x 16	400	0,3	2,26	5
KRO7-JR – str. kr. 001	0,3	75	56	1 x 2,5	230	0,61	2,87	3
GRMO – KRO1 – JR	3,04	70	56	1 x 6	400	0,4	2,36	5
KRO1-JR – str. kr. AS1	1,87	365	37	1 x 25	400	0,46	2,82	3

 Tablica 4. Proračun zaštite od preopterećenja karakterističnih krugova [4]
 Table 4 Calculation of overload protection of characteristic circuits [4]

Dionice kabela	P [kW]	I_b [A]	I_n [A]	I_z [A]	k	I_2 [A]	$I_b < I_n < I_z$	$I_2 < 1,45 I_z$
KRO2351 – GRMO	113,16	163,53	200	245	1,6	320	da	da
GRMO – KRO7-JR	1,4	2,02	63	101	1,6	100,8	da	da
KRO7-JR – str. kr. 001	0,3	1,3	16	36	1,75	28	da	da
GRMO – KRO1 – JR	3,04	4,39	35	58	1,6	56	da	da
KRO1-JR – str. kr. AS1	1,87	2,7	63	102	1,6	100,8	da	da

 Tablica 5. Vrijeme prorade zaštitnih uređaja karakterističnih krugova [4]
 Table 5 Operating time of protective devices of characteristic circuits [4]

Dionice kabela	R_{top} [Ω]	P [kW]	l [m]	$I_{n(omag)}$ [A]	S [mm ²]	dR [Ω]	dR _{uk} [Ω]	I_{ks} [A]	t [s]
KRO2351 – GRMO	0,3	113,16	10	200	1 x 120	0,01	0,31	2016,13	trenutno
GRMO – KRO7-JR	0,31	1,4	310	63	1 x 16	1,39	1,7	367,65	trenutno
KRO7-JR – str. kr. 001	1,7	0,3	75	16	1 x 2,5	1,91	3,61	173,13	trenutno
GRMO – KRO1 – JR	0,31	3,04	70	35	1 x 6	0,78	1,09	573,39	trenutno
KRO1-JR – str. kr. AS1	1,09	1,87	365	63	1 x 25	1,91	3,0	208,33	trenutno

6. Upravljanje rasvjetom

Izbor rasvjete (opća, akcentna) vrši se preko grebenastih sklopki na vratima GRMO. Putem izborne preklopke omogućen je izbor upravljanja rasvjetom ovisno o željama korisnika. Određeni tipovi rasvjete aktiviraju se ovisno o položajima grebenastih sklopki za pojedini tip, odnosno deaktiviraju se automatski u vremenskim periodima definiranim od strane korisnika. Upravljanje rasvjetom omogućeno je Local Operation Network – LonWorks, LON protokolom. U svakom „KRO-JR“ ormaru predviđen je digitalni LON izlazni modul kojim se ovisno o primljenom signalu uključuju tj. isključuju određene grupe svjetiljki.

U GRMO ugrađen LON programibilni ulazni modul i glavni procesorski modul. Modul „TAC Xenta 421A“ je univerzalni modul i prikazan je na slici 11., a u tablici 6 opisani su termalni spojevi na modulu „TAC Xenta 421A“.



Slika 11. Modul „TAC Xenta 421A“ [6]
Figure 11 "TAC Xenta 421A" module [6]

Tablica 6. Termalni spojevi na modulu „TAC Xenta 421A“
Table 6 Thermal connections on the "TAC Xenta 421A" module

broj spoja	naziv spoja	opis
1	G	24 V AC (DC+)
2	G0	Uzemljivač (zemlja)
3	C1	LonWorks TP/FT-10
4	C2	LonWorks TP/FT-10
5	U1	Univerzalni ulaz
6	M	Mjerni neutralni vodič
7	U2	Univerzalni ulaz
8	U3	Univerzalni ulaz
9	M	Mjerni neutralni vodič
10	U4	Univerzalni ulaz
11	K1	Relay 1
12	K1C	*
13	K2	Relay 2
14	K2C	*
15	K3	Relay 3
16	K3C	*
17	K4	Relay 4
18	K4C	*
19	K5	Relay 5
20	K5C	*

Primjer upravljanja preko grebenastih sklopki na GRMO prikazan je na slici 12. Jedna je sklopka glavna za upravljanje rasvjetom. Može se postaviti u tri položaja (1-0-2). U položaj 1 ručno se uklapaju pojedine grupe rasvjete, u položaju 2 automatski se pale pojedine grupe rasvjete rade prema programiranom načinu, a u položaju 0 sva rasvjeta je isključena. Ostalim sklopkama upravlja se pojedinačnom rasvjetom. Prva u nizu koristi se za upravljanje općom nužnom rasvjetom, kojom u automatskom režimu upravlja samo luxomat (radit će cijelu noć). Sklopkom za upravljanje općom ostalom rasvjetom u automatskom režimu upravlja luxomat i timer (raditi po noći do vremena kada je postavljen timer). Sklopkom za akcentnu nužnu rasvjetu u automatskom režimu samo luxomat upravlja rasvjetom (radit će cijelu noć). Akcentna svečana rasvjeta pali se ručno sklopkom bez obzira na stanje glavne sklopke S0, luxomata timera. Zadnja u nizu je sklopka akcentnu ostalu

rasvjetu kojom u automatskom režimu luxomat i timer upravljaju rasvjetom (raditi po noći do vremena kada je postavljen timer). [7]



Slika 12. Upravljanje preko grebenastih sklopki na GRMO
Figure 12 Control via cam switches on GRMO

6.1. Opća rasvjeta

Opća rasvjeta obuhvaća osvijetljenje komunikacijskih koridora unutar i izvan tvrđave. Može se podijeliti na nužnu i ostalu. Nužna rasvjeta postavlja se za osvijetljenje glavnog pristupnog puta i komunikacijskih površina unutar tvrđave koji moraju biti osvijetljeni tijekom noći zbog sigurnosnih razloga. Ostala rasvjeta obuhvaća osvijetljenje komunikacijskih koridora koji su aktivni tijekom radnog vremena Tvrđave, u vrijeme posjeta i/ili za djelatnike.

Tehničke karakteristike opće rasvjete su:

- temperatura boje svjetlosti – (4000 – 6000) °K,
- antikorozivno kućište od lijevanog aluminija,
- zaštita od vlage i prašine IP66/67,
- mehanička zaštita IK09/10.

Ovim tipom rasvjete, osim nesmetanog i sigurnog kretanja po Tvrđavi i oko nje (pristupni put) ističe se volumen građevine, a posebice slojevitost unutrašnjih nivoa.

6.2. Akcentna rasvjeta

Akcentnom rasvjetom osvijetljene su zidina tvrđave (unutarnje i vanjske strane), zidine istaknutih objekata (kula Oprah, crkva Sv. Vida, bočni toranj), te površine unutar tvrđave na kojima je istaknuta slojevitost terena.

Akcentnu rasvjetu dijelimo na svečanu, nužnu i ostalu. Akcentna svečana rasvjeta obuhvaća osvijetljenje zidina tvrđave s vanjske i unutrašnje strane s osvijetljenjem istaknutih objekata unutar tvrđave, dok akcentna nužna rasvjeta obuhvaća osvijetljenje određenih objekata tijekom noći da se istakne vizualni dojam tvrđave. Akcentna ostala rasvjeta obuhvaća rasvjetu tijekom radnog vremena za posjetioce u večernjim satima.

Za realizaciju akcentne rasvjete postavljene su reflektorske LED svjetiljke, kojima je temperatura boje svjetlosti 3100 °K, za osvijetljenje vanjske i unutrašnje strane obrambenih zidina. Svjetiljke temperature

4200°K postavljene su za osvjetljenje zidina istaknutih objekata (kula Oprah, crkva Sv. Vida, bočni toranj i sl.). Na mjestima gdje je potrebno istaknuti važnost određene hortikulture ugrađene su reflektorske svjetiljke s neutral bijelom temperaturom boje 4000 °K s indeksom boje CRI>80. U manjim količinama za akcentnu rasvjetu ugrađene su podne „wall-wash“ svjetiljke s LED izvorima svjetlosti, temperature boje 3100 °K (unutarnja strana obrambenog zida od kule Oprah prema istoku).

Za osvjetljenje vanjske strane zidina na sjevernoj strani tvrđave koriste se reflektorske svjetiljke a LED izvorima 3100/4200°K, s posebnom optikom za ograničavanje blještanja i usmjeravanje snopa svjetlosti ka zidinama. Montirane su na nosačima i stupovima visina 7 m i 10 m. Za ostale zidine tvrđave i njenih objekata svjetiljke akcentne rasvjete montirane su ovisno o konfiguraciji terena, na odgovarajućim nosačima direktno za zid, na podu učvršćene za betonski temelj.

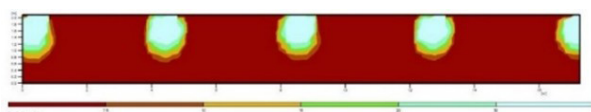
6.3. Proračun rasvjete

Proračun rasvjete izvršen je upotrebom programskog paketa Relux 2009 Professional, a prema HRN.N.C9.100 za vanjsko umjetno osvjetljenje.

Prema navedenoj normi projektirani su sljedeći nivoi osvjetljenosti:

- za opću rasvjetu (prilazni putevi, staze) iznosi 5 lux,
- za akcentnu rasvjetu (zidine, tornjevi, pročelja objekata i sl.) nivo osvjetljenosti definiran je isključivo prema iskustvima, te vizualnom dojmu (subjektivno je u smislu da može varirati ovisno o konačnim željama Investitora i ostalih službi).

Izlazni podaci s grafičkim proračunima za karakteristične pozicije prikazani su skicama (od slike 13. do slike 17.) u skladu s navedenim zahtjevima. Pješačka staza na slici 13. prikazuje prostor modeliran s 11 LED rasvjetnih stupića, visine 800 mm s LED izvorom 141 lm, 6000 °K. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 7.

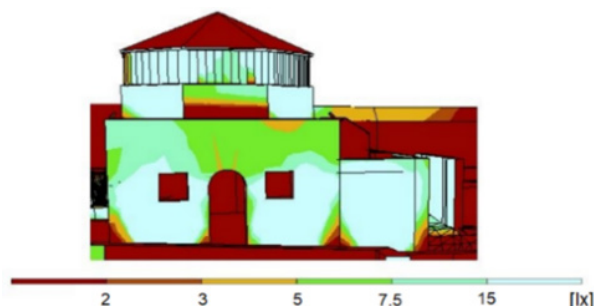


Slika 13. Pješačka staza Tvrđave Klis [4]
Figure 13 Walking path of Klis Fortress [4]

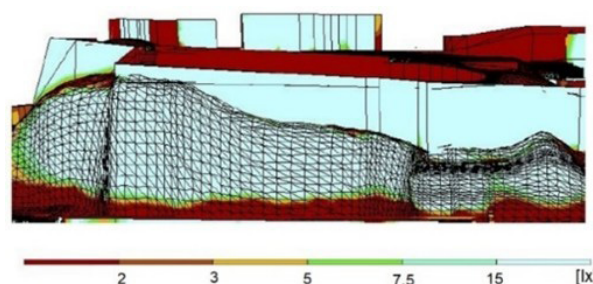
Tablica 7. Rasvjetljenost LED rasvjete [4]
Table 7 Brightness of LED lighting [4]

Srednja rasvjetljenost	E_{sr}	13 lx
Minimalna rasvjetljenost	E_{min}	0 lx
Maksimalna rasvjetljenost	E_{max}	429 lx
Jednolikost U_o	E_{min}/E_m	1:184 (0.01)
Jednolikost U_d	E_{min}/E_{max}	1:6070 (0)

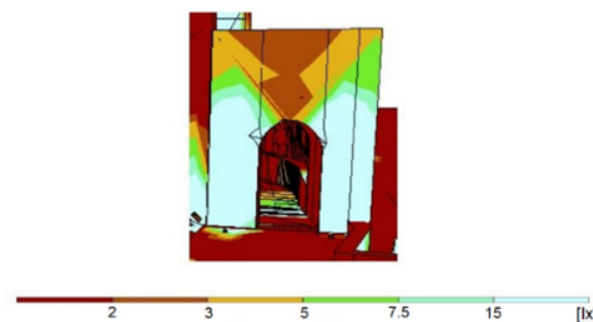
Iz priložene tablice vidljivo je da se postiže viši nivo srednje rasvjetljenosti nego što je zahtijevano od strane svjetlotehničkih normi (5 lx). Slike 14, 15, 16 i 17 prikazuju postupak određivanja nivoa osvjetljenosti za akcentnu rasvjetu zidina prema Projektu.



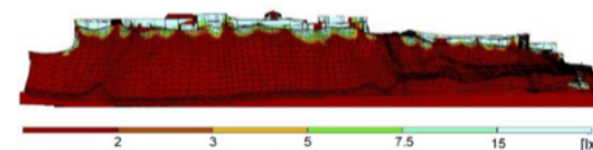
Slika 14. Južno pročelje crkve Sv. Vida [4]
Figure 14 South facade of the church of St. Vida [4]



Slika 15. Pogled na unutarnje zidine Tvrđave Klis [4]
Figure 15 View of the inner walls of Klis Fortress [4]



Slika 16. Glavni ulaz (1. ulaz) Tvrđave Klis [4]
Figure 16 Main entrance (1st entrance) of Klis Fortress [4]



Slika 17. Pogled na vanjske zidine Tvrđave Klis, sa sjeverne strane [4]
Picture 17 View of the outer walls of the Klis Fortress, from the north side [4]

Zaključuje se, za akcentnu rasvjetu zidina nivo srednje rasvijetljenosti postiže se kod osvjetljenosti većoj od deset luxa, što je unutar granica prihvaćenog standarda za taj tip umjetnog vanjskog osvjetljenja (0-30 lx).

Na slici 18. prikazan je dobiveni efekt opće rasvjete instalirane na Tvrđavi Klis. Na slici 19. prikazan je i efekt dobivene akcentne nužne rasvjete na crkvi Sv. Vida.



Slika 18. Opća rasvjeta na Tvrđavi Klis
Figure 18 General lighting at Klis Fortress



Slika 19. Akcentna rasvjeta na Tvrđavi Klis
Figure 19 Accent lighting at Klis Fortress

7. Zaključak

Prilikom polaganja kabela treba voditi računa da se ne promjene njegove nazivne osobine. Polaganje kabela provodi se u skladu s propisanim pravilima i normama.

Elektroenergetski sustav podijeljen je na tri dijela: niskonaponski (NN), srednjenaponski (SN) i visokonaponski (VN). Na isti način dijele se i kabele. U svakoj skupini postoji više vrsta kabela koji se razlikuju po fizikalnoj strukturi, električnim i magnetskim parametrima te mehaničkim svojstvima. Pri izboru kabela treba se pridržavati tvorničkih postavki, kao npr.: mjesto, način i dubina polaganja, vrsta tla i sl. Sukladno zakonima, propisima i normama u točno definiranim vremenskim intervalima treba vršiti održavanja i ispitivanja. Projekt postavljanja instalacije javne rasvjete na Tvrđavi Klis specifičan je i zahtjevan glede elektrotehničkog i građevinskog

pristupa. Odgovornost izvođenja projekta usmjerena je prema spoju kabela, spojnice, cijevi, opreme i sl., jer pravilno spojena oprema temelj je sigurnosti isporuke električne energije. Nadalje, cilj je zaštititi instalaciju od prodora vlage, korozije, itd.

Bitno je spomenuti veće ostvarivanja učinkovitosti i smanjenje zagađenja prelaskom na noviju LED rasvjetu.

Nadzor na instalaciji na Tvrđavi Klis (rad, kvarovi i os.), u bilo kojem vremenu, moguće je pratiti preko software-a, povezivanjem preko modula „TAC Xenta 421A/422A“.

Literatura

[1] Firić, V., (1996.), Tvrđava Klis, Hrvatsko društvo Trpimir, Klis

[2] http://www.kliskiuskoci.hr/arhitektura_tvrdave.html, pristupljeno 13.07. 2020.

[3] <https://www.klis.hr/>, pristupljeno 10.01.2023.

[4] Projekt niskonaponskih i elektroničko komunikacijskih instalacija i instalacija javne rasvjete, Elektro projekti i sustavi, Split, 2015.

[5] Elka katalog: Energetski i signalni kabele za napone do 1 kV, pristupljeno 24.02.2023.

[6] <http://www.tim-kabel.hr/>, pristupljeno 11.08. 2020.

[7] http://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Javne_rasprave/prijedlog_mreznih_pravila/prijedlog_Mrezn_pravila_distribucijskog_sustava.pdf, posjećeno 27.02.2023.