HRVATSKI OGRANAK MEĐUNARODNE ELEKTRODISTRIBUCIJSKE KONFERENCIJE - HO CIRED 9. (15.) savjetovanje

Šibenik, 25. - 27. svibnja 2025.

SO1 - 109



Siniša Vučinić, mag.ing.el HEP ODS, Elektroprimorje Rijeka sinisa.vucinic@hep.hr dr.sc. Deni Ćetković, mag.ing.el HEP ODS, Elektroprimorje Rijeka deni.cetkovic@hep.hr

Petar Dragić Power Path petar.dragic@power-path.com

PRIMJENA ALATA POWER PATH ZA ANALIZU I OPTIMIZACIJU UZDUŽNIH PROFILA DALEKOVODA

SAŽETAK

Digitalizacija elektroenergetskog sektora sve više podupire korištenje specijaliziranih softverskih alata za optimizaciju i planiranje infrastrukture. U ovom radu istražuje se primjena alata za izradu uzdužnih profila i 3d modela dalekovoda, koji omogućuju preciznu analizu visinskih profila terena i zahtjeva prema važećim pravilnicima. Rad se bazira na rekonstrukciji postojećih 20 kV dalekovoda. Također su analizirani izazovi poput prilagodbe konfiguracije stupova i osiguranja adekvatne nosivosti u skladu s važećim normama. Prikazani rezultati i studije slučaja naglašavaju potencijal ovog alata u poboljšanju projektantskih procesa i optimizaciji investicija u elektroenergetsku infrastrukturu

Ključne riječi: dalekovod, uzdužni profil dalekovoda, sigurnosne visine, računalni alati, CAD, 3d model, BIM

APPLICATION OF THE POWER PATH TOOL FOR THE ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF OVERHEAD LINE LONGITUDINAL PROFILES

SUMMARY

The digitalization of the energy sector increasingly supports the use of specialized software tools for the optimization and planning of infrastructure. This paper explores the application of tools for creating longitudinal profiles and 3D models of overhead power lines, which enable precise analysis of terrain elevation profiles and compliance with current regulations. The paper focuses on the reconstruction of existing 20 kV power lines. Challenges such as adapting the configuration of poles and ensuring adequate load-bearing capacity in accordance with applicable standards are also analyzed. The presented results and case studies highlight the potential of this tool in improving design processes and optimizing investments in energy infrastructure.

Key words: Overhead Power Line, Longitudinal Profile, safety height, Computer Programs, CAD, 3d model, BIM

1. UVOD

Digitalizacija u elektroenergetskom sektoru sve više mijenja način na koji se pristupa projektiranju, analizi i optimizaciji infrastrukture. Korištenje specijaliziranih softverskih alata omogućava precizniju i učinkovitiju procjenu tehničkih i ekonomskih aspekata različitih projekata.

U ovom radu fokus je stavljen na praktičnu primjenu *Power Path* računalnog programa za izradu uzdužnih profila dalekovoda. Na primjeru izrade profila postojećeg dalekovoda, istražene su mogućnosti programa u simulaciji terena, analizi sigurnosnih parametara i prilagodbi dalekovoda specifičnim uvjetima lokacije.

Metodološki pristup u radu obuhvaća detaljno istraživanje funkcionalnosti Power Path alata i sličnih računalnih alata, uključujući unos i obradu geodetskih podataka, definiranje vremenskih uvjeta, konfiguraciju vodiča i stupova te izradu uzdužnih profila i montažnih tablica. Program omogućuje unos preciznih geodetskih podataka i njihovu integraciju s digitalnim snimkama terena, čime se postiže visoka razina vizualizacije i analitičke preciznosti.

Kroz analizu rezultata jasno je vidljivo kako ovakvi računalni programski alati omogućuju projektantima da ubrzaju procese projektiranja, smanje mogućnosti pogrešaka i optimiziraju troškove izgradnje i rekonstrukcije dalekovoda. Također, ovakvi napredni softverski alati omogućuju prijelaz na 3D modeliranje, pružajući realističniji prikaz infrastrukture u prostoru i olakšavajući analizu odnosa s drugim objektima. Osim toga, generirani 3D modeli mogu se koristiti kao BIM podaci, čime se otvara mogućnost za njihovu daljnju primjenu u fazama izgradnje, održavanja i upravljanja infrastrukturom.

Ovakvi napredni računalni alati poboljšavaju tehničke aspekte projektiranja dalekovoda. Ovaj rad služi kao primjer kako implementacija suvremenih alata u projektiranju može olakšati svakodnevni rad projektanta nadzemnih vodova, a istovremeno smanjuju mogućnost pogreške prilikom istog.



Slika 1. Korisničko sučelje

2. UZDUŽNI PROFILI DALEKOVODA I MONTAŽNE TABLICE

2.1. Općenito uzdužni profil

Uzdužni profil dalekovoda predstavlja grafički prikaz reljefa terena kroz koji prolazi dalekovod, uključujući položaj stupova, razmake između njih, visinske razlike, te naprezanja i visine vodiča u odnosu na teren. Ovaj profil pruža pregled terenskih prilika i ključan je za optimizaciju projektiranja dalekovoda.



Slika 2. Primjer uzdužnog profila

Svrha izrade uzdužnog profila dalekovoda prvenstveno prilikom projektiranja rezultira na sigurnosti, efikasnosti i pouzdanosti elektroenergetskog voda kao cjeline u pogonu.

Ukratko, ciljevi i svrha izrade uzdužnog profila dalekovoda:

- Optimalno planiranje trase i rasporeda stupova u trasi voda zajedno sa potrebnim visinama stupova
- Identifikacija problematičnih točaka na trasi odmah u fazi projektiranja te rješavanje problema
- Usklađenje sa važećim pravilnicima za nadzemne vodove s naglaskom na sigurnosne visine i udaljenosti
- Izrada montažnih tablica za izgradnju voda te ostalih potrebnih podloga _
- Definiranje točnih potrebnih količina materijala

Uzdužni profil omogućava precizno planiranje trase dalekovoda uz analizu postojećeg terena, osigurava optimalan raspored stupova na trasi te istovremeno smanjenje troškova izgradnje i kasnijeg održavanja.

Ovaj proces pruža uvid u kritične točke na trasi, kao što su prelazi preko rijeka, cesta ili nepristupačnog terena, zidova, približavanja stambenim objektima i sl. Time se omogućava pravovremeno donošenje odluka i prilagođavanje projekta specifičnim točkama duž trase voda.

Uz sve, uzdužni profil osigurava da će projektirani vod biti izrađen u skladu s tehničkim standardima i regulativama, štiteći ljude, imovinu i okoliš i sam vod kroz cijeli njegov životni vijek.

Kroz jasno prikazane tehničke parametre, olakšava se komunikacija među svim sudionicima projekta, čime se doprinosi sigurnosti, ekonomičnosti i dugoročnoj stabilnosti dalekovoda.

2.2. Općenito montažna tablica

Montažna tablica predstavlja ključni tehnički dokument koji se koristi tokom projektiranja, izgradnje i analize dalekovoda. Glavna svrha montažne tablice je pružanje detaljnih podataka o mehaničkim i geometrijskim karakteristikama vodiča, stupova i raspona, sila na vodičima te nastalim provjesima vodiča na vodu. Ključan je dokument za izgradnju voda, to jest za razvlačenje vodiča na dalekovod.

Ovaj dokument ukratko sadrži i sve informacije o vodiču, uključujući njegovu konstrukciju, materijal, presjek, specifičnu težinu, elastični modul i faktore koji utiču na njegov rad, poput temperaturnih promjena i opterećenja uzrokovanih ledom i vjetrom. To su podaci koji zapravo i tvore ekvivalentni digitalni model vodiča, a ključni su za određivanje naprezanja i provjesa vodiča.

Montažna tablica također prikazuje podatke o rasponima između stupova, uključujući dužinu svakog raspona, idealne i kritične raspone, te maksimalne provjese pri različitim opterećenjima i temperaturama. Prema pravilniku [2], prikazano je ponašanje vodiča na temepraturama -20°C do +40°C, uz dodatno stanje -5°C sa dodatnim opterećenjem. Određuje se kritična temperatura, to jest stanje, sa najvećim provjesom i najvećim naprezanjem na vodič koje je ključno za zadovoljavanje sigurnosnih visina vodiča nad tlom i objektima i za osiguranje sigurnog rada vodiča u svim uvjetima (da ne postoji slučaj gdje naprezanja vodiča prelaze prekidnu moć vodiča).

Sa strane izgradnje, to jest razvlačenja vodiča na stupove, montažna tablica predstavlja najbitniji dio projekta koji će osigurati da se vodič, kroz svoj životni vijek, ponaša po projektiranom stanju, osiguravajući siguran rad voda (na ljude i okolinu) te da se spriječe svi mogući predvidivi tehnički problemi na vodu.

Temperatura [°C]	-20	-10	0	10	20	30	40	-5 + Opterećenje leda
L3 Ugibi [m]	0.178	0.210	0.255	0.316	0.398	0.498	0.609	0.663
Napetosti [daN]	8.768	7.424	6.136	4.949	3.930	3.135	2.567	9.500

Tablica 1. Primjer jednog raspona iz montažne tablice:

Prilikom razvlačenja vodiča, vodič se razvlači prema danim vrijednostima u montažnim tablicama, točnije ili provjesu ili sili naprezanja (prikazano u Tablici 1 iznad). Ovisno o temperaturi okoline u doba kada se razvlači vodič, razvučeni vodič se nateže ili na izračunati provjes ili na izračunato naprezanje vodiča. Ukoliko se ovo pravilno izvede, vodič će se u svim ostalim vremenskim uvjetima (koja su uzeta u obzir prilikom projektiranja, isključujući ekstremne uvjete) ponašati u skladu sa izračunatim vrijednostima i na taj način osigurati da ostane u granicama izračunatih naprezanja i provjesa, to jest sigurnosnih visina.

3. POWERPATH RAČUNALNI PROGRAM – PRIMJENA

3.1. Općenito o programu

Power Path je specijalizirani softverski alat razvijen za projektiranje i analizu nadzemnih vodova, s naglaskom na optimizaciju tehničkih i ekonomskih aspekata trase. Ovaj program pruža sveobuhvatnu podršku inženjerima u svim fazama projekta, od početne ideje i odabira trase, preko detaljnog projektiranja uzdužnih profila, do procjene troškova i validacije prema važećim propisima.

Glavna funkcionalnost predmetnog računalnog alata leži u njegovoj sposobnosti da automatizira proces kreiranja uzdužnih profila dalekovoda, a način da je pristupačan i jednostavan za krajnjeg korisnika. Kroz unos podataka o terenu, položaju stupova, tehničkim karakteristikama vodiča te klimatskim uvjetima, program generira detaljne grafičke i računalne modele koji omogućavaju korisnicima da vizualiziraju ključne parametre trase. Horizontalna os prikazuje udaljenost između točaka trase (stacionaže), dok vertikalna os sadrži informacije o nadmorskim visinama terena, visinama stupova i razmaku vodiča od tla i objekata ispod vodiča. Omogućava preciznu analizu sila naprezanja na vodič i provjesa vodiča, čime osigurava da projektirani dalekovod ispunjava sve tehničke i zakonske zahtjeve.

Ključna mogućnost alata je kompatibilnost s geodetskim i GIS formatima podataka, što omogućava jednostavan uvoz digitalnih modela terena i njihovo brzo procesuiranje u stanju dobivenim od geodeta. Korisnici mogu simulirati različite scenarije, poput promjena u konfiguraciji stupova ili terenu, kako bi pronašli optimalna rješenja.

Power Path je dizajniran s intuitivnim korisničkim okruženjem, omogućavajući brzo učenje korištenja alata jer je razvijen na bazi klasičnih CAD software-a poput AutoCAD-a, BrigsCAD-a, ZWCAD-a i sličnih. Kroz interaktivne grafove i alate za analizu, program pruža detaljan uvid u sve ključne aspekte projekta. Unosom različitih modela stupova i vodiča omogućava primjenu i na niskonaponskim zračnim mrežama i na srednjenaponskim/visokonaponskim vodovima.

3.1. Modeliranje profila

Ovim radom pokušati će se objasniti neki klasični pristup izradi računalnog modela dalekovoda u načelnih šest koraka ispod.

Šest načelnih koraka izrade računalnog modela dalekovoda:

- 1. Unos modela terena i DOF podloge
- 2. Definiranje općih podataka i uvjeta na dalekovodu
- 3. Unos trase dalekovoda
- 4. Definiranje izolacije, vodiča te završna kontrola podataka dalekovoda
- 5. Izrada uzdužnog profila dalekovoda
- 6. Izrada završnih izvještaja

3.1.1 Unos modela terena i DOF podloge

Početna točka svakog računalnog modela dalekovoda predstavlja unos modela postojećeg terena i pripadajuće DOF podloge ili HOK podloge.

Potrebno je pripremiti podatke terena za unos u računalni program na način da sadrže koordinate točaka (x i y) te visinsku kotu točke terena (z) te po potrebi redni broj točke. Točke unosimo u predmetnom obliku u formatu .*txt* ili .*csv* datoteke. Separator vrijednosti može biti točka, zarez, razmak ili u prikazanom slučaju na slici ispod *Tab*. Koordinatni sustav koji se standardno koristi kod nas je HTRS/TM 96 sustav.

<u> </u>	Stupovi 1-5.txt - Notepad									
File	Edit	Format	View	Help						
1		336706	.0784		5030153.7688	492.9100				
2		336518	.3256		5030017.1974	465.8470				
3		336706	. 3297		5030152.6345	492.6900				
4		336704	.9325		5030153.4232	492.8100				
5		336519	.9432		5030018.2184	466.2900				
6		336532	. 2775		5030026.0601	469.3300				
7		336519	.3527		5030015.8272	466.0000				
8		336520	.7705		5030016.8587	466.1180				
9		336669	6179		5030126 2/25	193 8890				
Slik	(a 3.	. Form	at ko	ordi	nata terena za	unos				

Naredba za unos terena u predmetni programski alat je *Create Surface from File*. Po odabiru datoteke, program automatski interpretira visine, slojnice te ih iscrtava u modelu. Potrebno je napomenuti da upravo zbog iscrtavanja kontura terena, potrebno je snimiti jedan poligon određene širine (koridor dalekovoda na primjer) da se dobije što točniji izgled terena.

Nakon unosa terena u program i kreiranje površine (*TIN Surface*) postoji opcija *Assign image* koja omogućuje nanošenje DOF podloge na modelirani teren. Time se postiže vizualna sinkronizacija između stvarnog terena i digitalnog modela, što olakšava identifikaciju objekata i reljefnih detalja.



Slika 4. Modelirani teren promatran s boka

3.1.2 Definiranje općih podataka i uvjeta na dalekovodu

Prema *pravilniku*[2] i po potrebama ovisno o lokaciji dalekovoda, moguće je, a i potrebno da se zadovolje uvjeti pravilnog proračuna, definirati vremenske uvjete ovisno o lokaciji dalekovoda. Potrebno je definirati koeficijent dodatnog opterećenja voda te na kojoj temperaturi se događa. Definirano pravilnikom koeficijenti se kreću u vrijednostima od 1,0 do 4,0 i uzima se u obzir na temperaturi -5°C bez utjecaja vjetra. Pritisak vjetra se također definira ovisno o prosječnim brzinama vjetra na području, a prema pravilniku, za SN vodove se uzima u rasponu od 50 do 130 daN/m². Primjer unosa opisanog vremenskog uvjeta prikazan je na slici 5.

P Add Weather Conditions	?	×
Name:		
Vremenski uvjet		
Temperature:		
-5	[9	C]
Ice load		
Ice coefficient:		
1.6		
$\hfill \square$ Ice load occurs at this weather condition		
Wind load		
Wind pressure:		
110	[daN	/m2]
Wind direction:		
From right		\sim
Add Cancel		

Slika 5. Unos vremenskog uvjeta

Dodatno uz unos vremenskih uvjeta, postoji baza podataka standardnih vodiča ali moguć je unos i dodatnih modela vodiča sa svim tehničkim parametrima potrebnim za simulaciju i analizu. Korisnik unosi ime vodiča, računski presjek vodiča, promjer vodiča, specifičnu težinu, modul elastičnosti, koeficijent linearne ekspanzije po °C te nazivnu čvrstoću. Nakon unosa, pritiskom na gumb "OK" kreira se novi model vodiča. Ova funkcionalnost ključna je za precizno definiranje tehničkih karakteristika vodiča, omogućujući kvalitetnu simulaciju i optimizaciju projektnih rješenja za električne vodove.



Slika 6. Unos novog vodiča

3.1.3 Unos trase dalekovoda

U načelu, moguć je unos trase na dva načina. Prvi način je način ručnog kreiranja trase dalekovoda na unešeni teren. Izvodi se jednostavno naredbom *Draw power line* gdje zatim jednostavno nacrtamo željenu trasu te prema potrebi nakon toga dodajemo potrebne stupove da bi zadovoljili sigurnosne visine i ostale tehničke zahtjeve na dalekovod.

Iz pogleda da se u današnja vremena unutar našeg distribucijskog elektroenergetskog sustava većinom rade novi kabelski vodovi, a postojeći dalekovodi su već pri kraju svog životnog vijeka (ili su ga prošli već), za ovaj rad nam je zanimljiviji unos podataka trase postojećeg voda u svrhu rekonstrukcije istih.

Unos pozicija postojećih stupova se radi upotrebom snimljenih geodetskih koordinata (x,y i z), uz dodatak oznake stupa u istoj .txt datoteci. Oznake su:

- S nosni stup (engl. Suspension)
- T Zatezni stup (engl. Tension).

Izgled podataka za unos pozicija stupova prikazan je na slici 7.

📃 Stupovi pozicije1-5.txt - Notepad	
File Edit Format View Help	
T,336520.3084,5030016.3268,466	
5,336564.0495,5030049.6753,481.65	
S,336618.4373,5030089.0971,480.3	
5,336669.2182,5030126.3935,493.9	
T,336705.6726,5030153.0447,492.75	

Slika 7. Format koordinata pozicija stupova za unos

Unos postojećeg dalekovoda izvodi se naredbom *Import power line,* a u ovom trenutku potrebno je definirati naziv dalekovoda, oznake stupova, tipove stupova i vremenske uvjete koje smo u prethodnim koracima definirali.

Alignment	
Power line name:	
Dalekovod	
Station:	
0.00	
Support	
Support name prefix:	Support counter starting value:
Stup	1
Fension support model:	
Dalekovod-ZAJ2-11-J21	~
Suspension support model:	
Dalekovod-NAP2-11-J21	~
Neather and Referent conditions	5
Vremenski uvjet	~
Default referent conditions	~
Import file	
b:\Users\svucinic\Documents\C	IRED 2025\Powerpath V2\Stu

Slika 8. Uvoz postojećeg dalekovoda

Kao zadnji korak unosa postojećeg dalekovoda, potrebno je povezati model terena i unešena stupna mjesta (engl. *drape power line on surface*). Isto izvodimo na način da nakon unosa postojećeg dalekovoda ponovno izmijenimo model dalekovoda te označimo opciju kao što se vidi niže na slici.

Drape or	n existing s	urface			
Surface 1				\sim	
10001					1.15

Slika 9. Povezivanje modela dalekovoda sa terenom

Tek nakon provedene ove integracije dalekovoda s terenskim modelom je moguće dobiti realističan prikaz modela dalekovoda u odnosu na teren.

3.1.4 Definiranje izolacije, vodiča te završna kontrola podataka dalekovoda

Krajnji korak prije izrade uzdužnog profila dalekovoda i završnih izvještaja je definiranje izolacije dalekovoda i vodiča dalekovoda. Izolacija dalekovoda se može definirati za svako stupno mjesto zasebno, dodatno za svaku fazu zasebno i za svaku stranu zasebno. Po potrebi kao i vodiče i stupove, moguće je modelirati i realne modele izolatora. Definiranje se izvodi naredbom *Add insulator,* prikazano na slici 10.

Edit Insulators



×

Slika 10. Modeliranje izolacije dalekovoda

Sljedeći korak je unos vodiča na model dalekovoda. Podatke o vodiču smo prethodno definirali te preostaje naredbom Add conductor dodati vodiče na stupove. Moguće je definirati za potrebe uzdužnog profila samo najdonju fazu, ali preporuka je s obzirom da je moguće dobiti detaljnije završne izvještaje, modelirati sve tri faze, a montažne tablice izraditi samo za nainižu fazu.

Nakon unosa svih podataka dobivamo završni model dalekovoda. I to u praktičnom 3D prikazu koji omogućuje detaljniju analizu otklona izolatora, položaja vodiča u odnosu na teren i objekte ispod trase, provjes vodiča te ostalih ključnih parametara važnih za optimalno projektiranje i rekonstrukciju dalekovoda (Slika 11). Za razliku od tradicionalnih 2D prikaza, 3D model omogućuje realističan prikaz trase u prostoru, što pomaže pri vizualizaciji približavanja dalekovoda drugim infrastrukturnim elementima, poput cesta, zidova, kuća, drugih zračnih mreža i sličnih objekata. Također, budući da model sadrži dodatne podatke o elementima dalekovoda, on se može koristiti kao BIM model, koji je primjenjiv u kasnijim fazama životnog ciklusa – od gradnje i održavanja do upravljanja elektroenergetskom mrežom.

Po potrebi, u ovom kao i u bilo kojem drugom trenutku, moguće je raditi izmjene na trasi dalekovoda, uključujući poziciju stupova, visinu konzola, tipove stupova i izolatora te ostale ranije definirane parametre. Nakon završne kontrole točnosti unešenih podataka, može se pristupiti izradi uzdužnog profila dalekovoda.



Slika 11. 3D model dalekovoda

3.1.5 Izrada uzdužnog profila dalekovoda

Nakon provedenih koraka ispred opisanih i provjere unešenih podataka sada se pristupa izradi zadnja dva koraka koji su zapravo i ciljani rezultat cijelog procesa. Naredbom Create Power Line Profile izrađujemo uzdužni profil dalekovoda (primjer na slici 12). Na uzdužnom profilu promatramo raspored stupova, sigurnosne visine, razmake od objekata u koridoru dalekovoda, odmak od terena u trasu 1m lijevo i desno i slično. U ovom koraku ćemo konačno potvrditi da je trasa dalekovoda, pozicije stupova, visine stupova, oblik glave stupova za odabrani vodič u redu, to jest da zadovoljava sve zakone i pravilnike i pravila struka. Ukoliko želimo nešto izmijeniti, to se vrlo lako napravi na modelu dalekovoda, a uzdužni profil se automatski obnavlja prema izmjenama. Te izmjene mogu obuhvaćati promjene pozicije stupova, izmjenu tipova stupova, izolatora, oblika glave stupa, širine konzola stupa i slično.



Slika 12. Primjer uzdužnog profila

Prvi korak kreiranja profila je unos osnovnih parametara, poput naziva profila, početnog i završnog stupa za prikaz profila. Upotrebom ovih opcija postavljamo željeni ispis profila na primjer po zateznim poljima. Na taj način povećavamo preglednost i olakšavamo ispis.

Sljedeće su mogućnosti detaljnog definiranja vizualnih parametara uzdužnog profila. Horizontalna i vertikalna mjerila mogu se prilagoditi kako bi se postigao optimalan prikaz terena i dalekovoda u projektu. Opcija prikaza lijevog i desnog profila terena omogućuje dodatnu analizu širine koridora i eventualnih prepreka. Jedna od značajnih značajki je i definiranje linije sigurnosne visine, što omogućuje vizualni prikaz usklađenosti s regulativnim zahtjevima.

Sljedeći korak je odabir informacija koje će prikazati u profilu, poput stacionaža, visina terena, duljina raspona, visina stupova, tipova stupova, te oznaka vodiča mogu se uključiti kako bi se osigurao cjelovit pregled svih elemenata profila. Na primjer, označavanje najniže točke vodiča ili maksimalnog provjesa pruža ključne podatke za analizu sigurnosnih uvjeta i planiranje održavanja.

3.1.6 Izrada završnih izvještaja

Nakon završavanja izrade profila dalekovoda i svih potrebnih izmjena preostaje samo izraditi završne izvještaje. To su:

- Montažna tablica
- Izračunata opterećenja na stupove
- Osnovni podaci o dalekovodu
- Koordinate stupnih mjesta i tip stupa (T zatezni; S nosivi)

Montažna tablica

Zaključno, kao što je prethodno opisano, montažna tablica pruža sveobuhvatan pregled karakteristika dalekovoda i vodiča u stvarnim uvjetima. Upotrebom podataka iz tablice je moguća izgradnja dalekovoda prema projektiranom stanju. Sadrži podatke prikazane na primjeru ispod.

Naziv vodiča Model vodiča Presjek Promjer Specifična težina Specifična težina s opterećenjem leda Elastični modul	L3 AlFe_70/12(1) 81.3 11.7 0.04 0.16117 77000	[mm2] [mm] [N/cm3] [N/cm3] [MPa]
Nominalno naprezanje	9.5	[(10 -5) 1/ C] [MPa]
Faktor leda Tlak vjetra	1.6 110	Pa
*****	*************	*******

Od Stup1 do Stup2

Dužina raspona	54.837	[m]
Idealni raspon	59.358	[m]
Kritično raspon	50.922	[m]
Kritična temperatura	44.792	[°C]
Maksimalni ugib	0.660	[m]
Temperatura sa maksimalnim ugibom	-5	[°C]

Temperatura [°C]	-20	-10	0	10	20	30	40	-5 + Opterećenje leda
L3 Ugibi [m]	0.178	0.210	0.254	0.315	0.397	0.497	0.607	0.660
Napetosti [MPa]	8.762	7.417	6.128	4.942	3.923	3.131	2.564	9.500

Opterećenja na stupove

Izvještaj naprezanja na stupovima daje detaljan pregled mehaničkih sila i opterećenja na stupovima dalekovoda. Ove informacije omogućuju projektantima i inženjerima da procijene stabilnost i sigurnost stupova u različitim vremenskim uvjetima te prilagode konstrukciju prema standardima i/ili provjere prilikom rekonstrukcija stabilnost postojećih stupova. Ovo izvješće služi kao temelj za donošenje odluka u fazama projektiranja, građenja i održavanja elektroenergetskih sustava.

Osnovni podaci o dalekovodu

Sadrži osnovne informacije o stupovima, vodičima i izolatorima. Izvještaj olakšava izradu konačne specifikacije potrebnog materijala i stupne liste dalekovoda.

								Vodiči
								Naziv vodiča L1 Model vodiča AlFe_70/12(1) Nominalno naprezanje 9.5 [daN/mm2] Tlak vjetra 110 [daN/m2]
								Od Stup1 do Stup2 Dužina raspona 54.837 [m] Idealni raspon 59.358 [m]
Stupovi								Od Stup2 do Stup3 Dužina raznona 67 172 [m]
Broj stupa		1						Idealni raspon 59.358 [m]
Ime stupa	:	Stup	1					Incolling (appendigues) [m]
Tip	1	Tens	ion					Od Stup3 do Stup4
Model stupa	1	Dale	kovod-Z	4J2-	-11-J21			Dužina raspona 63.008 [m]
Visina stupa	:	11.4			[m]			Idealni raspon 59.358 [m]
Dalekovod name	:	Dale	kovod					
Promjena kota pravca trase	:	0.00			[°]			Od Stup4 do Stup5
Srednji raspon	:	27.4	2		[m]			Dužina raspona 44.997 [m]
Gravitacioni raspon	1	0.00			[m]			Idealni raspon 59.358 [m]
Izolatori								
Ime stupa		:	Stup1					
Model izolatora		(AP1	,	Zadnji)	:	: Other
Model izolatora		(AP2	,	Zadnji)	:	: Other
Model izolatora		(AP3	,	Zadnji)	:	: Other
Model izolatora		(AP1	,	Prednji)	:	Metal-Product-JZL-1-27-ZS-11-2 : Strain
Model izolatora		(AP2	,	Prednji)	:	Metal-Product-JZL-1-27-ZS-11-2 : Strain
Model izolatora		(AP3	,	Prednji)	:	Metal-Product-JZL-1-27-ZS-11-2 : Strain
Model izolatora		(APGW1	,	Zaštitni vodič)	:	: Other

Broj modela izolatora na Stup1 : 3

Koordinate stupnih mjesta

Četvrti i zadnji izvještaj je lista stupnih mjesta sa pripadajućim koordinatama za lakše i točnije označavanje stupova na terenu.

Izvješće koordinate dalekovoda 30.03.2025. 13:30									
Ime stupa;	Tip;	X koordinata;	Y koordinata;	Z koordinata;					
Stup1;	T;	336520.3;	5030016.3;	466.0;					
Stup2;	S;	336564.6;	5030049.0;	481.6;					
Stup3;	S;	336618.6;	5030088.8;	480.3;					
Stup4;	S;	336669.3;	5030126.2;	493.9;					
Stup5;	Τ;	336705.7;	5030153.0;	492.8;					

4. ZAKLJUČAK

Primjena ovakvih računalnih alata u analizi i optimizaciji uzdužnih profila dalekovoda pokazala se kao značajan iskorak u digitalizaciji i modernizaciji izrade ovakvih projekata. Omogućuju precizno i učinkovito projektiranje, smanjujući rizike od pogrešaka i optimizirajući troškove izgradnje i održavanja dalekovoda. Na primjeru, rad je pokazao kako ovakvi alati omogućavaju analizu terenskih uvjeta, prilagodbu konfiguracije stupova i vodiča te generiranje detaljnih tehničkih dokumenata poput uzdužnih profila i montažnih tablica.

Jedna od ključnih prednosti ovih alata je mogućnost integracije s geodetskim i GIS podacima, što projektantima omogućuje detaljnu vizualizaciju i analizu svih aspekata trase dalekovoda. Mogućnost simulacije različitih scenarija i uvjeta rada vodiča doprinosi većoj sigurnosti i pouzdanosti elektroenergetskih vodova, čime se osigurava usklađenost s tehničkim standardima i pravilnicima.

Posebno značajan napredak u odnosu na klasične metode projektiranja predstavlja mogućnost izrade 3D modela trase dalekovoda. Ovi modeli omogućuju realističan prikaz vodova u prostoru, uzimajući u obzir interakcije s drugim objektima – nadzemnim i podzemnim infrastrukturnim elementima. Osim što pružaju bolji uvid u prostornu konfiguraciju trase, 3D modeli se mogu koristiti kao BIM modeli, koji sadrže dodatne tehničke podatke korisne za daljnje faze projekta, uključujući gradnju, održavanje i upravljanje elektroenergetskom infrastrukturom. Daljnji razvoj i implementacija digitalnih blizanaca (digital twins) otvaraju dodatne mogućnosti za analizu stanja dalekovoda tijekom životnog ciklusa, omogućujući prediktivno održavanje i povećanje pouzdanosti elektroenergetskog sustava.

Korištenjem ovog alata, projektanti mogu unaprijed identificirati i riješiti potencijalne probleme na trasi dalekovoda, poput zahtjeva za sigurnosne visine ili specifičnih izazova terena, istovremeno doprinoseći optimizaciji tehničkih i ekonomskih aspekata elektroenergetskih vodova. Ovakav pristup donosi značajne prednosti u pogledu učinkovitosti, točnosti i dugoročne održivosti elektroenergetskih infrastrukturnih projekata.

5. LITERATURA

- [1] Korisnički web portal podrške POWER PATH SUPPORT PORTAL https://powerpath.freshdesk.com/support/solutions/articles/101000377990-reports-examples-andexplanations-
- [2] Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona 1 kV do 400 kV
- [3] Vučinić Siniša, Deni Ćetković: REKONSTRUKCIJE VODOVA 20 KV S PRIMJENOM POLUIZOLIRANIH VODIČA; CIRED 2023 Trogir
- [4] "Čelično-rešetkasti stupovi za dalekovode 10,20 i 35kV", Dalekovod projekt d.o.o. Zagreb, 2010.