

POZNAVANJE GEOMETRIJE VERIŽNICE DOBRA OSNOVA ZA NAPOVED VARNE MEJE OBREMENTITVE DALJNOVODA

Viktor Lovrenčič
C&G d.o.o. Ljubljana
viktor.lovrencic@c-g.si

Vladimir Leva
ELES, d.o.o.
vladimir.leva@eles.si

Primož Ribič
ELES, d.o.o.
primoz.ribic@eles.si

Andrej Ivec
C&G d.o.o. Ljubljana
andrej.ivec@c-g.si

Povzetek - Slovenski sistemski operater prenosnega omrežja že desetletje aktivno spremlja in se odziva na svetovne trende določanja statične in dinamične meje obremenitve nadzemnih vodov. Postavitev testnega poligona različnih tehnologij določitve termičnega toka v vodniku na daljnovidu 2x 110 kV Dravograd – Slovenj Gradec je ponudila raziskovalcem in strokovnjakom odlične pogoje za analize in določitev mej negotovosti DTR algoritmov. Skrbna analiza pridobljenih podatkov je opozorila na nujnost obvladovanja geometrije verižnice na razpetini SM23-SM24. Zagotavljanje predpisane varnostne višine še posebej ob križanju objektov je garancija varnega obratovanja prenosnega sistema ter varovanja življenj in imetja. Na poligonu so opravljene številne meritve geometrije verižnice oziroma povesov z različnimi merilnimi metodami. Na konkretnem daljnovidu je izdelana analiza podatkov povesov od projekta, montaže vodnikov do realnih meritev z različnimi merilnimi napravami in merilnimi metodami. Namen prispevka je predstaviti geometrijo daljnovoda od faze projektiranja, skozi fazo montaže in nadzora kakovosti montaže vodnikov ter v času obratovanja. Pri tem smo se osredotočili predvsem na metode določanja oziroma nastavljanja povesov ter kasnejšega izvajanja kontrole povesov na terenu oziroma na pomen spremljanja dejanskih varnostnih višin na terenu v nekem periodičnem ciklu, saj lahko le tako znotraj neke meje zaupanja izvajamo DTR.

Ključne besede: daljnovid, verižnica, poves, vremenski vplivi, DTR

UNDERSTANDING CATENARY GEOMETRY IS A GOOD BASIS FOR BETTER FORECASTING THE SAFETY MARGINS OF OHL LOAD

Summary - The Slovenian distribution network operator has been actively monitoring and responding to world trends of determining static and dynamic limits of overhead line loads for the last decade. The erection of a testing ground with different technologies for determining the thermal current of a conductor on OHL 2x 100 kV Dravograd – Slovenj Gradec has given the researchers and experts excellent conditions to analyse and determine uncertainty margins of DTR algorithms. An elaborate analysis of the gained data has shown the necessity for controlling the catenary geometry on span SM23–SM24. Ensuring the prescribed safety height especially at points of object crossing is a warranty for safe operation of the distribution network and safeguarding lives and property. Numerous measurements of the catenary geometry and sags have been carried out on the testing ground with various measurement methods. The analysis of sag data was carried out on a concrete OHL from the project start, the conductor installation to real-time measurements, using different measuring devices and methods. The purpose of this article is to illustrate the OHL geometry from the engineering phase to the installation phase and the quality control of the conductor installation, as well as the operational phase. We were mainly focused on the methods for determining or setting sags and the subsequent sag control on the field and the meaning of monitoring actual safety heights on the field during a certain periodical cycle, since this is the only way we can carry out DTR within a certain confidence limit.

Keywords: overhead line, catenary, sag, weather influences, DTR

UVOD

Električni vodi, namenjeni prenosu in razdeljevanju električne energije, so bistveni povezovalni elementi elektroenergetskih sistemov. Če so vodniki voda speljani nad zemljo in pritrjeni na izolatorjih ter na primernih nosilnih konstrukcijah, govorimo o nadzemnih vodih oziroma daljnovodih [1,2,3] (izraz po [10]: nadzemni visokonapetostni vod: je električni vod, ki je sestavljen iz temeljev, podpor in izolatorjev, z golimi vodniki ali kabli nad zemljo).

Ker imamo pri daljnovodih vedno opravka z golimi vodniki pod nevarno napetostjo, ima vsaka država zakonjene varnostne predpise, ki regulirajo gradnjo teh objektov. Ob tem dejstvu moramo upoštevati trende v večini prenosnih podjetij, da želijo dosegati filozofijo obvladovanja varnega obratovanja na nivoju statične obremenitve (STR) nadgraditi z obvladovanjem dinamične obremenitve (DTR) [3].

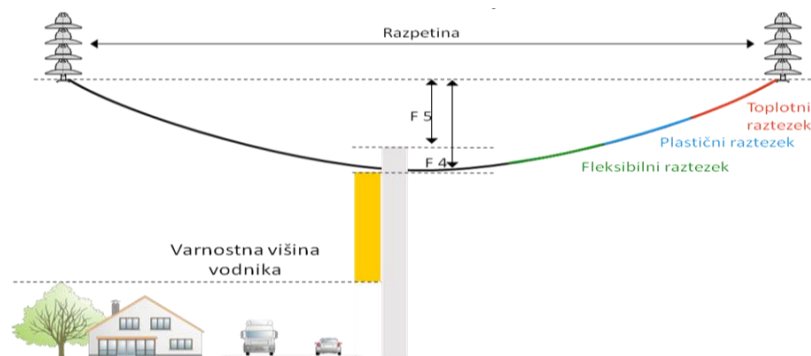
Oblikovalec daljnovoda mora upoštevati električne in mehanske vplive atmosfere vzdolž trase na daljnovod. Električni vplivi atmosfere se običajno študirajo v okviru visokonapetostne tehnike, mehanski vplivi pa bodo opisani v nadaljevanju. Pri tem gre za temperaturo zraka, delovanje vetra in zimsko dodatno breme [1,2,3].

Vzdrževanje daljnovodov napetostnega nivoja zahteva redni nadzor nad elementi le-teh. Ti elementi so oporišča – napenjalni in nosilni stebri, temelji stebrov, ozemljitve stebrov, obesna oprema, izolacija, daljnovodne in strelvodne vrvi. Daljnovodne in strelvodne vrvi se neelastično raztezajo (mehansko popuščanje materiala; tečenje oziroma lezenje vrvi), kar privede v daljšem časovnem obdobju (10 in več let) do povečanja povesov in posledično zmanjšanja varnostnih višin [4].

Zahteve obratovalcev, da bi dinamično obremenjevali daljnovode zahteva poznavanje termične obremenjenosti vodnikov v realnem času upoštevajoč segrevanje zaradi pretoka toka v vodniku in hlajenje/segrevanje zaradi vremenskih vplivov. Nadzemni vodi so kot primarna oprema elektroenergetskega zelo občutljiv element in vpliva na zanesljivost celotnega elektroenergetskega sistema. Povečana občutljivost se izraža predvsem zaradi izpostavljenosti zunanjim vremenskim vplivom (vpliv sonca, dodatna zimska bremena, vetrovne obremenitve, pojav strele itd.) in možnih izpadov zaradi prevelikih povesov oziroma premajhnih varnostnih višin. Na splošno lahko elemente, ki vplivajo na zmanjšanje varnostnih višin na trasi daljnovoda in s tem na zmanjšanje dielektrične trdnosti izolacije med vodnikom in tlemi, razdelimo na [1]:

- povečanje povesa faznih vodnikov zaradi povečanja temperature vodnika, čemur je lahko vzrok visoka zunanja temperatura ali pa velik tok v vodniku,
- povečanje povesa zaradi dodatnih zimskih bremen,
- povečanje povesa zaradi vpliva neelastičnih raztezkov vodnikov, ki je neizogiben pojav pri dolgotrajni konstantni izpostavljenosti natezni napetosti,
- povečanje dimenzij objektov v koridorju daljnovoda,
- napake pri projektiranju in montaži vodnikov.

Na sliki 1 je nazorno prikazana sprememba povesa oz. varnostnih razdalj v posamezni razpetini upoštevajoč realno geometrijo verižnice, kot posledica naštetih vplivov. Torej možne napake pri projektiranju, montaži vodnikov in dejanske raztezke vodnikov v obratovanju (npr. dodatno breme) lahko pripeljejo do usodnih napak (zemeljskih stikov), ki lahko ogrozijo varnost in zanesljivost obratovanja. Zato je za obvladovanje DTR nujno poznavanje dejanskega stanja na terenu oziroma realne geometrije verižnice v posameznih kritičnih razpetinah daljnovoda [3].



Slika 1: Simboličen prikaz verižnice, povesa, varnostne višine in raztezkov (Vir: C&G)

Pri določanju geometrije verižnice ne smemo mimo dejstva, da je natančnost le-te odvisna od usposobljenosti osebja, ki opravlja meritve ter od natančnosti merilne metode in merilne opreme. V nadaljevanju smo predstavili praktične izsledke na konkretnem objektu DV 2x110 kV Kleče – Črnuče [3] in DV 2x110 kV Dravograd – Slovenj Gradec, in sicer na razpetini med stojnima mestoma SM23 in SM24 na OPPC vodniku [5-8].

Večletne analize uporabe OTLM naprave na tem objektu, ko so bile merjene temperature vodnika in kot verižnice z vgrajenim inklinometrom, so nas opozorile na dejstvo, da za obvladovanje DTR ne zadostuje le natančnost meritev senzorjev vgrajenih v OTLM, temveč tudi poznavanje geometrije verižnice konkretne razpetine. Iz izkušenj sklepamo, da je premalo zadostiti natančnost meritve temperature vodnika znotraj tolerance npr. ± 2 °C in obenem ne vedeti, da je povprečno realno večji 20 do 50 cm glede na npr. znane projektirane podatke (PZI ali PID). Ta pogled na problematiko smo predstavili v nadaljevanju [5-8].

I. TERMIČNA OBREMENLJIVOST VODNIKOV

Vodnike in zaščitne vrvi daljnovodov smo do pred kratkim računali pod naslednjimi predpostavkami [9], in sicer minimalna temperatura zraka -20 °C, maksimalna temperatura zraka $+40$ °C in v naših okoliščinah srednja temperatura zraka običajno $+15$ °C ter temperatura ob kateri se pojavlja zimsko dodatno breme -5 °C [1,2]. Ta izhodišča so aktualna praktično za vse daljnovode, ki obratujejo v slovenskem prenosnem omrežju, saj so večinoma zgrajena po starem tehničnem predpisu »Pravilnikom o tehničnih normativih za graditev nadzemnih elektroenergetskih vodov z nazivno napetostjo od 1kV do 400kV« oz. TP 4/89 [9].

Ob trajno še dopustnih tokovih (I_d) v vodnikih nadzemnih vodov, Al/Je, lahko maksimalna temperatura vodnika doseže $+80$ °C, kar je v navideznem nasprotju s pravkar omenjeno maksimalno temperaturo vodnikov $+40$ °C. Razlike v povprečjih (med temperaturo $+40$ °C in $+80$ °C) so znatne, saj dosežejo na primer pri daljnovodih 110 kV že pol drugi meter, pri daljnovodih višjih napetosti pa še več. Vendar je verjetnost, da pride do praktičnih težav zaradi prevelikih povprečij vodnikov običajno sorazmerno majhna, saj bi moral biti vod tokovno zelo močno obremenjen, temperatura okolice bi morala znašati $+40$ °C, hkrati pa bi moralo vladati popolno brezvetrje in pod najnižjo točko vodnika bi moralo obstajati kritično približevanje [1,2,3].

Tokovna obremenitev večine daljnovodov v visokonapetostnih omrežjih se običajno giblje nekje okrog polovice termične meje, čemur ustreza povečanje temperature samo za 10 °C nad temperaturo okolice, saj med tokom in proizvedeno toploto obstaja kvadratna odvisnost [1].

Projektanti daljnovodov so navadno v največjih dilemah, ko gre za pravilno upoštevanje zimskih dodatnih bremen, ki se lahko pojavljajo v obliki ivja, snega ali ledu. Nenadne zaledenitve so zlasti pri nas pogosto za daljnovode najbolj nevarne. Znano je namreč, da so lahko dežne kapljice v tekočem stanju tudi pri temperaturah in tlakih, ki že sodijo v področje ledu. To se pravi, da so podhlajene. Podhlajene vodne kapljice so pa v nestabilnem stanju in se pri dotiku tujega telesa na primer vodnika v trenutku spremenijo v led [1].

Zimska dodatna bremena so lahko različno težka. Taka dodatna bremena v različnih deželah različno ocenjujejo. Pri nas predpostavljamo, da teža zimskega dodatnega bremena na tekoči meter vodnika raste s kvadratnim korenem premera vodnika (vrvi) po številskem obrazcu $g = 0,18 \cdot \sqrt{2 \cdot r_v}$ (daN/m), kjer je r_v polmer vrvi v mm. Kot normalno dodatno breme jemljemo največje breme, ki se na opazovanem mestu pojavlja povprečno vsakih 5 let in ni v nobenem primeru manjše od vrednosti, izračunane po zgornji formuli. Praviloma jemljemo kot normalna dodatna bremena tudi zimska bremena z naslednjimi mnogokratniki 1,0 g, 1,6 g, 2,5 g, 4,0 g. Kot izjemno zimsko dodatno breme pa jemljemo največje breme, ki se pojavlja povprečno vsakih 20 let in ni v nobenem primeru manjše od dvakratnega normalnega bremena [1,2].

Čim manjši je premer vrvi, tem večje je na enoto prereza reducirano zimsko dodatno breme. Iz tega lahko sklepamo, da bodo tanjše vrvi za dodatna bremena občutljivejša od debelejših. Vodniki in zaščitne vrvi daljnovodov se pod vplivom lastne teže in zimskih dodatnih bremen povešajo. Mehanika pozna linearne tvorbe točkastih mas, verige točkastih mas in obravnava možne oblike teh verig. Linearne tvorbe točkastih mas nima nobenega prereza pravokotno h krivulji, medtem ko lahko daljnovodne vrvi, dosežejo tudi stotine kvadratnih milimetrov v prerezu. Kljub temu se v daljnovodni statiki poslužujemo izsledkov teoretske mehanike in predpostavljamo, da so vrvi idealno upogljive, tako kot verige, čeprav v resnici niso [1].

Ugotavljanje termične obremenljivosti vodnika je pomembno za določitev obremenljivosti, pri kateri skozi obratovalno dobo daljnovoda ne pride do sprememb mehanskih lastnosti vodnikov in različnih spojev na vodu.

Pojav staranja pri klasičnih dvokovinskih vodnikih (Al/Je) se pojavi pri temperaturah med 80 °C in 90 °C. V tem oziru varnostne višine ne bi smele predstavljati limitirajočega faktorja tokovne obremenljivosti voda. Kljub temu pa se na veliko starih vodih lahko srečamo s tem problemom. S stališča tokovne obremenljivosti voda lahko opredelimo štiri pogonska stanja voda [1,2,3]:

- normalno obratovanje,
- občasno obratovanje,
- izredno obratovanje,
- kratki stiki.

Pri določanju termične obremenljivosti vodnika se bomo omejili le na normalno obratovanje, ki predstavlja pretežni del življenjske dobe daljnovoda.

I.I POVEČANJE POVESA VODNIKA ZARADI POVEČANJA TEMPERATURE VODNIKA

Temperaturno odvisnost povesa posredno določa položajna enačba, ki določa natezno napetost v vodniku za vsako temperaturno stanje. Poves pa je neposredno funkcijsko odvisen od natezne napetosti. Tehnični predpisi predstavljajo minimalno temperaturno območje med -20 °C in +40 °C, v katerem morajo povesi vodnikov ustrezati ustreznim varnostnim višinam med normalnim obratovanjem. Nobenih ovir ni, če tem pogojem ustrezajo tudi pri večjih temperaturah od +40 °C, vendar do meje, kjer se začnejo pojavljati mehanske spremembe v materialu vodnikov [1,2,3].

V večini standardov po svetu je postavljena zgornja meja trajno dovoljene temperature aluminjskih vodnikov in aluminjskih zlitin 80 °C. Predpostavljeno je, da se pri tej temperaturi začnejo v materialu dogajati trajne spremembe, vendar je ta meja postavljena deterministično in v večini primerov ni postavljena dovolj argumentirano, zato so še rezerve za obremenjevanje materiala [1,2,3].

I.II FIZIKALNA SLIKA DALJNOVODA

I.III PREDPISI IN STANDARDI

Ko analiziramo geometrijo verižnice na konkretnem daljnovodu moramo preučiti projektno dokumentacijo, saj je narejena v skladu s takrat veljavnimi tehničnimi predpisi in standardi [9]. Projektiranje nadzemnih vodov je v bližji preteklosti potekalo še v skladu s predpisom TP 4/89 [10]. Ta pravilnik se ni skliceval na določene standarde temveč je eksplicitno predpisoval normative za vse elemente daljnovoda (vodniki, zaščitne vrvi, razporeditev vodnikov, podpore, ozemljitev, križanja in približevanja objektom, leseni drogovi, jekleni drogovi, ...). Uporabil pa je vsa znanja, ki so bila na razpolago v standardih za posamezni element daljnovoda.

Dejstvo je, da je večina DV 110, 220 in 400 kV projektirana na osnovi zahtev predpisov [10,11]. Ta predpisa sta upoštevana pri pojasnitvi fizikalne slike posameznih starih DV. Previdni moramo, saj je prenehala veljavnost teh predpisov [10,11] z dne 01.01.2006 ko jih je razveljavil novi predpis, Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov [12].

Evropska Unija (EU) je skladno z direktivo o skupnem tržišču naložila evropski organizaciji za standardizacijo na področju elektrotehnike CENELEC (CLC), da pripravi evropski standard za oblikovanje in gradnjo nadzemnih elektroenergetskih vodov. Ker je organizacija tehničnih komitejev v CLC podobna kot je v IEC je delo bilo poverjeno tehničnemu odboru 11 (CLC TC 11). Nov evropski standard naj bi omogočil več konkurenčnosti na skupnem evropskem trgu. Izdelan naj bi bil kot skupek tehničnih normativov z dodatki nacionalnih posebnosti in na ta način omogočal vsem interesentom v EU, da lahko konkurirajo pri projektiranju in gradnji daljnovodov.

V Sloveniji je bil pred kratkim sprejet nov podzakonski akt »Pravilnik o tehničnih pogojih za graditev nadzemnih elektroenergetskih visokonapetostnih vodov izmenične napetosti 1 kV do 400 kV, Ur. l. RS št. 52/14«, ki je začel veljati 24.7.2014 in definira uporabo štirih standardov pri projektiranju [13]:

- SIST EN 50341-1:2002 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 45 kV – 1. del: Splošne zahteve – Skupna določila [14],
- SIST EN 50341-3-21:2009 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 45 kV – 3-21. del: Nacionalna normativna določila (NNA) za Slovenijo (na podlagi SIST EN 50341-1:2002) [15],
- SIST EN 50423-1:2005 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 1 kV do vključno 45 kV – 1. del: Splošne zahteve – Skupna določila [16],

- SIST EN 50423-3-21:2009 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 1 kV in do vključno 45 kV – 3-21. del: Nacionalna normativna določila (NNA) za Slovenijo (na podlagi SIST EN 50423-1:2005) [17].

Ti standardi bodo veljali vse do sprejetja slovenskih nacionalnih posebnosti (NNA) kot dodatka na nov skupen evropski standard. Oznaka tega novega standarda bo SIST EN 50341-2-21:2015, če bo sprejet v letu 2015 [18].

Ta pravilnik [13] je izdan ob upoštevanju postopka informiranja v skladu z Direktivo 98/34/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 22. junija 1998 o določitvi postopka za zbiranje informacij na področju tehničnih standardov in tehničnih predpisov in določa tehnične pogoje, s katerimi se zagotovi varna in ekonomična graditev, varno, zanesljivo in nemoteno delovanje in uporaba nadzemnih elektroenergetskih visokonapetostnih vodov izmenične nazivne napetosti 1 kV do 400 kV.

Pravilnik [13] se uporablja pri izdelavi projektne dokumentacije za gradnjo nadzemnih visokonapetostnih vodov in se morajo poleg določb tega pravilnika upoštevati tudi določbe predpisov o graditvi objektov, ki se nanašajo na gradnjo gradbeno-inženirskih objektov ter se smiselno uporablja tudi pri vzdrževalnih delih v javno korist na področju objektov, naprav in omrežij, ki so potrebna za prenos in distribucijo električne energije.

I.II.II TERMIČNA OBREMENITEV DALJNOVODOV

Ugotovljeno je, da kot osnovo za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje nadzemnih vodov uporabljamo predpise in standarde, ki so za posamezne države različni. Opozorili smo na dejstvo, da se je zakonodaja v Sloveniji spreminjala, kar vpliva na tehnično presojo merjenih podatkov geometrije DV [3].

Največ v Sloveniji zgrajenih DV je usklajeno s pravilnikom [10], ki je definiral varnostno višino kot najmanjšo dopustno oddaljenost vodnika oz. delov pod napetostjo od zemlje ali kakšnega objekta pri temperaturi + 40 °C oz. pri temperaturi – 5 °C z normalno dodatno obtežbo, kadar ni vetra. V pravilniku [10] najdemo nasprotujoči si definiciji v 3. členu in 16. členu. Na osnovi 3. člena se vodniki izračunajo za najvišjo temperaturo + 40 °C. V 16. členu je določeno, da mora biti prerez vodnika dovolj velik, da njegova temperatura segrevanja s tokom ne preseže + 80 °C, pri čemer se računa s temperaturo okolja + 40 °C. Torej je geometrija vodnika (poves) računana na temperaturo okolja + 40 °C, kar je v večini primerov lahko omejitev za tokovno obremenitev in ni mogoče doseči zaradi zakonske omejitve varnostnih višin doseči dovoljeno temperaturo segrevanja s tokom + 80 °C.

V standardu SIST EN 50341-3-21:2009 so naslednje definicije [15]:

5.2.1 Obratovalni tok; Obratovalni tok je odvisen od obratovalne napetosti in prenesene moči. Prerez faznih vodnikov je treba izbrati tako, da najvišja temperatura vodnika ne preseže določenih pogojev v projektni nalogi. Najvišja temperatura vodnika se lahko izračuna, če ni drugih določenih pogojev, upoštevajoč temperaturo okolja 35 °C, hitrost vetra 0,6 m/s pravokotno na vodnik in sončno sevanje 900 W/m².

9.2.2 Dovoljena temperatura pri kratkih stikih za z jeklom ojačanih vodnikov (AL1/STyz, ALx/STyz) do 160 °C.

9.2.3 Obratovalna dovoljena temperatura; Material in prereze vodnikov je treba izbrati tako, da vodniki pri obtežbi z največjim obratovalnim tokom ob upoštevanju pogojev okolice ali pri obtežbi z največjo pričakovano kratkostično obtežbo ne bodo dosegli temperature, ki bi povzročila nedovoljeno znižanje njihove mehanske trdnosti.

Dovoljena trajna temperatura za AL1/STyz, AL2-AL7/STyz, AL1 in AL2-AL7 vodnike je + 80 °C. Za vodnike iz posebnih materialov, obstojnih pri višjih temperaturah, je potrebno dovoljeno temperaturo določiti posebej v projektni nalogi. Za izračun največje trajne tokovne obremenitve vodnika se upoštevajo naslednji atmosferski podatki za Slovenijo [15]:

- temperatura okolice +35 °C,
- hitrost vetra 0,6 m/s,
- sončno sevanje 900 W/m²,
- koeficient absorpcije 0,5 W/m² in
- efektivna emisivnost 0,5.

Gornji robni pogoji se upoštevajo za poletni čas. Za zimski čas se upošteva vrednost temperature okolice + 15 °C. Podatki o trajni tokovni obremenljivosti standardiziranih vodnikov so razvidni tudi iz standarda SIST EN 50182 (dodatek F) in se upoštevajo informativno [15]. V standardu SIST EN 50341-1:2002 je v Preglednici 4.3.1: Obtežni

primeri pri nategu vodnikov, določena temperatura pri lastni teži vodnika + 40 °C oziroma je v opombi določena višja temperatura + 60 °C pri vodih, ki so v poletnem času tokovno zelo obremenjeni. Najvišjo temperaturo vodnika določi projektna naloga [15].

Strokovnjakom, ki se profesionalno ukvarjajo s projektiranjem, graditvijo in vzdrževanjem DV je v pomoč strokovna literatura, tehnične brošure CIGRE [19-26], standardi IEEE [27-30] in IEC [31]. V teh standardih in navodilih podrobno obravnavajo obnašanje vodnikov pri visoki in zelo visoki temperaturi. Podrobno so prikazani matematični modeli izračuna dovoljenega toka ali temperature vodnika. Podane so osnove za razumevanje DTR.

I.III METODE ZA DOLOČANJE TERMIČNE OBREMENLJIVOSTI VODNIKOV

Temperaturo vodnika lahko določamo po treh metodah [1]:

- po deterministični metodi, ki temelji na pogojih določenih s predpisi in standardi ter na predpostavki o najneugodnejših parametrih vplivnih veličin,
- po statistični metodi, ki temelji predvsem na statistiki osnovnih vplivnih elementov in statistiki dejanske temperature vodnika,
- meritve v realnem času (real-time), kjer v realnem času merimo vplivne veličine ali dejansko temperaturo vodnika.

Vse metode [1,3] imajo za osnovo poenostavljeno toplotno ravnotežno enačbo (1.1):

$$p_{joul} + p_s = p_c + p_r \quad (1.1)$$

kjer je:

- p_{joul} toplotna moč, ki se razvije v vodniku zaradi jouskih izgub v (W/m),
- p_s toplotna moč, ki je v vodnik dovedena s sončnim sevanjem v (W/m),
- p_c toplotna moč, ki je iz vodnika odvedena s konvekcijo v (W/m),
- p_r toplotna moč, ki je iz vodnika odvedena z radiacijo – sevanjem v (W/m).

Leva stran enačbe dejansko predstavlja v vodnik dovedeno toploto, ki je sestavljena iz jouskih izgub in toplote zaradi sončnega obsevanja. Jouske izgube so neposredno povezane z višino toka v vodniku in s specifično upornostjo vodnika. Od sonca sprejeta moč pa je odvisna poleg od moči sonca še od koeficienta absorpcije, vpadnega kota sončnih žarkov ter obsevalne površine vodnika. Odvedena moč je odvisna od toplote odvajane s konvekcijo in sevanjem. Toplotna moč, odvedena s konvekcijo, je zelo odvisna od hitrosti vetra in razlike temperatur zraka in vodnika. Toplotna moč, odvedena s konvekcijo, pa je odvisna predvsem od koeficienta radiacije in razlike temperatur [1,3].

I.III.I DETERMINISTIČNE METODE

Pri determinističnih metodah se ravnotežna enačba opazuje v določenem stacionarnem stanju, tu fiksiramo maksimalno temperaturo vodnika, ki je dovoljena s prekoračitvijo varnostnih višin in mehanske trdnosti materiala vodnikov. Tu predpostavimo najbolj neugodne fizikalne parametre (brezveterje, visoke temperature okolice, maksimalno obsevanje sonca...). Te meje so zelo restriktivne in ne povedo, kdaj in koliko časa bodo te razmere vladale v okolici. Do danes se je v svetu pojavilo na področju determinističnih modelov več izkustvenih računskih postopkov [1].

I.III.II STATIČNE METODE

Problem meteoroloških pogojev je ta, da so naključnega značaja in močno vplivajo na prehod toplote med vodnikom in okolico. Zaradi tega poskušamo problem reševati s statističnimi metodami ali pa z metodami v realnem času. Pri statističnem modelu se poskuša simulirati čim realnejše stanje ali dinamični poves. S tega stališča je potrebno raziskovati mikroklimatska področja, da lahko ugotovimo, ali je potrebno celotno traso razdeliti na posamezna področja ali ne. Končni cilj statističnih metod je dobiti karakteristiko prenosne zmogljivosti vodnikov za posamezne odseke prenosnega omrežja [1].

I.III.III MERITVE V REALNEM ČASU

Pri vodenju sistema želimo poznati trenutno temperaturo vodnika, ki določa velikost povesa vodnikov oziroma varnostnih višin. Zato je stroka sprejela izziv meritve temperature oz. povesa vodnika v realnem času [3].

Prva možnost je posredno preko merjenja vplivnih vremenskih veličin (temperatura okolice, hitrost vetra,...) in tokovne obremenitve vodnika. Te veličine so vhodni podatek v model, ki izračunava temperaturo vodnika. Druga možnost je, da neposredno merimo temperaturo vodnika, natezno silo ali povese, podatke pa pošiljamo v obdelavo v komandni center. Pri kombiniranih metodah pa uporabljamo kombinacijo meritev temperature vodnika ali meritev natezne sile ali meritev povesa in meritev ustreznih meteoroloških veličin (hitrost vetra, sončno sevanje, temperatura okolice, ...) [3].

Podrobna analiza posameznih tehnoloških rešitev monitoringa v svetu je podana v številnih referatih in študijah. CIGRE, TB 498, Guide for Application of Direct Real-Time Monitoring Systems [25] predstavlja številne rešitve monitoringa. Veliko proizvajalcev nudi svoje produkte, eni delujejo lokalno v svojem prenosnem okolju in drugi globalno. Nekatere rešitve so se uveljavile in druge še iščejo pot do upravljalcev prenosnih omrežij.

ELES ima odličen poligon, na katerem testira različne tehnologije DTR; nemški VALCAP oz. ADAPRO ter slovenski SMD-DTR, DAMOS in OTLM-DTR [5-9,32]. Prav analize podatkov [5-9] na tem poligonu so spodbudile dodatno preučevanje geometrije razpetine SM23-SM24.

I.IV IZBOR VELIČIN, KI VPLIVAJO NA TERMIČNO OBREMENITEV VODNIKOV

Izbor vrednosti vplivnih veličin pri determinističnih metodah temelji na upoštevanju najneugodnejših vrednosti (čim manjša verjetnost prekoračitve teh vrednosti), ki jih lahko pričakujemo na območju, kjer potekajo daljnovodi. Pri statističnih metodah pa je pomembno spremljanje vplivnih veličin v daljšem časovnem obdobju [1,3].

Pomembne so najvišje mesečne temperature okolice, ki jih dobimo na podlagi statističnih podatkov za najtoplejše kraje na prenosnem področju. To področje pa predstavlja le majhen procent od celotnega prenosnega področja in predstavlja tako izbrana najvišja temperatura zelo konzervativen kriterij pri izbiri maksimalne temperature. Pri optimiranju prenosa so zato pomembne tudi maksimalne mesečne temperature za mikroklimatsko področje posameznega daljnovoda [1].

Po dosedanjih raziskavah je veter v naravi stalno prisoten, tudi v času skoraj popolnega brezveterja ob površini zemlje. Vedno obstaja strujanje zraka, ki ga povzroči termika tal in je na višinah daljnovodnih vodnikov še intenzivnejše. Te vrednosti so najmanj 0,5 m/s do 0,6 m/s. Nekateri tuji strokovnjaki priporočajo tudi večje vrednosti. Zavedati se moramo, da so razmere v višini daljnovodnih vrvi drugačne kot ob površini zemlje [1,3].

Jakost sončnega obsevanja je zelo odvisna ali je vreme jasno ali oblačno. V skupni toplotni bilanci pri normalni obremenitvi sončno obsevanje prispeva manjši delež k celotni dovedeni moči [1,3].

Al/Fe vodniki so izpostavljeni različnim temperaturam zraka in kjer daljnovodi prehajajo industrijska področja, tudi agresivni atmosferi. Zaradi tega zunanji plašč vodnika, ki je iz aluminija, oksidira. Za nove vodnike se vzame vrednost 0,23, za starejše 0,51, za oksidirani aluminij pa se vzame faktor absorpcije in emisivnosti $\alpha = e = 0,91$ [1].

Predpisi določajo za vodnike iz aluminija, aluminijeve zlitine, bakra in jekla temperaturno mejo 80 °C, ki je meja, ko začne vodnik izgubljati svoje mehanske lastnosti. Po nekaterih novih raziskavah, se pojav staranja začne šele pri temperaturah nad 100 °C. S pojavom temperaturno odpornih »vročih« vodnikov so se največje dovoljene temperature občutno povešale tudi do 230 °C [1].

Naši daljnovodi so v večini grajeni za največje povese pri temperaturi vodnika 40 °C. Pri nekaterih pomembnejših povezavah predvsem na višjih napetostnih nivojih oz. 400 kV so kontrole povosov izvedene pri višjih temperaturah 60 °C. Največjo temperaturo vodnika določajo varnostne višine na trasi daljnovoda, ki ne smejo biti prekoračene.

II. KONTROLA POVESOV NA TERENU

V praksi smo se, OTLM tim, prvič resneje srečali s kontrolo povesa ko smo na poligonu skrbno spremljali delovanje OTLM naprav na »Pilotski projekt DV 2 x 110 kV Črnuče – Kleče« [33-35].

V referatu [4] so predstavljeni rezultati kontrole ustreznosti varnostnih višin treh daljnovodov 110 kV na področju Elektro Maribor, in sicer DV 110 kV HE Formin - RTP Ormož, DV 110 kV RTP Ormož - RTP Ljutomer (do

SM33) in DV 110 kV RTP Formin - RTP Ljutomer. Direktn način kontrole ustreznosti varnostnih višin DV z uporabo višinomera in daljinomera s pomočjo optimizacije se je izkazal kot zelo učinkovit, enostaven in uporaben.

Avtorski tim je bil vpet kot del izvajalskega tima ali kot nadzora graditve in pri dejanski kontroli povosov s strani naročnika, ELES-a ob rekonstrukciji DV 2x110 kV Dravograd – Slovenj Gradec in graditvi DV 2x400 kV Beričevo – Krško. Te praktične izkušnje ob spremljanju graditve DV 2x400 kV Beričevo – Krško ter rekonstrukcije DV 2x110 kV Dravograd – Slovenj Gradec so osnova za kritičen razmislek o metodologiji, merilnih inštrumentih in izvedbi kontroli kontrole povosov na terenu s strani izvajalca del in nadzora oz. naročnika.

Pri vseh omenjenih projektih so bili na razpolago projekti (PZI) oz. vsi potrebni podatki od projektiranja, graditve in kontrole povosov kot osnova za prevzem oz. primopredajo DV [36,37].

Dodatne izkušnje je OTLM tim dobil na razpetini med stojnima mestoma SM23 in SM24 na OPPC vodniku na DV 2x110 kV Dravograd – Slovenj Gradec ko raziskujemo povezavo med meritvijo temperature vodnika in kota verižnice (inklinometer) z OTLM napravo ob upoštevanju dejanskih vremenskih podatkov pridobljenih iz vremenske postaje vgrajene na stebru SM23.

Na terenu smo preizkusili več merilnih metod. Povese smo kontrolirali oziroma merili na naslednje načine oz. z napravami:

- s teodolitom,
- terestrično lasersko snemanje daljnovoda,
- ultrazvočna naprava,
- meritev povesa OTLM napravo (inklinometer).

V nadaljevanju bomo opisali nekaj uporabljenih metod, tistih, ki jih v praksi uporabljajo kontrolniki oz. nadzorniki ELES-a.

III.1 KONTROLA POVESOV PRI ELES-U

Kontrolo povosov na terenu ELES vrši pri rekonstrukciji daljnovoda ali pri novogradnji daljnovoda. Pri rekonstrukciji gre za prenapenjanje vodnikov, pri novogradnji pa za montažo vodnikov.

ELES povese kontrolira v primeru novih gradenj daljnovodov, rekonstrukcijah DV ali v primeru, ko ob rednih letnih pregledih oglednik stanja na terenu ugotovi odstopanja od predpisanih varnostnih razdalj ali, ko je neko drevo oziroma podrastje preblizu vodniku.

Kontrolo povosov izvajajo lahko s teodolitom (slika 8) s katerim pomerijo višino povesa. Obenem pomerijo temperaturo okolice ter iz montažne tabele (PZI) odčitajo kakšen bi moral biti povese pri danih pogojih. Če je izmerjeni povese znotraj meje iz montažne tabele pomeni, da je daljnovod pravilno napet.

Traso, na kateri se bo izvedel razvlek vrvi, je potrebno opremiti z montažnimi koluti, zavornimi količki in dvožičnimi jezdecji, ki preprečujejo dotik vrvi na kateremkoli mestu s tlemi ali drugimi ovirami na trasi. Vodnik prepeljejo po vseh razpetinah ter napnejo s korekcijskim faktorjem (običajno pri za 10 °C nižji od temperature zraka v času vlečenja vrvi), saj je le-tega potrebno uležati in stabilizirati vsaj 24 ur, nato je potrebno označiti mesto za vgradnjo klinaste sponke oziroma montirati napenjalno spiralo v smislu navodila za montažo OPPC. Po montaži klinaste sponke pri vodniku oziroma spirale, pri OPPC kablu, se izvede kontrola povosov vrvi (v skladu z montažnimi tabelami iz PZI) in na vodniku ob naslednjem napenjalnem stebru označi mesta vgradnje druge klinaste sponke oziroma pri OPPC kablu se vgradi druga napenjalna spirala.

V zadnjem času se največkrat upošteva korekcijski faktor – 10 °C pri 110 kV daljnovodih [36], dočim pri 400 kV daljnovodu se upošteva korekcijski faktor – 20 °C [37] oziroma v skladu s priporočili projektanta [36,37]. To pomeni, da se npr. pri temperaturi okolice 30 °C npr. vodnik na 110 kV daljnovodu napne oziroma nastavi na povese po montažni tabeli pri temperaturi 20 °C, pri 400 kV pa na 10 °C. Do takšne izvedbe prihaja zaradi kompenzacije plastične deformacije vodnika.

Povesi v fazi napenjanja se nastavijo v vsakem zateznem polju, in sicer na eni ali več kritičnih razpetinah. V napenjalnem polju na ravninski trasi se za kontrolo povesa največkrat izbere najdaljša razpetina, saj je načeloma tam največji povese. V nekaterih primerih je potrebno izvesti dve ali več kontrol. Monterji v fazi montaže vodnika

za nastavljanje povesov najpogosteje uporabljajo klasično metodo vizir – letev ali pa se vrši sprotna kontrola po tangentni metodi 1 in 2.

ELES za kontrolo povesov uporablja tangentno metodo 1 ali tangentno metodo 2 ter za izračun uporablja interni program v Excel-u.

V končni fazi izvajalec del opravi kontrolo varnostnih višin in oddaljenosti za celoten daljnovod. Pri tem se običajno uporablja teodolit. Na koncu se poda izjava izvajalca del o opravljenih meritvah in ustreznih rezultatih varnostnih višin. Izvajalec del prav tako poda izjavo o povesu in nategu vodnika.

Pri montaži vodnikov igra pomembno vlogo temperatura vodnika. Za nastavitev povesov potrebuješ natančno temperaturo vodnika in zato ELES v ta namen uporablja poseben merilnik temperature vodnika. Za določitev temperature vodnika uporabljajo dva pristopa:

- 1. pristop: Iz koluta odrežejo meter vodnika, na katerega namestijo merilnik temperature (temperaturno tipalo). Ta vzorec z merilnikom potem obesijo na vodnik, katerega želijo napeti na pravilen poves, kjer ga pustijo približno 10 do 20 minut, da se stabilizira temperatura na vzorčnem vodniku. Tako dobijo temperaturo vodnika.
- 2. pristop: Merilnik temperature pričvrstijo direktno na vodnik, katerega želijo nategniti na pravilni poves ter počakajo par minut da se temperatura stabilizira na merilniku in tako odčitajo temperaturo iz merilnika.

Opozoriti je potrebno na dokaj uveljavljeno prakso med montažnimi podjetji, ki uporabljajo za določitev temperature vodnika, kar temperaturo okolice pridobljeno iz termometra na terenu. Včasih je nejasno kakšna je kakovost termometra, koliko meritev je opravljeno z različnimi termometri, ali je merjeno na tleh ali na stebri, na soncu ali v senci, kdaj je opravljena meritev. Vse našteje nejasnosti vplivajo na negotovost nastavitve povesa. Montažerji lahko predvidevajo, da če je vodnik izpostavljen temperaturi okolice, da ima enako temperaturo kot okolica. Ne vemo ali so npr. prepoznali, da če je vodnik na stebri, da pri prisotnosti vetra, temperatura na tleh ni enaka temperaturi vodnika, saj ga veter ohlaja (pride lahko tudi do 10 ali več stopinj razlike). Nasprotno ko je vodnik izpostavljen soncu se bo ogrel na višjo temperaturo od zraka [38,39].

Poznamo primere ko se montažerji poslužujejo novega pristopa, in sicer vzdolž zateznega polja postavijo štiri termometre za določitev temperature okolice ter merilnik temperature vodnika. Potem vzamejo povprečno vrednost dobljeno iz merilnikov ter tako določijo temperaturo vodnika, s pomočjo katere potem odčitajo iz montažnih tabel kakšen mora biti poves. V fazi napenjanja vršijo stalno kontrolo povesov s teodolitom.

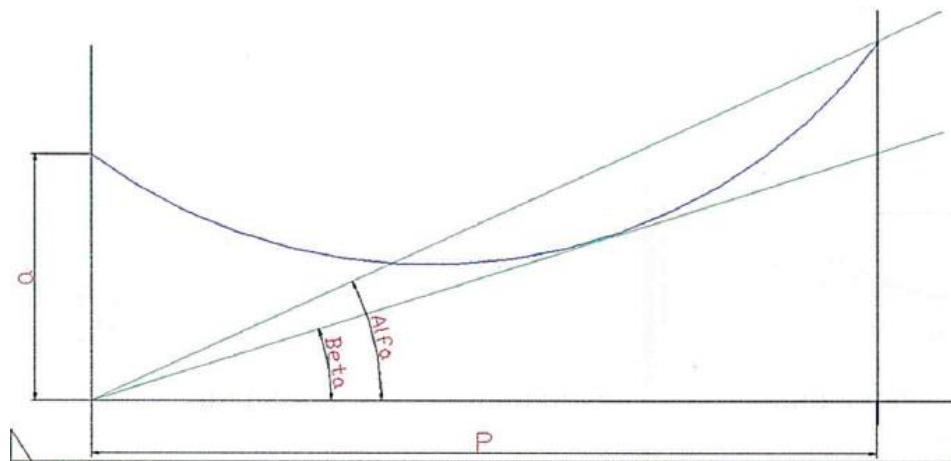
Pri merjenju povesov s teodolitom poznamo več metod določitve povesa:

- merjenje povesa pod obesiščem stebra (Tangentna metoda 1),
- metoda merjenja povesa v sredini razpetine (Tangentna metoda 2),
- merjenje povesa s strani.

Vsaka od teh metod ima svoje prednosti in slabosti. V praksi pridejo v poštev vse tri metode merjenja povesov bodisi zaradi težkega terena ali drugih vzrokov. Če se le da pa je smiselno opraviti dve neodvisni meritvi in še boljše po dveh različnih metodah. Za vse tri metode so bili razviti matematični algoritmi, ki nadalje omogočajo izračun povesov iz izmerjenih podatkov. Vsi matematični algoritmi so del enostavne računalniške aplikacije, ki omogoča hiter izračun povesa na podlagi meritve razdalj in kotov. Ker pri ELES-u uporabljajo za meritve povesov Tangentno metodo 1 in 2, so v nadaljevanju podrobno opisana le ta dva pristopa.

II.I.I MERJENJE POVESA POD OBESIŠČEM (TANGENTNA METODA 1)

Na sliki 2 vidimo shemo meritve povesov. Metoda temelji na dejstvu, da je mogoče skozi dve točki ter eno tangento definirati samo eno verižnico. Prvo točko predstavlja točka stojišča teodolita ter višina a , drugo točko razdalja P ter kot α . Tangento pa predstavlja kot β . V matematičnem algoritmu je enačba verižnice nekoliko poenostavljena in ni hiperbolični kosinus, ampak navadna kvadratna funkcija, ki je tudi dober približek povesni verižnici. S teodolitom se postavimo pod eno obesišče in usmerimo teodolit proti drugemu. Važno je, da z mesta meritve vidimo drugo obesišče in da lahko ujamemo trebuh verižnice. Če je teren močno zaraščen, to ni vedno mogoče, zato moramo v tem primeru uporabiti kakšno drugo metodo meritve. Izmeriti moramo tudi višino do obesišča, kar lahko storimo z laserskim merilnikom razdalje ali pa kar s teodolitom z vgrajenim programom »Remote height«. Poleg tega pa moramo izmeriti tudi razdaljo P od teodolita do drugega obesišča.



Slika 2: Merjenje povesa pod obesiščem stebra (Vir: [1])

Ravno v tem je osnovna prednost te metode. To razdaljo namreč lahko pogledamo v projektu (PZI) in jo nato uporabimo v izračunu. Za meritev razdalje je namreč potreben še en človek, ki nastavi prizmo na drugem stojnem mestu. Tako pa lahko meritev opravi en sam človek brez pomoči. Kot že rečeno, je glavni problem te metode izvedljivost, predvsem to velja za 110 kV daljnovode, ko ne moremo ujeti temena verižnice, kar pa še posebej velja za strelovodne vrvi, kjer so razpetine kratke in povese majhni. Poleg tega se ne moremo vedno postaviti pod obesišče zaradi zahtevnega ali neočiščenega terena, včasih zaradi podrasti ne vidimo bodisi verižnice bodisi nasprotnega obesišča ali celo obojega. V tem primeru se odločimo za meritev po drugi metodi.

Matematični algoritem za izračun povesa je naslednji:

a – razdalja od teodolita do obesišča,

P – dolžina razpetine.

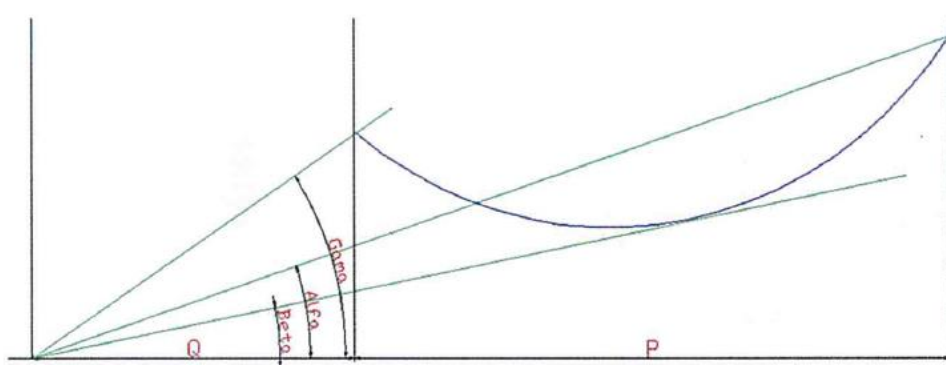
Poves:

$$b = P(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta)$$

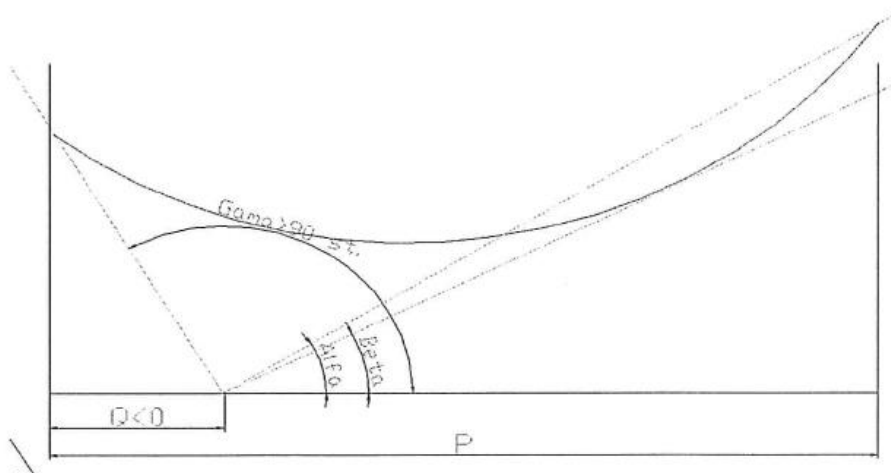
$$f = \frac{1}{2} \left(\frac{a+b}{2} + \sqrt{a+b} \right)$$

II.II.2 METODA MERJENJA POVESA V SREDINI RAZPETINE (TANGENTNA METODA 2)

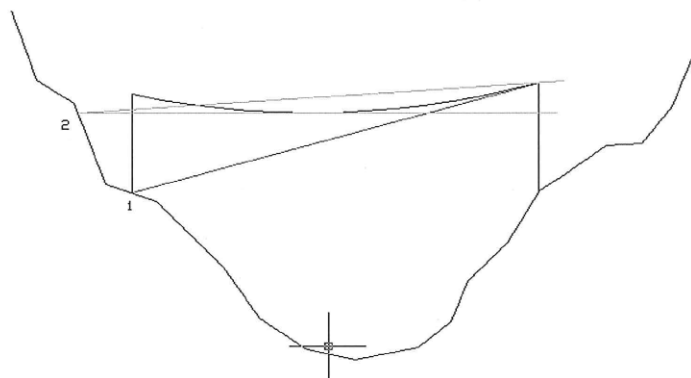
Druga merilna metoda je podobna prvi, saj prav tako temelji na določitvi povese verižnice na podlagi meritve treh točk ter tangente. Razlika je le v tem, da prvo točko določimo nekoliko drugače, in sicer ne z meritvijo višine od teodolita do obesišča, ampak z merjenjem kota γ ter razdalje Q. Drugo točko določimo s pomočjo meritve kota α in razdalje P, tangento pa določimo z meritvijo kota β . Druga metoda meritve je nekoliko zahtevnejša in nujno zahteva dva merilca. V praksi se pogosto izkaže, da je osnovni kriterij izvedljivosti meritve povesa vidljivost trebuha verižnice, zato se postavimo na tako mesto, kjer je poves čim lepše viden in čim bolj izrazit.



Slika 3: Metoda merjenja povesa v sredini razpetini (Vir: [1])

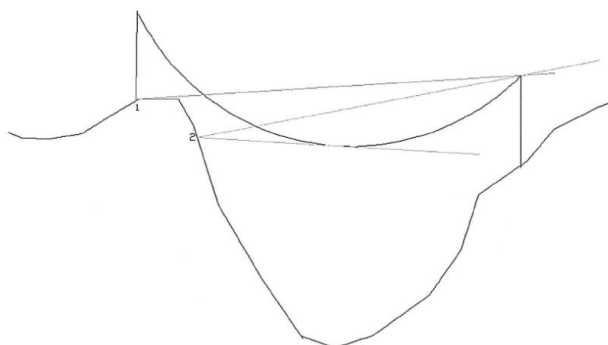


Slika 4: Metoda merjenja povesa v sredini razpetine (Vir: [1])



Slika 5: Teme verižnice mora biti z mesta meritve čim bolj izrazito, da se izognemo sistemskim pogreškom (Vir: [1])

Na sliki 5 je lepo vidno, da v točki 1 nismo mogli ujeti verižnice, zato smo se morali pomakniti v točko 2, kjer je verižnica vidna in opraviti meritev po drugi metodi. Tak primer se pojavlja na 110 kV daljnovodih, predvsem pri strelovodnih vrveh.



Slika 6: Merjenje povesa v sredini razpetine (Vir: [1])

Na sliki 6 je primer razpetine 400 kV daljnovoda. Kot vidimo v točki 1 nismo mogli ujeti verižnice, zato smo se morali pomakniti v točko 2, kjer je verižnica vidna.

Matematični algoritem temelji na dejstvu, da dve točki v prostoru in tangenta določajo verižnico [1]:

$$X_1 = Q$$

$$X_2 = P + Q$$

$$Y_1 = X_1 \operatorname{tg} \gamma$$

$$Y_2 = X_2 \operatorname{tg} \alpha$$

$$k = \operatorname{tg} \beta$$

$$m = \frac{Y_1 + Y_2}{2}$$

$$n = \frac{X_2^2 - X_1^2}{X_2 - X_1}$$

$$B = 4(Y_1 - mX_1) - 2n(k - m)$$

$$C = 4(nX_1 - \sqrt{X_1}) - \sqrt{n}$$

$$A = (-B + \sqrt{B^2 + 4C^2})$$

$$f = \frac{1}{\cos \psi} \frac{AP^2}{4}$$

II.III METODE NASTAVLJANJA POVESOV

Tudi pri nastavljanju povesov pri montaži ali prenapenjanju vodnikov poznamo tri metode določanja oz. merjenja povesov, od katerih ima vsaka svoje prednosti in slabosti. Te metode se izvajajo s pomočjo:

- viziranja,
- dinamometra,
- teodolita.

V splošnem velja, da se je do sedaj kot najbolj zanesljiva metoda nastavljanja povesov izkazala s pomočjo viziranja (Slika 7) iz enega stebra na drugega. V najdaljši razpetini na prvem stojnem mestu odmerijo poves (katerega odčitajo iz projekta PZI) in na steber na višini povesa namestijo vizir, na drugi strani pa na stojnem mestu namestijo letev na višino povesa. Poves vodnika mora biti na odmerku vizirja (na križcu v vizirju).



Slika 7: Metoda viziranja povesov (Vir: [1])

To ni vedno mogoče zaradi prevelikih povesov nasproti višinam stebrov – posebej je to problem na 400 kV nivoju.

Drugi možni način je s pomočjo merjenja sile v vodniku, ki pa se je izkazal za najmanj primerne. Dinamometer namreč meri vedno celotno silo v vrvi, ki jo je potrebno preračunavati in nikakor ni enaka horizontalni sili v vrvi, ki je navedena v povesnih oziroma montažnih tabelah vrvi.

Tretji možni način pa je s pomočjo teodolita. Ko se s teodolitom postavimo v neko točko, s programom izračunamo potreben kot, ki predstavlja ponavadi tangento, do katere moramo napeti vodnik. Metoda je zanesljiva in je bila v praksi večkrat uporabljena za nastavljanje povesov. V splošnem obstajajo tri metode za nastavljanje povesov:

- nastavitev povesa pod obesiščem stebra,
- nastavitev povesa v sredini razpetine,
- nastavitev povesa s strani.

Gre za popolnoma enake principe kot pri merjenju povesov, le da je tu pot obrnjena. Najprej izmerimo potrebne geometrijske parametre in glede na potreben poves določimo kot tangente, do katere se mora vrv povesiti.

To ni vedno mogoče zaradi prevelikih povesov nasproti višinam stebrov – posebej je to problem na 400 kV nivoju. Drugi možni način je s pomočjo merjenja sile v vodniku, ki pa se je izkazal za najmanj primernege. Dinamometer namreč meri vedno celotno silo v vrvi, ki jo je potrebno preračunavati in nikakor ni enaka horizontalni sili v vrvi, ki je navedena v povesnih oziroma montažnih tabelah vrvi.

II.II TERESTRIČNO LASERSKO SNEMANJE

Terestrično lasersko snemanje (TLS) je naprednejša tehnologija za celovit tridimenzionalni (3D) zajem prostorskih podatkov (slika 9).

Posegi na določenem zemljišču ali upravljanje industrijskih objektov zahtevajo njihovo dobro poznavanje. Stopnja poznavanja objekta je pomembna za doseganje končnega cilja, ki si ga zastavimo. Največ nujno potrebnih podatkov dobimo s »prostorskim« poznavanjem obravnavanega objekta. Prostorski podatki zato morajo pokriti celoten objekt in vsebovati podrobnosti za vse tri dimenzije (3D) z zadovoljivo natančnostjo in ločljivostjo. Le tako lahko načrtujemo bodoča dela in posegamo v zatečeno stanje.

Osnova za omenjene nujne podatke je 3D model objekta. Zbiranje 3D podatkov se je do zdaj izvajalo s posebno geodetsko opremo, ki je dajala le malo podatkov oziroma je bilo zbiranje večjega števila podatkov dolgotrajno in temu primerno drago.

Terestrično lasersko snemanje te probleme premaguje. Princip laserskega snemanja je podoben principu merjenja laserskega razdaljemera, le da zaradi svoje visoke frekvence delovanja daje možnost merjenja tako večjih objektov kot tudi njihovih manjših detajlov.

Z laserskim snemanjem je lažje izdelati PID dokumentacijo snemanega objekta. Tak posnetek prikazuje dejansko 3D sliko posnetega objekta z relativno natančnostjo nekaj milimetrov, po potrebi dopolnjeno še z georeferenčno točnostjo meritev GPS. Tako pridobljeni podatki omogočajo enostavnejšo izdelavo pregledne digitalne tehnične dokumentacije v zeleni obliki, kar lahko služi kot osnova za hitrejše sprejemanje odločitev glede popravil, vzdrževalnih del, njihovega enostavnejšega in točnega načrtovanja, hitrejšega projektiranja.

Tako pridobljene podatke je mogoče še dodatno obdelati po željah in potrebah uporabnika. Terestrično lasersko snemanje zato predstavlja močno sredstvo za kompleksno pripravo projektnih materialov tako za gradnjo, kot rekonstrukcijo, kontrolo gradbenih objektov, kot tudi za preračunavanje in analize.

Podatki, pridobljeni s terestričnim laserskim snemanjem med drugim olajšujejo pripravo projektne dokumentacije izvedenih del (PID), kar je v veliko oporo projektnemu managementu. Omogočajo 3D načrtovanje, oblikovanje in simuliranje načrtovanih zamisli. Vse naštetu skrajšuje čas izvajanja in natančnejšo kontrolo načrtovanih del (izgradnja, popravilo, rekonstrukcija). Hkrati omogočajo sprotno dopolnjevanje obstoječe dokumentacije, njeno lažjo sledljivost in zato naprednejše načrtovanje.

II.III PRINCIP DELOVANJA TLS (TERESTRIČNO LASERSKO SNEMANJE)

TLS deluje na principu laserskega žarka, s pomočjo katerega določimo obliko, velikost in položaj objektov v prostoru. Oddani laserski impulzi potujejo po celotnem obravnavanem objektu in se od njega odbijajo nazaj k instrumentu. Razdalja med sprejemnikom in obravnavano točko se izračuna na osnovi časovnega intervala potovanja signala od oddajnika do sprejemnika ali meritve faznih razlik ali trikotniške mreže. Rezultat skeniranja je oblak točk - množica prostorskih 3D točk. Z oblakom točk zagotovimo visoko stopnjo geometrične popolnosti in detajla terena oziroma objekta in zmanjšamo stroške ponovnih vračanj na teren in dodatnih izmer.

Možnost uporabe:

- pri detajlni izmeri objektov za evidenco kulturne dediščine,
- v arheologiji,
- pri merjenju deformacij in premikov objektov (npr.: obnašanje konstrukcije objekta pod obremenitvijo),
- v rudarstvu (npr.: določanje volumna izkopanega materiala),
- v gradbeništvu (npr.: določanje volumna odkopanih in nasutih mas),
- merjenje stabilnosti tal (npr.: meritve plazov),

- snemanje podzemnih objektov,
- energetika (daljnovodi, RTP-ji, termoelektrarne,...),
- v strojništvu ipd.

Prednosti za uporabnike metode:

- cenejši zajem podatkov o objektih in topografiji glede na ostale metode,
- zajem podatkov brez kontakta (primerno za skeniranje nevarnih objektov),
- pridobitev koordinat poteka samodejno in v sistematičnem vzorcu,
- dodatne meritve niso potrebne, saj so vsi objekti v vidnem polju 3D laserskega skenerja,
- oblake točk lahko uporabimo večkrat in za različne namene,
- visoko natančni digitalni modeli terena,
- hiter zajem podatkov,
- koordinate skeniranega objekta pridobimo skoraj v realnem času,
- večja varnost pri zajemu podatkov,
- upravljanje skenerja možno preko enega samega operaterja,
- enostavnost povezovanja z obstoječimi geodetskimi informacijami,
- zmožnost delovanja v popolni temi,
- kvaliteto zajema je mogoče preveriti že na terenu.

Točnosti meritev s TLS metodo:

- površinske geodetske točke naprav ≤ 2 cm,
- dimenzije naprav ≤ 1 cm,
- razdalje med napravami ≤ 1 cm.

Za izvedbo laserskih meritev uporabljamo terestrični laser nemškega proizvajalca Zoller+Frochlich GmbH, model 5006i. Laser dela na faznem principu, s hitrostjo 500.000 meritev na sekundo in resolucijo 0,1 mm (slika 8).



Slika 8: Teodolit



Slika 9: Terestrični laser (TLS) (Vir: C&G)



Slika 10: UZ merilec

II.III ULTRAZVOČNI MERILEC ZA KONTROLO VARNOSTNIH VIŠIN

Predstavimo še ultrazvočni merilec (UZ), ki ga monterji in nadzorniki uporabljajo za preprosto kontrolo varnostnih višin še posebej ob križanjih objektov (poti, cest).

Na sliki 10 je prikazan UZ merilec znamke SUPARULE MODEL 300DT. Z njim zelo enostavno merimo višino od tal do vodnika (varnostno višino). Postopek rokovanja: postaviš ga na tla, pritisneš tipko in on samodejno najde vodnik, ki je nad njim in zabeleži oddaljenost v metrih.

Pozitivne praktične izkušnje [4] pri uporabi ultrazvočnega višinomera (SupaRule CHM300D) in laserskega daljinomera (Bushnell COMPACT 800) so podprte z oceno, da se je postopek meritev izkazal za natančnega. Manjša odstopanja UZ merilcu so se začela pojavljati le pri temperaturi zraka nad 25 °C. Predpostavlja se, da je bil temu vzrok povečana vlažnost zraka, ki vpliva na odboj zvoka (meritve so izvajali meseca maja).

Natančnost laserskega daljinomera (Bushnell COMPACT 800) se je izkazala za problematično. Tako je napaka pri izračunu varnostne višine znašala -17 cm. Opravljena je meritev v 280 m dolgi razpetini na razdalji 105 m od stojnega mesta. Vpliv napake daljinomera se lahko zmanjša z izvedbo meritve v sredini razpetine (ob predpostavki, da je kota terena nespremenljiva), kar pa na žalost ni vedno možno [4].

II.IV MERITEV POVESA NA DV PODPRTE Z OTLM NAPRAVO

Kontrolo ustreznosti varnostnih višin pa lahko na predstavljen način opravimo tudi pri daljnovodih pod obremenitvijo, in sicer s pomočjo posebnih sistemov, kot sta npr. OTLM in VALCAP, ki merijo trenutno temperaturo vodnikov, katero potrebujemo za izračun osnovnega izhodiščnega stanja [4].

Podjetje C&G d.o.o. Ljubljana je skupaj s Fakulteto za strojništvo, Maribor razvilo matematični model, kateri uporabniku omogoča »online« meritev povesa na izbrani razpetini daljnovoda. Predstavljen sistem deluje na principu zajemanja oziroma meritve temperature vodnika, toka skozi vodnik ter s pomočjo integriranega senzorja za meritev naklona vodnika znotraj OTLM naprave.

Za analizo povesa so bili na razpolago tehnični podatki DV 2x110 kV Dravograd – Slovenj Gradec, razpetina SM23 – SM24 (Tabela I):

- lasersko posneti podatki TLS¹,
- meritev s teodolitom LEICA TS30²,
- meritev z OTLM modelom³,
- PZI (PID) dokumentacija (PLS-CADD) – montažna tabela (temperatura vodnika)⁴,
- PZI (PID) dokumentacija (PLS-CADD) – montažna tabela (temperatura okolice)⁵,
- temperatura okolice iz vremenske postaje ARTES na SM23⁶,
- temperatura vodnika iz OTLM naprave⁷,
- tok iz SCADA⁸.

Tabela I: Meritev povesa z OTLM modelom:

DATUM	TLS ¹	LEICA ²	OTLM ³ MODEL	PZI Tvodnika ⁴	PZI Tokolice ⁵	Tokolice ⁶	Tvodnika ⁷	I (A) ⁸
9.7.2014	6,62 m	6,50 m	6,47 m	6,31 m	5,93 m	17,4 °C	29,5 °C	285 A
17.8.2014	6,75 m	6,62 m	6,62 m	6,31 m	6,00 m	19,7 °C	29,5 °C	224 A
10.2.2015	6,06 m	6,10 m	6,09 m	5,79 m	5,56 m	6,0 °C	13 °C	188 A

OPOMBA: Dejstvo je, da podatki iz Tabele I niso enostavno primerljivi. Izračun povесov iz montažnih tabel (PZI) je odvisen od vhodne temperature (okolice ali vodnika). Logično je, da je pri temperaturi vodnika povес večji, saj je tudi temperatura vodnika višja od okolice. Razlika je tudi pri meritvah TLS in LEICA, saj meritve trajajo okoli ene ure – v tem času so se spreminjali parametri temperature vodnika, toka iz SCADA in vremenski podatki (veter, temperatura okolice, sončno sevanje). Dejstvo je, da razlika 30-40 cm povesa predstavlja preračunano na temperaturo okolice cca 10 °C v konkretni razpetini SM23-SM24. Torej med meritvami TLS in LEICA ni bistvene razlike, saj cca 10 cm preračunano na temperaturo predstavlja razliko ne večjo kot 3 °C. Razlika med merjenimi podatki in podatki iz PZI (montažne tabele) je odvina od montažne tolerance, raztezkov vodnika po montaži do meritve in vplivov parametrov na izračun povesa po numerični metodi v PZI (npr. vhodni podatki v PLS-CADD).

Podatki iz Tabele I narekujejo raziskovalcem nadaljnje analize tako izračunov v PZI (montažne tabele), preučitev primopredajnih zapisov ob kontroli povесov po montaži, analizo izrednih dogodkov kot so dodatne obremenitve (npr. žled) do natančnosti opravljenih meritev (metoda, inštrumenti, osebje) vseh parametrov iz tabele.

III. KONTROLA POVESOV NA TERENU

V nadaljevanju smo predstavili rezultate terenskih meritev in prikazov rezultatov na dveh objektih:

- DV 2 x 110 kV Črnuče – Kleče (SM28-SM29),
- DV 2x110 kV Dravograd – Slovenj Gradec (SM23-SM24).

III.I ANALIZA POVESA NA DV 2x110 kV ČRNUČE - KLEČE

Pilotski projekt DV 2 x 110 kV Črnuče – Kleče ima osnovni namen spremljanje delovanja OTLM naprav v realnem okolju. Velika prednost je dostopnost objekta in bližina le tega sedežu C&G in ELES (obrobje Ljubljane, Slovenija), ki omogoča hitro in enostavno montažo in demontažo OTLM naprave iz košare.

Pilotsko inštalacijo smo izkoristiti za analizo podatkov o geometriji verižnice v odvisnosti od temperature, ki smo jih pridobili z različnimi merilnimi metodami, iz različnih virov in od različnih strokovnjakov. Rezultat takšnega neodvisnega pristopa so rezultati, ki se medsebojno razlikujejo, ki so posledica tako subjektivnih kot objektivnih vplivov na merilne podatke [31,32,33].

Osnovni podatki izbranega poligona:

DV: 2x110 kV Črnuče – Kleče
 Vodnik: 240/40 mm² material Al/Fe (ACSR)
 Razpetina: SM28-SM29
 n.v. 291 m
 dolžina raz.: 263 m
 napetost: 6,65 daN/mm²

Meritve so izvedene v sredo 11.08.2010 okrog 12 ure na razpetini SM28-SM29:

- Ultrasonični merilec tip SupaRule 300s,
- Terrestrial lase scanner tip Z+F IMAGER 5006i.

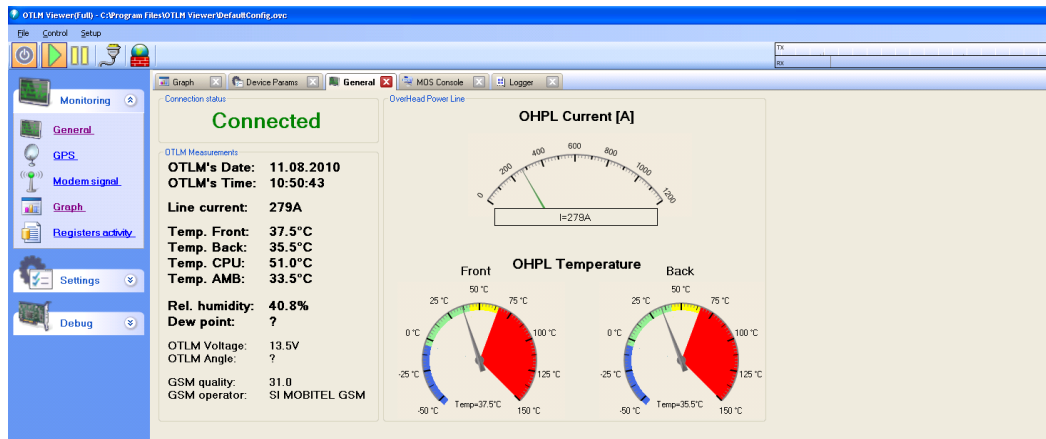
Leta 1982 so opravljene geodetske meritve (PZI) in leta 2007 je realizirano lasersko snemanje iz helikopterja (LIDAR) z napravo Optech ALTM 3100.

C&G je v sodelovanju z drugimi (ELES, ARSO) pridobil podatke (glej Tabela II, III in IV):

- PZI dokumentacija,
- LIDAR, lasersko posneti podatki zbrani v bazi podatkov GRID.MC,
- podatki v GIS,
- vremenska postaja v ELES, RTP Beričevo (DAMOS),
- javna vremenska postaja Ljubljana – Črnuče (ARSO).
- lasersko snemanje (terestični laser),
- ultrasonični merilec višine,
- podatki OTLM (slika 11).

Tabela II: Podatki merjeni 11.08.2010

Naziv podatka	Lokacija	Podatek
Prečni presek DV	PZI	Načrt - dokumentacija
Prečni presek DV	GRID.MC	Načrt – E-zapis ELES
Temp. vodnika	OTLM	Izmerjeno max. 37°C
Tok vodnika	OTLM	258 A (ob 12:40)
Temp. okolice	OTLM	33,2 °C (ob 12:40)
Vlaga okolice	OTLM	44,4 % (ob 12:40)
Temp. okolice	DAMOS	27,8 °C
Vlaga okolice	DAMOS	Ni meritve (n/p)
Sončno sevanje	DAMOS	657,6 W/m ²
Hitrost vetra	DAMOS	3 m/s
Smer vetra	DAMOS	344,6 °
Temp. okolice	ARSO	28 °C
Vlaga okolice	ARSO	55 %
Sončno sevanje	ARSO	779 W/m ²
Hitrost vetra	ARSO	3,2 m/s
Smer vetra	ARSO	Sever Vzhod
Tok vodnika	ELES	233,7 A (ob 12:42)



Slika 11: OTLM Viewer povezava z OTLM napravo z uporabo lokalnega dostopa: Bluetooth: meritve in prikaz alarmnih stanj (Vir: C&G)

Zbrani podatki so prikazani na sliki 12. Potrebno jih je komentirati, ker so prisotne razlike. Analiza podatkov (Tabela II) na sliki 12 kaže na možne napake pri obdelavi podatkov (pri temp. + 40 °C), ki izvirajo iz različnih virov.

Razlike izvirajo iz metode izračuna (stari in novi izračun nista po enakem programu oz. standardu), merilne metode (ultrasonična meritev ni zadosti natančna) in podatka LIDAR (za pričakovati je da je prišlo do dodatne plastične deformacije vodnikov po posnetku LIDAR).

Matematični izračun nam pri povescu v tej razpetini pove, da se povesc pri spremembi temperature z 0 °C na + 40 °C poveča z 8,058 m na 9,129 m oz. za 1,071 m.

Tabela III: Podatki pridobljeni na več načinov (Slika 12)

Metoda	Poves 40 °C	Višina 40 °C	h stebra
PZI (stari izračun)- leto 1982	8,22 m	8,04 m	16,66 m
Nov izračun - ORANŽNA BARVA	9,07 m	11,10 m	16,66 m
LIDAR – VIJOLIČNA BARVA*	11,53 m	8,99 m	16,68 m
Ultrasonična meritev – MODRA BARVA	6,99 m	12,68 m	16,19 m
Terrestrial lase scanner	8,83 m	11,50 m	16,66 m

*Simulacija PLS CAD – LIDAR posnetek (temp. vodnika 60 °C in okolice 40 °C)

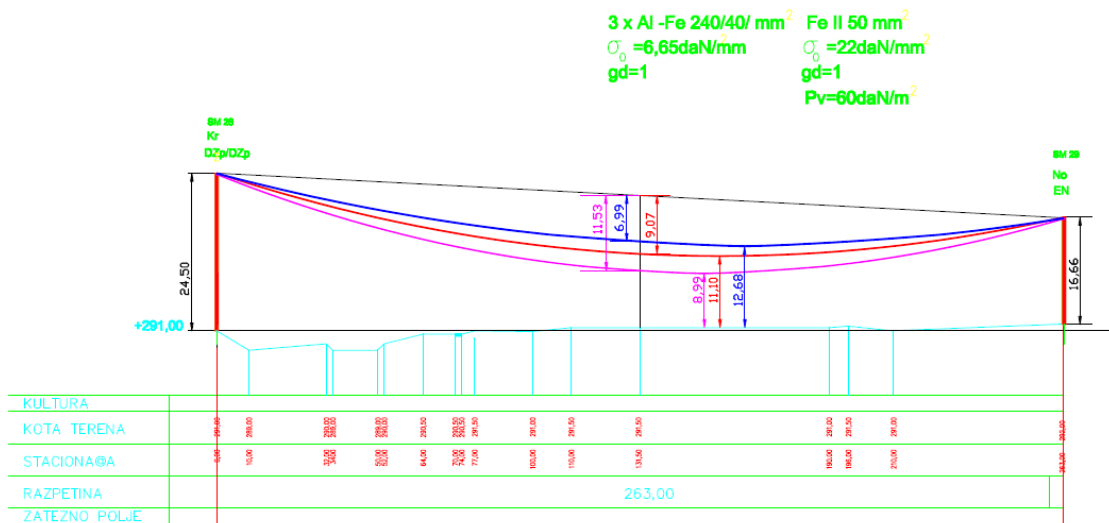
Tabela IV: Podatki dejanske varnostne višine na dan meritev pri 28 °C (okolica)

Metoda	Varnostna višina 28 °C	h stebra
PZI (stari izračun)- leto 1982	9,04 m	16,66 m
Nov izračun - ORANŽNA BARVA	11,43 m	16,66 m
LIDAR – VIJOLIČNA BARVA	12,04 m	16,68 m
Ultrasonična meritev – MODRA BARVA*	12,95 m	16,19 m
Terrestrial lase scanner	11,95 m	16,66 m

*Meritev ni narejena v najnižji točki verižnice (približek).

Odstopanja so velika med prvotnim izračunom in ultrazvočno meritvijo. Te razlike nas opozarjajo, da je potrebno pri uporabi OTLM naprave zagotoviti:

- pravilno določitev dejanskega stanja geometrije verižnice v realnem okolju z dovolj natančno metodo meritev (laser, geodetski posnetek),
- meritv na terenu naj opravijo usposobljeni strokovnjaki (geodeti),
- upoštevati spremembe na terenu (na konkretnem poligonu se je v tridesetih letih spremenila konfiguracija terena; nasipali so lokalne ceste, spreminja se višina zaradi oranja oz. obdelave terena, rastejo različne kulture - travnik, koruza, grmovje, drevesa),
- v tridesetih letih se je spremenila tudi mehanika oz. geometrija vodnika (plastična deformacija oz. podaljšanje vodnika).



Slika 12: Verižnice na razpetini SM28-SM29 določene z različnimi metodami (Vir: C&G)

Sklepamo lahko, da v primeru uporabe OTLM naprave v določeni kritični razpetini moramo zagotoviti natančne geometrijske meritve verižnice ob dejanskem stanju vodnika, temperaturi vodnika in vremenskih podatkih okolice (temperatura, smer in jakost vetra, vlaga, sončno sevanje). Le tako pridobljeni podatki so lahko garancija za pravilno nastavitve alarmnih stanj ali predikcije voznega reda obremenitve daljnovoda (DTR).

III.II ANALIZA POVESA NA DV 2x110 kV DRAVOGRAD – SLOVENJ GRADEC

Analiza povesa je bila narejena na DV 2x110 kV Dravograd – Slovenj Gradec, in sicer na razpetini med stojnima mestoma SM23 in SM24 na OPPC vodniku (slika 13).



Slika 13: DV 2x110 kV Dravograd – Slovenj Gradec (SM 23) (Vir: C&G)

Tehnični podatki daljnovoda so:

- DV 2x110 kV DRAVOGRAD - SLOVENJ GRADEC, sistem 1 in 2,
- PZI št.: 258 PZI / 2x110 DG-SL GR 2009-2A
- Število SM – Portal Dravograd - SM01 ... SM52 - portal Slovenj Gradec
- Tip glave stebra DONAVA
- Razpetina SM23-SM24 (razpetina 250,35 m)

- Dolžina DV 12.170 m,
- Srednja razpetina 234 m,
- Maksimalna razpetina 369 m,
- Al/ACS 240/40 mm² (Al plašč – 26 x 3,44 mm, Presek Al 241,65 mm², ACS jedro 7 x 2,67 mm, Presek ACS – 39,19 mm²),
- OPPC 222-AL1/40-A20SA, 72 G.652D + 2 GI50 (Presek plasti: prva plast 16,08 mm², druga plast 85,88 mm², tretja plast 120,24 mm² in A20SA – 40,216 mm²).

Za analizo povesa so bili na razpolago tehnični podatki DV 2x110 kV Dravograd – Slovenj Gradec, razpetina SM23 – SM24 (Tabela V, VI in VII):

- PZI (PID) dokumentacija (PLS-CADD) – montažna tabela¹,
- dodatni izračun (PLS-CADD) – montažna tabela²,
- ročni izračun po deterministični metodi [2] (vhodni podatek daN)³,
- ročni izračun po deterministični metodi [2] (vhodni podatek N)⁴,
- lasersko posneti podatki TLS⁵,
- izračun DAMOS z uporabo IEEE formule (DTR) TLS⁶,
- meritev z UZ merilcem⁷,
- lasersko posneti podatki zbrani v GRID.MC⁸,
- montažerska kontrola povesa v primopredajnem zapisniku C&G-ELV⁹.

OPOMBA: Pri primerjavi rezultatov izračunov moramo vedeti, da so lahko vhodni/izhodni podatki različni, saj so metodologije izračuna lahko različne, ki so odvisne tudi od uporabljenih tehničnih predpisov in standardov!

Tabela V: Analiza povesov z različnimi metodami v breznapetostnem stanju daljnovoda

(I = 0 A, izklopljen daljnovod), dne 26.4.2013 ob 10.00 uri pri temperaturi okolice 17,7 °C,

Metoda	PZI ¹	Montažna tabela ²	Ročni izračun ³	Ročni izračun ⁴	Laser TLS ⁵	DAMOS ⁶	Ultrazvok ⁷	GRID.MC ⁸	C&G-ELV ⁹
Poves	6,01 m	6,01 m	6,25 m	6,15 m	6,10 m	6,08 m	7,26 m	6,34 m	6,01 m
Temperatura okolice	17,7°C	17,7°C	17,7°C	17,7°C	17,7°C	17,7°C	17,7°C	Ni podatka	17,7°C
Var. višina	8,56 m	8,56 m	8,32 m	8,42 m	8,47 m	8,49 m	7,31 m	8,23 m	8,56 m

Tabela VI: Analiza povesov z različnimi metodami (DV v obratovanju I = 121 A),

dne 25.7.2013 ob 15.00 uri pri temperaturi okolice 30 °C in temperaturi vodnika 41,5 °C

Metoda	PZI ¹	Montažna tabela ²	Ročni izračun ³	Ročni izračun ⁴	Laser TLS ⁵	DAMOS ⁶
Poves	6,37 m	6,40 m	6,40 m	6,30 m	6,62 m	6,30 m
Temperatura okolice	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C	30°C
Var. višina	8,20 m	8,17 m	8,17 m	8,27 m	7,95 m	8,27 m

*Pri izračunu upoštevan samo vpliv temperature okolice na poves (brez upoštevanja toka, sončnega sevanja, vetra,...)

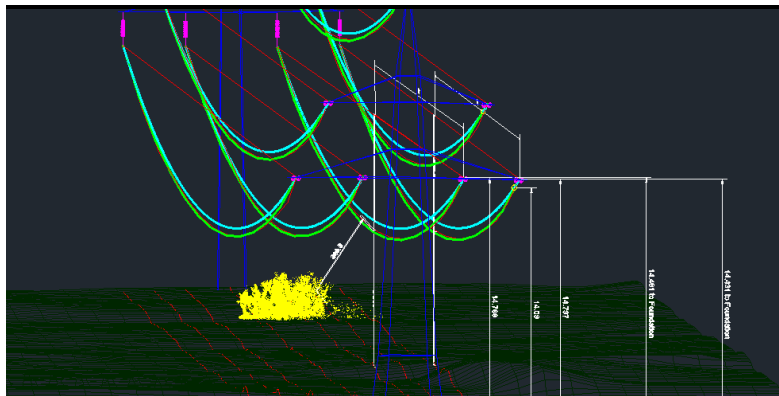
Tabela VII: Analiza povesov z različnimi metodami (DV v obratovanju I = 135 A),

dne 29.7.2013 ob 14.30 uri pri temperaturi okolice 35 °C in temperaturi vodnika 44 °C

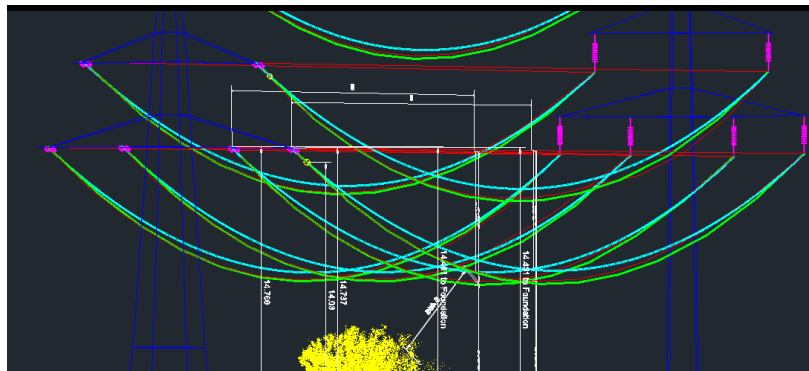
Metoda	PZI ¹	Montažna tabela ²	Ročni izračun ³	Ročni izračun ⁴	Laser TLS ⁵	DAMOS ⁶
Poves	6,52 m	6,55 m	6,46 m	6,36 m	6,76 m	6,47 m
Temperatura okolice	35°C	35°C	35°C	35°C	35°C	35°C
Var. višina	8,05 m	8,02 m	8,11 m	8,21 m	7,81 m	8,10 m

*Pri izračunu upoštevan samo vpliv temperature okolice na poves (brez upoštevanja toka, sončnega sevanja, vetra,...)

Na sliki 14 in 15 so predstavljeni rezultati (Tabela V-VII) pridobljeni z laserjem TLS. Rezultati so grafično predstavljeni v formatu AutoCAD (za dan 26.4. – modra, 25.7. – rdeča in 29.7. – zelena verižnica).



Slika 14: Prikaz povečanja povsesov verižnic glede na povečanje temperature okolice (Vir: C&G)



Slika 15: Bočni prikaz povečanja povsesov zaradi povečanja temperature okolice (Vir: C&G)

IV. ZAKLJUČEK

Z našim prispevkom smo želeli opozoriti na pomembnost določitve geometrije verižnice po tem, ko je sprejeta odločitev, da se na izbranem DV uveljavi funkcija DTR.

Dejstvo je, da smo se v zadnjem obdobju ukvarjali predvsem z analizo točnosti meritev senzorjev, kot je to OTLM naprava, ki meri temperaturo vodnika. OTLM ima na osnovi laboratorijskih meritev zagotovljeno toleranco meritev temperature vodnika znotraj ± 2 °C.

S praktičnimi primeri meritev z različnimi metodami in napravami smo opozorili na negotovosti meritev, ki lahko izvirajo iz kakovosti merilnih naprav, merilnih metod in usposobljenosti merilcev. Dejstvo je, da napake lahko presežejo toleranco OTLM naprave.

Ultrazvočni merilec lahko uporabljamo le za kontrolne meritve, saj je položaj merilca odvisen od izbire lokacije pod vodnikom (neravnine na tleh, rastline, netočnosti razdalj vzdolž razpetine in drugo).

Brez meritev dejanskih višin (terestrični laser, teodolit) ni pravih izhodiščnih podatkov o geometriji verižnice. Zagotovljena toleranca meritve verižnice s terrestričnim laserjem TLS dosega 14 mm.

Podatki iz PZI (montažne tabele) ali primopredajnih zapisnikov ob zaključku montažnih del so lahko le vodilo. Zavedati se moramo na osnovi izkušenj, da je montažna toleranca vsaj 15-20 cm, kar v našem primeru na DV 2x110 kV Dravograd – Slovenj Gradec predstavlja cca 5-7 °C tolerance (namreč ΔT od 10 °C pri 20 °C okolice predstavlja 32 cm povesa – glej montažne tabele v PZI). Torej lahko ocenimo, da montažne tolerance povesa na DV 2x110 kV Dravograd – Slovenj Gradec dosegajo preračunano na ekvivalentno temperaturo vsaj ± 5 °C.

Previdni moramo biti tudi pri uporabi podatkov pridobljenih s helikopterskim laserskim snemanjem (GRID.MC ali GMS), saj so tolerance meritve višin od 8 do 20 cm. Ob tem moramo biti pozorni na možnost nenatančnih meritev temperature okolice (ARSO) in toka (ELES-SCADA), ki so lahko tudi časovno neusklajene s potekom preleta.

Sklepamo, da je zagotovljena toleranca OTLM $\pm 2^{\circ}\text{C}$ več kot zadostna za podporo funkcije DTR pri čemer zaradi številnih razlogov (montaža, staranje) predlagamo določitev verižnice ob montaži OTLM zaradi pravilne nastavitve alarmov. Predlagamo dosledne periodične meritve verižnice ter tako zagotovimo obvladovanje dejanskih povesov oz. varnostnih višin ob aktivni funkciji DTR.

REFERENCE

- [1] B. Volk, Problematika povesov pri nadzemnih vodih z vplivom neelastičnih raztezkov na poves, diplomska naloga, avgust 2005, Maribor,
- [2] M. Plaper, Elektroenergetska omrežja III. del, Optimalni razvoj razdelilnih in prenosnih omrežij ter oblikovanje daljnovodov, Fakulteta za elektrotehniko v Ljubljani, 1977, Ljubljana,
- [3] V. Lovrenčič, M. Gabrovšek, Monitoring temperature vodnika v slovenskem prenosnem omrežju (OTLM), internetna stran: www.c-g.si in www.otlm.si, 27.07.2010,
- [4] E. Slokan, G. Štumberger, Kontrola ustreznosti varnostnih višin daljnovoda 110 kV s pomočjo optimizacije, 10. konferenca slovenskih elektroenergetikov CIGRE – CIRED, 30.5. - 1.6.2011, Ljubljana,
- [5] M. Kovač, V. Lovrenčič, D. Kozjek, M. Krevelj, Statično in dinamično določanje obremenjenosti DV 2x110 kV Slovenj Gradec – Dravograd na podlagi spremljanja točkovne in vzdolžne meritve temperature, 11. konferenca slovenskih elektroenergetikov CIGRE – CIRED, 27.–29. maj 2013, Laško,
- [6] V. Lovrenčič, M. Marinšek, D. Kozjek, M. Kovač, M. Gabrovšek, Točkasto i uzdužno mjerenje temperature osnova za statičko i dinamičko određivanje opterećenja DV 2x110 kV Slovenj Gradec – Dravograd, 11. Savjetovanje HRO CIGRE, 10.-13.11. 2013, Cavtat,
- [7] A. Ivec, V. Lovrenčič, Verižnica v teoriji in praksi, Poročilo št. 115/AI/13, C&G d.o.o. Ljubljana, december 2013,
- [8] V. Lovrenčič, N. Gubelj, B. Banić, A. Ivec, D. Kozjek, M. Jarc, Monitoring za posredno određivanje promjene horizontalne sile u zavisnosti od promjene temperature i nagiba nadzemnog voda dalekovoda prijenosnog sustava, HRO CIGRE – 11. simpozij o sustavu vođenja EES-a, 10. – 12. november 2014, Opatija,
- [9] V. Lovrenčič, M. Polak, R. Tomažič, S. Peulić, Diagnostika nadzemnih vodov omogoča pridobitve upravljavcu prenosnih poti, 9. konferenca SLOKO CIGRE – CIRED, 25. - 27. 5.2009, Kranjska Gora
- [10] Pravilnik o tehničnih normativih za graditev nadzemnih elektroenergetskih vodov z nazivno napetostjo od 1 kV do 400 kV (TP 4/89), Ur. l. SFRJ št. 65/88,
- [11] Pravilnik o tehničnih normativih za gradnjo nadzemnih elektroenergetskih vodov (Ur. l. SFRJ št. 51/73, št. 69/73 in št. 11/80).
- [12] Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov (Ur. l. RS št. 101/05),
- [13] Pravilnik o tehničnih pogojih za graditev nadzemnih elektroenergetskih visokonapetostnih vodov izmenične napetosti 1 kV do 400 kV, Ur. l. RS št. 52/14,
- [14] SIST EN 50341-1:2002 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 45 kV – 1. del: Splošne zahteve – Skupna določila
- [15] SIST EN 50341-3-21:2009 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 45 kV – 3-21. del: Nacionalna normativna določila (NNA) za Slovenijo (na podlagi SIST EN 50341-1:2002)
- [16] SIST EN 50423-1:2005 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 1 kV do vključno 45 kV – 1. del: Splošne zahteve – Skupna določila
- [17] SIST EN 50423-3-21:2009 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 1 kV in do vključno 45 kV – 3-21. del: Nacionalna normativna določila (NNA) za Slovenijo (na podlagi SIST EN 50423-1:2005)
- [18] K. Bakić: Nekateri novosti novega standarda EN 50341-1 za gradnjo in projektiranje nadzemnih vodov, SKLOP 1-1, 2. slovenska konferenca o vzdrževanju elektroenergetskih omrežij, Nova Gorica 2014
- [19] CIGRE, Working Group WG 22.12, The thermal behaviour of overhead conductors, section 1 in 2: mathematical model for evaluation of conductor temperature in the steady state and the aoolication thereof, ELECTRA, No. 144, 1992
- [20] CIGRE, Working Group WG 22.12, Mathematical model for evaluation of conductor temperature in the unsteady state, Electra, No. 174, 1997,
- [21] CIGRE, TB 207, Thermal behaviour of overhead conductors, Working group 22.12, 2002,
- [22] CIGRE, TB 244, Conductors for the uprating of overhead lines, 2004,

- [23] CIGRE, TB 299, Guide for selection of weather parameters for bare overhead conductor ratings, Working group B2.12, 2006,
- [24] CIGRE, TB 324, Sag-Tension Calculation Methods for Overhead Lines, Task Force B2.12.3, 2007,
- [25] CIGRE, TB 498, Guide for Application of Direct Real-Time Monitoring Systems, WG B2.36, 2012,
- [26] CIGRE, TB 601, Guide for Thermal Rating Calculations of Overhead Lines, Working group B2.43, 2014,
- [27] IEEE Std 738-1993, Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors, (Revision of IEEE Std 738-1986), IEEE-SA Standards Board, 17.06.1993,
- [28] IEEE Std 738™-2006, Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead Conductors (Revision of IEEE Std 738-1993), IEEE-SA Standards Board, 16.11.2006,
- [29] IEEE Std 738-2011, “IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors”. 2011,
- [30] IEEE Std 1283™-2004, Guide for Determining the Effects of High-Temperature Operation on Conductors, Connectors, and Accessories, IEEE-SA Standards Board, 23.09.2004,
- [31] IEC TR3 1597:1995, Overhead electrical conductors – Calculation methods for stranded bare conductors, 1995,
- [32] G. Lakota, J. Kosmač, M. Marinšek, B. Barl, J. Kostevc: Primerjava rezultatov meritev in izračunov temperatur vodnika pridobljenih iz različnih merilnih sistemov, nameščenih na istem daljnovodu (B2-24)« na 11. konferenci slovenskih elektroenergetikov, CIGRE – CIRED, 27.–29. maj 2013, Laško,
- [33] V. Lovrenčič, Pilotski projekt DV 2 x 110 kV Črnuče – Kleče “GEOMETRIJA VERIŽNICE”, C&G d.o.o. Ljubljana, 8.9.2010,
- [34] V. Lovrenčič, M. Gabrovšek, Temperature monitoring of overhead lines (OHL) is Smart Grid solution for power grid, Smart Grid 2010, 21.-23.11.2010, Sibiu,
- [35] PGD in PZI, DV 2x110 kV Kleče - Črnuče, projekt št. 4549, IBE, oktober 1982,
- [36] PZI, DV 2x110 kV Dravograd – Slovenj Gradec, projekt št.: 258 PZI / 2x110 DG-SL GR 2009-2A, Nova Gorica, februar 2009,
- [37] PZI, DV 2x400 kV Beričevo-Krško, projekt št. 140, Načrt električnih instalacij in električne opreme – Elektrotehnično poročilo daljnovoda, št. mapa: D268-7E/M01, IBE, julij 2012,
- [38] M. Bougue, Nadzemni vodovi vro visokog napona, Priručnik, Tom 4,
- [39] G. Mirošević, F. Vidaković, Projektiranje, građenje i održavanje dalekovoda, KIGEN d.o.o., Zagreb, 2008.