



PRENAŠAMO ENERGIJO,
OHRANJAMO RAVNOVESJE.

Možnosti kabliranja slovenskega 110 kV omrežja

Pripravil:

mag. Klemen Dragaš

Miran Marinšek

ELES, d.o.o.

direktor družbe

mag. Aleksander Mervar

Februar 2017

Vsebina

1	Uvod	3
2	Načrtovanje omrežja	3
3	Stanje kabliranja v Evropi in svetu – primerjava s Slovenijo	5
4	Zanesljivost, razpoložljivost in življenjska doba	8
4.1	<i>Kriteriji za določitev zanesljivosti EE omrežja</i>	8
4.1.1	<i>Pogostost in število okvar</i>	8
4.1.2	<i>Čas odprave okvare</i>	8
4.1.3	<i>Zanesljivosti nadzemnih in kabelskih vodov</i>	9
4.2	<i>Življenjska doba daljnovodov in kablovodov</i>	9
5	Okoljsko-prostorski vidiki kabliranja in elektromagnetni vplivi	11
5.1	<i>Primerjava umestitve v prostor</i>	11
5.1.1	<i>Primerjava širine varovalnega pasu</i>	12
5.2	<i>Primerjava elektromagnetnih vplivov</i>	12
6	Ekonomsko-tehnična analiza in stroški obratovanja	14
6.1	<i>Ocena investicijskih stroškov za 110 kV kablovode</i>	14
6.2	<i>Stroški VN vodov v življenjski dobi</i>	15
6.3	<i>Stroški izgub</i>	15
6.4	<i>Višina investicije v 110 kV kablovode, ki jih dosega družba ELES</i>	16
7	Kabliranje 110 kV omrežja v Sloveniji	17
7.1	<i>Zmožnosti družbe ELES za financiranje kabliranja 110 kV omrežja</i>	19
8	Povzetek primerjave 110 kV daljnovodov in kablovodov	20
9	Viri	22

1 Uvod

Pri gradnji novih elektroenergetskih visokonapetostnih vodov se vse pogosteje pojavljajo pobude posameznikov in civilnih iniciativ po zamenjavi nadzemnih vodov s kabli. Ta trend po drugi strani ni omejen le na načrtovane objekte, temveč se pojavlja tudi naraščajoče število pobud in teženj različnih interesnih skupin za kabliranje že obstoječe nadzemne elektroenergetske infrastrukture.

Glavni namen dokumenta je predstaviti primerjavo razlik med nadzemno in vkopano izvedbo elektroenergetskih povezav (tj. daljnovodov (DV) in kablovodov (kbV)) ter tehnični in finančni vidik obsežnejšega kabliranja visokonapetostnega omrežja.

2 Načrtovanje omrežja

Na splošno načrtovanje kabskega prenosnega sistema sledi popolnoma drugačnim načelom kot načrtovanje prostozračnih sistemov. Razlog za to so predvsem različno električno obnašanje vodov v elektroenergetskem sistemu (EES), ki ga določajo njihovi električni parametri. Daljnovodi in kablovodi se med seboj najbolj razlikujejo po kapacitivnosti in obratovalnih impedancah, iz katerih sledijo vse preostale parametrske razlike, ki so iz teh posledično izpeljane.

Ob vklopu nekega voda na obratovalno nazivno napetost teče vanj tudi v neobremenjenem stanju polnilna moč, ki je za nek določen napetostni nivo odvisna od višine kapacitivnosti. Polnilni moči se prišteva še dejansko prenesena moč do bremena, vse skupaj pa na impedancah povzroča izgube.

Neobremenjen daljnovod obratuje v kapacitivnem karakterju (proizvaja jalovo moč) in z naraščanjem obremenitve preide v cono induktivnega obratovanja, kjer postane porabnik jalove moči. Tej točki pravimo naravna moč daljnovoda. Če še naprej povečujemo obremenitev, gremo globje v induktivno območje do termične meje, določene z mejno temperaturo daljnovodnih (DV) vodnikov.

Kablovod se zaradi temeljnih konstrukcijskih zasnov takim razmeram ne more približati, saj ta vedno obratuje v kapacitivnem območju. Termična moč kablovoda ni določena s termično-mehansko omejitvijo vodnika, temveč s termično mejno obremenitvijo izolacije-dielektrika.

Zaradi povečevanja porabe in zagotavljanja visoke stopnje neprekinjenosti dobave električne energije smo priča povečevanju zazankanosti 110 kV omrežja. V primerih paralelno delujočega kbV in DV se moč porazdeli v skladu z upornostjo. Ker ima kbV 3,5-krat manjšo obratovalno impedanco, bo ta 3,5-krat bolj obremenjen kot DV. V primeru obratovanja DV in kbV z enako termično zmogljivostjo se bo

moč porazdelila v razmerju 33 proti 100, tako da se termično preobremeni kbV in hkrati razbremenjuje DV povezavo. Skupni prenos obeh vodov skupaj torej omejuje dopustna prenosna moč kbV. Tako z drago investicijo podvajanja prenosnih poti povečamo prenos moči med postajama namesto za 100 % le za 33,3 %.

Zazankana kablensko/prostozračna omrežja morajo delovati ločeno oziroma že v sami fazi načrtovanja predvideti vse možne scenarije obratovanja in dati poudarek na:

- harmonično impedanco,
- dinamične in prehodne pojave,
- kompenzacijo jalove moči,
- koordinacijo izolacije,
- indukcijo/vplive v sosednjih infrastrukturah,
- kratkostične moči,
- simetriranje omrežja itd.

3 Stanje kabliranja v Evropi in svetu – primerjava s Slovenijo

V okviru raziskave, ki jo je naredil CIGRE [1], je bilo ugotovljeno, da delež kablovodov glede na celotno izmenično omrežje na 110–219 kV napetostnem nivoju znaša le 2,9 %. Skladno z omenjeno raziskavo [1] slika 1 prikazuje delež kablovodov glede na celotno izmenično omrežje za napetostni nivo 110–219 kV za posamezno državo (pod rdečo črto so evropske države, nad črto so še ostale države v svetu). Glede na prikazano je mogoče opaziti, da je v povprečju delež kabliranih prenosnih omrežij po svetu razmeroma majhen. Delež kabliranih 220 in 400 kV omrežij pa je v primerjavi s 110 kV omrežjem še manjši.

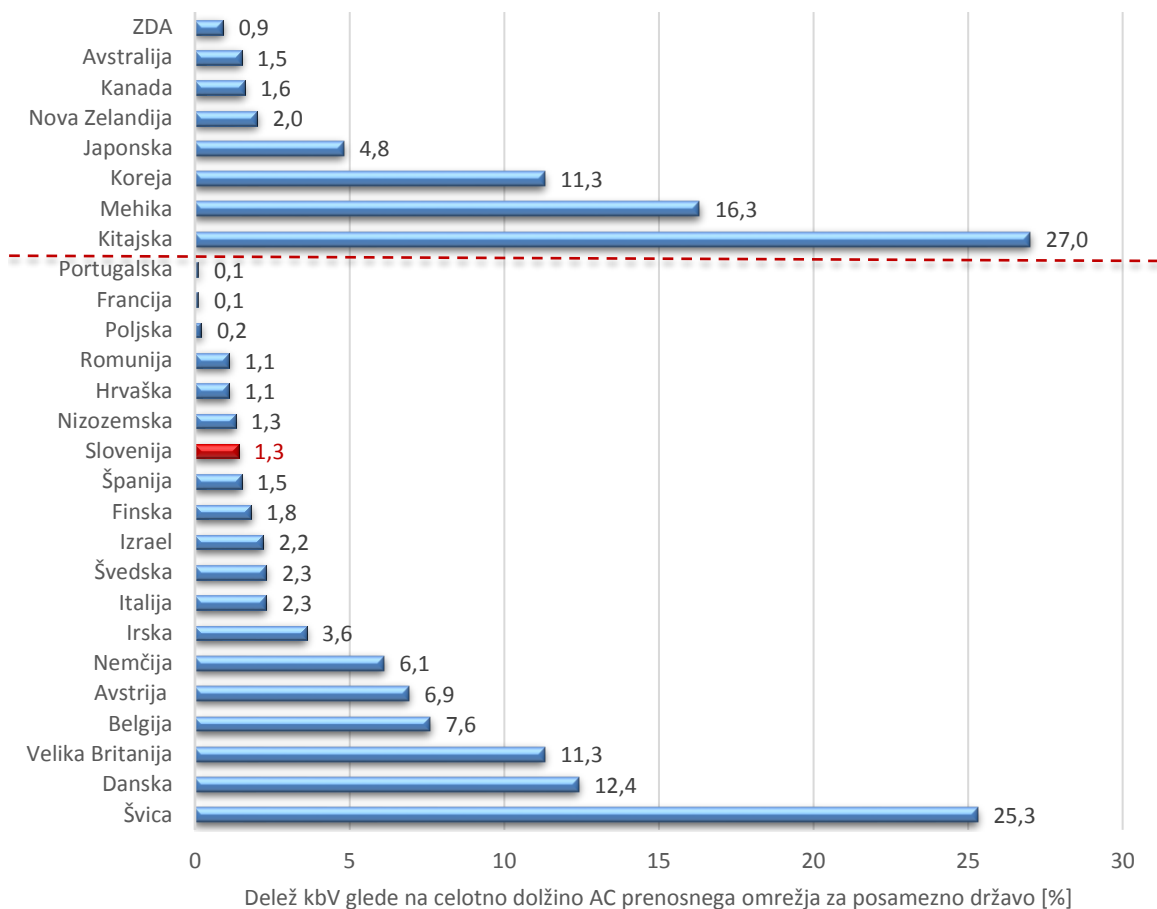
Tabela 1: Primerjava dolžine visokonapetostnega omrežja ENTSO-E in ELES (v km) ter odstotek kabliranja

prenosne kapacitete 220/330/400/750 kV: članice ENTSO-E na dan 31.12.2015			
	skupaj	od tega kabli	kabli v %
ENTSO-E: glede na prenosno moč	257.941	4.145	1,61%
ELES	997	-	0,00%
ENTSO-E: glede na dolžino	130.319	664	0,51%
ELES	795	-	0,00%

Vir: <https://www.entsoe.eu/db-query/miscellaneous/lengths-of-circuits>

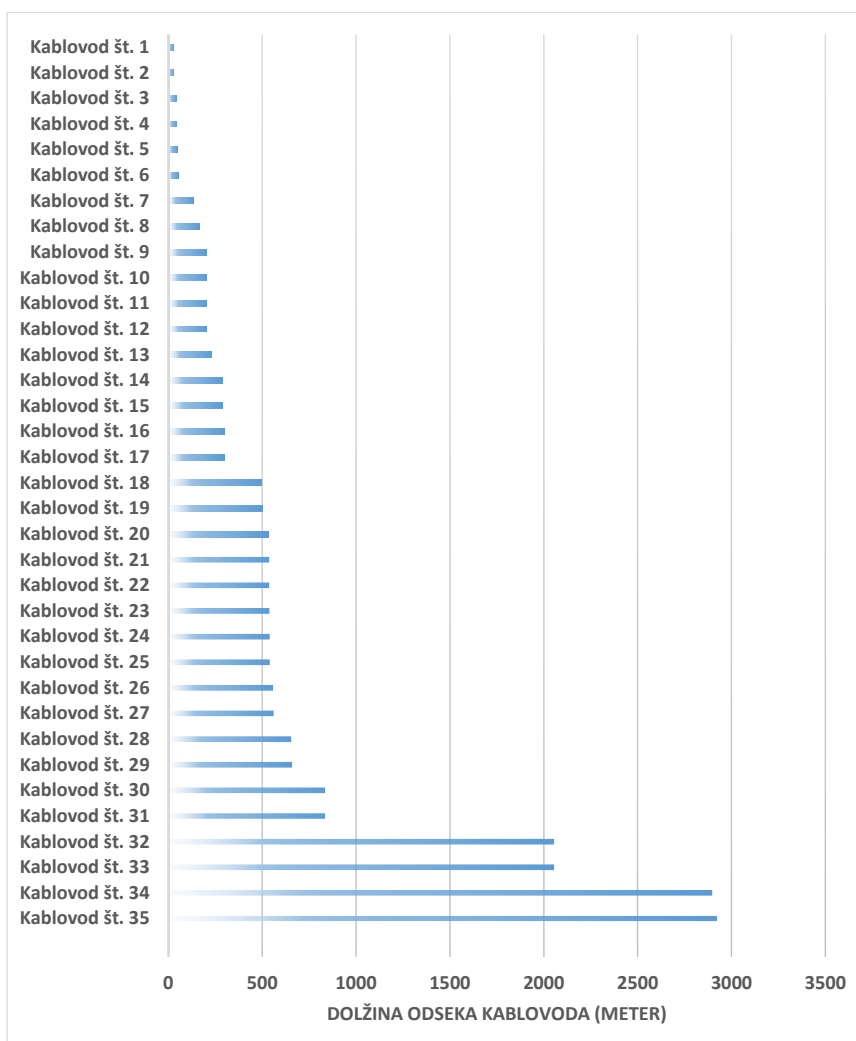
Slovensko prenosno omrežje obsega 3.594 km vodov, pri čemer skupna dolžina 400 kV daljnovodov znaša 669 km, 220 kV daljnovodov 328 km, skupna dolžina 110 kV pa 2.692 km, od tega jih je 1.846 km v lastništvu družbe ELES [6]. Pri tem so vsi sistemi vodov obravnavani ločeno. V Sloveniji je pri nazivni napetosti 110 kV število kablovodov razmeroma majhno, njihova skupna dolžina znaša 35 km (ELES 21 km), kar predstavlja 1,3 % skupne dolžine 110 kV povezav.

Primerjava stopnje kabliranja 110 kV omrežja z nekaterimi drugimi evropskimi državami (slika 2) pokaže, da je odstotek kabskega omrežja v primerjavi s celotnim 110 kV omrežjem primerljiv z večino drugih evropskih držav in tudi držav po svetu. Redko izjemo predstavljajo določene evropske države, kot je na primer Danska, ki ima sprejeto nacionalno politiko obsežnejšega kabliranja elektroenergetskega omrežja [4].



Slika 1: Delež kablovodov glede na celotno AC omrežje za 110–219 kV napetostni nivo za posamezno državo [1]

Zanimivo dejstvo je tudi pregled dolžine odsekov danes vgrajenih 110 kV kablovodnih povezav v Sloveniji. Slika 2 razkriva, da je takih odsekov 35, pri čemer je najdaljši odsek dolg približno 3 km, povprečno pa se dolžine gibljejo med 500 in 1.000 metri. Od tod izhaja dejstvo, da so se kablovodi v preteklosti gradili izključno tam, kjer daljnovoda fizično ni mogoče zgraditi oziroma je trasa umeščena izjemoma v občutljivem naravnem okolju, ter ob različnih uvodih v energetske objekte.



Slika 2: Dolžine kabliranih 110 kV odsekov družbe ELES

4 Zanesljivost, razpoložljivost in življenjska doba

4.1 Kriteriji za določitev zanesljivosti EE omrežja

Zanesljivost elektroenergetskega (EE) omrežja (zadostnost in sigurnost) mora biti zagotovljena v normalnem obratovanju in tudi v nenormalnih obratovalnih stanjih, ko mora biti izpolnjen sigurnostni kriterij N-1. Ta kriterij je izpolnjen, ko zaradi izpada katerega koli daljnovoda ali kablovoda ne pride do preobremenitve preostalega dela omrežja in napetost ostane znotraj dovoljenih meja.

Najpomembnejša dejavnika, ki vplivata na zanesljivost obratovanja kablovoda, sta:

- število okvar,
- čas, potreben za odpravo okvare.

Na zanesljivost obratovanja vplivajo še preobremenitve, ki se pojavijo zaradi odstopanj od projektiranih zahtev, kot so:

- nesimetrija mest za preplet zaslonov;
- odstopanja od projektiranih razdalj med fazami;
- odstopanja globin pri izdelavi cevne kanalizacije s podvrtavanjem;
- povečana toplotna upornost zemlje zaradi erozije in umetnih preplastitev na površini, kot sta na primer beton in asfalt, ter postopno zmanjševanje vsebnosti vlage;
- preobremenitve, ki nastopijo ob okvarah in izrednih obratovalnih stanjih.

4.1.1 Pogostost in število okvar

Število okvar pri kablovodih je bistveno manjše kot pri daljnovodih, ker so zakopani v zemljo. Kjer pa je prisotno povečano število zunanjih vplivov (npr. okvare pri gradbenih delih), je število okvar pri kablovodih lahko tudi večje kot pri daljnovodih.

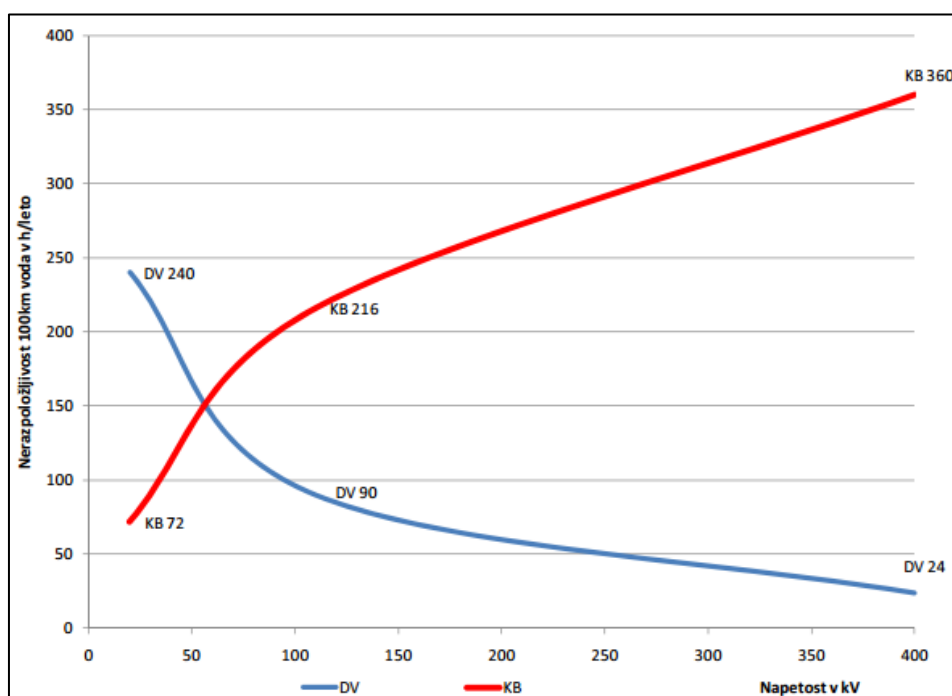
4.1.2 Čas odprave okvare

Sanacija poškodb pri daljnovodih je preprosta in hitra, pri kablovodih pa po dosedanjih izkušnjah zelo zahtevna in dolgotrajna. Čas, potreben za popravilo pri daljnovodih, je od 12 do 48 ur (pri nekaterih vrstah enostavnih okvar, v državah, kjer izvajajo dela pod visokimi napetostmi, izklop niti ni potreben), pri kablovodih pa je bistveno daljši in lahko znaša tudi do nekaj tednov ali celo nekaj mesecev. Razlog za veliko daljše čase odprave napak pri kablovodih je predvsem dejstvo, da popravilo poteka v več fazah. Pri tem je postopek lociranja okvare precej zahtevnejši in dolgotrajnejši, potrebnih je več različnih komponent in dodatnih del (izkop v več stopnjah, namestitvev zaščitnih šotorov), material za izvedbo ni na voljo v prosti prodaji, dela pa lahko izvajajo le posebej za to usposobljene ekipe.

Tako je kljub manjšemu številu okvar pri kablovodih v primerjavi z daljnovodi čas odprave teh bistveno daljši pri kablovodih, in sicer tem daljši, čim višja je obratovalna napetost omrežja. Čas, potreben za odpravo okvare, je tako pri kablovodu bistveni dejavnik, ki vpliva na zanesljivost, ter se v povprečju giblje med 2 tednoma in 2 mesecema, kar sicer pri visokonapetostnih daljnovodih traja v povprečju od nekaj ur do dni.

4.1.3 Zanesljivosti nadzemnih in kabelskih vodov

Zanesljivost daljnovodov se z višanjem napetostnega nivoja izboljšuje, saj se izboljšuje njihova odpornost na vremenske vplive, medtem ko se zanesljivost kablovodov z višanjem napetostnega nivoja poslabšuje. Tako je zanesljivost 20 kV kablov bistveno boljše v primerjavi z daljnovodi istega napetostnega nivoja, medtem ko se zanesljivost na 110 kV, 220 kV oziroma 400 kV bistveno poslabša, kar je predvsem posledica zahtevnejših in dolgotrajnejših popravil.



Slika 3: Primerjava zanesljivosti DV in kbV v odvisnosti od napetosti [2]

4.2 Življenjska doba daljnovodov in kablovodov

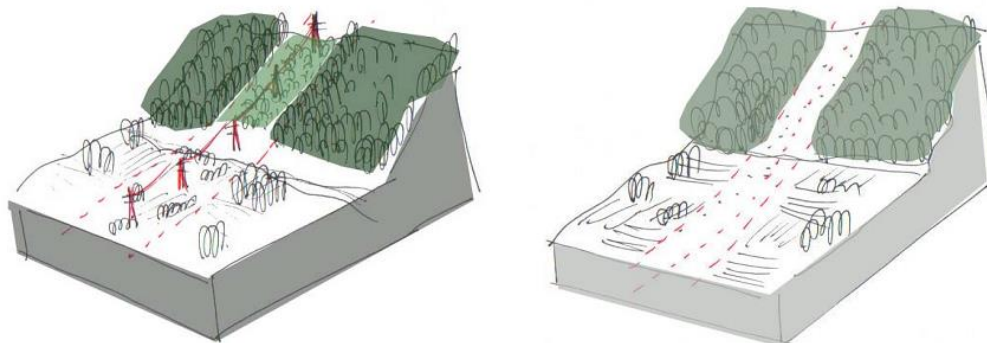
Življenjska doba daljnovoda je ocenjena na približno 80 let. Po preteku polovice življenjske dobe je večinoma treba zamenjati vrvi, izolatorje, prebarvati stebre in opraviti nekaj investicijsko-vzdrževalnih del, kar je razmeroma preprosto in hitro.

Življenjska doba kablov XLPE (z izolacijo iz omreženega polietilena) je ocenjena na približno 40 let in je določena z dolgotrajno prebojno trdnostjo izolacije XLPE. S staranjem izolacije XLPE zaradi električnih in termičnih obremenitev se zanesljivost obratovanja kablovoda zmanjšuje, zato je po preteku življenjske dobe nujna zamenjava kabla. To pomeni, da je v življenjski dobi prostozračnega omrežja nujno treba kabelsko omrežje vsaj enkrat nadomestiti z novim.

5 Okoljsko-prostorski vidiki kabliranja in elektromagnetni vplivi

5.1 Primerjava umestitve v prostor

Pri izvedbi elektroenergetske povezave v obliki kablovoda je treba omeniti, da enako kot daljnovod tudi kablovod zahteva podobne širine trase, kar je mogoče videti predvsem pri posekah gozdov, ki so pri kablovodu ravno tako potrebne kot pri daljnovodu in se ne smejo zarasti, saj v obratovalni dobi v koridorju kablovoda ne sme biti vegetacije z globljimi koreninami [2]. Kablovodne trase se zato na površini kažejo kot ozek pas zemljišča, na katerem ni visokega rastlinja, grmovnic in drevja. Slika 4 prikazuje primerjavo daljnovoda (levo na sliki) oziroma kablovoda v prostoru (desno na sliki).



Slika 4: Skica daljnovoda (levo) in kablovoda (desno) v prostoru [8]

Umestitev določenega voda (nadzemnega ali podzemnega) v prostor vpliva na prostorske značilnosti območja tudi negativno. Izguba površine tal in zemljišč je povezana z omejitvijo primarne rabe prostora. Pri tem imajo daljnovodi širši varovalni pas, kar posledično pomeni večji vpliv na rabo zemljišč, vendar se pri daljnovodih omejuje le rast vegetacije na območjih največjega približanja vodnikov tlom. Omejevanje primarne rabe prostora pri kablovodih je strožje, saj je na trasi kablovoda dovoljen zgolj travni rastlinski pokrov, kvečjemu rastlinje s plitvimi koreninami. Pri daljnovodih je mogoče v varovalni pas postaviti različne vrste.

Tako na površini nad kablovodom ne sme biti višjega rastlinja, zato je v poteku čez gozd in trajne nasade treba urediti poseke, medtem ko kmetijska raba lahko ostaja. Kablovod v prostor vnaša pomembno linijsko strukturo prvino, ki je lahko zelo opazna, zato zahteva načrtovanje tudi prilagajanje osnovnim prostorskim smerem in rabam. Umestitev kablovoda v prostor zahteva popolno odstranitev vse lesne vegetacije v varovalnem pasu in njeno nadomestitev s travo. Prav tako ni dovoljenja globinska obdelava zemlje nad kablovodom, kar vpliva na omejeno rabo kmetijskih površin, ki za vzdrževanje zahtevajo oranje. Posebnost reševanja prostorske umestitve kablovoda je tudi, da se ne smejo polagati poševno

po nagnjenih pobočjih, ampak po padnicah, ki morajo biti dodatno utrjene, da preprečijo preobremenitev kabla na vlečno silo. Poškodba zemljišča zaradi posega vanj bi lahko ogrozila stabilnost tal in povzročila plazenje.

Izvedba kablovoda po drugi strani poslabšuje tudi kakovost kmetijskih zemljišč (vnos kamnov in skal na površje ter omejevanje gojenja drevja), lahko zahteva rušenje oziroma odstranitev stanovanjskih in pomožnih objektov, lastniki zemljišč pa so dolžni upravljalcu elektroenergetskega omrežja ob katerem koli času do katere koli točke trase kablovoda omogočiti dostop s težko mehanizacijo.

Opisane praktične izkušnje pomenijo, da je izvedba kablovoda zahtevnejša od daljnovoda. Izvedba kablovoda zahteva velik izkop, priprave zemljišč za namestitev spojk in morebitnih kompenzacijskih naprav, izdelave spojk, kabelskih zaključkov in izvedbe križanj z drugimi infrastrukturnimi objekti, ki so večinoma izvedeni z metodo horizontalnega podvrtavanja. Zaradi večjega gradbenega posega (velik izkop in z njim povezana gradbena dela, hrup in uničenje večjega dela okolja, nevarnost plazenja, nevarnost onesnaženja podtalnice) in krajše življenjske dobe je ekološka bilanca pri kablovodu manj ugodna kot pri daljnovodu [2].

5.1.1 Primerjava širine varovalnega pasu

Prostor, namenjen zagotavljanju neoviranega in varnega delovanja VN vodov, je opredeljen kot varovalni pas. Širina varovalnega pasu je določena skladno z zakonskimi določili [9], in sicer velja, da širina varovalnega pasu elektroenergetskega omrežja poteka na vsako stran od osi elektroenergetskega voda in znaša:

- za nadzemni večsistemski daljnovod nazivne napetosti 110 kV in 35 kV **15 m**;
- za podzemni kabelski sistem nazivne napetosti 110 kV in 35 kV **3 m**.

Med izvajanjem gradbenih del za kablovod je potreben delovni pas, ki je širši od varovalnega pasu ter je nujen za dostop gradbene mehanizacije in začasno odlaganje zemljine. Za gradnjo daljnovoda je potreben dostop do stojnih mest, ki so med seboj povprečno oddaljena od 200 do 300 m in na katerih se izvajajo gradbena dela.

Varovalni pas 110 kV kablovoda je torej petkrat manjši v primerjavi s 110 kV daljnovodom.

5.2 Primerjava elektromagnetnih vplivov

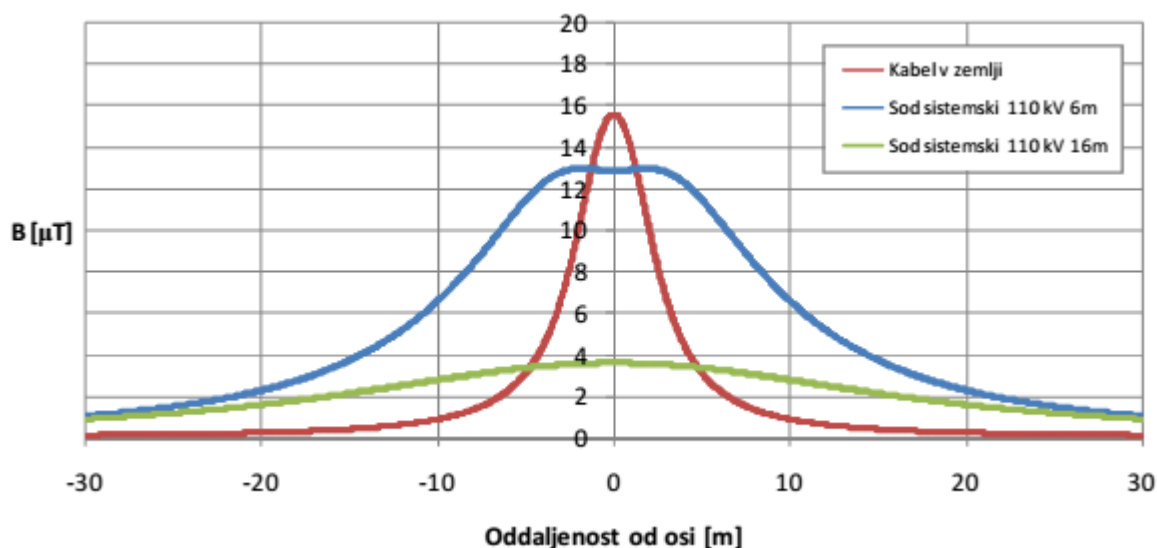
V sklop vprašanj, ki se pojavlja v okviru okoljskega vidika, spada tudi vpliv elektromagnetnih polj, ki pokriva zdravstveno problematiko. Za elektromagnetna polja velja, da lahko z modernim pristopom

načrtovanja, projektiranja, umeščanja v prostor in izgradnje vplive elektromagnetnih polj visokonapetostnih vodov omilimo in ti ne povzročajo čezmernih vplivov na okolje niti v nadzemni niti v podzemni izvedbi [2].

Sama konstrukcija kablovoda omogoča, da je električno polje kablovoda v primerjavi z daljnovodom zaslonjeno (in zato nezaznavno). Kablovod zato obravnavamo le kot vir magnetnega polja, medtem ko so nadzemni vodi vir magnetnega in tudi električnega polja. Vrednosti magnetnega polja so največje pri najvišjih tokovnih obremenitvah voda, sicer pa so časovno spremenljive in so v linearnem odnosu s trenutnimi tokovnimi obremenitvami voda. Primerjava magnetnega polja visokonapetostnih kablovodov in nadzemnih vodov pri enakih tokovnih obremenitvah kaže:

- najvišje vrednosti magnetnega polja na ravni tal so pri kablovodu višje kot pri nadzemnem vodu;
- magnetno polje pri kablovodu zaradi geometrije z razdaljo od osi upada hitreje kot magnetno polje pri daljnovodu.

Primerjavo razporeditve jakosti magnetnega polja na višini 1 m nad tlemi med kablovodom (običajna globina polaganja 1,2 do 1,5 m pod površjem) in prostozračnim vodom z različno višino električnih vodnikov nad zemljo prikazuje slika 5.



Slika 5: Magnetno polje na višini 1 m nad tlemi v prečnem prerezu na os voda 110 kV [2]

Na splošno velja, da je za posamezni primer kablovoda potrebna individualna obravnava glede na specifične izhodiščne geometrijske in električne parametre. Načelni možni ukrepi za znižanje jakosti magnetnega polja pri podzemnem vodu so minimizacija medfaznih razdalj med kabli in minimizacija razdalje med obema sistemoma. Pri podzemnem vodu je na konkretno izbrani lokaciji mogoče zmanjšati magnetno polje tudi z vertikalnim oziroma horizontalnim odmikanjem kablovoda od te lokacije.

6 Ekonomsko-tehnična analiza in stroški obratovanja

6.1 Ocena investicijskih stroškov za 110 kV kablovode

Dosegljive ocene investicijskih stroškov za kablovode so zelo ohlapne, ker se mnogokrat primerjajo zelo različne izvedbe. Do razlik prihaja, ker se kablovodi praviloma polagajo po naseljenih območjih, kjer daljnovoda sploh ni mogoče postaviti, in je zato izvedba kabelske kanalizacije zelo draga. Še bolj ohlapne številke se podajajo za razmerje stroškov med tema dvema izvedbama. Za razmerje investicijskih stroškov lahko najdemo številke v razponu od 1 : 2, pa vse do 1 : 10 in celo več, zelo odvisno od zahtevnosti izvedbe in zahtevnosti terena. Po dostopnih domačih in tujih podatkih je za nadzemne vode mogoče ugotoviti dokaj enotno oceno, da celotni investicijski stroški, vključno s plačili služnosti, znašajo okvirno 300.000 EUR/km za dvosistemski 110 kV daljnovod.

Zahtevnost terena nima posebej velikega vpliva na stroške daljnovodov, medtem ko zahtevna kabelska kanalizacija lahko preseže polovico celotnih stroškov kablovoda. Poleg tega bi bila dolžina kablovoda v ruralnem okolju zaradi sledenja geografskim značilnostim konkretno daljša, kot je dolžina daljnovoda, kar še dodatno podraži strošek kabliranja omrežja.

Višina stroška kabliranja 110 kV omrežja je sestavljena iz več stroškovnih postavk, in sicer:

- cene kabla,
- cene spojnega materiala, spajanja, polaganja in
- cene kabelske kanalizacije.

Primerjalna analiza naštetih strokovnih postavk v primerjavi s ceno zgrajenega daljnovoda razkriva, da se samo nabavna cena surovega materiala za vodnike 110 kV kablovoda giblje v višini ceni zgrajenega 110 kV daljnovoda, da se cena izdelanega oziroma nabavljenega 110 kV dvosistemskega kabla giblje od 300.000 EUR/km in navzgor, pri čemer je cena močno odvisna od cene surovin (npr. bakra, aluminija,...) na trgu, razpoložljivih proizvodnih zmogljivosti proizvajalcev kbV ter tudi nabavljenih količin kbV in lahko zato dosega tudi večkratnike navedene cene, da se cena polaganja in spajanja kablov giblje med 300.000 in 600.000 EUR/km ter da se cena kabelske kanalizacije giblje med 300.000 EUR/km in do 1.500.000 EUR/km [2].

Ob upoštevanju zapsanega se glede na [2] ocena stroškov izgradnje kabelskega voda giblje med 1,8 milijona EUR do 3,6 milijona EUR/km.

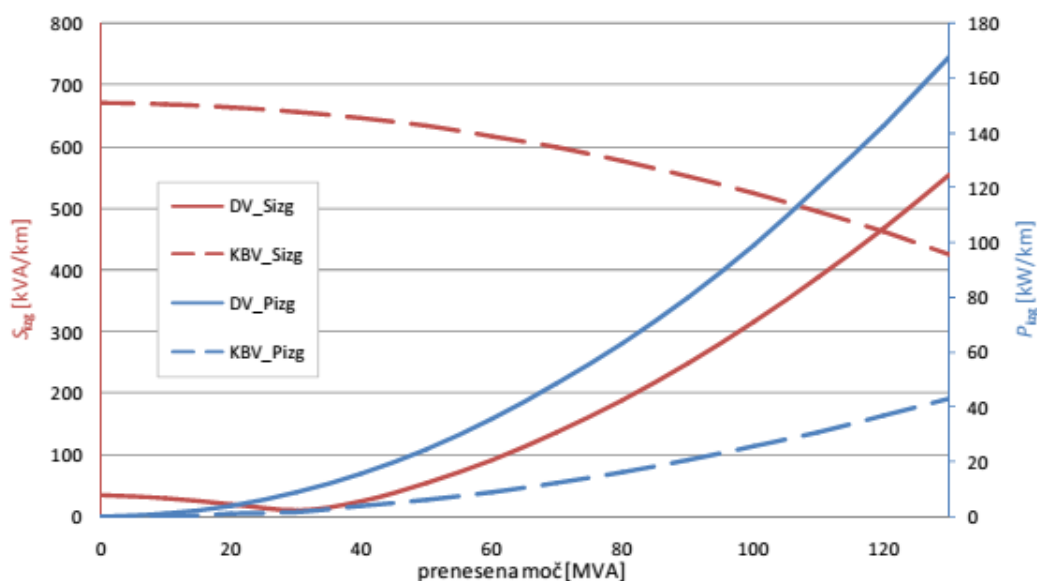
6.2 Stroški VN vodov v življenjski dobi

Pričakovana življenjska doba sodobnih VN kablov je po navedbah proizvajalcev kablov od 30 do 40 let, vzdrževanje kablovodov pa je v primerjavi z daljnovodi bistveno zahtevnejše, obsežnejše in dolgotrajnejše. Po preteku življenjske dobe kablovoda je treba stari kablovod zamenjati z novim, medtem ko je preverjena življenjska doba nadzemnih vodov lahko tudi daljša od 80 let ob nizkih stroških vzdrževanja. V eni življenjski dobi daljnovoda ga moramo nadomestiti (zgraditi) skoraj z dvema kablovodoma. Stroški izgub delavne energije so pri DV navadno nekoliko večji kot pri kbV, hkrati so pa navidezne izgube mnogo večje pri kbV. To pomeni, da moramo zaradi polnilnega toka pri kbV skrbeti tudi za kompenzacijske naprave in s tem povezane stroške.

Prednost kablovodov je, da je redno vzdrževanje samih kablovodov bistveno cenejše od nadzemnih vodov, ki je po Elesovih ocenah okoli 150 EUR/km (do 10-krat oz. 10 % vrednosti daljnovoda), medtem ko je vzdrževanje ob poškodbah (izredno vzdrževanje) dražje, saj je navadno sanacija poškodb povezana z izredno obsežnimi deli, kar čas sanacije zelo podaljša in hkrati poveča stroške. Poleg tega je možnost take zamenjave mogoča le toliko časa, dokler je na razpolago dovolj prostora (dokler prostor ni zasičen z instalacijami).

6.3 Stroški izgub

Slika 6 prikazuje primerjavo izgub med 110 kV daljnovodom in kablovodom glede na preneseno moč. Na sliki je očitno, da ima 110 kV kbV na račun nižje delovne impedance manjše aktivne izgube (modre linije) v primerjavi s prenosno kompatibilno izvedbo DV. Vendar pa so celotne izgube (rdeče linije) zaradi visoke polnilne moči kbV pri manjših prenosnih močeh celo 20-krat višje od daljnovodnih. Razmerje se nato s povečevanjem prenesene moči zmanjšuje in na koncu celo prevesi v korist kbV. Glede na dejstvo, da je v elektroenergetskem sistemu nujno zagotavljati ustrezni nivo sigurnosti obratovanja (N-1) se obremenitve 110 kV vodov v normalnih obratovalnih stanjih navadno gibljejo pod 100 MVA (kar je s stališča izgub ugodneje za daljnovodne povezave).



Slika 6: Primerjava celotnih izgub (S_{izg}) in aktivnih izgub (P_{izg}) na različnih 110 kV vodih na km v odvisnosti od prenesene moči [2]

6.4 Višina investicije v 110 kV kablovode, ki jih dosega družba ELES

Dejanskega stroška kabliranja 110 kV omrežja v Sloveniji ni mogoče v celoti natančno napovedati, saj ELES v bližnji preteklosti ni gradil obsežnih oziroma daljših 110 kV prenosnih kablovodov in zato ni na voljo podatkov o višini stroška obsežnejšega kabliranja. Je pa družba ELES po drugi strani v preteklih letih realizirala nekaj manj obsežnih kabliranj 110 kV omrežja do dolžine nekaj kilometrov (kabliranje krajših odsekov 110 kV povezav), zato v tem podpoglavju prikazujemo te stroške.

Na podlagi že realiziranega priključka RTP–daljnovod (priključni kablovod 2 x 110 kV RTP Gorica in DV 2 x 110 kV Doblar–Gorica), ocen stroškov priključitve HE Brežice na prenosno omrežje in rekonstrukcije RTP Slovenska Bistrica, ki jih je ELES realiziral v nekaj zadnjih letih, je mogoče narediti okvirno oceno, in sicer da ELES pri kabliranju 110 kV omrežja dosega ceno 110 kV kabliranja med 1,5 in 2,6 milijona EUR/km.

Pri tem je treba opozoriti, da gre v navedenih primerih za preprosto izvedbo kabliranja, ki je posledično tudi cenovno ugodnejša. Če se polaganje kablinskih povezav izvaja na težavnejših terenih oziroma je težavnost izvedbe večja (razgiban ali močvirnat teren, kemijsko agresivna zemljina, potreba po izboru druge trase, izogibanja preostali infrastrukturi itd.), se lahko stroški kabliranja bistveno povečajo in jih v tem trenutku ni mogoče oceniti. Pri tem je treba upoštevati, da kabliranje omrežja vpliva tudi na zahteve za opremo v obstoječih stikališčih, kar pomeni, da bi bilo treba zamenjati tudi del neustrezne opreme v stikališčih pred iztekom njene življenjske dobe.

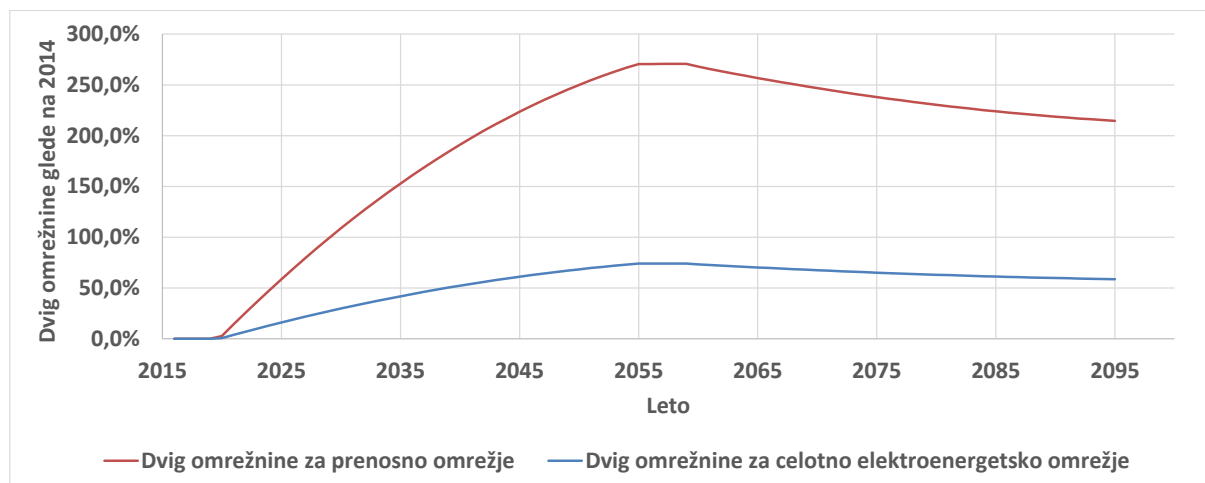
7 Kabliranje 110 kV omrežja v Sloveniji

Vsi fizikalni problemi, ki jih povzročajo VN kabli, so teoretično rešljivi, če bi bili zagotovljeni ustrezni viri financiranja. V Sloveniji je trenutno 2.692 km 110 kV daljnovodov systemske dolžine, od tega je približno 35 km 110 kV kablovodov. Ob upoštevanju desetletnih razvojnih načrtov elektroenergetskih omrežij bo čez 10 let v Sloveniji približno 3.160 km 110 kV prostozračnih daljnovodov. V nadaljevanju je prikazan vpliv na višino omrežnine, če se v Republiki Slovenije izvede pokablitev celotnega 110 kV omrežja.

Za namene grobe ocene vpliva kabliranja na višino omrežnine izračun upošteva naslednje predpostavke:

- začetek kabliranja 110 kV omrežja in odstranjevanje nadzemnega 110 kV omrežja se začne z letom 2020 in traja 40 let (do leta 2060);
- za strošek kabliranja 110 kV omrežja je privzeta minimalna cena kabliranja na kilometer, kot jo danes dosega ELES (1,5 milijona EUR/km), kar pomeni, da stroški enkratnega kabliranja 110 kV omrežja znašajo približno 4.700 milijonov EUR oziroma letno 118 milijonov EUR. Pri tem je privzeto, da kabliranje poteka v istih dolžinah kot obstoječi daljnovodi, kar pa zaradi karakteristik polaganja kablovodov pogosto ni vedno mogoče doseči in so dolžine kabelskih tras navadno daljše od daljnovodnih;
- v izračunu se upošteva enkratni strošek odstranitve obstoječih 110 kV nadzemnih vodov v višini 40.000 EUR/km, razporejen čez obdobje 40 let;
- zmanjšanje stroška izgub – ocenjuje se, da bi kabliranje celotnega 110 kV omrežja pomenilo okvirno zmanjšanje delovnih izgub v omrežju do 25 %, kar ob strošku izgub 40 EUR/MWh predstavlja okvirni prihranek 3,5 milijona EUR/letno v primerjavi z daljnovodi;
- dodatni strošek regulacije napetosti in jalove moči. Negativna posledica kabliranja 110 kV omrežja je, da kabli – zaradi svojih karakteristik in izrazito kapacitivnega značaja ter visoke polnilne moči v omrežju – delujejo kot vir jalove moči. Hkrati so s tem tudi razlog za konkreten dvig napetostnega profila zunaj možnosti obvladovanja. V ta namen se s kabliranjem v 110 kV omrežju pojavijo dodatne potrebe po regulaciji jalove moči, in sicer v 4- do 5-kratnem obsegu današnjih zahtev. To pomeni okvirni dodaten strošek 9 milijonov EUR/letno;
- strošek vzdrževanja – redni strošek vzdrževanja kablovoda predstavlja okvirno le 10 % vrednosti letnega vzdrževanja daljnovoda. Po Elesovih ocenah se letni strošek vzdrževanja 110 kV DV giblje med 0,5 in 0,6 % investicijske vrednosti oziroma okvirno 1.500 EUR/km/leto, kar za 110 kV kbV zneso približno 150 EUR/km/leto. Pri tem niso upoštevani stroški morebitne okvare, ki so v primeru kablovoda lahko bistveno višji od daljnovoda. Zaradi naključnega in redkega pojavljanja jih ni mogoče oceniti vnaprej;
- strošek zamenjave kbV po preteku življenjske dobe kabla (40 let) – upoštevan v višini 80 % vrednosti kabliranja 1 km 110 kV povezave.

Na sliki 7 je prikazana groba ocena povečanja omrežnine, če izhajamo iz aktualne regulatorne zakonodaje in višine sredstev za omrežnino ter upoštevamo postopno kabliranje celotnega 110 kV omrežja v obdobju 40 let, z začetkom z letom 2020 (pri tem je privzeto, da se kabliranje v celoti izvaja na prenosnem nivoju).



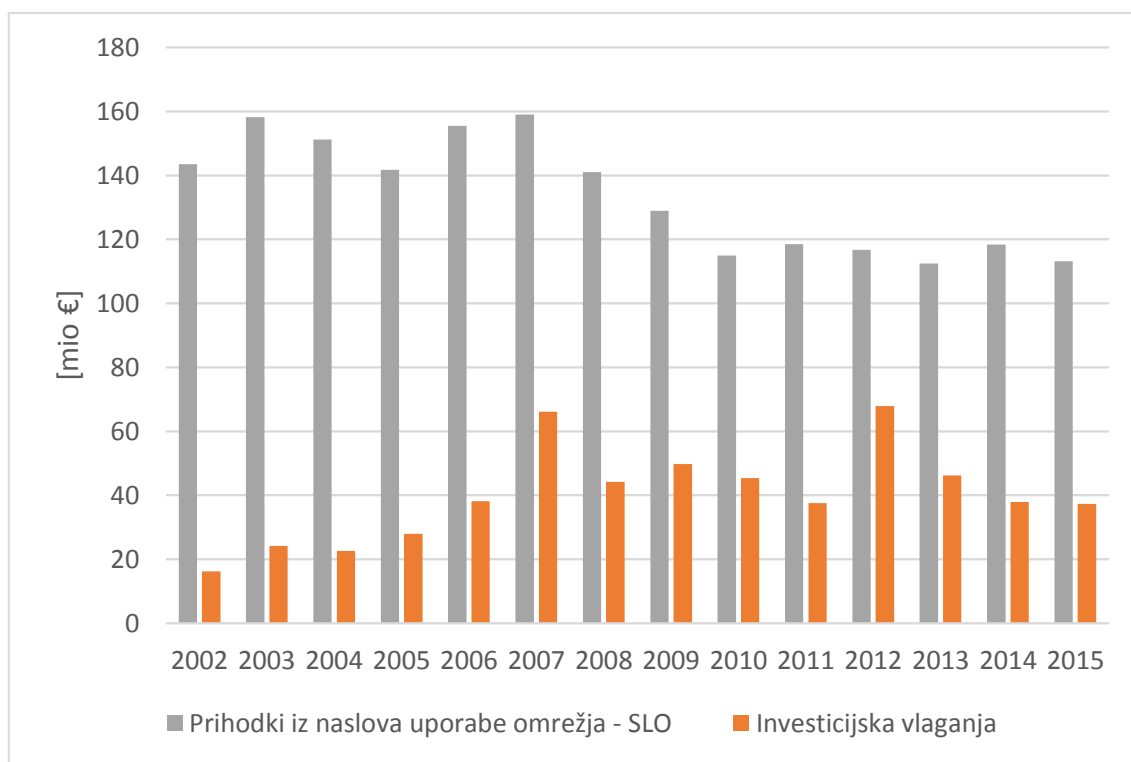
Slika 7: Dvig omrežnine v odstotkih kot posledica kabliranja 110 kV omrežja

Na sliki 7 je mogoče videti, da bi kabliranje 110 kV zelo močno vplivalo na višino omrežnine oziroma bi verjetno morali celo spremeniti metodologijo za obračunavanje omrežnine, in sicer za prenosni in distribucijski sistem električne energije, čezmerno prevzeto jalovo energijo za priključno moč in za druge storitve. Trenutna višina omrežnine tako ne predvideva finančnih virov za obsežnejši obseg kabliranja 110 kV omrežja, prav tako ne predvideva sredstev za menjavo kablovodov po izteku njihove življenjske dobe (okvirno 40 let).

7.1 Zmožnosti družbe ELES za financiranje kabliranja 110 kV omrežja

ELES letno investira okrog 40 milijonov EUR v novogradnje, rekonstrukcije elementov omrežja in sistemov za delovanje omrežja (slika 8). V primeru potrebe po obsežnem kabliranju 110 kV omrežja in večjih investicijskih vlaganjih bi to pomenilo, da če bi hoteli investirati dodatnih 235 milijonov EUR letno za 20-letno obdobje ali 118 milijonov EUR letno za 40-letno obdobje, bi to zahtevalo popolnoma drugačno ureditev Elesa kot systemskega operaterja. To pomeni tudi več zaposlenih, kar bi še dodatno vplivalo na omrežnino (povišanje stroškov dela, ki predstavljajo del reguliranih stroškov elektrooperaterjev).

Ob predvidenih sredstvih 40 milijonov EUR je zato ELES letno finančno sposoben realizirati le približno 20 km novih kablovodnih povezav, kar bi ob trenutni situaciji pomenilo, da bi kabliranje lahko izvedli v 140 letih (če ne upoštevamo življenjske dobe že zgrajenih kablovodnih povezav).



Slika 8: Prihodki iz naslova uporabe omrežja in investicijska vlaganja

8 Povzetek primerjave 110 kV daljnovodov in kablovodov

		Daljnovodi	Kablovodi	
PROJEKT	Razvoj in načrtovanje	Enako	Enako	
	Idejni projekt z obravnavo več variant	Enako	Enako	
	PGD in PZI	Poišče se razporeditev SM in se prilagodi terenu	Pridobiti služnosti na trasi v širini 30 m	Celotno traso je treba natančneje geološko raziskati zaradi tipov zemljin
				Pridobiti služnost na trasi v širini 6 m
	Projekt izvedenih del	Vris SM in osi daljnovoda v karte	Potreben natančen podzemni kataster in oznaka trase na površini	
IZVEDBA	Izkop	Izkop za temelje in dovozne poti do SM	Izkop po celotni trasi in prav tako tudi dovozne poti do trase in gradbena pot ob trasi Dodatna širino na mestih, kjer so kabelske spojke (pribl. na 1 km dolžine)	
	Zemljina	/	Če ni osnovna zemljina primerna za polaganje kablov, se zamenja, zato je treba predvideti deponije in transporte večjih količin materiala	
VZDRŽEVANJE	Uporaba trase	Čiščenje trase, da rastlinstvo ne zraste prek dovoljenih višin, dostopnost do SM	Čiščenje celotne trase, ki mora biti dostopna po vsej dolžini. Paziti, da ni rastlinstva z globokimi koreninami	
	Uporaba trase	V dogovoru z upravljavcem mogoča tudi določena gradbena dela (parkirišča, garaže, skladišča ...)	Po trasi kbV so dovoljeni določeni posegi, vendar z mnogimi omejitvami (dostopnost, teža transporta in vozil)	
VZDRŽEVANJE	Uporaba trase	Možna uporaba za kmetijske dejavnosti, razen gozda in drevja, ki presega določeno višino	Možna omejena uporaba za kmetijsko ali drugo dejavnost, zaželeno le zatravitev	
	Življenjska doba	Pri DV je (dejanska) življenjska doba najmanj 80 let. V tem času se vzdržujejo le stebri, izolatorji in vrvi, za kar je potreben dostop do SM	Po navedbah (izkušenj ni – umetno staranje materialov) do 40 let. Starejši so le kabli z oljno izolacijo, ki pa je okoljsko sporna.	

		Daljnovodi	Kablovodi
RAZPOLOŽLJIVOST	Okvare	Pri DV so pogostejše kot pri kbV, toda njihova odprava traja od nekaj ur do par dni	Napake se pojavljajo redkeje, toda odprava traja od 2 tednov do 2 mesecev. Potrebna posebna ekipa s specialnim orodjem in materiali, ki jih imajo običajno le proizvajalci
	Rekonstrukcije	Po 80 letih se zamenjajo stebri oz. jambori, vrvi in se dela izvajajo večinoma le na SM. Izolatorske verige se zamenjajo ob vzdrževanju DV (okvirno po 20 do 30 letih)	Po 40 letih potreben izkop celotnega kabla in zamenjava z novim, dela se izvajajo po celotni trasi
OBRATOVANJE	Zaščita	Preprosta in preizkušena. Večina napak je prehodnega značaja in jih odpravimo s hitrim ponovnim vklopom	Če je potek kbV od RTP do RTP, z dodatno vgradnjo ustreznih zaščit ni večjih težav. Vse napake so trajne
		Pri delnih kabliranjih trase, obstoječa zaščita DV ni zadostna in so potrebni različni dodatni ukrepi	
	Vzporedni potek	Pri vzporednem obratovanju DV in kbV med dvema sosednjima RTP-jema se zaradi fizikalnih lastnosti ($4 \times$ manjša impedanca) kbV preobremenijo in je zato treba vgrajevati zaporedno dodatne dušilke, kar povzroča dodatne izgube	
	Izgube	Pri 75-odstotni obremenitvi je: $- 110 \text{ kV} \gg \gg \text{DV} : \text{kbV} = 1 : 3$	
OKOLJE	Zdravstveni vidik	Pri izgradnji DV in kbV so upoštevane vse zahteve glede varovanja zdravja in okolja, tako da glede tega ni problematično	
		Magnetno polje je po celotni trasi pri kbV višje, a v ožjem pasu kot pri DV (110 kV)	
	Okoljska problematika	Pri DV je celotna trasa v prostoru opazna (iz bližine in z razdalje)	Pri kbV praktično ni vidna trasa (razen ob prečkanju gozda)
EKONOMIKA	Projekt	Trase niso direktno primerljive, ker vsaka izvedba postavlja določene zahteve in bi bilo treba izdelati dva projekta	
	Izvedba	/	4 do 10 x dražja
	Vzdrževanje		Na dolgi rok višje Na začetku eksploatacije so stroški nižji, s staranjem izolacije so poškodbe pogostejše

9 Viri

- [1] CIGRE, Statistics of AC underground cables in power networks, Working group B1.07, december 2007
- [2] Tehnične, ekonomske, prostorske in okoljske možnosti uporabe 110 in 400 kV kablovodov. Referat št.: 2003, Ljubljana. Elektroinštitut Milan Vidmar, 2009
- [3] Problematika visokonapetostnih daljnovodov izven mestnih področij, Inštitut za raziskave v energetiki, ekologiji in tehnologiji, d.o.o., Ljubljana, december 2010
- [4] Cable action plan, 132-150 kV Grids, Energinet.dk, marec 2009
- [5] Načrt razvoja distribucijskega omrežja električne energije v RS od leta 2015 do 2024, Sodo, Maribor, februar 2015, Dosegljivo: <https://www.sodo.si/o-omrezju/razvoj/nacrt-razvoja>,
- [6] Načrt razvoja prenosnega omrežja električne energije v RS od leta 2015 do 2024, ELES, Ljubljana, april 2015, Dosegljivo: <http://www.eles.si/za-poslovne-uporabnike/razvoj-in-uporaba-prenosnega-omrezja/strategija-razvoja-elektroenergetskega-sistema-rs.aspx>,
- [7] Elektroenergetski sistem, Zgibanka 2015, Dosegljivo: <http://www.eles.si/publikacije.aspx>, [Dostopano: 22. 11. 2016]
- [8] Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Laboratorij za energetiko, Možnosti izvedbe različnih vrst povezav črpalne elektrarne Kozjak v Slovensko elektroenergetsko prenosno omrežje, Maribor, 2008
- [9] Energetski zakon EZ-1 (Ur. l. RS, št. 17/2014, 81/2015)