Vidsprieguma gaisvadu elektropārvades līniju mehāniskās stiprības analīze

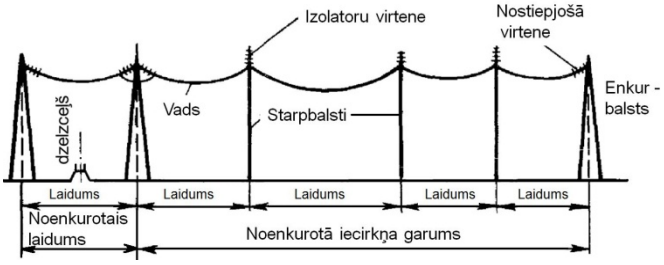
Aleksandrs Januševskis[1], Anatolijs Meļņikovs[2], Ivo Vaicis[1]
[1–3]*Rīgas Tehniskā universitāte*

***Kopsavilkums*. Šajā darbā tiek piedāvāta gaisvadu elektropārvades līniju (EPL) mehāniskās stiprības analīzes metodika, kas balstās uz CAD/CAE programmatūras izmantošanu. Vispirms ar galīgo tilpumu metodi tiek novērtētas vēja radītās slodzes uz EPL un tās tuvumā esošo mežaudzi. Tad ar galīgo elementu metodi tiek analizēta mežaudzes koku, EPL balstu stabu un vadu stiprība un pašsvārstību frekvences. Papildus tiek pētīta skujkoku un lapkoku noturība pret sniega slodzēm. Parādīts, ka, izmantojot izstrādāto metodiku un programmatūru, var veikt vispusīgu EPL dažādu elementu mehāniskās stiprības un noturības analīzi. Pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem, dotas konkrētas rekomendācijas, kā arī iespējamais ekonomiskais mērķtiecīgums pārejai no vidsprieguma EPL uz izolētu kabeļu un speciāli projektētu izkrītošu vadu turētāju pielietošanu, kas pie ekstremālām krītošu koku slodzēm nepieļautu kabeļu pārraušanu un EPL sagraušanu.**

***Atslēgas vārdi*: elektropārvades līnija, mehāniskā stiprība, mežaudze, noturība.**

I. Ievads

Ekstremālu klimatisko apstākļu ietekmē nereti rodas avārijas situācijas vidsprieguma elektropārvades līnijās (EPL), kas noved pie lieliem materiāliem zaudējumiem gan atjaunojot EPL, gan kompensējot radušos zaudējumus elektrības patērētājiem. Šādu EPL pamatelementi ir balsti, vadi, izolatori, lineārā armatūra vadu stiprināšanai pie izolatoriem, atbalstu pamati. Attālums starp balstiem tiek saukts par laidumu (skat. 1. att.). Izšķir enkurbalstus, kas var uzņemt EPL garenass virzienā vērstas slodzes, un starpbalstus, kas savukārt tiek iedalīti pagrieziena un taisnas līnijas balstos. Vēl eksistē atzarojumu balsti, gala balsti, transpozīcijas un lielu laidumu balsti pār upēm u.c. Balsti var būt no koka, tērauda un dzelzsbetona. Koka stabi tiek lietoti līdz pat 132 kV augstsprieguma EPL [1]. EPL mehāniskie aprēķini tiek veikti saskaņā ar LR standartiem, kuros izmantota analītisko aprēķinu metodika, kas balstās uz klasisko EPL mehānisko aprēķinu teoriju un atbilstošām hipotēzēm [1] un [2]. Šajā darbā tiek lietota modernā CAD/CAE programmatūra, kurā izmantotas inženieru praksē pārbaudītas un plaši pielietotas galīgo elementu un galīgo tilpumu metodes, kas ļauj aprēķinos ievērtēt detalizētākus modeļus un līdz ar to iegūt precīzākus rezultātus. Vispirms tiek izvērtētas (pētītas) vēja izraisītās slodzes gan uz EPL elementiem, gan uz EPL stigu malās augošajiem lapu un skuju kokiem atkarībā no mežaudzes izgriezuma formas ap EPL stigu. Tāpat aprēķinos tiek ievērtētas apledojuma un termoslodzes elektrovados. Kā vadītāji tiek pētīti atbilstošajās vidsprieguma EPL faktiski izmantotie vītie alumīnija un tēraudalumīnija kailvadi. Par pamatmodeli tiek izmantota EPL divu laidumu garumā, kas sastāv no vadiem, starpbalstiem un atbilstošās armatūras. Lai varētu iegūt rezultātus ar pieņemamu resursu patēriņu, tiek iegūti ekvivalentie vadu raksturlielumi, veicot gan fizikālos eksperimentus ar testēšanas mašīnu, gan risinot atbilstošos nelineāros kontaktuzdevumus vīto stiepļu kailvadu gadījumā. Tiek izvērtēta EPL elementu un dažādu koku sugu mežaudžu noturība, pašfrekvences un uzvedība dinamisku slodžu gadījumā.



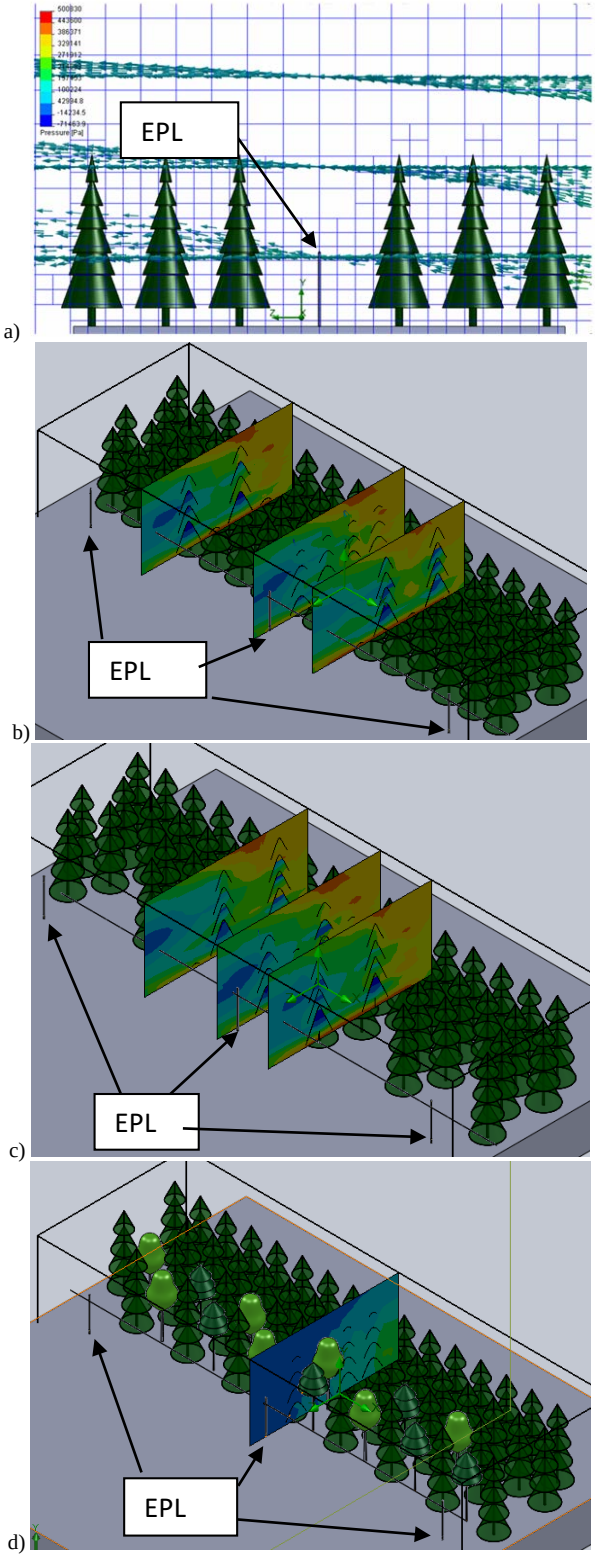
1. att. Gaisa EPL noenkurotā iecirkņa shēma.

Projektējot EPL, jāņem vērā reālie klimatiskie apstākļi, kādos tā tiek ekspluatēta. Klimatiskie apstākļi tiek noteikti atbilstoši klimatiskām reģionu kartēm, kurās atspoguļoti šādi rādītāji: normatīvais vēja ātrums, ledus sieniņas biezums kailsalā, raksturīgās temperatūras.

II. Gaisa plūsmu modelēšana mežaudžu dažādu izzāģējumu gadījumos

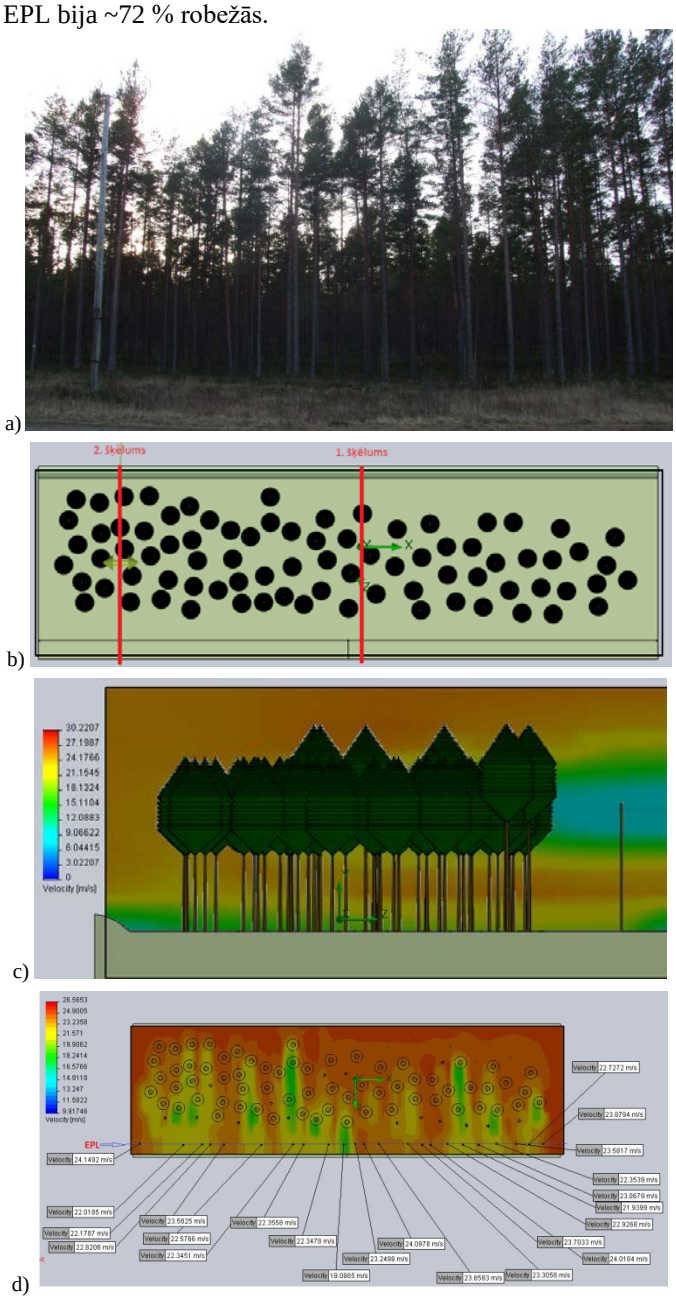
Vēja slodžu noteikšana uz EPL un apkārtējo mežaudzi ir pietiekami aktuāla problēma [3]–[6], lai analizētu EPL elementu mehānisko izturību un koku krišanas uz EPL varbūtību. Latvijā visizplatītākās ir skujkoku un jaukta tipa lapkoku un skujkoku mežaudzes. Attēlos 2.a un 2.d parādīti attiecīgie mežaudžu modeļi ar mežaudzi divu laidumu garumā ~160 m un platumā ~50 m. Vispirms tiek apskatīts gadījums, kad mežaudze izvietota abpus EPL. Gaisa plūsmas virziens parādīts ar bultiņām un darbojas perpendikulāri EPL garenasij (2.a att.). Navjē-Stoksa vienādojumu risināšanai tiek izmantota galīgo tilpumu metode (GTM), kas realizēta *SolidWorks* (SW) *Flow Simulation* programmatūrā. Kā rāda aprēķini, jaukta mežaudze absorbē vēja enerģiju efektīvāk nekā viena koku tipa mežaudzes. Rezultātā vēja ātrums pie EPL būtiski samazinās. Tā kā vēja slodzi uz EPL maz ietekmē mežaudze, kas izvietota aizvēja pusē, tad tālākajos aprēķinos tā netiek ievērota, lai mazinātu modeļa komplicētību. EPL tuvumā var tikt veikti dažādi mežaudžu izzāģējumi (2.c att.). Salīdzinot attēlos 2.b un 2.c parādītos gadījumus, vēja ātrums pie EPL ir mazāks mežaudzē ar izzāģējumiem, turklāt, mainoties vēja virzienam, koku krišanas varbūtība sānu virzienā palielinās. Apskatītajos

gadījumos mežaudze ievērojami samazina vēja ātrumu uz EPL. Mežaudzē ar izzāģējumu iegūst rezultātu, ka vēja ātrums uz gaisa pārvades līniju vietās,



2. att. Vēja slodžu modelēšana: a) mežaudzes un EPL modeļa sānskats un tā diskretizācija; b) plūsmas ātruma sadalījumi raksturīgos šķēlumos egļu mežaudzē bez koku izzāģējumiem; c) plūsmas ātruma sadalījumi raksturīgos šķēlumos egļu mežaudzē ar koku trīsstūrveida izzāģējumu; d) plūsmas spiediena sadalījums bērzu un egļu jaukta tipa mežaudzē.

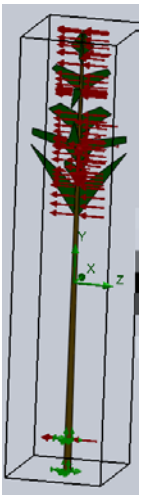
kur koki ir vistālāk no līnijas, samazinās par 72 %, bet vietās, kur koki ir vistuvāk līnijai, vēja ātrums samazinās par 86 %. Neizzāģētu mežaudžu gadījumos vēja ātruma samazinājums uz EPL bija ~72 % robežās.



3. att. Vēja slodžu modelēšana: a) mežaudze un EPL dabā; b) modeļa virsskats ar šķēlumiem; c) vēja ātruma sadalījums 2. šķēlumā; d) vēja ātruma sadalījums virsskatā.

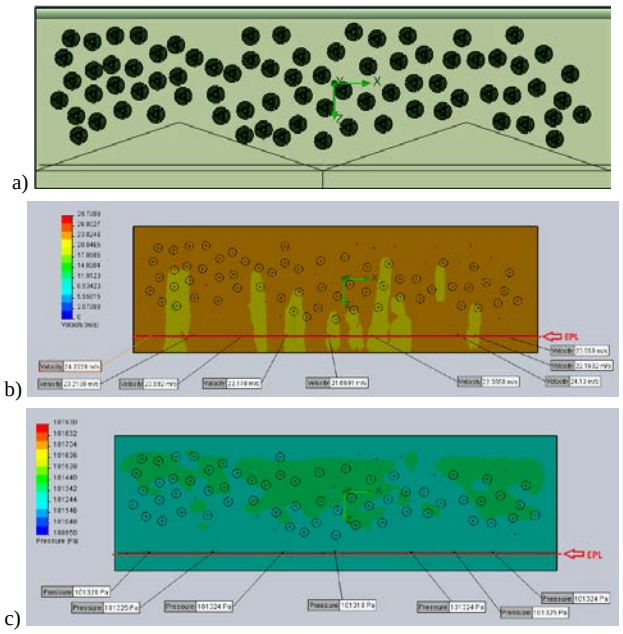
Iegūtos rezultātus būtiski ietekmē mežaudzes struktūra (koku tips, to augstums, izvietojums un blīvums). Tāpēc tika izvēlēts dabā raksturīgs EPL iecirknis ar priežu (*Pinus sylvestris*) mežaudzi, kur notikušas vējlauzes un snieglauzes (3.a att.). Priežu augstums ir no 15 m līdz 20 m, stumbra diametrs resgalī – 26 cm, vainaga diametrs – 4,6 m. Koku koordinātas ņemtas no mežaudzes dabā (3.a att.), un, kā redzams attēlā 3.b, to izvietojums ir neregulārs pretstatā modeļiem, kas parādīti 2. attēlā. Tuvāko koku stumbri atrodas ~8 m attālumā no EPL garenass. Vēja ātrums uz mežaudzi ir 25 m/s, bet virziens

perpendikulārs EPL garenasij. Aprēķinātais vēja ātrums uz elektrības vadiem ir ~9 m/s, un uz balstiem tas ir robežās no 6 līdz 24 m/s (3.c un 3.d att.). Tā kā vēja ātruma samazinājums uz vadiem joprojām ir būtisks, tad, lai tuvinātos faktiskajiem dabā novērotajiem samazinājumiem, tiek modificēta priedes vainaga ģeometriskā uzbūve (4. att.), padarot to mazāk blīvu (retāku).



4. att. Precizētais priedes (*Pinus sylvestris*) modelis.

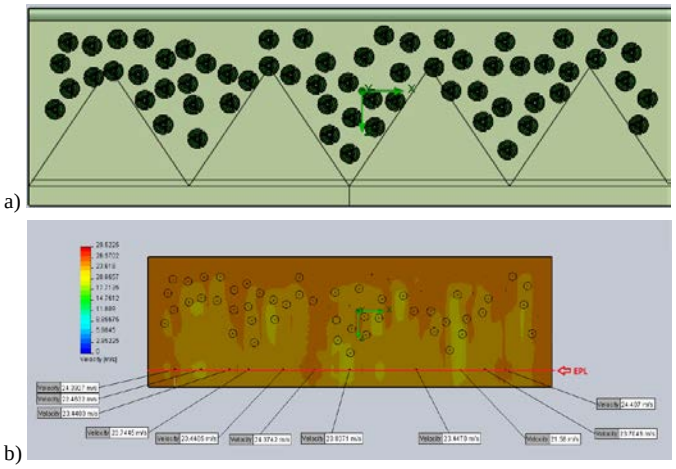
Tagad aprēķinātais vēja ātrums uz EPL vadiem ir robežās no 19 līdz 23,8 m/s. Aptuvenais vēja ātruma samazinājums meža masīvā ir ~12 %, kas atšķiras no uzņēmuma „Latvenergo" datiem ne vairāk par 4 %. Tālāk tiek modelēti gadījumi, kad mežaudzēs pie EPL tiek veikti trīsstūrveida izzāģējumi (5.a un 6.a att.). Modelī ir iekļauts markas A50 alumīnija vads.



5. att. Vēja slodžu modelēšana: a) mežaudzes ar izzāģējumiem modeļa virsskats; b) vēja ātruma sadalījums virsskatā; c) spiediena sadalījums virsskatā.

Aprēķinu rezultātā (5.b un 5.c att.) iegūtais vēja ātrums uz EPL vadiem ir robežās no 21,7 līdz 24,1 m/s. Aptuvenais vēja ātruma samazinājums meža masīvā ir ~8 %. Vēja radītais spiediens uz vadu ir 421 N/m^2. Vēja spiediena samazinājums, ja pie EPL ir izzāģējums, ir par 4 % mazāks nekā gadījumā, ja šāda izzāģējuma nav.

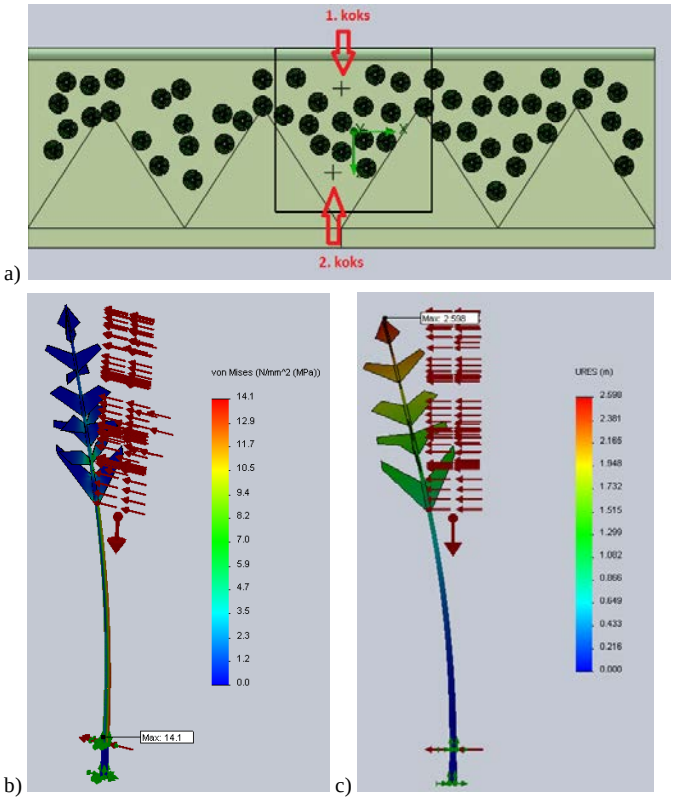
Gadījumā, kad mežaudzē pie EPL izveidoti četri 30 m dziļi trīsstūrveida izzāģējumi (6.a att.), uz EPL vadiem vēja ātrums ir robežās no 20,8 līdz 24,4 m/s un aptuvenais vēja ātruma samazinājums meža masīvā ir ~6 %. Tātad, no vēja samazinājuma viedokļa, vislabākais ir gadījums, kad šādu izzāģējumu nav. Iegūtās vēja slodzes var tikt izmantotas vadu, stabu un koku stiprības aprēķiniem.



6. att. Vēja slodžu modelēšana: a) mežaudzes ar četriem izzāģējumiem divos EPL laidumos modeļa virsskats; b) vēja ātruma sadalījums virsskatā.

III. Mežaudzes koku stiprība

Tālāk tiek pētīta mežaudzes koku stiprība pret vēja slodzēm.

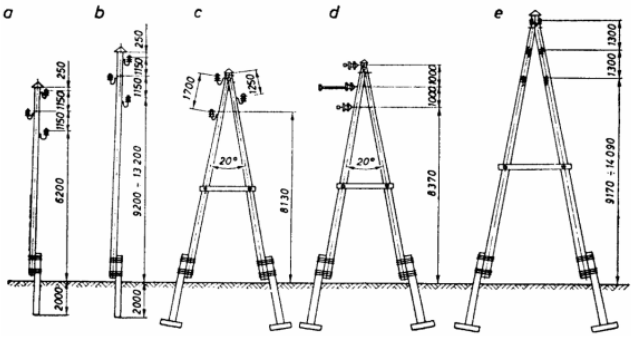


7. att. Mežaudzes koka Nr. 2 modelēšana: a) atrašanās vieta; b) Mizesa spriegumu sadalījums; c) maksimālais pārvietojums.

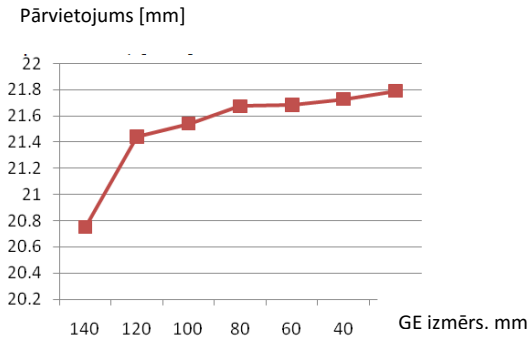
Tā kā zaļa un mitra koksne netiek kokrūpniecībā lietota, tad tās īpašības ir maz pētītas un literatūras avotu ir samērā maz. Augošu koku īpašības ievērojami atšķiras atkarībā gan no koku sugas, gan no koku vecuma un augšanas ātruma, gan arī no koksnes izvietojuma stumbrā, zarainības un greizšķiedrainības [7]. Pētījumi rāda, ka koku īpašības var būtiski mainīties atkarībā no augšanas reģiona, piemēram, tropiskās joslās koksnes izturība var sasniegt pat 120 MPa [8]. Viens no respektablākajiem darbiem par Eiropā augošu dažādo koku sugu īpašībām ir darbs [9], kura eksperimentāli iegūtie dati tiek izmantoti arī šajā pētījumā. Latvijā visizplatītākie koki ir parastā priede (*Pinus sylvestris*), kas ir valdošā suga silā, lānā, mētrājā, slapjā mētrājā, grīnī, purvājā un ir 5–30 m, retāk 45 m, gara, un egle (*Picea abies*), kas var sasniegt 300 gadu vecumu un augstumu līdz pat 45 m. Priedes un egles aizņem attiecīgi ~40 % un ~20 % no Latvijas mežu kopplatības. Ļoti izplatīti Latvijā ir bērzu (*Betula pendula*) dzimtas koki, kas izceļas ar palielinātu elastību un sasniedz 5 līdz 35 m garumu. No visas mežaudžu koku daudzveidības mūsu darbā tiek analizēti tikai šo trīs sugu koki. 7. attēlā parādīti priedes koka, kas atrodas vistuvāk EPL vidējam balstam, maksimālie Mizesa spriegumi un pārvietojumi, ko rada kvazistatiskā p.II noteiktā vēja slodze.

IV. EPL KOKA BALSTU STIPRĪBA

EPL balstu materiāls ir impregnēta koksne – antiseptizēta priede, kas atbilst Latvijas standartam LVS 10-92. Stabu tievgaļa diametrs pieņemts 16 cm [10], bet augstums – 11 m; pārējie raksturīgie izmēri un konstrukcijas parādītas 8. attēlā. Materiāla konstantes koksnei var ievērojami atšķirties atkarībā no tās stiprības klases. Tāpēc parametru vērtības tiek ņemtas no darba [11], kurā speciāli tika veikta Latvijas EPL izmantoto impregnēto koka balstu stiprības eksperimentāla noteikšana uz specializēta stenda. Izdarītajos aprēķinos EPL impregnētā balsta robežstiprība uz lieci ir pieņemta 53,8 MPa un elastības modulis – 10480 MPa. EPL armatūras parametri ņemti no darba [12]. Lai izvērtētu rezultātu precizitāti slogota balsta modelim, tīklošana veikta ar dažāda izmēra elementiem, un tālāk iegūta modeļa maksimālā pārvietojuma atkarība no galīgo elementu (GE) vidējā izmēra (9. att.). Lai diskretizētu modeli, mērķtiecīgi izmantot elementus ar izmēru 120 mm, jo, salīdzinot iegūtos rezultātus ar elementiem, kuru izmērs ir 20 mm, atšķirība ir 2,9 %. Elementiem ar izmēru 140 mm rezultātu atšķirība jau ir 4,8 %.

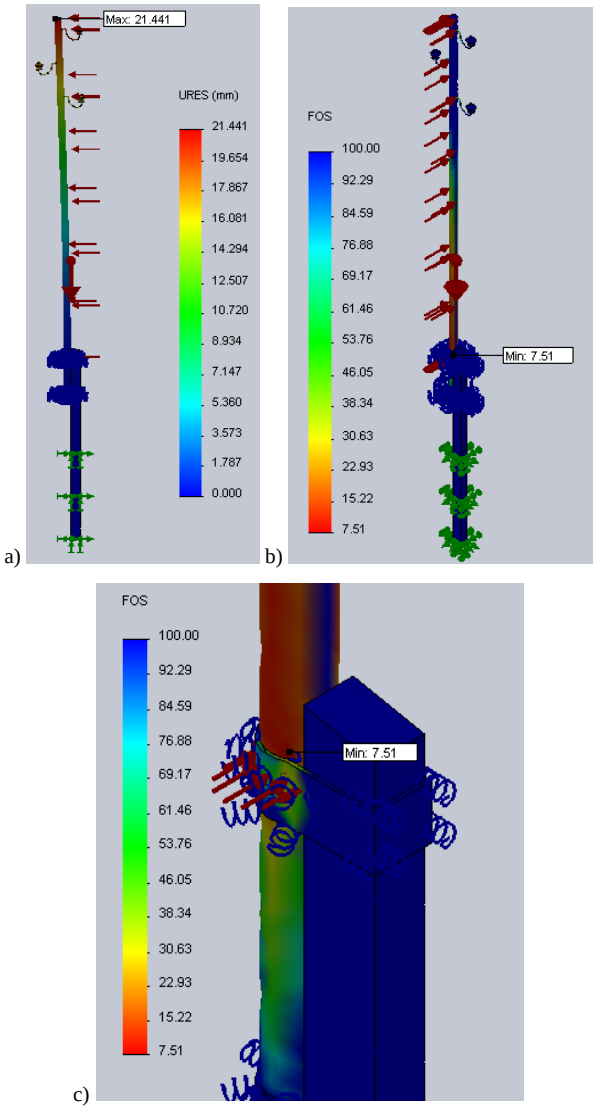


8. att. Vidsprieguma EPL izmantotās koka stabu konstrukcijas.



9. att. Maksimālais staba pārvietojums atkarībā no GE vidējā izmēra.

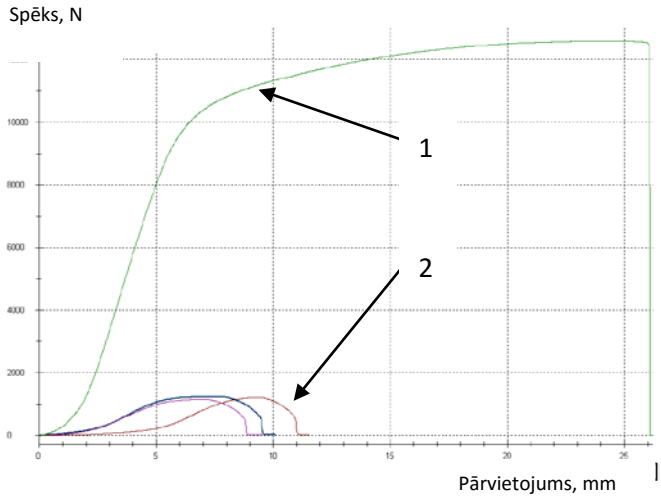
10. attēlā redzams, ka maksimālie spriegumi balsta stabā sasniedz 8,9 MPa un maksimālie pārvietojumi sasniedz ~22 mm no vēja slodzes 336 N/m², kas atbilst Latvijas II vēja zonai. Balsta konstrukcija ir droša pie apskatāmās vēja slodzes, un balsts var tikt bojāts no tādām papildu slodzēm, ko rada krītoši koki un ekstremāls apledojums.

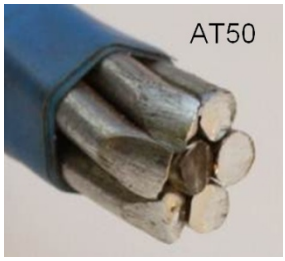


10. att. Balsta staba GE analīze: a) pārvietojumi no vēja slodzes; b) drošības koeficienta FOS sadalījums; c) apgabals ar minimālo FOS.

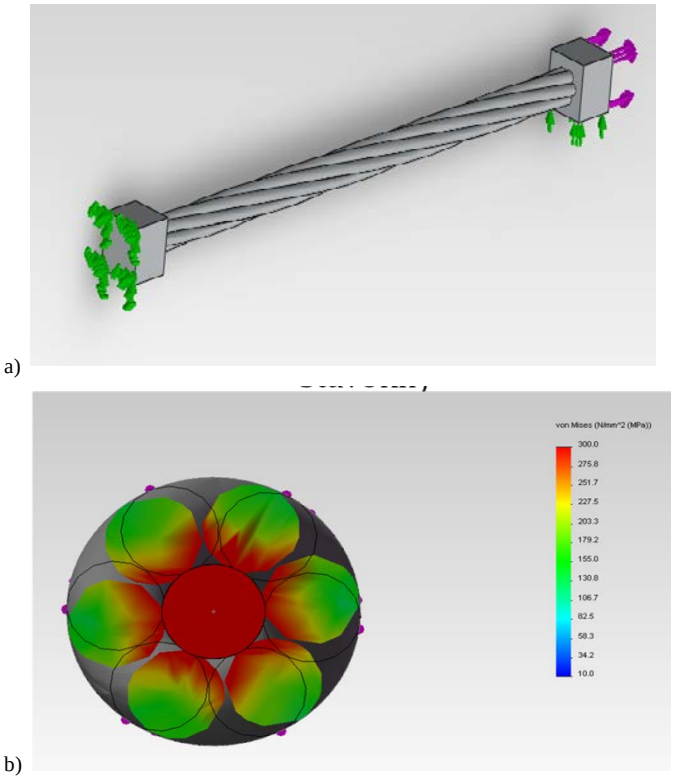
V. EPL VADU STIPRĪBA

No visas vadu daudzveidības, kurus lieto EPL, tiek apskatīti alumīnija un alumīnija-tērauda vītie kailvadi. Tie ir pietiekami sarežģīti objekti. Tāpēc sākotnēji tiek izvērtēta šo vadu uzvedība viena vai nedaudzu vijumu garumā, lai analizētu to deformāciju fiziku un iegūtu korektus ekvivalentos parametrus vienkāršotiem garu laidumu vadu modeļiem. Sevišķi aktuāli tas ir alumīnija vadiem ar tērauda serdeni, ja jāanalizē dažādu materiālu stiepļu kontaktuzdevums. Vispirms ar raušanas mašīnu *Zwick Roell* [13] tiek testētas vadu alumīnija un tērauda stieples. 11. attēlā parādītas vada AT50, kas ņemts no sagrautā EPL iecirkņa, komponentu raušanas diagrammas. No veiktajiem eksperimentiem tiek noteiktas vada AT50 konstantes. Alumīnija stiepļu parametri: stiepes robežspriegums $[\sigma]$ = 160 MPa; blīvums ρ = 2705 kg/m^3; elastības modulis E = 69 000 MPa; termiskās izplešanās koeficients 2,39 × 10^{-5} 1/K; Puasona koeficients ν = 0,33. Tērauda stieples parametri: stiepes robežspriegums $[\sigma]$ = 1280 MPa; blīvums ρ = 7700 kg/m^3; elastības modulis E = 210 000 MPa; termiskās izplešanās koeficients 1,3 × 10^{-5} 1/K; Puasona koeficients ν = 0,28. Vada AT50 stiepļu vijuma solis ir 21,2 cm. 12. attēlā redzams vada AT50 modelis nelineārās kontaktproblēmas risināšanai ar GEM un iegūtais spriegumu sadalījums vada šķērsgriezumā. Vada AT50 stiepļu kūļa ekvivalentie parametri: stiepes robežspriegums $[\sigma]$ = 304,4 MPa; blīvums ρ = 3900 kg/m^3; elastības modulis E = 84 850 MPa; termiskās izplešanās koeficients 1,92 × 10^{-5} 1/K; Puasona koeficients ν = 0,28.



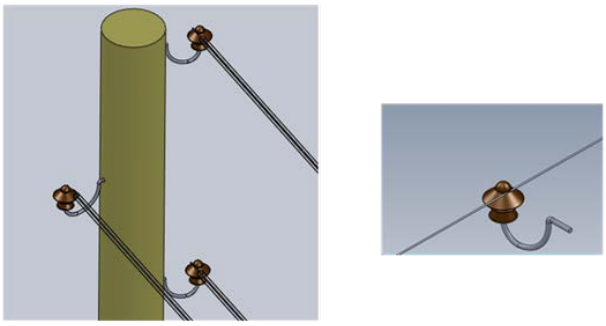


11. att. Vada AT50 komponentu raušanas diagrammas:
1 – tērauda serdenis; 2 – vītās alumīnija stieples.

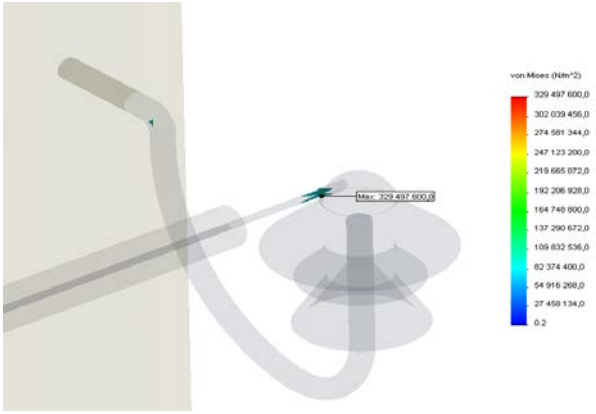


12. att. Vada AT50 GE analīze: a) vada ģeometriskais modelis; b) Mizesa spriegumu sadalījums vada šķērsgriezumā, risinot kontaktuzdevumu.

Ievērojot iepriekšminētos apsvērumus, tiek modelēta vidsprieguma EPL (skat. 13. un 14. att.) ar atbilstošu armatūru un vadu AT50/8.0 laidumā 60 m uzvedība pie dažādiem



13. att. Vidsprieguma EPL armatūras (kāši un izolatori) modeļi.



14. att. Maksimālie Mizesa spriegumi vadā novērojami pie izolatora.

apledojuma sieniņas biezumiem (skat. 1. tabulu). Šeit ņemts vērā neapledojuša vada standarta nostiepums 1463 N −5 °C temperatūrā, kā arī apledojuma slodze. Maksimālie Mizesa spriegumi vadā novērojami pie izolatora (14. att.), bet pārvietojumi – laiduma vidū. Pēc 1. tabulas datiem redzams, ka AT50 markas vads −5 °C temperatūrā spēj izturēt līdz pat 50 mm biezu apledojumu.

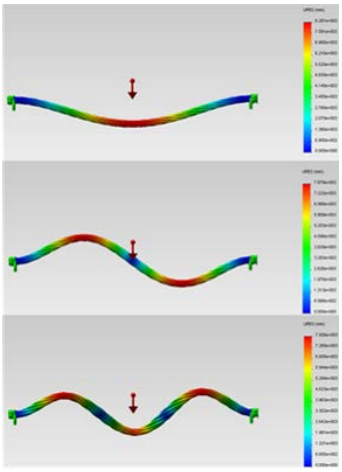
1. TABULA

VADA AT50 AR 60 M LAIDUMU RAKSTURLIELUMI PIE DAŽĀDA BIEZUMA APLEDOJUMA −5 °C TEMPERATŪRĀ

Vada apledojuma slāņa biezums, mm	0	15	30	50
Ledus svars, kG/m	0	1,06303	3,42244	8,5849
Vada maksimālais pārvietojums, m	0,654	1,22	1,738	2,249
Slodze no apledojuma, N	0	625,7	2014,5	5053,1
Vada stiepes spriegumi, MPa	23,2	85	171	309
Vada stiepes spēks, N	1305,3	4776,1	9608,6	17371
FOS	13,1	3,58	1,78	0,99

VI. EPL VADU FREKVENČU ANALĪZE

Aprēķini rāda, ka vada katra otrā pašfrekvence sakrīt, bet sakrītošās svārstību formas tiek realizētas savstarpēji perpendikulārās plaknēs. Neatkarīgi no vada sastiepuma tā svārstību formas saglabā savu izskatu (15. att.), bet pašsvārstību frekvenču vērtības mainās.



15. att. Vada trīs zemākās pašsvārstību formas.

Vadam AT50 ar 60 m laidumu un sastiepuma spēkiem (a) 17112 N un (b) 1463 N pirmo četru pašsvārstību frekvenču vērtības parādītas 2. tabulā. Samazinoties sastiepuma spēkam norādītajās robežās, arī vada pašsvārstību frekvences samazinās 3,4 reizes. 3. tabulā redzami šā paša vada raksturojumi, tikai ar laidumu 50 m. Samazinoties laidumam un nemainoties sastiepumam, vada pašsvārstību frekvences palielinās.

2. TABULA

VADA AT50 AR LAIDUMU 60 M PAŠFREKVENCES

Sastiepums, N:	17112	1463
№	**Frekvence, Hz**	**Frekvence, Hz**
1	2,332	0,684
2	4,665	1,368
3	6,997	2,053
4	9,330	2,737

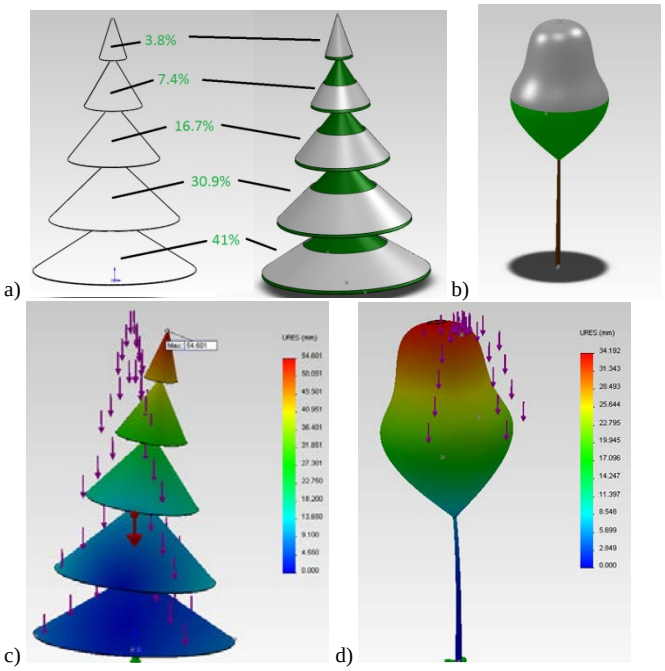
3. TABULA

VADA AT50 AR LAIDUMU 50 M PAŠFREKVENCES

Sastiepums, N:	17112	1294,7
№	**Frekvence, Hz**	**Frekvence, Hz**
1	2,968	0,819
2	5,936	1,639
3	8,904	2,458
4	11,872	3,278

VII. DAŽĀDU TIPU KOKU NOTURĪBAS ANALĪZE

Literatūrā sastopami dažādi koku noturības modeļi [14]. Šeit tiek lietoti GEM modeļi un tiek veikti aprēķini diviem koku veidiem, proti, tiek analizēta bērzu un egļu noturība pie slodzēm, ievērojot ekstremālus laikapstākļus. Tiek pieņemts tāds koku zaru vainagu noslogojums, kas ir ekvivalents apledojumam ar 2,2 cm biezu ledus kārtu (16.a un 16.b att.).



16. att. Noturības analīze: a) egles modelis un sniega sadalījums; b) bērza modelis ar sniega segu; c) un d) koku GE analīzes rezultāti.

Noturības aprēķini konkrētiem kokiem ar stumbra diametru pie pamata 30 cm un augstumu 15 m (16.c un 16.d att.) rāda, ka

bērzs zaudēs noturību, ja ledus noguluma slodze būs 1331 kG, bet egle noturību nezaudēs, ja ledus noguluma slodze sasniegs 2930 kG.

VIII. Secinājumi

Darbā veiktie EPL elementu aprēķini un atspoguļotā pieeja rāda, ka izstrādātā metodika ir darbspējīga, tai piemīt augsta precizitāte, un perspektīvā tā var nomainīt esošās klasiskās metodikas. Veiktās modelēšanas rezultātus var izmantot, risinot stiprības un dinamikas uzdevumus no vēja slodzes dažādiem EPL objektiem un mežaudzes kokiem. Izzāģējuma formas efekta detalizētai izvērtēšanai jāveic papildu pētījumi, taču uzkrātā pieredze ļauj izdarīt arī secinājumus un sniegt konkrētas rekomendācijas. Gari koki ar lielu zaru kroni augšpusē ir pakļauti lielākām vēja slodzēm (piemēram, bērzi un priedes). Pulsējošas vēja plūsmas var ierosināt koka pašsvārstības un pievadīt enerģiju koka svārstību sistēmai līdz līmenim, kad tas var sagrūt. Šādiem dinamiskiem efektiem primāri pakļauti ir izolētie meža koki, kuriem ir nepareizi apgriezti zari (nogriezti apakšējie zari). Savrup augošie koki ar zariem, kas pieskaras zemei (piemēram, kuplas egles), parasti nav bīstami iesvārstāmi, jo to svārstības tiek noslāpētas (dempferētas). Sniega slodzes koku noturību ietekmē daudz nopietnāk nekā īsas pēkšņas vēja brāzmas, jo zaļa koksne pie konstantām slodzēm ir pakļauta šļūdei un plaisu veidošanās procesiem.

Spēkā esošie standarti nodrošina EPL projektēšanu ar pietiekami lielu balstu un vadu mehānisko stiprību statiskā slogojuma gadījumos, taču dinamiskās iedarbes var kļūt par iemeslu EPL sagrūšanai. Vadu pašsvārstību analīze liecina, ka šīs frekvences var mainīties plašā diapazonā (~3,5 reizes) atkarībā no klimatiskajiem apstākļiem. Temperatūras izmaiņas izraisa vada nostiepuma spēka izmaiņas, savukārt apledojums izmaina tā masu, turklāt apledojuma forma var atšķirties no cilindriskās vada formas. Līdz ar to iespējama aerodinamiska cēlējspēka parādīšanās, kas var izraisīt vadu svārstības ar lielām amplitūdām un, respektīvi, lielu dinamisko papildslodžu parādīšanos. Stiprības un deformāciju aprēķini trupes neskartiem balstu stabiem rāda, ka tiem ir pietiekami lieli drošības koeficienti. Arī izmantojamiem vadiem ir pietiekama stiprības rezerve, it sevišķi tiem, kuriem ir tērauda serdenis. Iespējams, ekonomiski izdevīgāk ir pāriet uz vidsprieguma EPL ar izolētiem kabeļiem un speciāli projektētiem stiprinājumiem, kas ekstremālas slodzes gadījumā (piemēram, uz vadu krītošs koks) ļauj kabelim krist zemē bez tā pārrāvuma.

Pateicības

Šis darbs ir daļēji atbalstīts un veikts LZP granta projekta Nr. 09.1267 un RTU-Latvenergo projekta Nr. 11-11-27 ietvaros. Autori ir pateicīgi kolēģim Mārim Eidukam par veiktajiem eksperimentiem uz raušanas mašīnas *Zwick Roell*.

Literatūras saraksts

1. Wareing B. Wood Pole Overhead Lines. *IET Power and Energy Series* No 48. (UK). ISBN 978-0-86341-356-8. 2008.
2. Kryukov, K., Novogorodsev, B. *Constructions and mechanical calculations of electricity transmission lines.* Leningrad. (RU). 1979.
3. Marshall B. J. *Wind Forces in Forests.* Ph. D. thesis. Oxford: Oxford University, 1998, 207 p.
4. Donis, A., Rokpelnis, M., Snepsts, G., Zarins, J. Extreme wind speeds as a natural disturbance agent in spruce forests in Latvia. *In*: *2nd International Conference Wind Effects on Trees*, Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Germany, 13–16 October 2009, pp. 163–167.
5. Coutts, M. P. and Grace, J. Editors. *Wind and Trees*. University of Edinburgh. 1995.
6. Cullen, S. Trees and Wind: A Bibliography for Tree Care Professionals. *Journal of Arboriculture* 28 (1), January 2002, pp. 41–51.
7. Encyclopedia of Forest Sciences. 2004.
8. Lavers, G. *Material properties of timber*. Princess Risborough Laboratories, London. 1983.
9. Wessolly, L., Erb, M. *Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle.* Berlin: Patzer Verlag, 1998.
10. Latvijas vadu montāžas standarti LEK005 un LEK 015.
11. Miklašēvičs, Z. *Elektrolīniju un sakaru līniju koka balstu ražošanas tehnoloģiskie pētījumi un ekoloģiskais novērtējums.* Promocijas darba kopsavilkums. Jelgava: LLU. 2004.
12. *EPL elementu katalogs.* A/S Energofirma Jauda. Rīga. 2011.
13. *Zwick static materials testing machines.* Model E from 330 to 2000 kN. http://ru.zwick.com/en/products/static-materials-testing-machines/high-capacity-machines-330-2000-kn/model-e-from-330-to-2000-kn.html [Accessed: Jan 12, 2012].
14. Захаров, Ю.В., Суховольский, В.Г. Модели устойчивости деревьев и насаждений к воздействию ветра. *Лесоведение*, 2004, № 2, с. 61–67.

Alexander Janushevskis, *Dr. sc. ing.*, Professor, Head of the Research Laboratory for Machine and Mechanism Dynamics, Riga Technical University.
Address: 6 Ezermalas iela, Riga, LV-1006, Latvia. Phone: +371 67089396; Fax: +371 67089746;
E-mail: janush@latnet.lv

Anatolijs Melnikovs, M. sc. ing., postgraduate student, Institute of Mechanics, Riga Technical University.
Address: 6 Ezermalas iela, Riga, LV-1006, Latvia. Phone: +371 67089396; Fax: +371 67089746;
E-mail: Anatolijs.Melnikovs@rtu.lv

Ivo Vaicis, Master's degree student, Institute of Mechanics, Riga Technical University.
Address: 6 Ezermalas iela, Riga, LV-1006, Latvia. Phone: +371 67089396; Fax: +371 67089746;
E-mail: IvoVaicis@inbox.lv

Alexander Janushevskis, Anatolijs Melnikovs, Ivo Vaicis. Strength analysis of medium voltage overhead lines
In this work, a technique, based on using CAD/CAE software, is proposed for strength analysis of medium-voltage overhead lines (OHL). Firstly, the wind loads acting on OHL and on nearby woodland were estimated by the finite volume method. The wind loads were analyzed for different-shape cutouts of the surrounding forest as well as in the cases of coniferous, foliage and mixed forest. Then, the strength and frequency analysis of the woodland trees and the OHL poles and bare cables was done by the finite element method. Concrete numerical data obtained by the finite element solution are given for two types of conductors – aluminum wires and steel–aluminum wires of stranding. Also experimental data (pulling charts) obtained on the pulling testing machine *Zwick Roell* are given for the wires exploited in the regions of OHL damages. Additionally, buckling analysis from snow loads on the conifer and foliage trees was carried out. As can be seen, the comprehensive strength and buckling analysis of different elements of OHL can be carried out by using the proposed technique and software. Particular recommendations are given based on the obtained simulation results. A possible economic efficiency is discussed for the use of isolated cables and specially designed falling supports for the cables that do not allow interruption of the cable and breaking of the medium voltage OHL in case of extreme loads from falling trees.