



Aleksandra Gorbatsõva

VEDRUTÜÜPI KOMPENSEERIMISSEADE VAJALIKKUS JA TÕÕPÕHIMÕTTED KONTAKTVÕRGU SÜSTEEMIS

LÕPUTÕÕ

Logistikainstituut

Raudteetranspordi tehnoloogia ja liikluskorraldus

Juhendaja: Rita Ojala

Tallinn 2024

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina, Aleksandra Gorbatšova, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja – Rita Ojala /digitaalne allkiri/

Lõputöö on kaitsmisele lubatud logistikainstituudi direktori korraldusega.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Aleksandra Gorbatšova

sünnikuupäev: 27.05.1987

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„VEDRUTÜÜPI KOMPENSEERIMISSEADE VAJALIKKUS JA TÖÖPÕHIMÕTTED KONTAKTVÕRGU SÜSTEEMIS“

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas, 03.01.2024, Aleksandra Gorbatšova /digitaalne allkiri/

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1 ENIM KAHJUSTATUD KONTAKTVÕRGU SEADMETE MÄÄRAMINE.....	6
2 TEEMA AKTUAALSUS	7
3 KONTAKTVEDRUSTUSE KOMPENSEERIMISE LIIGID.....	11
4 KOMPENSEERIMISSEADMETE TÜÜBID	14
5 VEDRUTÜÜPI KOMPENSEERIMISSEADMETE KASUTUSKOHAD.....	19
6 KOMPENSEERIMISSEADME PAIGALDUS.....	21
7 EESTI JA LÄTI TERRITOORIUMIL KEHTIVAD NORMID.....	28
8 TURUL OLEVATE KOMPENSEERIVATE SEADMETE KARAKTERISTIKUD.....	32
9 ARVUTUSED.....	41
KOKKUVÕTE.....	46
SUMMARY	48
VIIDATUD ALLIKAD.....	49
LISAD.....	51
Lisa 1. VAS “ <i>Latvijas dzelzceļš</i> ” Operatiivarutelu protokoll	52
Lisa 2. TUN-1 (ühe vedruga) vedrukompensaatori tüübid ja omadused.....	53
Lisa 3. TUN-2 (kahe vedruga) vedrukompensaatori tüübid ja omadused.....	54
Lisa 4. Tensorex C+ 2-spring-model seadmete tehnilised andmed.....	55
Lisa 5. Tensorex C+ 3-spring-model seadmete tehnilised andmed.....	57
Lisa 6. Tensorex C+ 4-spring-model seadmete tehnilised andmed.....	59
Lisa 7. Tensorex C+ 4S-spring-model seadmete tehnilised andmed	61
Lisa 8. Tensorex C+ 5-spring-model seadmete tehnilised andmed.....	62
Lisa 9. Juhtmete pikenemise arvutuse tulemused Tensorex C+ 1350/1200 4SS näitel	64
Lisa 10. Trosside materjalide parameetrid vastavalt standardile DIN 48 201 ja kontaktjuhtmete materjalide parameetrid vastavalt standardile EN 50149 ja samuti lubatud maksimaalne pingutus vastavalt standartidele DIN EN 50341 ja DIN VDE 0115	67

SISSEJUHATUS

Praegu on tekkinud niisugune tendents, et ilmub palju uusi hankeid vanade objektide rekonstrueerimiseks ja uute objektide ehitamiseks. See on seotud sellega, et:

- massiline elektrifitseerimine Balti riikides toimus enam kui 50 aastat tagasi ja praegu on tekkinud kõikide elektrivarustuse seadmete suur kulumine;
- tehnika arenemise tõttu on tekkinud vajadus kasutada põhimõtteliselt uusi tehnoloogiaid, seadmeid ja elemente.

Seoses sellega, et teatud aja jooksul toimuvad kauba- ja reisijate voogude ümberjaotus ning mahuliste veovajaduste muudatused, on tekkinud vajadus üle vaadata kogu Balti riikide transpordisüsteemi. Ilma Balti riikide raudteetranspordisüsteemi ülesehitamiseta teiste Euroopa Liidu riikidega samal tehnoloogilisel tasemel on võimatu transpordisüsteemil toimida ühtse tervikuna. Identsetena peavad olema kasutatava liikuva rongi süsteem, sama voolu- ja pingetüüp kontaktvõrgus, rööbasteede sama laius ja kontaktvõrgu toitealajaamade sarnased tüübid. Selliste globaalsete probleemide lahendamine on võimalik investeeringute mõttes ainult väga suurte projektide nagu Rail Baltic rakendamisel ja elektrifitseerimisel uute suundade arendamiseks. Samas projekteerimisel ja ehitamisel tuleb kasutada uusi tehnoloogiaid. Ilma nendeta on võimatu tagada reisijateveo nõuetekohast kvaliteedi taset, rongi liikluse suuri kiirusi, ja kui rääkida kontaktvõrgust, siis kvaliteetset vooluvõttu. Kui rääkida uutest tehnoloogiatest kontaktvõrgu projekteerimisel, siis kõigepealt see on vooluvõtturi ja kontaktvõrgu vahelise mõju modelleerimine ning BIM-modelleerimine kontaktvõrgu projektide väljatöötamisel. See tähendab, et infrastruktuuri omanikel ja projektide tellijal on võimalus juba projekteerimisetapil näha ja vältida kokkupõrkeid teiste süsteemidega ning näha 3D-s tulevate tööde kogu ulatust.

Enne antud töö teostamist ja teema valimist olid peetud konsultatsioonid AS Eesti Raudtee ja VAS “*Latvijas dzelzceļš*” ettevõtetega kontaktvõrgu vähemate töökindlate elementide väljaselgitamiseks. Võttes arvesse kasvavaid kiirusi ja liikluse mahu suurenemist, selgus, et kontaktvõrgu kõige sagedamini riknevad elemendid on kompenseerimisseadmed. Selle põhjuseks on vananenud konstruktsioon, mis nõuab pidevat inimese kohalolekut, pidevat reguleerimist ja lisaks see ei ole arvestatud pikaks kasutusperioodiks. Selline konstruktsioon sisaldab kompensatsioonirulle, trosse, raskuste vanikuid, mis sageli katkevad konstruktsioonimaduste tõttu ja iga nende katkestus põhjustab rongi peatust ning materjali- ja ajakulu remondi ajal. Antud töö eesmärgiks on välja selgitada olemasoleva kontaktvõrgu kompenseerimisseadmete probleeme ning pakkuda välja põhimõtteliselt uut tüüpi kompenseerimisseadet edasiseks kasutamiseks. Töö käigus on eesmärgiks määrata antud tüüpi seadmete kasutuskohad ja piirangud (sealhulgas tehakse arvutused lubatud

juhtmepikenduste kohta seadmete normaalkasutamiseks), määrata eelised ehitamisel ja ekspluatatsioonil (sealhulgas kliimapiirangute mõttes), vaadelda võimalikke tootjaid.

Seoses massilise raudteede elektrifitseerimisega Balti riikides ja kontaktvõrgu projekteerimise ja ehitamise hangete suure arvuga tekib uute kompenseerimisseadmete kasutusala. Uued kompensatsiooniseadmed peaksid võimaldama normaalset tööd ilma hoolduseta. Arvestades sellega, et seadmete kasutusiga on kuni 50 aastat, nende lisahooldust mittevajavate kompenseerimisseadmete kasutamise majanduslik efektiivsus on väga kõrge ning vastavalt sellele antud teema on väga aktuaalne kontaktvõrgu turul.

Antud töös teostamisel võeti kompenseerimisseadmete informatsiooni tootjate avalikult kättesaadavatest allikatest, samuti esitati päringuid nii infrastruktuuri omanikele kui ka tootjatele (PFISTERER, MABO Sp. Z.o.o, Siemens). Teema asjakohasuse väljaselgitamiseks toimusid kohtumised infrastruktuuri omanike kontaktvõrgu tehniliste spetsialistidega (AS Eesti Raudtee ja VAS “*Latvijas dzelzceļš*”). Antud töö teostamisel tekkinud raskused seadmete tootjatelt info kättesaamisega, kuna küsiti ainult tehnilist infot ilma tuleneva tellimusega.

1 ENIM KAHJUSTATUD KONTAKTVÕRGU SEADMETE

MÄÄRAMINE

Kontaktvõrk on elektritranspordi veojõu toitesüsteemi element. Transpordi põhifunktsiooni edukas täitmine sõltub suurel määral selle usaldusväärsusest toimimisest - reisijate ja kaupade vedamisest vastavalt etteantud liiklusgraafikule ilma katkestusteta.

Kontaktvõrkudele esitatavad põhinõuded on elektrienergia edastamine veeremile usaldusväärselt, ökonoomse ja keskkonnasõbraliku voolukogumise kaudu, mis on projekteeritud ilmastikutingimustes kindlaksmääratud kiirustel, pantograafide tüüpidega ja edastatava voolu väärtustega.

Rongide kiiruse suurenemisega suureneb reisijatevedu ja samal ajal suurenevad nõuded kontaktvõrgu seadmetele. Rongide ohutu liikumise tagamiseks on vajalik kõigi kontaktvõrgu elementide tõrgeteta töö. Need seadmed peavad olema töökindlad ja pika kasutuseaga. Töökindlus tagab raudtee ohutu töö ning pikk kasutusiga vähendab hooldus- ja remondikuluseid.

Kõik kontaktvõrgu seadmed võib jagada kahte suurde rühma - ehituskonstruksioonid (toed, vundamendid, portaalid jne) ja montaažisõlmed (juhtmed, konsoolid jne). Ja tehniliselt keerukamad konstruksioonid on montaažisõlmed. Neis on kõige rohkem töökindluse seisukohalt järjepidevaid elemente. Montaažielementidest on kõige keerulisem seadistada, reguleerida ja säilitada usaldusväärset tööd õhupöörangute ja kompensatsiooniseadmete puhul. Nendest kahest sõlmedest on kompenseerivad seadmed kõige levinumad, sest õhupöörangud on olemas ainult jaamades, kompenseerivad seadmed aga nii jaamades kui ka jaamavahedel.

Kuna kontaktvõrgu juhtmestik paigaldatakse tavaliselt ankrusektsioonidena selle töökindluse suurendamiseks, paigalduse mugavuseks ja õnnetuse korral ka taastamise võimaluseks. Juhtmed ankurdatakse tugeledele sektsioonide otstes (kompensatsiooniseadmete abil).

Olemasolevad kontaktvõrgu juhtmestiku kompensatsiooni liigid trumlitega ja plokktüüpi kompenseerimiseseadmetega võivad hooajaliste muutuste tõttu lõtvuda, raskused katkevad.

Kontaktvõrgu juhtmete katkemine tekitab suuri häireid rongide liiklusplaanides.

Seetõttu tuleb kohaldada vaid neid kompensatsiooni liike, mis välistaks kõik eelnimetatu.

2 TEEMA AKTUAALSUS

Raudteede kontaktvõrgu juhtmete katkemistel võivad olla tõsised tagajärjed rongide liiklusohutusele ja reisijateveoteenustele. Selliste juhtumite mõju võib varieeruda sõltuvalt paljudest teguritest, nagu rongi kiirus, raudteeliini tüüp, liiklustihedus jne. Vaatleme peamisi aspekte:

1. Rongide liiklusohutus:

- Hädaolukorrad: juhtmete katkestus võib põhjustada avariiolukordi, näiteks rongi peatumist rööbasteel, juhitavuse kaotust või isegi tulekahju.
- Kokkupõrkeoht: kui rong ei saa katkenud juhtmete tõttu õigel ajal peatuda, võib tekkida kokkupõrkeoht teiste rongide või teel olevate objektidega.

2. Reisijate teenindus:

- Hilinemised ja tühistamised: katkenud juhtmed võivad põhjustada suuri rongide liikluse hilinemisi ja tühistamisi, mis negatiivselt mõjub reisijate teenindamisele.
- Reisijate mugavus ja ohutus: hilinemised ja ebamugavused võivad mõjutada reisijate mugavust ja ohutust eriti kui toimub rongi evakuatsioon tingimustel, mis ei ole selleks ette nähtud. Ootamatu peatumise või kokkupõrke korral võivad reisijad saada vigastusi.

3. Majanduslikud tagajärjed:

- Ekspluatatsiooni kulud: elektrivarustuse süsteemi remont ja taastamine võivad olla kulukad.
- Tulu vähenemine: rongiliikluse hilinemisega seotud tühistamised võivad põhjustada vedaja ja muude seotud üksuste tulude kaotust.

4. Tehniline hooldus:

- Taastamisvajadused: seadmete ja juhtmestiku taastamine nõuab hooldust, mis võib võtta palju aega ja ressursse.
- Profülaktilised meetmed: juhtmete katkemise vältimiseks on vaja regulaarset kontrolli ja hooldust, mis võib ka nõuda lisaressursse.

5. Profülaktika ja ohutus:

- Ennetavad meetmed: niisugused ennetavad meetmed, nagu kaasaegse tehnoloogia kasutamine, korrapärased kontrollid ja hooldus, vähendavad juhtmete katkemise ohtu ja parandada raudteetranspordi ohutust.

Üldiselt, raudteerööbastel katkenud juhtmetel on tõsised tagajärjed reisitranspordi ohutusele ja tõhususele. Proaktiivsed meetmed hädaolukordade ennetamiseks, korrapäraseks hoolduseks ja

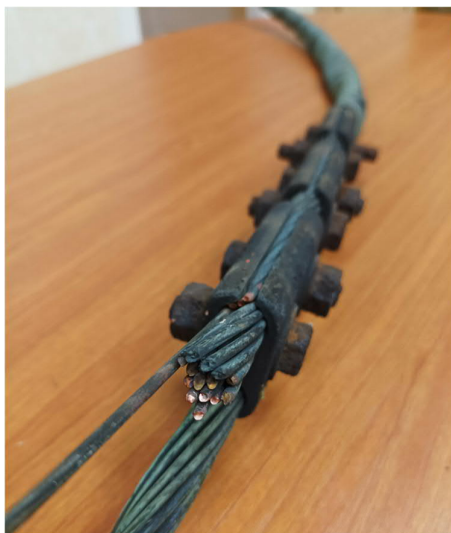
kiireks reageerimiseks erinevatele juhtumitele võivad oluliselt vähendada riske ja parandada rongide liikluse ohutust.

Lähtudes AS-le Eesti Raudtee pöördumisest ning arvestades kaalutletud aspekte juhtmete katkemiste mõjust ohutusele ja reisijate teenindamisele, võib märkida, et aastatel 2018 – 2023 ei olnud registreeritud Eesti raudteedel juhtmete katkemisega kaasnenud tõsiseid õnnetusi. See näitab raudteetranspordi kõrget ohutuse ja tõhususe taset riigis.

Lätiga seoses tuleb märkida, et alates 2018. aastast kuni tänapäevani on raudteedel toimunud 2 raskete tagajärgedega (pikad liikluse katkestused) juhtmete katkemise juhtumit. Lisaks tuvastati ja parandati ilma tõsiste tagajärgedeta süsteemi rikkeid. Need andmed näitavad, et Lätis kasutatakse meetmeid raudteeinfrastruktuuri ohutuse ja korrapärase hoolduse tagamiseks, et vältida tõsiseid intsidente.

Antud töös on näidisenä käsitletud 31. augustil 2022. aastal Läti raudteel, liinil Tukums I – Ķemeri, toimunud kontaktvõrgu kahjustamisjuhtum.

VAS “*Latvijas dzelzceļš*” protokollis (Lisa 1) on kirjas, et juhtumi koha kontrollimisel tuvastas komisjon, et plokk-polüspasti kompensatori sõlmes on katkenud kandetrossi M-120 ja kompenseerimiseadme ühendus. Antud rikkumine toimus plokk-polüspasti seadme töö isepärasuste ning samuti materjali vananemise (1967.a) ja osalise hävimise tõttu eksploatatsiooni tagajärjel. Töö ajal tekkis plokk-polüspasti seadme kiilumine (pidurdamine) ja järsk kiilumine (desinhibeerimine). Dünaamiliste konstantsete jõudude tagajärjel toimus esiteks kandetrossi soonte osaline hävimine ja hiljem kandetrossi ühekordne täielik katkemine.



Joonis 1. Kandetrossi katkemise koht [VAS “*Latvijas dzelzceļš*” arhiivifoto]

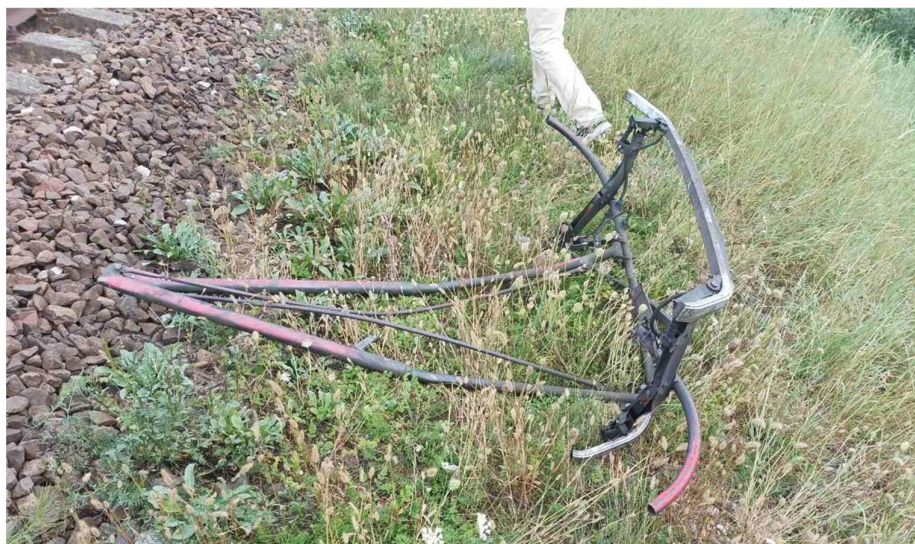


Joonis 2. Purunenud plokk-polüspasti kompenseerimisseade [VAS “*Latvijas dzelzceļš*” arhiivifoto]

Elektrirongi ER2T-6520P voluvõtturi kokkupuutel kontaktvõrguga said kahjustada järgmised elemendid:

- 2 volukollektorit on ära rebitud;
- Tugitross M-120 on katkenud tugede nr.150-151 vahel;
- Kontaktvõrgu 6 sektsiooni stringid said kahjustatud;
- 2 elektriühenduslüli on katki

Lisaks tekkis rongiliikluses pikaajaline seisk.



Joonis 3. Elektrirongi ER2T-6520R ära kukkunud pantograaf [VAS “*Latvijas dzelzceļš*” arhiivifoto]

Juhtumi analüüsi tulemusena otsustas komisjon läbi viia järgmised tegevused:

- Kompenseerimisseadmete sõlmede seisukorra sarnase kontrolli läbiviimine kõikides tööpiirkondades;
- Avastatud defektide viivitamatu kõrvaldamine;
- 2023.aastal kevadisel kontaktvõrgu plaanilisel ülevaatusel pöörata erilist tähelepanu kompensatsiooniseadmete sõlmede seisukorrale, arvestades selle katkemise kogemust;
Edastada info katkemise kohta kõigile kontaktvõrgu ekspluatatsiooniga tegelevatele töötajatele.

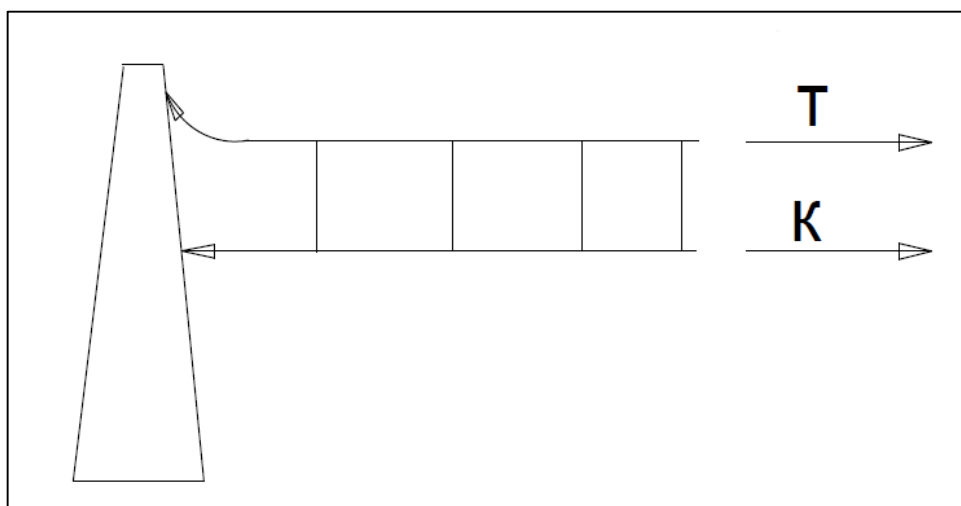
Antud näidis näitab:

1. Plokk-polüspasti tüüpi kompenseerimisseadme kahjustus on süsteemne (massiline);
2. Kompensatsiooniseadmete rikkumisest tulenevad tagajärjed on märkimisväärsed;
3. Sarnaste rikkumiste vältimiseks tulevikus on vaja plokk-polüspasti kompensaatorid (enim kasutatav kompenseerimisseade Eesti ja Läti raudteedel) asendada juhtmete kompensatsiooni seadmetega, millel ei ole plokk-polüspasti seadmete puuduseid;
4. Tõsiste tagajärgede ja rikkumiste tõttu on vajalik spetsiaalne kompensatsiooniseadmete perioodiline kontroll.

3 KONTAKTVEDRUSTUSE KOMPENSEERIMISE LIIGID

Vastavalt juhtmete pingutamise meetodile on olemas kompenseerimata, poolkompenseeritud ja täiskompenseeritud kettvedrustused.

Kompenseerimata ketivedrustuse juhtmed on jäigalt kinnitatud ankrutugede otstest ning juhtme automaatse reguleerimise seadmed puuduvad (Joonis 4). Kandetrossi ja kontaktjuhe pinged laiali varieeruvad sõltuvalt temperatuurist.



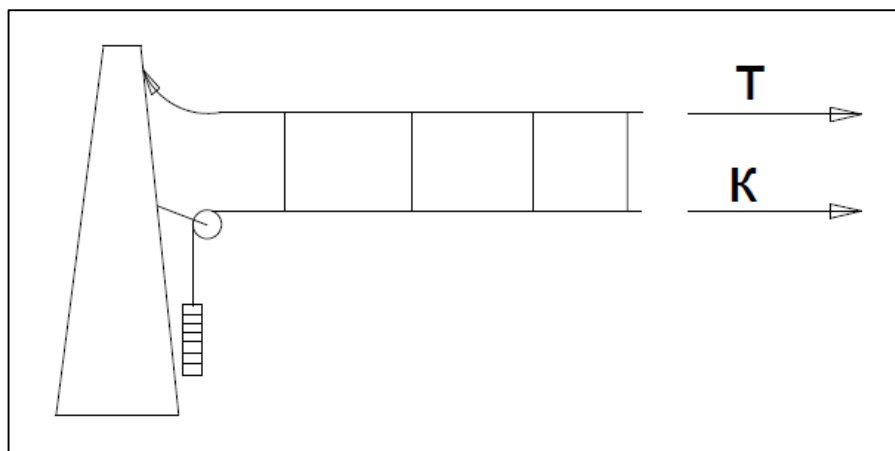
Joonis 4. Kompenseerimata ketivedrustuse juhtmete ankurdamise skeem

Kontaktvõrgu juhte kinnitatakse kandetrossile nii, et teatud temperatuuril nõõride kinnituspunktid oleksid horisontaalsel sirgel või, nagu öeldakse, juhe paikneks languseta. Seda temperatuuri nimetatakse kontaktvõrgu juhtme languseta asendi temperatuuriks. Temperatuuri tõustes pikeneb kandetross ja vastavalt sellele suureneb selle vajumine, pinge väheneb. Kandetrossi vajumise suurendamine põhjustab selle külge kinnitatud kontaktjuhe langemise. Temperatuuri muutused mõjutavad kontaktvõrgu juhtme pinget samamoodi nagu lihtsa vedrustuse puhul. Seetõtte on kompenseerimata ketivedrustus praktiliselt võimatu ilma kontaktvõrgu juhtme pinge perioodilise reguleerimiseta. Kontaktvõrgu juhtme pinge muutuste vähendamiseks saab, nagu ka lihtsa ketivedrustuse puhul, teostada kontaktvõrgu juhtmestiku hooajalist reguleerimist. Kuid isegi kahekordse reguleerimise korral juhtmestiku pinge langeb vooluvõtu tingimustega lubatud piiride üle [1]. Seetõttu ei saa Balti riikide kliimatingimustes paigaldada kontaktvõrgu kompenseerimata vaskjuhtmeid ketivedrustustesse, isegi selle kahekordse reguleerimisega. Kompenseerimata ketivedrustuse puuduste hulka kuulub ka see, et kõige tugevama tuule puhul kaldub kontaktjuhe pinge

vähendamise tõttu pantograafi teljest suuremale kaugusele, kui muude juhtmestiku pingutamise meetodite korral.

Kompenseerimata ketivedrustust paigaldatakse harva, kuid Eesti ja Läti elektrifitseeritud raudteedel seda üldse ei kasutata.

Poolkompenseeritud ketivedrustus erineb kompenseerimata vedrustusest selle poolest, et kontaktvõrgu juhtmetes kompensatorid ankrutugede juures (Joonis 5), mis säilib kontaktliini pidevat pinget temperatuuri muutumisel.

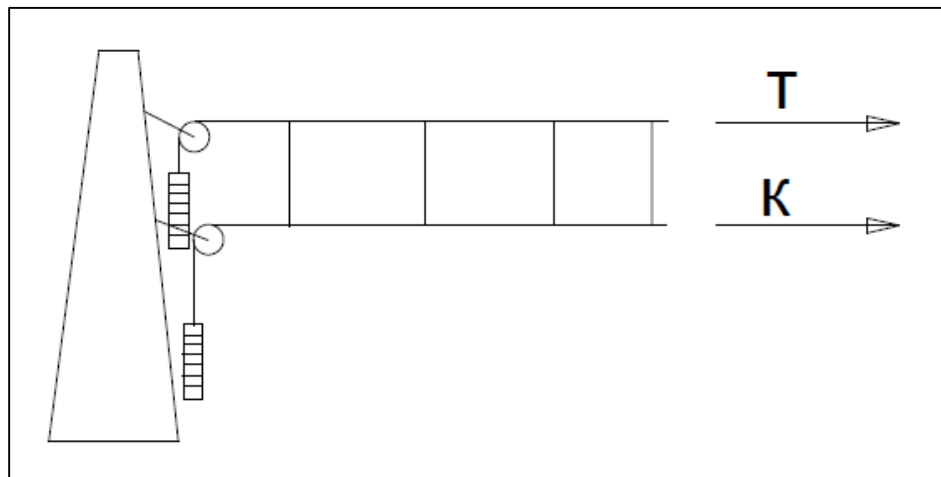


Joonis 5. Poolkompenseeritud ketivedrustuse juhtmete ankurdamise skeem

Kontaktvõrgu juhtmete pinge ei ole pidev nööride viltuse tõttu. Maksimaalsetel temperatuuridel kontaktliini pinge ankrulõigu keskosas võib oluliselt erineda pingest kompensatori juures. Kuna poolkompenseeritud ketivedrustuse kandekaabel ankurdatakse jäigalt, selle termilised pikendused tekitavad samasuguseid kontaktvõrgu juhtme kõrguse muutuse kui kompenseerimata ketivedrustuse puhul. Poolkompenseeritud ketivedrustuse peamiseks puuduseks on oluline muutus kontaktjuhtme vajumises. [1]

Kõige keerulisemad tingimused tekivad talvel kontaktliini negatiivse vajutuse korral, kui pantograafi liikumisel toelt visangu keskele selle tõus voldib lisaks kontaktjuhtme kokku surumisega ketivedrustuse suurema elastsuse tõttu visangu keskmises osas. Arvestades seda reguleeritakse kontaktjuhe nii, et see asuks sirgelt ilma languseta asendi temperatuuril. Sel juhul kontaktjuhe saab madalamal temperatuuril väiksema negatiivse languse noolt, samas kõrgema temperatuuri korral suureneb positiivne languse nool. Poolkompenseeritud ketivedrustust tihti kasutatakse Balti riikide raudteedel ja välismaal. [1]

Kompenseeritud ketivedrustuses on kõik juhtmed varustatud temperatuuripikenduste automaatse kompenseerimise seadmetega (Joonis 6).



Joonis 6. Kompenseeritud ketivedrustuse juhtmete ankurdamise skeem

Kandetrossi ja kontaktjuhi pinge ankrutoega külgnevas vajumises on konstantne teatud temperatuuri vahemikus. Kandetrossi languse nool jääb konstantseks, mistõttu kontaktvõrgu juhtme kõrgus ei sõltu temperatuuri muutustest kõikides vajumise punktides. Kompenseeritud kandetrossi languse nool muutub ainult siis, kui vedrustustraadidel suureneb koormus jää tõttu. Temperatuuri muutused põhjustavad kontakttraadi ja kandetrossi pikisuunalist liikumist. Seetõttu kandetross riputatakse pöördkonsoolidele. [1]

Kompenseeritud ketivedrustus on laiali kasutusel Eesti ja Läti raudteedel.

4 KOMPENSEERIMISSEADMETE TÜÜBID

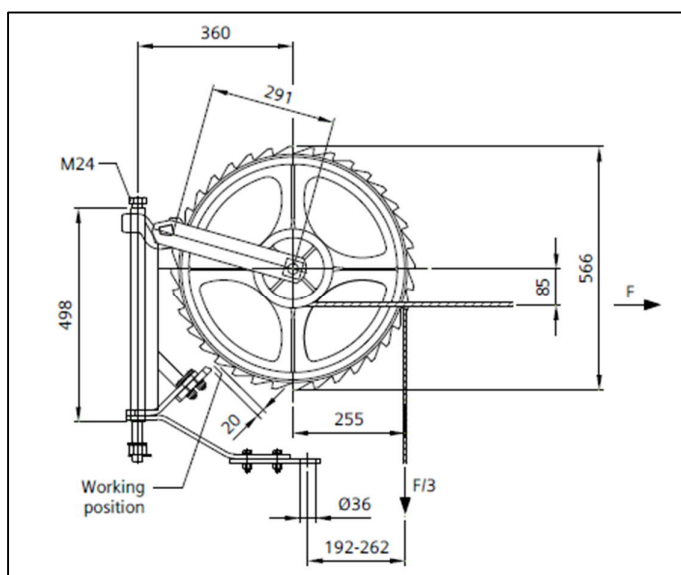
Kompensaatorite ülesandeks on kompenseerida temperatuurimuutusi kandetrossi ja kontaktjuhi pikkusel. Samal ajal peavad need tagama pidevat pinget, nii et kontaktjuhtme riputuskõrgus jääks peaaegu samaks. Kandetrossi ja kontaktjuhi pikkuse muutumisel temperatuuri kõikumiste tõttu kompenseerimisseade peab võimalusel hoidma ketivedrustuses olevad pingejõud ja kontaktjuhtme vajumine konstantsel tasemel. Seadme efektiivsuse tase, mis on mõõdetud nagu pinge tegeliku tõmbejõu ja kavandatud jõu suhe, peaks olema võimalusel suurem, muutes samal ajal kandetrossi ja kontaktjuhi horisontaalseid kompensatsioonijõude mitte rohkem kui 3%. [1]

Kompensaatorite konstruktsioonid erinevad raskuste olemasolu või puudumise poolest.

Kompensaatorid liigitakse tüüpide järgi:

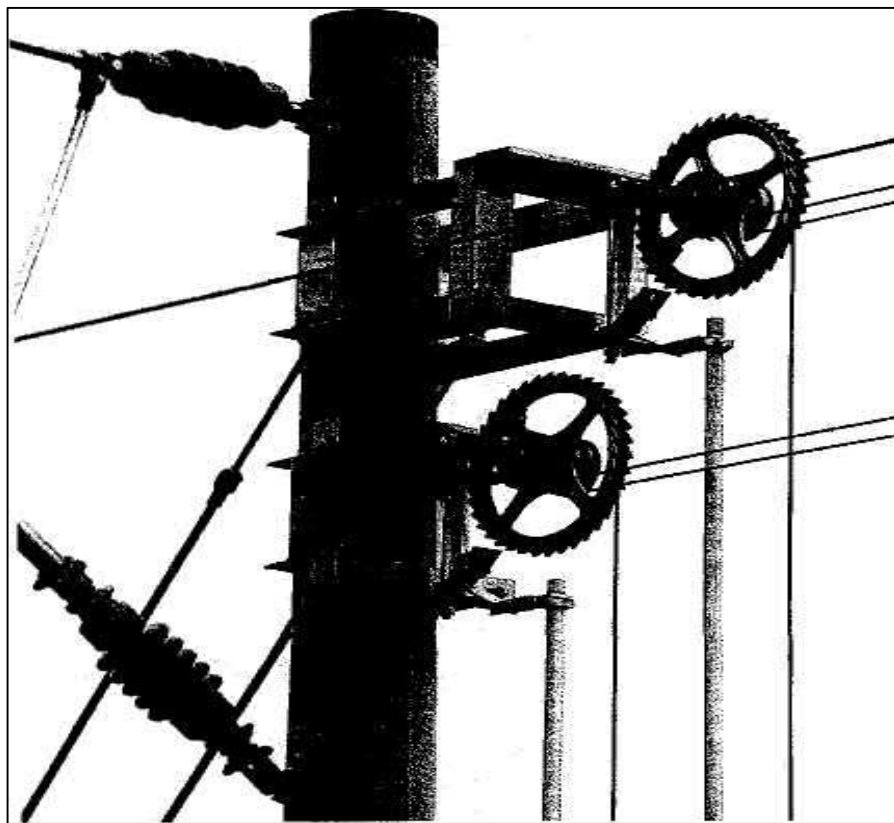
- Plokk-tüüp – konstruktsioon, mis sisaldab liikuvate plokkide süsteemi;
- Plokk-polüspast – liikuvate ja fikseeritud plokkide süsteem;
- Trumli tüüp – kompensaatori konstruktsioon, mis koosneb ühele teljele paigaldatud suurema ja väiksema läbimõõduga plokkidest;
- Vedru tüüp vedrude piki- või põikisuunalise paigutusega – kompensaatori konstruktsioon, mis kasutab vedrude kokkusurumise võimet tõmbejõu tekitamiseks.

Trummeltüüpi kompenseerimisseade rattaga koosneb pingutusrattast kahe ühisel teljel paikneva trumliga juhtme jaoks ja mõne kaasaegse modifikatsiooni järgi – blokeerimisseadmetest.



Joonis 7. Trummeltüüpi kompensaator [2]

Väikese trumli külge kinnitatakse pingutatav kontaktvõrk, samas kui suurele trumlile mõjub raskustest kompensatsiooni kaal. Kaabli või juhtme purunemisel rakendub blokeerimis- või kaitselülitusseade, mis on olemas ainult trummeltüüpi kompenseerimisseadmete kaasaegsetes modifikatsioonides. Eestis ja Lätis selliseid modifikatsioone veel praktiliselt ei kasutata (arvestamata juba moderniseeritud alasid). See on pingutustrumli peamine eelis võrreldes polüspasti põhimõttel põhineva pingutusseadmega. Tuleb ka märkida, et kõikidel vedru tüüpi kompenseerimisseadmetel alati olemas blokeerimisseade, mis rakendub kompenseeritud kontaktjuhtmestiku purunemisel. [1]



Joonis 8. Trummeltüüpi kompenseerimisseade konstruktsiooni Re 250 jaoks [1]

Juhtme purunemisel ratas langeb alla ja selle „hambad“ kinnituvad väljaulatuva plaadi külge, takistades sellega kompenseerivate raskuste kukkumist maapinnale. See on trummeltüüpi kompensaatorite eelis plokk-polüspasti kompensaatorite ees. [1]

Plokk-polüspasti tüüpi kompensaator töötab polüspasti põhimõttel. Ühe tervikjuhtme abil raskusjõud kandub korduvalt kontaktvõrgule horisontaaljõuna. Plokk-polüspasti kompensaatoritel puuduvad fikseerimisseadmed juhtmete purunemise korral, mis võib põhjustada kontaktvõrgu kahjustamist. [1]

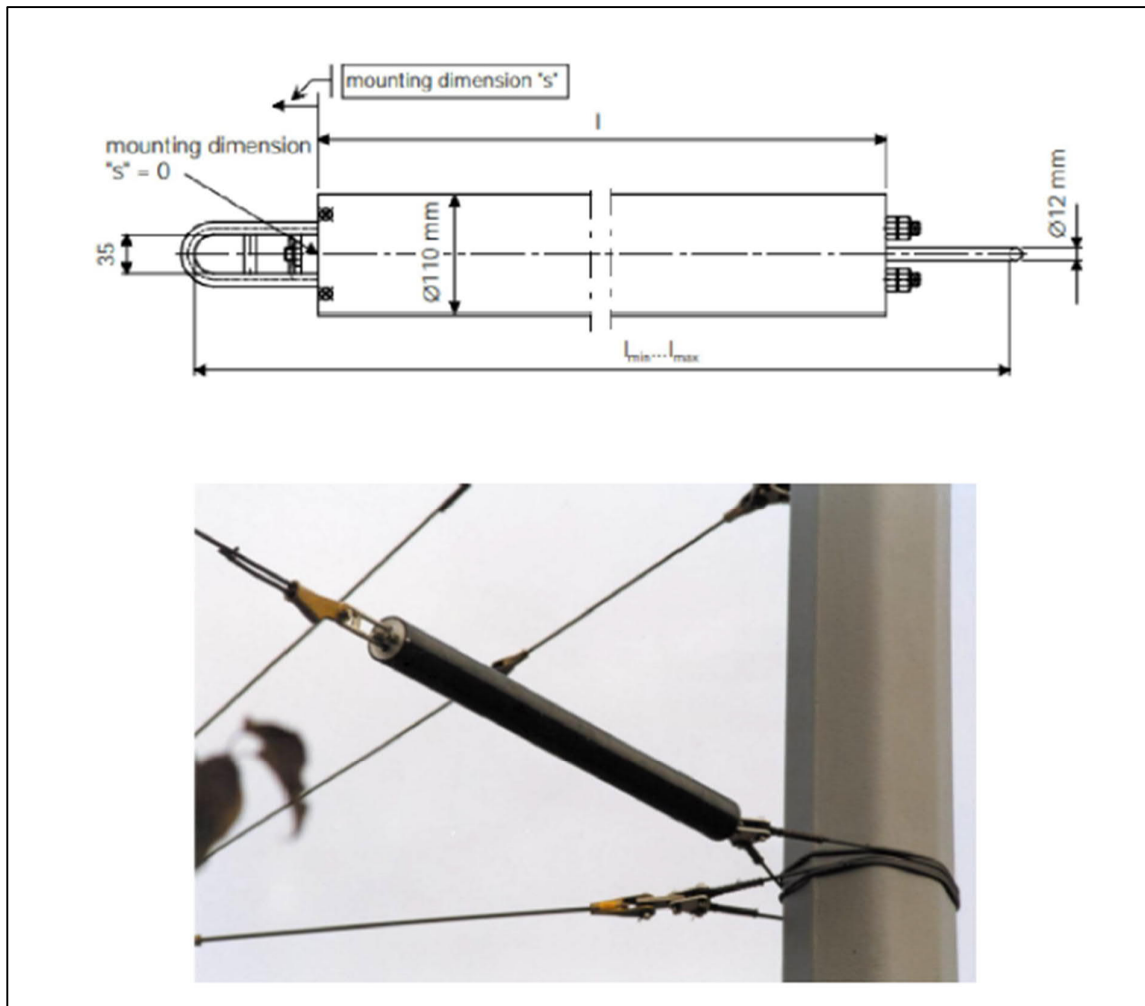


Joonis 9. Plokk-polüspasti kompensaaor [1]

Korduva ülekandesuhte muutmise korral kaalujõud kandub horisontaalse kompensatsioonijõuna ketivedrustusse. Nii nagu trummeltüüpi seadmetes, juhtmete pinge tajumiseks kasutatakse raskusi. Viie plokiga kompensatsiooni plokkseadme tõhusus on ligikaudu 88%, mis toob kaasa suured erinevused horisontaalsetes kompensatsioonijõududes temperatuuri kõikumise korral võrreldes trummel-tüüpi pingutusseadmega, mille tõhusus on 97%. Lisaks sellele ketivedrustes tekkinud katkestuste korral põhjustavad plokk-polüspasti kompensatsiooniseadmed suuri moonutusi ja trosside katkestusi, kuna kahjustuste korral ei piira ükski blokeerimisseade juhtmete liikumist. [1]

Peale raskustega kompenseerimisseadmete kasutatakse ka vedrutüüpi seadmeid. Nende seadmete eripäraks on raskuste puudumine seadmete suurema töökindluse tõttu. Asi on selles, et nendes seadmetes kasutatava nõ kella (leht-) tüüpi vedru põhimõtet on pikka aega kasutatud ka teistes tööstusharudes. Näiteks naftapuuraukude pumbad töötavad täpselt selle põhimõtte alusel (24-tunnise pideva tööga). [1]

Lihtsaid vedrukompensaatoreid pikendatud pingutusvedruga paigaldatakse lühikestel ankrusektsioonidel pikkusega kuni 180 m ja pingega kuni 10 kN.



Joonis 10. Lihtne vedrukompensaator [1]

Pikematel ankrusektsioonidel paigaldatakse tavalisi vedrukompensaatoreid. Nende korpuses on mitu vedrut, hädablokeerimisseade juhtmete purunemise korraks. Vedrukompensaator on temperatuuri muutustega adaptiivsem kui plokk-polüspasti kompensaatorid. [1]



Joonis 11. Vedrukompensaator [1]

On olemas ka hüdro- ja elektromehaanilised kompensaatorid, kuid neid tüüpe ei kasutata Balti maades.

5 VEDRUTÜÜPI KOMPENSEERIMISSEADMETE KASUTUSKOHAD

Kompensatsiooniseadmed peavad olema paigaldatud kontaktvõrgu juhtmele ja võivad, kuid ei pruugi olla paigaldatud kandetrossile. Teatud omadustega kompenseerimisseadmete valik sõltub:

- kaugusest kontaktvõrgu juhtmestiku keskmisest ankrupunktist kuni kompenseerimisseadmeni;
- kompenseerimisseadme eksploatatsiooni temperatuuri vahemikust;
- pinge suurusest, mis tuleb teha teatud kontaktvõrgu juhtmes;
- kompensatsiooniseadmete suhtelise paigutuse skeemilt toel (või portaalis) kompenseeritud kettvedrustuse korral;
- toe paigalduskoha tihedusest (platvorm ja muud kohad, kuhu pääsevad inimesed ja raskuste kasutamine on ebasoovitav);
- tekkiva pinge jõu püsivuse nõuetest kompenseerimisseadmetele (eriti oluline suurte kiiruste jaoks).

Olemasolev kontaktvedrustus on tavaliselt (enne rekonstrueerimist) poolkompenseeritud tüüpi, st kompenseeritud on ainult kontaktjuhe. Seoses sellega, et olemasolev kontaktjuhtmestik võimaldas ankrusektsioonide suuri pikkusi (pikkused on toodud allolevas peatükis), juhtmete maksimaalse pikenemise tõttu aasta soojal perioodil raskused, mis langesid piki raskuste stabilisaatorit, peatusid ja edasist kontaktvedrustuse kompenseerimist ei toimunud. Selleks, et kontaktvedrustus oleks igal aastaajal pideva pingetuse all, peavad hooldusteenindused ümber reguleerima juhtmete pikkusi kompenseerimisseadmest kuni raskuste pundini, mis tekitas lisakulusid. Lisaks puudub tehniline võimalus jälgida kompenseerimisseadmetes olevate laagrite tehnilist seisundit ning pika tööperioodi jooksul laagrid võivad pingejõu muutumisel kiiluda (juhtme pingejõu nõrgenemine või vastupidi, liigne suurenemine). Selle efekti vältimiseks eksploatatsiooni ajal töötajad on sunnitud õõtsutama raskuste punte, aidates sellega kompenseerimisseadmete pöörlemist.

Kuna platvormide piirkonnas, eriti rongijaamades, on võimatu välistada kontaktjuhtmete ankurdamiste kohti, tekib raskusi inimeste juurdepääsu piiramisel raskuste vankrile. Samas on alati vandalismi või inimeste vigastamise oht.

Kõige perspektiivsemad kohad vedrutüüpi kompenseerimisseadmete kasutamiseks on:

- Reisijate avalikud kohad, kuhu raskuste paigaldamine on ebasoovitav ohutuse ja esteetika tõttu (näiteks platvormid ja ülekäigurajad);
- Kiirkontaktvedrustused, kus on kõrged nõuded sisse- ja väljatõmbepingete erinevusele ning tõmbejõu püsivusele. Nendes kohtades võib trummel- ja plokk-polüspasti kompensaatoreite veerelaagrite tõttu tekkida ummistusi kompenseerimisseadmete tööd (temperatuuri muutuste, määride kvaliteedi halvenemise tõttu jne);
- Olemasolevate trummel- ja plokk-polüspasti tüüpi kompensatsiooniseadmetega ankrusektsioonid, kus kompenseeritud juhtmete maksimaalsel pikenemisel (temperatuuride vahemiku tõttu, võttes arvesse tõmbevoolude ja päikesekiirgusega kuumutamist ning kompenseeritud juhtmete olulise pikkuse tõttu) toimub raskuste langetamine (kukkumine) maapinnale.

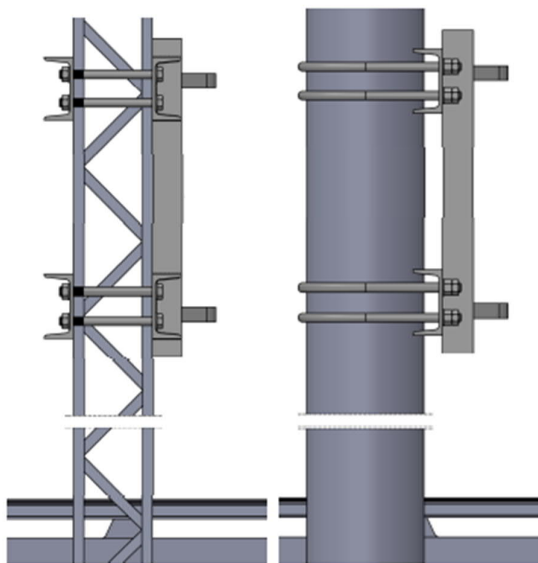
Kontaktvõrgu juhtmestiku visangu pikkus ja ankrusektsiooni pikkus mõjutavad oluliselt paigalduskulusid kontaktvõrkude ehitamisel. Kontaktvõrgu seadmete projekteerimisel tuleb võimalusel kasutada juhtmestiku ja ankrusektsiooni suuremat vahekaugust, mis on kõige tõhusam meetod kulude vähendamiseks. Ainult raskusteta (vedrutüüpi) kompenseerimisseadmete kasutamine võimaldab projekteerida ja ehitada maksimaalselt pikkade ankrusektsioonidega kontaktvõrku.

6 KOMPENSEERIMISSEADME PAIGALDUS

Vedrutüüpi kompenseerimisseadme paigalduse protsess kontaktvõrgus sisaldab mitu olulist sammu. Enne paigaldust on oluline kontrollida ja veenduda, et seade pole transportimisajal kahjustatud.

1. Kronsteini kinnitus kontaktvõrgu toele.

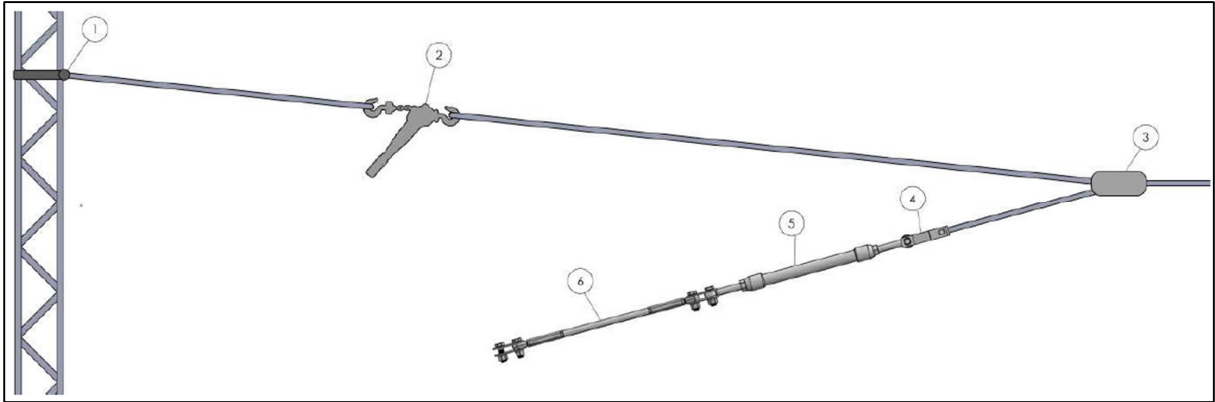
Kinnitussüsteemi paigalduskõrgus sõltub kontaktvõrgu juhtmestiku kõrgusest. Seetõttu kompenseerimisseade peab olema kohandatud ja joondatud kontaktjuhtmete ja/või kandetrossi kõrgusega (olenevalt sellest, kas kasutatakse kompenseeritud või poolkompenseeritud riputussüsteemi). Kompenseerimisseadme kinnitushoidik on vaja mõõta ja paigaldada toele liini suunas projektis või infrastruktuuri omanikuga määratud kõrgusele. Oluline on veenduda, et miski ei takistaks toe tugevat pöörlemist ja siis tuleb hästi pingutada kogu kinnitussüsteemi kruvisid.



Joonis 12. Hoidiku kinnitus sõrestik- /ringtoe külge [3]

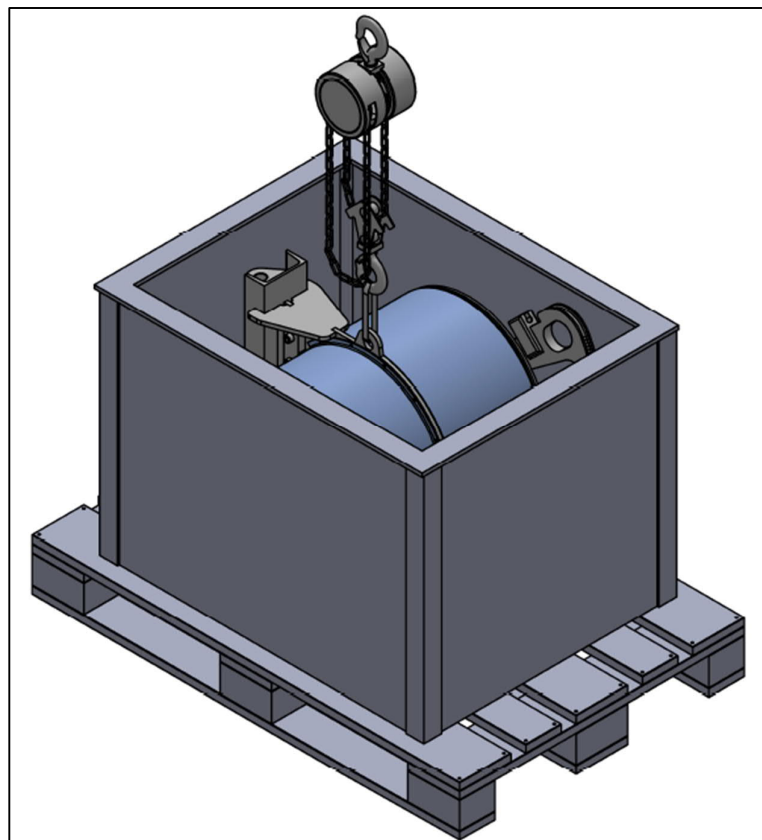
2. Järgmine samm on kompenseerimisseadme tõstmine ja kinnitamine.

Kontaktvõrk on vaja kinnitada ankruga kandekonstruktsioonile vintsi abil (tugi, vinn jne), nagu on näidatud Joonisel 13.



Joonis 13. Kontaktvõrgu kinnitamine kandekonstruktsioonile, kus: 1- kinnitus toe külge; 2- vints; 3- trossi hoidik; 4- lõpphoidik; 5- talrep; 6- veojõu isolaator [3]

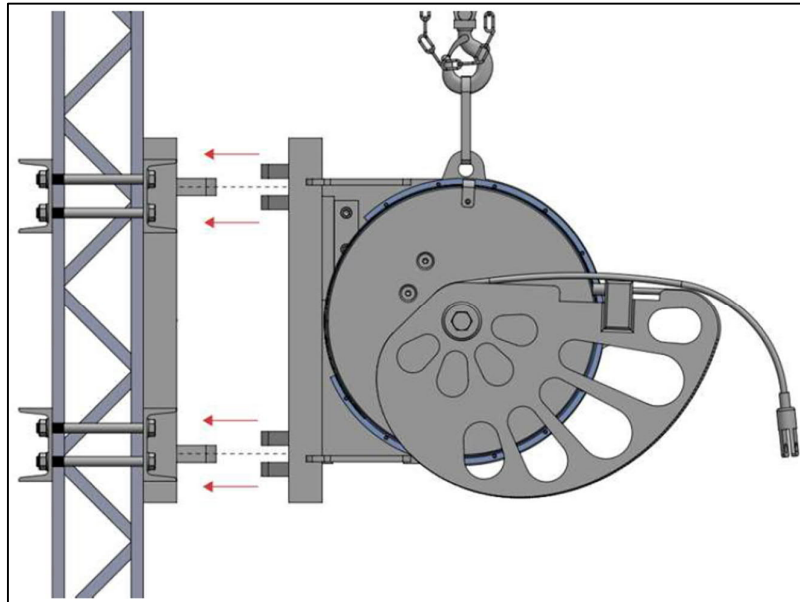
Järgmisena kompenseerimisseadmega karp paigaldatakse selle konstruktsiooni kõrvale, mille peale seade peab olema paigaldatud, avatakse karpi tööriistade abil ja kinnitatakse seade kindlalt kinnituskonksule, mis asub otse seadmel, seadme edasiseks tõstmiseks, nii nagu on näidatud Joonisel 14.



Joonis 14. Seadme tõstmine kinnituskonksule kinnitusega [3]

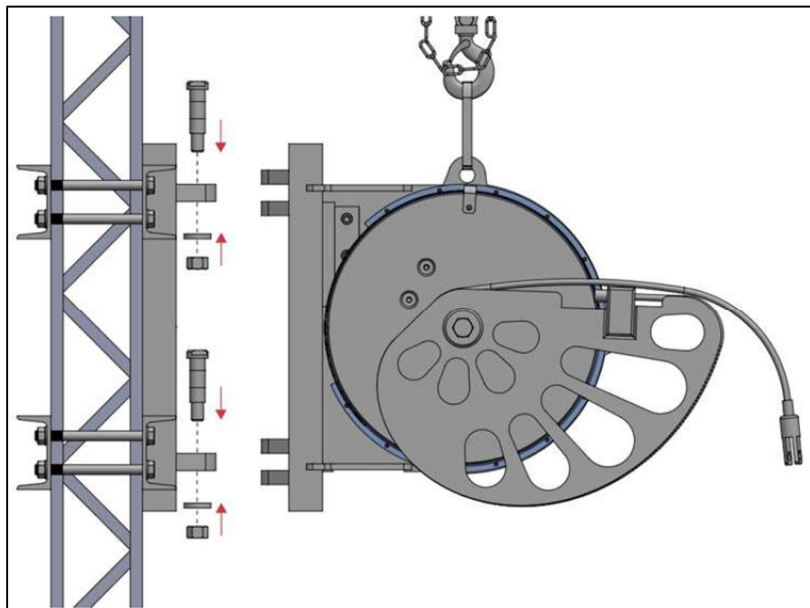
Kui seade on kinnitatud, tuleb seda aeglaselt tõsta vajalikule kõrgusele sobiva tõstevõimega kraana abil.

Järgmiseks tuleb kompenseerimiseadme joondada hoidikuga (Joonis 15) ja paigaldada seade nii, et seda saaks hoidikule kinnitada tihvti abil.



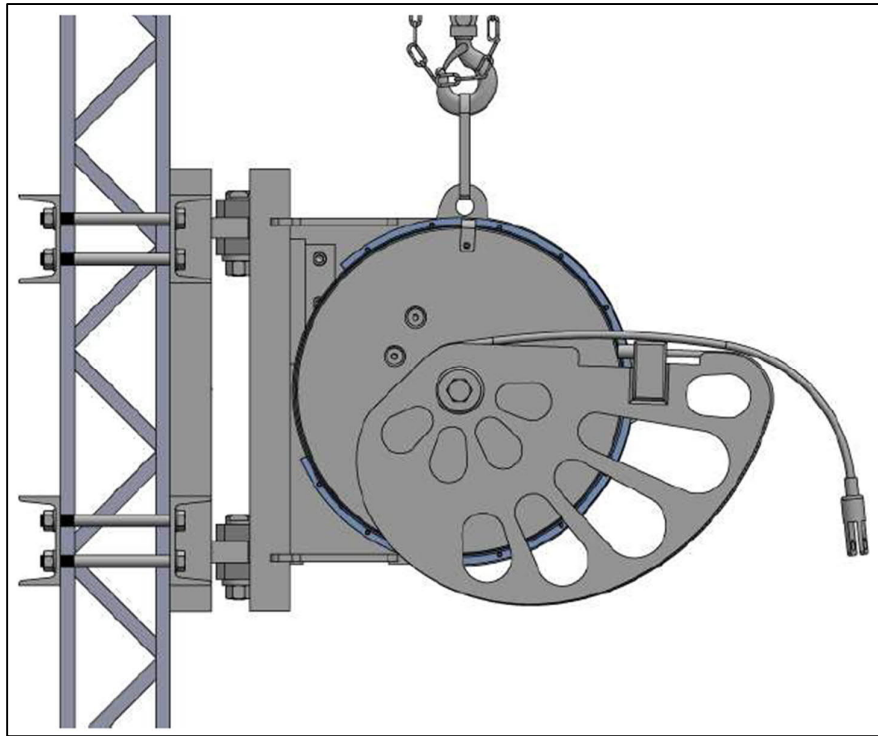
Joonis 15. Kompenseerimiseadme joondamine [3]

Järgmine samm on kompenseerimiseadme ühendamine kinnitushoidikuga kahe roostevaba tihvti abil (Joonis 16). Pärast kahe elemendi ühendamist tuleb ühendada tihvti seibi ja mutri abil.



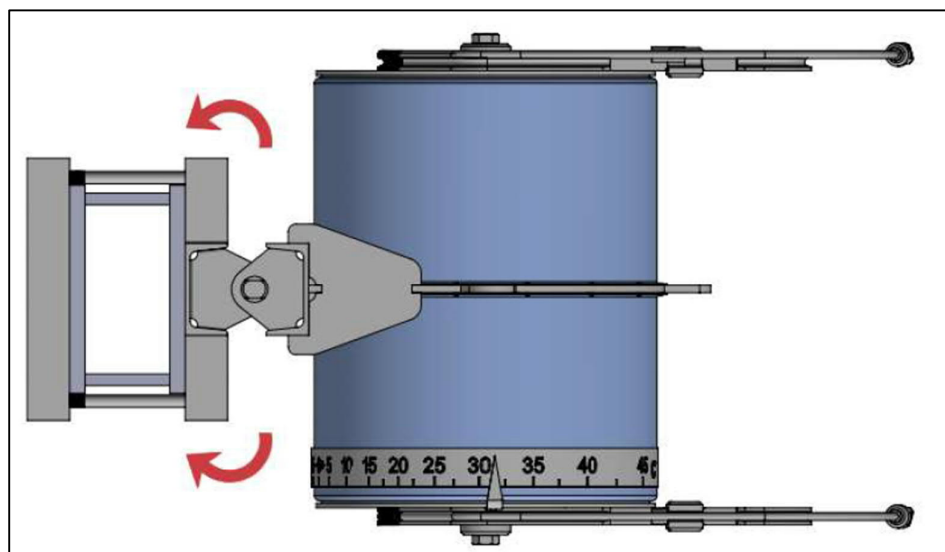
Joonis 16. Kompenseerimiseadme ühendamine tihvtide abil [3]

Kompenseerimiseadme õige paigaldusviis on näidatud Joonisel 17.



Joonis 17. Kompenseerimiseadme õige paigaldusviis [3]

Pärast paigaldust ja kindlat pingutamist tuleb veenduda, et mõlemad tihvtid on õigesti paigaldatud ja võimaldavad seadmel vabalt liikuda külgedele.



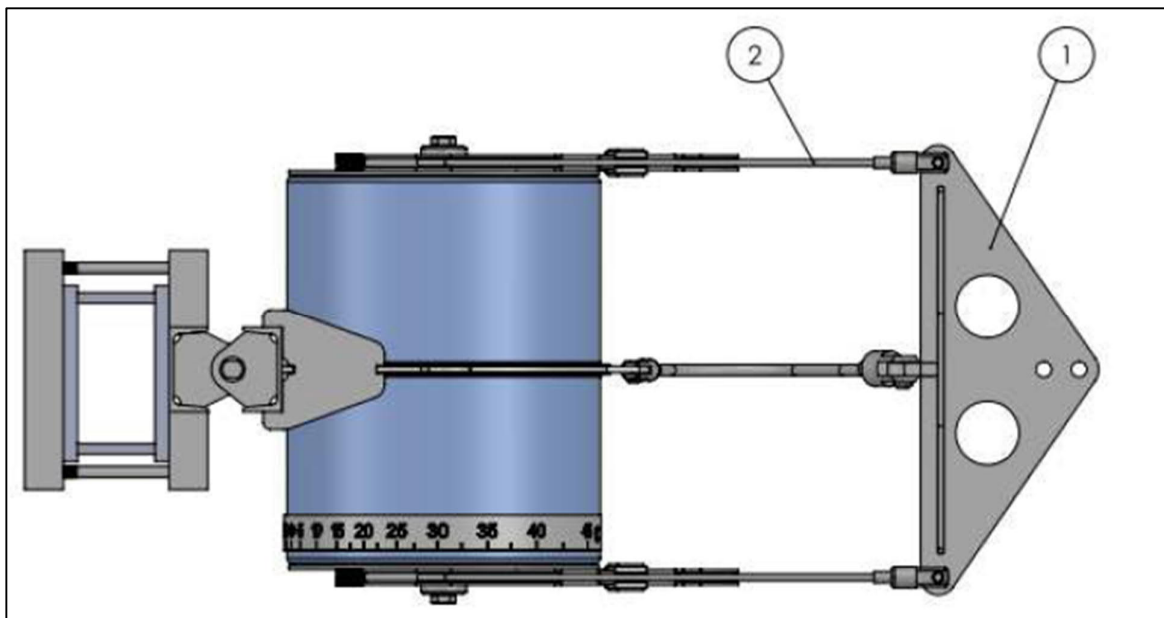
Joonis 18. Kompenseerimiseadme kontroll pärast paigaldamist [3]

Pärast kompenseerimisseadme paigaldamist tuleb toele paigaldada seadme kaitsetross traaversiga (tsentraalne terastross, mis ühendab korpuse traaversiga), kuna kompenseerimisseade peab olema kaitstud edasiste paigaldustööde ja ekspluatatsiooni ajal.

3. Kompenseerimisseadme ühendamine kontaktvõrguga.

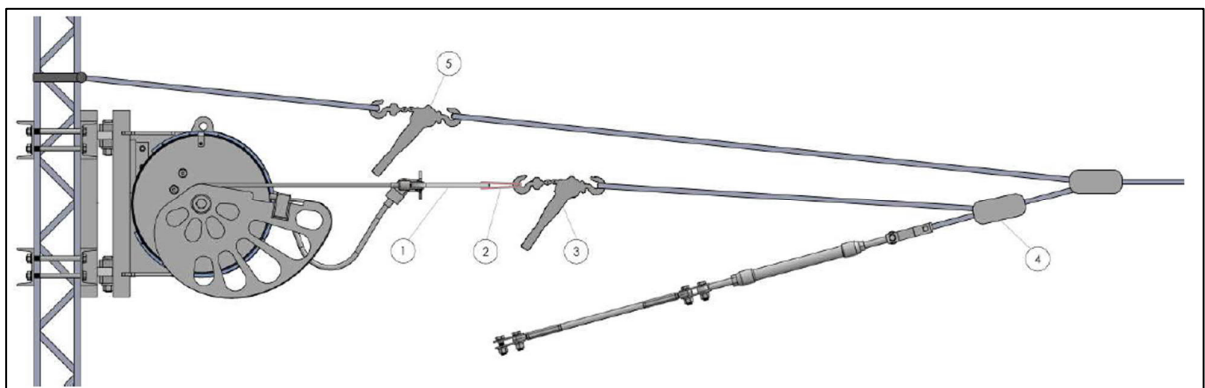
Pärast kompenseerimisseadme paigaldamist juhtmete pingutamiseks kandekonstruktsioonidega tuleb seade ühendada kandetrossi ja/või kontaktjuhtmega (olenevalt riputussüsteemi tüübist).

Esimene samm on ühendada traavers 1 nukkidest väljuvate trossidega 2 – vt. Joonis 19.



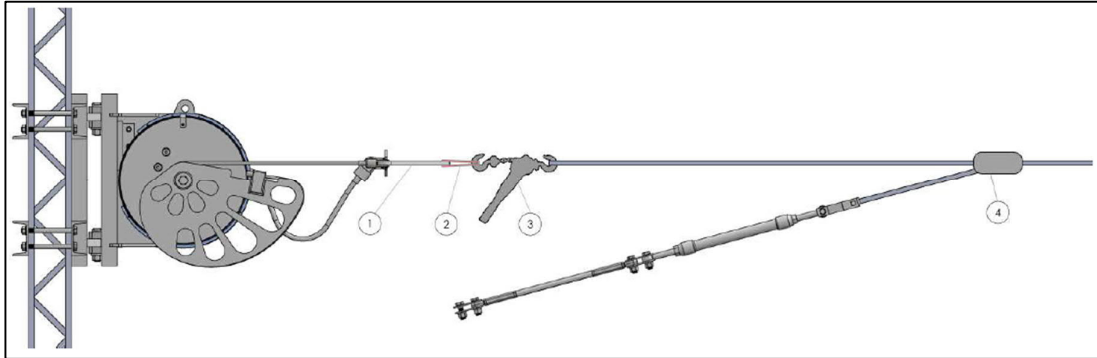
Joonis 19. Traaversi ühendamine trossidega [3]

Järgmiseks tuleb traavers 1 ühendada trossi 2 abil vintsiga 3 ja ühendada vints kandetrossi ja/või kontaktjuhtmega trossihoidja 4 abil (Joonis 20).



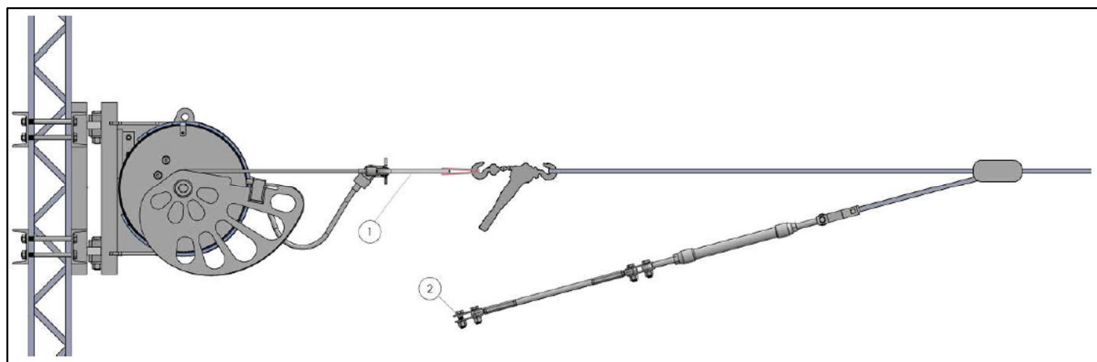
Joonis 20. Kompenseerimisseadme ühendamine kontaktvõrguga [3]

Pärast kompenseerimisseadme ühendamist kandetrossi ja/või kontaktjuhtmega läbi traaversi on vaja vabastada vints 5 (Joonis 20), mis kinnitab kontaktvõrku kandekonstruktsiooniga (tugi, vinn jne). Pärast paigaldust peab süsteem olema selline, nagu on näidatud Joonisel 21.



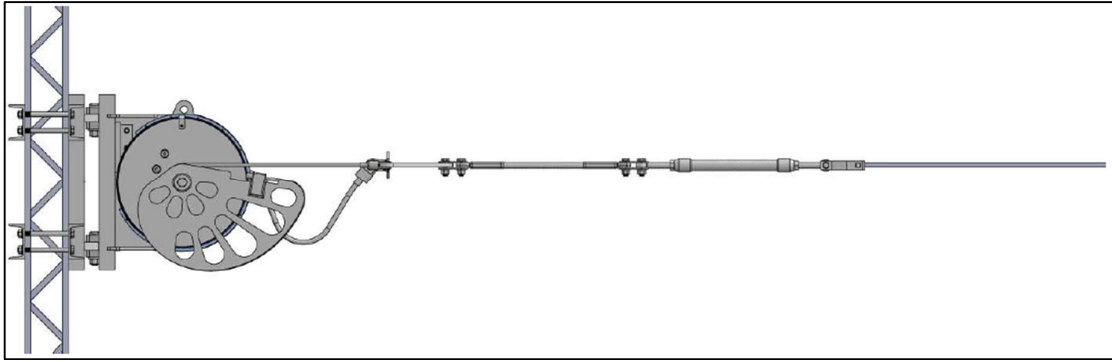
Joonis 21. Süsteemi üldvaade pärast kompenseerimisseadme ühendamist kontaktvõrguga [3]

Järgmiseks tuleb vintsi abil tõmmata võrku kuni seadmel olev skaala indikaator näitab ettenähtud väärtust. Pärast vajaliku pingutuse saavutamist on vaja ühendada traavers 1 kandetrossi otsikuga 2 ja/või kontaktjuhtmega (Joonis 22).



Joonis 22. Traaversi ühendamine trossi otsikuga [3]

Kompenseerimisseadme lõppühendus kontaktvõrguga on näidatud Joonisel 23. Kui seadme skaala näitab temperatuuri hälbeid seadme skaala ja ümbritseva keskkonna vahel, saab tekitud erinevust kompenseerida ja reguleerida talrepi abil.



Joonis 23. Kompenseerimisseadme lõppühendus kontaktvõrguga [3]

4. Hooldus ja reguleerimine:

- Kompenseerimisseade ei vaja hooldust eksploatatsiooni ajal;
- Reguleerimine on vajalik paigaldamise ajal - kui kompenseerimisseadme skaala näitab väikest temperatuuri hälvet seadme skaala ja ümbritseva keskkonna vahel, saab tekitud erinevust kompenseerida ja reguleerida talrepi abil;
- Reguleerimiselementide hulka kuulub talrep:
 - Võrgu pingutamiseks tuleb talrepi tõmmata sissepoole;
 - Võrgu vabastamiseks tuleb talrepi pöörata väljapoole. [3]

7 EESTI JA LÄTI TERRITOORIUMIL KEHTIVAD NORMID

VAS “*Latvijas dzelzceļš*” tehnilised nõuded temperatuuri kohta juhtmete maksimaalse pikenemise määramiseks.

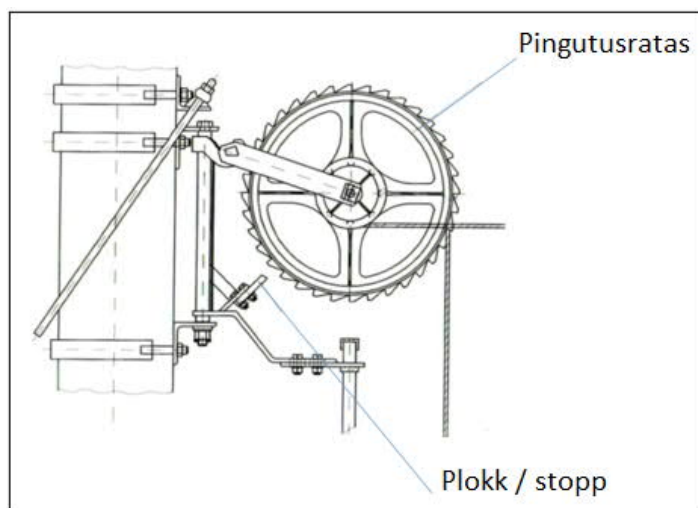
Pingutite tööpiirkond peab olema vähemalt $\sim 110^{\circ}\text{C}$ vastavalt ümbritseva õhutemperatuurile -40°C ja kontaktjuhtme maksimaalsele küttemperatuurile 70°C . [4] [5]

Kasutatavate kompenseerimisseadmete konstruktsiooni järgi VAS “*Latvijas dzelzceļš*” tehnilistes nõuetes on toodud viimasel ajal järgmised nõuded:

Konstruktsioonis tuleb kasutada raskustega pingutusratasde kompensaatoreid või kasutada muu tüüpi kompensaatoreid (tõmbureid). [4]

Variant 1. Trummel-tüüpi kompenseerimisseade.

Peab koosnema samal teljel paiknevast kahest trumlist (kandetrossi trummel ja kontaktjuhtme trummel) ja kaitseseadmest juhtmete kinnitamiseks/blokeerimiseks nende katkemise korral. Kompenseeritud kontaktjuhtmetik peab olema ühendatud väikese pingutusrattaga painduva terastrossi abil. Trossid tuleb pingutada kompensatsiooniraskuste abil, mida juhib suur pingutusratas.



Joonis 24. Trummel-tüüpi kompensatsiooniseade [1]

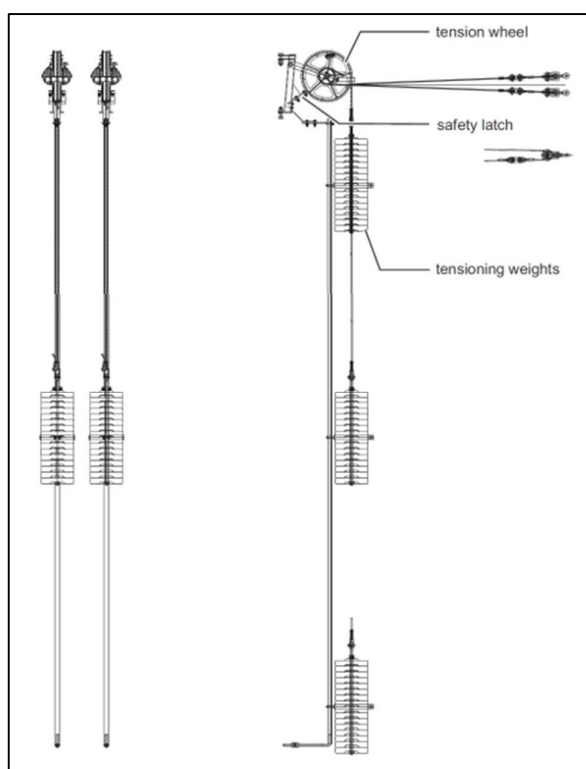
Pinguti kasutegur peab olema vähemalt 0,97.

Pingutid peavad olema tõhusad, mis ei vaja täiendavat hooldust, ning peavad rikke korral juhtmeid kinnitama/blokeerima. [4]

Pinguti vastukaal koosneb betoonist või tsingitud kõrgtugevast malmis tehtud vastukaaludest kaaluga 12,5 kg, 25 kg, 50 kg (+1% igaüks), mis on paigaldatud vardale või trossile. [4]

Pingutusseadmed peavad olema konstrueeritud vähemalt 40 kN jõule. Pingutusseade peab olema fikseeritud riiviga, et vältida pingutusraskuste kukkumist rikke korral. Tuleb kasutada kompensatorite plokkide, mis võivad töötada ilma laagrite määrimiseta. [4]

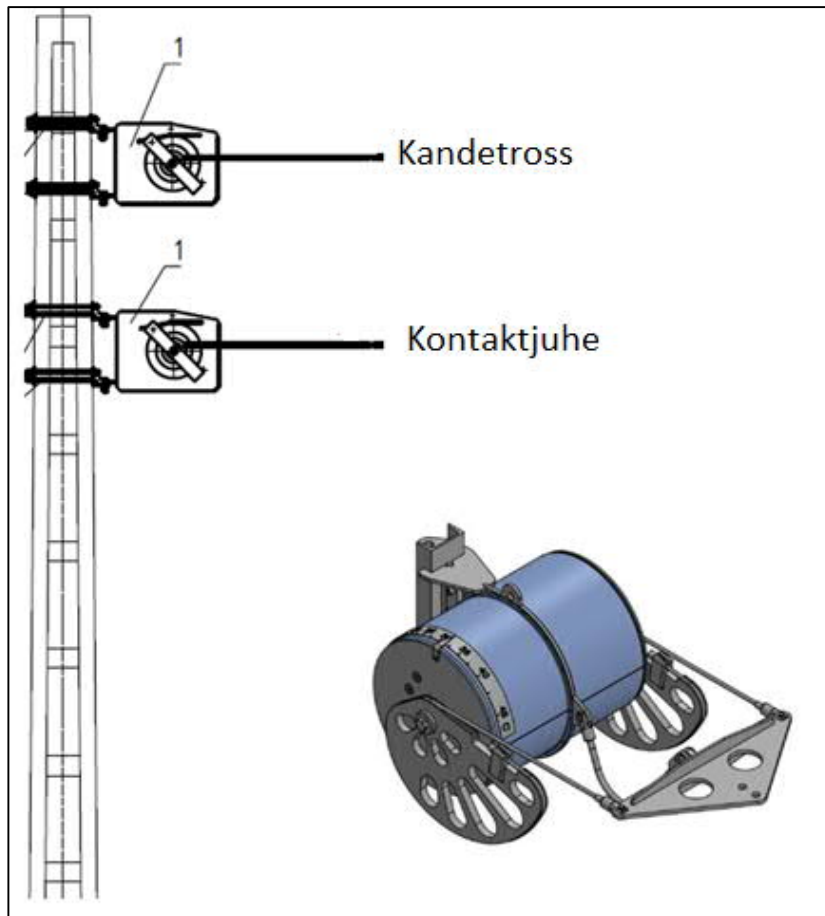
Kandetrossi ja kontaktjuhtme ankurdamist kontaktvõrgu juhtmestikis tuleb läbi viia ülekandearvuga 3:1, et neid ei peaks hooajaliselt reguleerima. Vastukaalud tuleb paigaldada vardale, mis on kinnitatud vertikaalselt toe (masti) või konstruktsiooni külge. [4]



Joonis 25. Betoonist vastukaalud [1]

Variant 2. Vedrutüüpi pingutid.

Lihtsad vedrutüüpi pingutid peavad olema silindrilise korpusega ja peavad sobima lühikesteks kinnitusteks pikkuse kuni 180 m ja tõmbejõududega kuni 10 kN. Kui ankrusosa pikkus on üle 180m, mõnel juhul, näiteks väikesel montaažiplatsil või rongijaamades, on lubatud kasutada „Retraktor“- või analoogtüüpi vedrukompensaatoreid. [4]



Joonis 26. „Retraktor“-tüüpi vedrukompensaatorid, paigaldusskeem [1]

Kui arvestada AS Eesti Raudtee nõudeid, siis need kõlavad järgmiselt (Riigihangete registri avalik informatsioon kontaktvõrgu hangete kohta viimase 3 aasta jooksul):

Kõikide riputussüsteemide ja kompenseeritud kontaktriputussüsteemide kontaktjuhtmed ja samuti kandetrossid kinnitatakse raskuskompensaatoritega, mis tagavad juhtmetele ettenähtud pinge temperatuurimuutuste tingimustes.

Kompenseeritud kontaktriputussüsteemi kandetross ja kontaktjuhe kinnitatakse eraldi kompensaatorite või üldkompensaatoriga, eraldades kandetrossi ja kontaktjuhtme üksteisest. Üldkompensaatori kasutamisel tuleb elektriühendus paigaldada ankurkinnituse isolaatorite vahele kandetrossi ja kontaktjuhtme jaoks.

Kompenseeritud kahekordse kontaktriputussüsteemi abitross kinnitatakse koos kontaktjuhtmega. Raskuskompensaatorseadmetes tuleks kasutada määrimist mittevajavaid laagreid kompensaatorplokkides, mis taluvad koormust kuni 30 kN (3000 kgf).

Raudbetoon- või metallraskusi tuleks kasutada massiga 25 kg. Kui raskused on paigaldatud mastidest väljapoole, tuleb paigaldada kõikumist takistavad piirikud. Raskused peavad olema paigutatud vardale, lähedalasuvate raskuselementide sisselõiked peavad olema 180° nihkega üksteise suhtes ja kinnitatud kinnitusklambriga.

Piirik ei tohiks takistada kompensaatorite raskuselementide liikumist temperatuurimuutuste tingimustes.

Ning kliimaatilised tingimused kontaktvõrgu projekteerimisele ja ehitamisele vastavalt avatud hankedokumentatsioonile viimase 3 aasta jooksul (läbi Riigihangete registri) on järgmised:

- kõrgeim välisõhu temperatuur: +40° C;
- madalaim välisõhu temperatuur: -40° C;
- kuni üks kord 10 aasta jooksul võimalik maksimaalne tuulekiirus sisemaal kuni 25 m/s, rannikualadel (5–15 km kaugusel merest) kuni 32 m/s;
- maksimaalne arvutuslik jääkihi paksus kord 10 aasta jooksul on 10 mm;
- maksimaalse jääkihi paksuse korral on arvestatud temperatuuriks 0° C ja tuulekiiruseks 5 m/s (rõhk 17 N/m²). Läänerannikul kontrollitakse mastide vastupidavust jäätulele kiirusega 10 m/s (rõhk ~70 N/m²);
- päikesekiirguse ekvivalent 600 W/m²;
- suhteline niiskus kuni 85%.

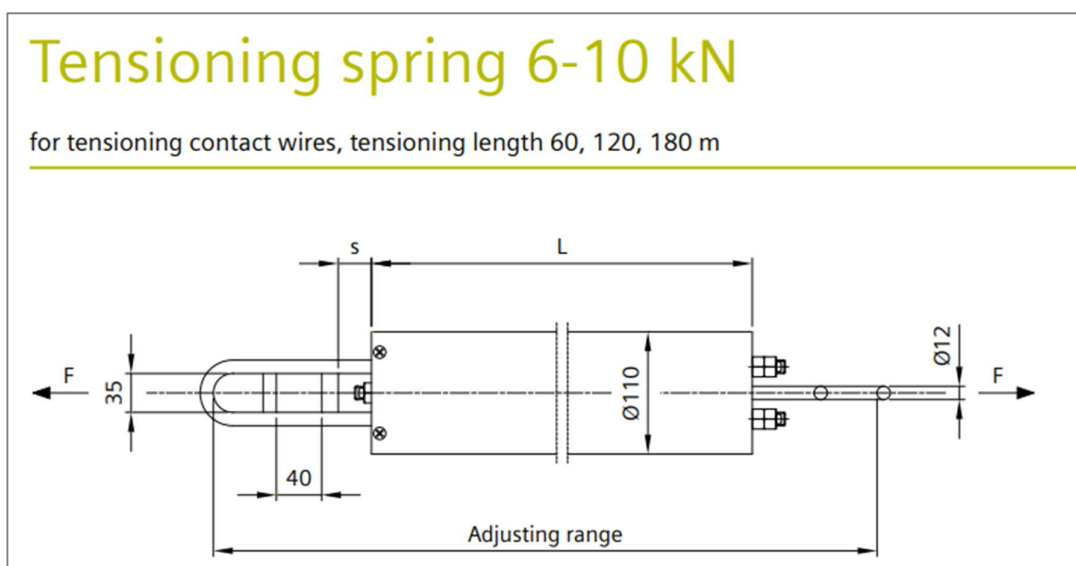
8 TURUL OLEVATE KOMPENSEERIVATE SEADMETE KARAKTERISTIKUD

Vedrutüüpi kompenseerimisseadmete müüjaid on Euroopas üsna palju, kuid esile võib tõsta järgmiseid: MABO Sp. z o.o., PFISTERER, Siemens.

Kompensatsiooniseadmete kõige olulisemad omadused on:

- Pinge suurus – see on jõud, millega kompenseeritakse juhtmete pikenemist. See jõud on konstantne kogu tööpiirkonnas;
- Kaugus, milleni kontaktvõrgu juhtmed tõmbuvad sisse temperatuurimuutuste ajal – vastavalt sellele karakteristikule valitakse kompenseerimisseade konkreetse ankrusektsiooni jaoks (teatud asukohas oleva juhtmete pikkusega);
- Kompenseeritud juhtmete pinge ühtsus kogu pikkuse muutuse vahemikus (kompensaatori töö igal töömomendil). Seda tegurit võetakse arvesse ainult suurel rongikiirusel, üle 300 km/h – tegur on sel juhul oluline pantograafi ja kontaktvõrgu juhtmete vahelise ühenduse kvaliteedi seisukohast.

Lihtsaim klassikaline vedru on Siemensi vedru lihtsama ja töökindlama konstruktsiooniga, tüüp 8WL8037 *Tensioning spring* 6-10 kN, mis on mõeldud väikestele ankrusektsioonidele. Antud vedru tüüp on toodud Joonisel 27.



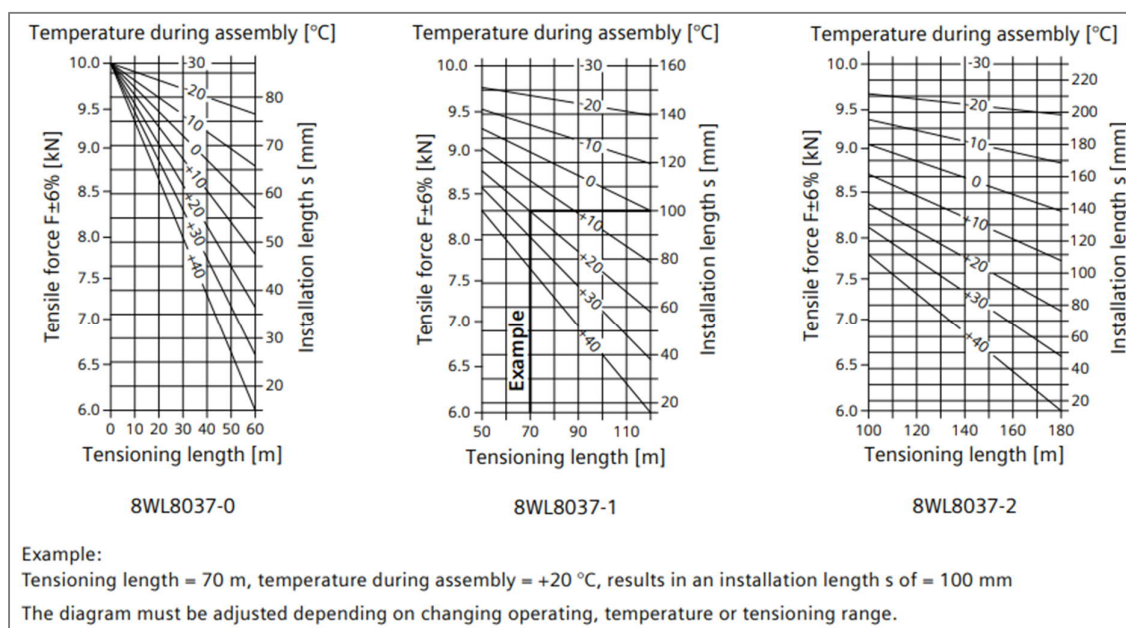
Joonis 27. Siemens, 8WL8037-tüüpi vedru [2]

All olevas tabelis on näidatud joonisel 27 kujutatud vedru tehnilised andmed, kus on toodud kolm levinumat tüüpi väikeste ankrusektsioonide pikkuste jaoks, vastavalt kuni 60 m, 120 m ja kuni 180 m.

Tabel 1 Siemens, 8WL8037-tüüpi vedru tehnilised andmed [2]

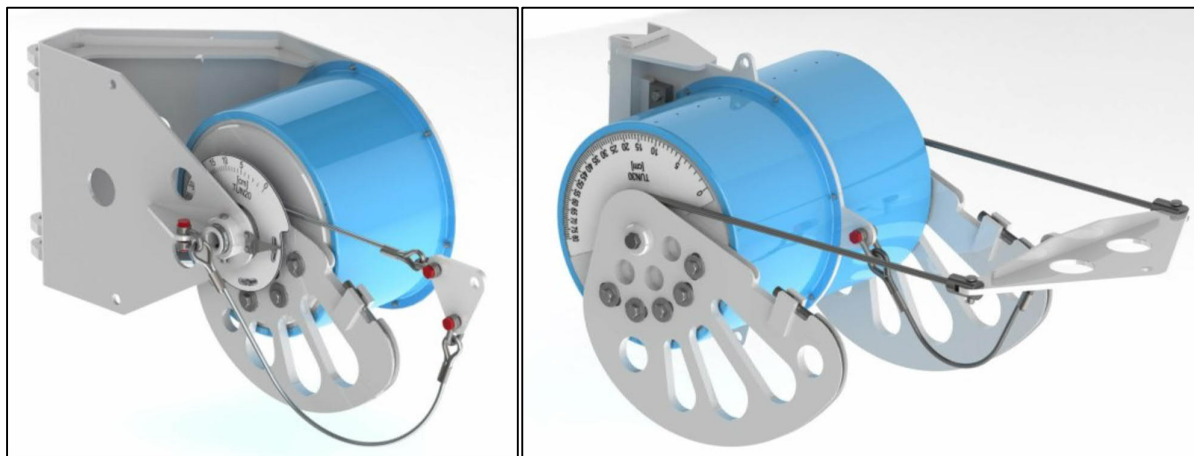
Nr	8WL8037 - 0	8WL8037 - 1	8WL8037 - 2
Nimetus	Pingutusvedrustus 60	Pingutusvedrustus 120	Pingutusvedrustus 180
Materjal			
Korpus	Plastik	Plastik	Plastik
Silmapoldid, mutrid	stlSt	stlSt	stlSt
Vedru, vedru plaat	Vedruteras, htgSt	Vedruteras, htgSt	Vedruteras, htgSt
Kaal	10,58 kg	18,82 kg	27,72 kg
Tõmbe jõud	6 - 10 kN (töövahemik)	6 - 10 kN (töövahemik)	6 - 10 kN (töövahemik)
Töökäik (vedru)	72 mm	145 mm	215 mm
Vahemiku reguleerimine	650 – 740 mm	1045 – 1205 mm	1440 – 1670 mm
L	425 mm	820 mm	1210 mm

Vedru pikkuse muutumise graafikud sõltuvalt temperatuurist ja ankrusektsiooni pikkusest on näidatud Joonisel 28.



Joonis 28. Siemens, 8WL8037-tüüpi vedru temperatuuri graafikud [2]

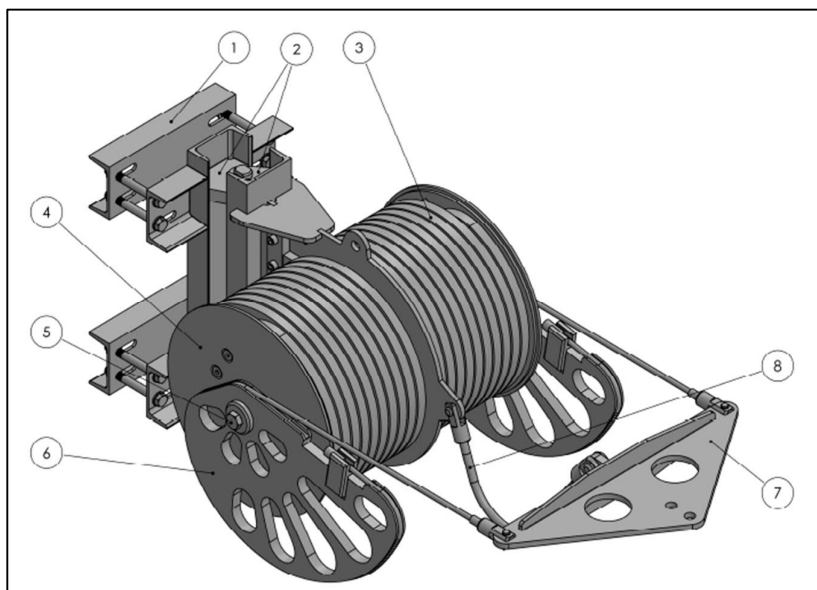
Ankrusektsioonide suurte pikkuste jaoks kasutatakse kella-tüüpi vedruga kompenseerimisseadmed (keerutatud lehtvedru). Järgnevalt vaadeldakse MABO Sp. z o.o. firma kompensaatorite tüüpe ja omadusi, mille üldvaade on toodud Joonisel 29.



Joonis 29. MABO Sp. z o.o. firma TUN – 20 (vasakul) ja TUN – 30 tüüpi (paremal) kompenseerimisseadmed [6]

MABO Sp. z o.o. firma tooted jagunevad seadmeteks ühe või kahe vedruga seadme sees, vastavalt sellele kompensaatorid erinevad geomeetriliste mõõtmete poolest, nagu on näha Joonisel 29.

MABO Sp. z o.o. firma kompenseerimisseadme komponendid on toodud Joonisel 30. See koosneb järgmistest komponentidest: [6]



Joonis 30. MABO Sp. z o.o. firma kompenseerimisseadme komponendid, kus: 1- kinnitus; 2- kinnitusosad; 3- vedru; 4- külguhe; 5- telg; 6- nukk (väljaulatuv element); 7- traavers; 8- kaitse [6]

TUN-1 tüüpi (ühe vedruga) kompensaatorid töötavad pingel 4 kuni 20 kN, neid kasutatakse nii raudtee- kui ka trammitranspordi jaoks. Nende omadused ja tehnilised andmed on toodud Lisa 2 tabelis.

TUN-2 tüüpi (kahe vedruga) kompensaatorid töötavad pingel 22 kuni 42 kN, neid kasutatakse samuti nii raudtee- kui ka trammitranspordiks. Nende omadused ja tehnilised andmed on toodud Lisa 3 tabelis.

Peale MABO Sp. z o.o. üheks peamiseks vedrukompensaatorite tootjaks ja tarnijaks Euroopas on Pfisterer. Tensorex C+ (ettevõtte Pfisterer vedru kompenseerimisseade) – see on automaatne pingutussüsteem, mis kasutab spiraalvedru jõudu raudtee kontakt- ja/või kandetrossi pidevaks pingutamiseks. Nii kompenseerib see tõhusalt päeva- ja öise temperatuuride kõikumisest ning aastaaegade muutumisest põhjustatud paisumist, hoides samal ajal pinget ühel tasemel.



Joonis 31. Ettevõtte Pfisterer vedrukompensaator Tensorex C+ [7]

Tensorex C+ koosneb seitsmest erineva arvu ja suurusega vedrust. Alates väikseimast ühest vedruplokist kuni ülivõimsa viie ülipikkade vedrudega seadmeni – Tensorex C+ sari vastab kõikidele trammi- ja raudteesüsteemide nõuetele. Vaatame lähemalt Tensorex C+ seadmete tehnilisi omadusi.

Tensorex C+ õige tüübi valikuks nõutav info:

- Nõutav kompensatsioon või reguleerimispikkus (vahemikus 450 mm kuni 1100 mm);
- Nõutav veojõud (vahemikus 450-4000 kg/ 4,5-40 kN)

Ülaltoodud parameetrid määravad kindlaks mudelitüübi peamise tähistuse:

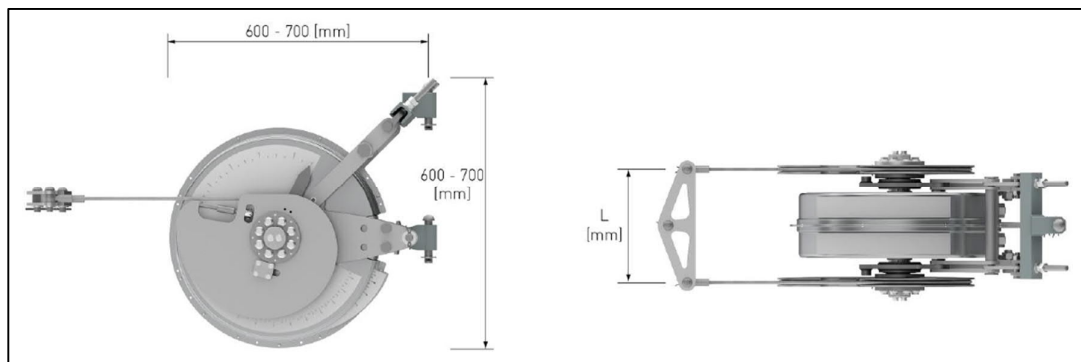
Tensorex C+ kompensatsiooni pikkus (mm)/ veojõud (kg)

Näiteks, Tensorex C+ 750/100 – seade kompensatsiooni pikkusega 750 mm ja veojõuga 1000 kg.

1. Tensorex C+ 1-spring-model (ühe vedruga mudel)

Üldandmed [7]:

- Vedrud: 1 vedru, 60x9,5 mm;
- Kaal: 90 kg;
- Arvutuslik koormus: 40 kN;
- Minimaalne purunemiskoormus: 65 kN;
- Ekspluatatsiooni temperatuur: alates -40° C kuni +70° C;
- Horisontaalpöörlemine: +/- 10°;
- Vertikaalkalle: + 0°/-10°;
- Esibalansi mõõt: L=270 mm.



Joonis 32. Vedrukompensaator Tensorex C+, ühe vedruga mudel [7]

Tabel 2. Tensorex C+ 1- spring-model seadmete tehnilised andmed [7]

Nº	Nimetus	Kompensatsiooni pikkus (mm)	Veojõud (kg / kN)
1	Tensorex C + 750/450, 1 S	750	450 / 4,4
2	Tensorex C + 800/450, 1 S	800	450 / 4,4
3	Tensorex C + 750/500, 1 S	750	500 / 4,9
4	Tensorex C + 450/600, 1 S	450	600 / 5,9
5	Tensorex C + 600/600, 1 S	600	600 / 5,9
6	Tensorex C + 550/650, 1 S	550	650 / 6,4
7	Tensorex C + 500/700, 1 S	500	700 / 6,9
8	Tensorex C + 450/750, 1 S	450	750 / 7,4
9	Tensorex C + 450/800, 1 S	450	800 / 7,8

Tabel 3. Tensorex C+ 120mm vedruga seadmete tehnilised andmed spetsiaalseks kasutuseks (eritellimuste puhul) [7]

N ^o	Nimetus	Kompensatsiooni pikkus (mm)	Veojõud (kg / kN)
1	Tensorex C + 450/1000, 1 S (120)	450	1000 / 9,8
2	Tensorex C + 400/1125, 1 S (120)	400	1125 / 11,0
N ^o	Nimetus	Kompensatsiooni pikkus (mm)	Veojõud (kg / kN)
3	Tensorex C + 400/1100, 1 S (120)	400	1100 / 10,8
4	Tensorex C + 400/1050, 1 S (120)	400	1050 / 10,3
5	Tensorex C + 375/1200, 1 S (120)	375	1200 / 11,8

2. Tensorex C+ 2-spring-model (2 vedruga mudel)

Üldandmed [7]:

- Vedrud: 2 vedru, 60x9,5 mm;
- Kaal: 120 kg;
- Arvutuslik koormus: 40 kN;
- Minimaalne purunemiskoormus: 65 kN;
- Ekspluatatsiooni temperatuur: alates -40° C kuni +70° C;
- Horisontaalpöörlemine: +/- 10°;
- Vertikaalkalle: + 0°/-10°;
- Esibalansi mõõt: L=270 mm

Tensorex C+ 2-spring-model seadmete tehnilised andmed on toodud Lisa 4 tabelis.

3. Tensorex C+ 3-spring-model (3 vedruga mudel)

Üldandmed [7]:

- Vedrud: 3 vedru, 60x9,5 mm;
- Kaal: 150 kg;
- Arvutuslik koormus: 40 kN;
- Minimaalne purunemiskoormus: 65 kN;
- Ekspluatatsiooni temperatuur: alates -40° C kuni +70° C;
- Horisontaalpöörlemine: +/- 10°;

- Vertikaalkalle: + 0°/-10°;
- Esibalansi mõõt: L=340mm

Tensorex C+ 3- spring-model seadmete tehnilised andmed on toodud Lisa 5 tabelis.

4. Tensorex C+ 4-spring-model (4 vedruga mudel)

Üldandmed [7]:

- Vedrud: 4 vedru, 60x9,5 mm;
- Kaal: 180 kg;
- Arvutuslik koormus: 40 kN;
- Minimaalne purunemiskoormus: 65 kN;
- Ekspluatatsiooni temperatuur: alates -40° C kuni +70° C;
- Horisontaalpöörlemine: +/- 10°;
- Vertikaalkalle: + 0°/-10°;
- Esibalansi mõõt: L=410 mm

Tensorex C+ 4-spring-model seadmete tehnilised andmed on toodud Lisa 6 tabelis.

5. Tensorex C+ 4S-spring-model (4 vedruga mudel)

Üldandmed [7]:

- Vedrud: 4 vedru, 60x11 mm;
- Kaal: 235 kg;
- Arvutuslik koormus: 40 kN;
- Minimaalne purunemiskoormus: 65 kN;
- Ekspluatatsiooni temperatuur: alates -40° C kuni +70° C;
- Horisontaalpöörlemine: +/- 10°;
- Vertikaalkalle: + 0°/-10°;
- Esibalansi mõõt: L=410 mm

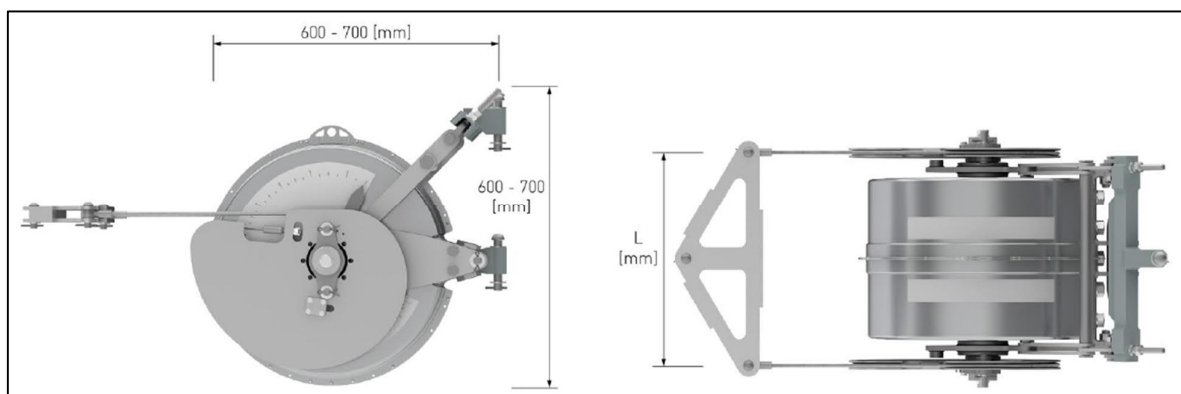
Tensorex C+ 4S-spring-model seadmete tehnilised andmed on toodud Lisa 7 tabelis.

6. Tensorex C+ 5S-spring-model (5 vedruga mudel)

Üldandmed [7]:

- Vedrud: 5 vedru, 60x11 mm; ML: 5 XL vedru, 60 x 11mm;

- Kaal: 290kg (ML: 350 kg);
- Arvutuslik koormus: 40 kN;
- Minimaalne purunemiskoormus: 65 kN;
- Ekspluatatsiooni temperatuur: alates -40°C kuni $+70^{\circ}\text{C}$;
- Horisontaalpöörlemine: $\pm 10^{\circ}$;
- Vertikaalkalle: $+ 0^{\circ}/-10^{\circ}$;
- Esibalansi mõõt: $L=482\text{ mm}$



Joonis 33. Tensorex C+ vedrukompensaator, 5 vedruga mudel [7]

Tensorex C+ 5-spring-model (sh ML tüübi) seadmete tehnilised andmed on toodud Lisa 8 tabelis.

Vaatleme juhtmete kasutusala kompenseerimisseadme Tensorex C+ 1350/1200 4SS näitel. Antud kompenseerimisseade võimaldab pikendada ja tagasi tõmmata juhtmeid 1350 mm kauguse piires. Kuna pronks- ja vaskjuhtmetel on sama lineaarsoojuspaisumise tegur, võib öelda, et erineva ristlõikega juhtmed pikenevad sama kauguse piires sama juhtmete pikkuse korral. Temperatuuri muutumisel vahemikus -40°C kuni $+70^{\circ}\text{C}$ pikenevad juhtmed 1350 mm võrra, 720 mm kaugusel ankurdamise punktist kuni ankru keskosani. Seega ankrusektsiooni maksimaalne pikkus selle kompenseerimisseadme kasutamiseks on 1440 m. Juhtmete pikenemise arvutuse tulemused on toodud Lisa 9 tabelis. See Lisa 9 on väljavõtte programmist, mis on loodud LEONHARD WEISS OÜ kontaktvõrgu osakonna sisekasutuseks.

Võttes arvesse asjaolu, et kompenseerimisseadme kasutamise või mittekasutamise kriteeriumiks on maksimaalne pikkus, milleni saavad juhtmed pikeneda või kokku tõmbuda, on see kriteerium konkreetset tüüpi kompenseerimisseadme kasutamiseks kogu tootja valikust. Loomulikult lisaks juhtmete pikenemise ja kokku tõmbumise pikkusele kompenseerimisseadme tüüp valitakse ka koos vajaliku juhtmete pingutamise tüübi järgi.

Kompenseerimisseadmete oluliseks omaduseks on see, et tootjate poolt deklareeritud minimaalne töötemperatuur on -40°C , mis võimaldab kasutada neid seadmeid ka Balti riikide kliimatingimustes.

9 ARVUTUSED

Trosside ja juhtmete pingutusjõud määratakse kontaktvõrgu konstruktsiooniga. Kontaktvõrkude kandetrosside ja kontaktjuhtmete pinge on tavaliselt vahemikus 10 kuni 15 kN. Kiirkontaktvõrgu Re 330 (Siemens) pingutusjõud on kandetrossil 21 kN ja kontaktjuhtmel – 27 kN. 1990.aastal SNCF (Prantsuse raudtee) poolt läbi viidud rekordiliste raudteesõitudega pingutusjõud kontaktjuhtmes olid isegi 33 kN. [1]

Lubatud maksimaalsete pingutusjõudude määramise lähtepunktiks on materjalide jaoks lubatud pingutused.

Trosside materjalide parameetrid vastavalt standardile DIN 48 201 ja kontaktjuhtmete materjalide parameetrid vastavalt standardile EN 50149 ja samuti lubatud maksimaalne pingutus vastavalt standartidele DIN EN 50341 ja DIN VDE 0115. [8], [9], [10], [11] on toodud Lisa 10 tabelis.

Tabelis 4 on toodud kontaktvõrkudes kasutatavate trosside ja juhtmete peamised parameetrid. Kui maksimaalne pingutusjõud on määratud lähtuvalt konstruktiivsest loogikast, siis ristlõigete valimisel peab arvestama maksimaalseid lubatud pingutusi. Kui maksimaalsed lubatud pingutused σ_{zul} on määratud, siis vaadeldava juhtme teadaoleva ristlõikega leitakse maksimaalne lubatud pingutus võrdusest:

$$H_{maks.pingutus} = \sigma_{maks.pingutus} A, \quad (1)$$

kus A – juhtme ristlõige, mm²

Saksamaa kontaktvõrkudes liikluskiirusteks kuni 200 km/h kasutatakse elektrolüütilisest vasest valmistatud kontaktjuhtmed Ri 100 (Ri on vaskmaterjal). Kui suurima lubatud pingutusjõu arvutamise lähtepunktiks võtta kontaktjuhtme 20% kulumist, siis maksimaalne lubatud pingutus on võrdne:

$$H_{maks.pingutus} = 125 \text{ (N/mm}^2\text{)} \cdot 0,8 \cdot 100 \text{ mm}^2 = 10 \text{ kN}, \quad (2)$$

(kui näiteks vastavalt standardile DIN VDE 0115 osale 3 maksimaalne pingutus peab olema 125 N/mm²)

Deformeeruvast pronksist Bz II 50 mm² nõutava ristlõikega 49,48 mm² kandetrossi jaoks määratakse maksimaalne lubatud pingutus 14,60 kN. Vastavalt standardile EN 50119 kontakt-profiiljuhtmete (Joonis 34) suurim lubatud tööpingutus määratakse järgmiselt:

$$\Sigma_{zul} = \sigma_{min} \cdot 0,65 \cdot k_{temp} \cdot k_{kulumine} \cdot k_{koormus} \cdot k_{efekt} \cdot k_{klmb} \cdot k_{üh}, \quad (3)$$

kus: σ_{min} – tugevuse alammäär,

k_{temp} – tegur, mis väljendab seost kõrgeima töötemperatuuri ja lubatud pinge vahel. Väärtused tuleb võtta Tabelist 5,

$k_{kulumine}$ – tegur, mis võtab arvesse lubatud kulumist. See võrdub 0,8 nimiristlõike 80% lubatud kulumisega,

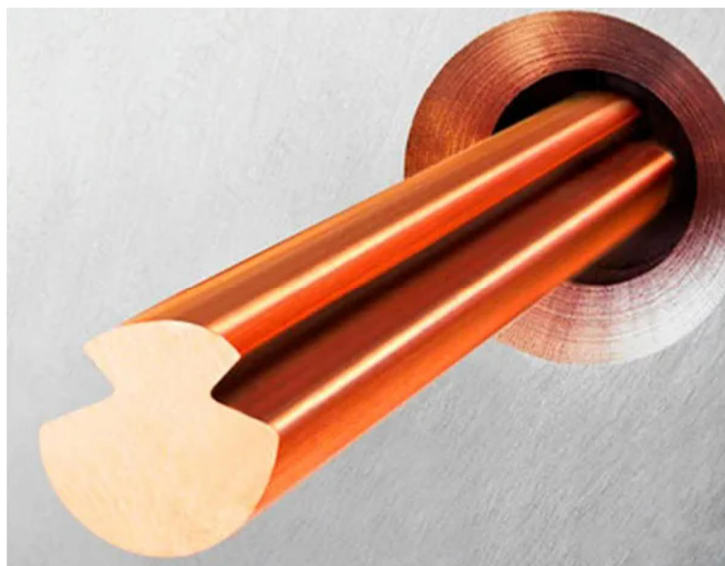
$k_{koormus}$ – tegur, mis arvestab tuulekoormuste ja jääkoormuste mõju. Tabel 6 sisaldab soovituslikke väärtusi,

k_{efekt} – tegur, mis arvestab kompensaatori kvaliteeti. Tavalise konstruktsiooni puhul $k_{eff} = 0,95$. Suure täpsuse ja üle 0,95 efektiivsuse astmega $k_{efekt} = 1,0$,

k_{klmb} – tegur, mis arvestab pingutusklambrite tõhusust. Kui klambri kinnitusjõud on suurem kui 95% kontaktjuhtme nimipingutusjõust, tegur võib olla võrdne 1,0,

$k_{üh}$ – tegur, mis arvestab keevis- või tihendusühenduste tugevuse vähenemist. See võrdub 0,95. Kui selliseid ühendusi ei rakendata, võib määrata $k_{üh} = 1,0$.

Kontaktjuhtme tööpingutus ei tohi ületada 65% nimitugevusest.



Joonis 34. Kontaktprofiiljuhtme lõige [12]

Näidis. Kui suur on kontaktjuhtme Ri 100 tööpingutuse maksimaalne väärtus kompenseeritud kettjuhtmestikuga normatiivkontaktvõrgus Saksamaa raudteel, mille valmistamisel kasutati keevisühendust? Lahendus on järgmine:

Tabel 4. Tegur k_{temp} kontaktjuhtmete jaoks vastavalt standardile EN 50119. [13]

Kontaktjuhtme tüüp	Maksimaalne töötemperatuur		
	60° C	80°C	60° C
Cu	1,0	0,9	—
CuAg0,1	1,0	1,0	0,9
CuMg0,5	1,0	1,0	0,95
CuSn	1,0	1,0	0,90
CuCd	1,0	1,0	0,95

Tabel 5. Tegur $k_{koormus}$ kontaktjuhtmete jaoks vastavalt standardile EN50119 [13]

Kontaktvõrgu teostus	Tuule- ja jääkoormus	Tuulekoormus
FD ja TS on pingutatud	0,95	1,0
FD on pingutatud, TS on jäigalt kinnitatud	0,90	0,95
FD ja TS on jäigalt kinnitatud	0,77	0,80

kus:

FD - kontaktjuhe

TS - kandetross

$\Sigma_{min} = 355 \text{ N/mm}^2$ vastavalt standardile EN 50149,

$k_{temp} = 0,95$ kui $v_{max} = 70^\circ \text{C}$, interpoleeritud vastavalt Tabelile 4,

$k_{kulumine} = 0,80$ lubatud kulumisega 20%,

$k_{koormus} = 0,95$ vastavalt Tabelile 5,

$k_{efekt} = 0,95$ ketta pingutusseadmete tõhususega $\geq 0,9$,

$k_{klmb} = 1,00$, kuna kontaktjuhtme pingutusklambri jõud on suurem kui kontaktjuhtme nimijõud ja

$k_{üh} = 0,95$, kuna tegemist on keevisühendusega.

Sel juhul vastavalt võrrandile (3) arvutatakse maksimaalne tööpinge väärtuseni $150,4 \text{ N/mm}^2$. Seetõttu tööpinge, mis on tekkinud antud juhul, võrdub 15 kN . See väärtus on suurem kui võrrandi

(1) kohaselt saadud väärtus ja kui lubatud pinge 10 kN standardi DIN VDE 0115 järgi. Rikkekaitsevaru on võrrandi (3) järgi võrdne 2,36 ja võrrandi (1) järgi – 3.55.

Analoogiliselt, vastavalt standardile EN 50119 arvutatakse väärtust kontaktvõrgu seadmete trosside jaoks:

$$\sigma_{zul} = \sigma_{min} \cdot 0,65 \cdot k_{temp} \cdot k_{tuul} \cdot k_{jää} \cdot k_{efekt} \cdot k_{klmb} \cdot k_{koormus} \quad (4)$$

Võrrandis (4) valitakse tegur k_{temp} Tabelist 6, tegurid k_{tuul} ja $k_{jää}$ – Tabelist 7. Tegurid k_{efekt} ja k_{klmb} määratakse samamoodi nagu kontaktjuhtmete puhul. Tegur $k_{koormus}$ arvestab üksikuid vertikaalseid koormusi kandetrossidel, näiteks lineaarsest sektsiooni lahklülitist. Täiendavad vertikaalsed jõud ei mõju trossidele, seega $k_{koormus} = 1$. Näiteks põikkandetrossidel olevate vertikaalsete koormuste puhul tuleb arvutusteks võtta $k_{koormus} = 0,8$.

Näidis. Kui suur on pronksist Bz II 50mm² kandetrossi maksimaalne lubatud pingutus normatiivses kontaktvõrgus Saksamaa raudteel vastavalt standardile EN 50119.

Kus:

$\Sigma_{min} = 578 \text{ Nmm}^2$ vastavalt DIN 48 201,

$k_{temp} = 1,0$ vastavalt Tabelile 6,

$k_{tuul} = 1,0$ vastavalt Tabelile 7, kuna $v_{tuul} = 93,6 \text{ km/h} < 100 \text{ km/h}$,

$k_{jää} = 0,95$ vastavalt Tabelile 7,

$k_{klmb} = 1,0$,

$k_{koormus} = 0,8$, kuna on paigaldatud lineaarne sektsiooni lahklüliti

Tabel 6. Tegur k_{temp} kandetrosside jaoks vastavalt EN 50119 [13]

Kontaktjuhtme tüüp	Maksimaalne töötemperatuur		
	60° C	80°C	100°C
Cu	1,0	0,9	—
Al-Sulam	1,0	0,9	0,80
CuAg	1,0	1,0	0,85
Kontaktjuhtme tüüp	Maksimaalne töötemperatuur		
	60° C	80°C	100°C
CuMg-Stahl	1,0	1,0	0,95

Tabel 7. Tegur k_{tuul} [13]

Pingutuse tüüp	k_{tuul}		$k_{jää}$
	V_{tuul} kuni 100 km/h	V_{tuul} üle 100 km/h	
Automaatselt pingutatud	1,00	0,95	0,95
Jäigalt kinnitatud	0,95	0,90	0,70

Vastavalt võrrandile (4) on leitud suurim tööpingutus $285,5 \text{ N/mm}^2$. Seoses sellega, et enamikul juhtudel $k_{koormus} = 1,0$, saadud lubatud tööpingutus on $356,9 \text{ N/mm}^2$. Olenevalt sellest, kas kandetross kannab vertikaalkoormusi või mitte, selle trossi maksimaalsed lubatud pingutusjõud on vastavalt võrdsed $17,66 \text{ kN}$ ja $14,13 \text{ kN}$. Teguri $k_{koormus} = 1$ jaoks arvutatakse rikkevastane kaitsetegur, mis võrdub $1,62$. Seda tuleb võrrelda väärtusega $1,96$, mis on arvutatud vastavalt standardile DIN VDE 0115. Teguri $k_{koormus} = 0,8$ korral see kaitsereserv võrdub $2,02$.

KOKKUVÕTE

Käesolevas töös uuriti edukalt Balti riikide kompenseerimisseadmetes tekkivaid probleeme ning määrati optimaalsed seadmed kasutamiseks arvestades tänapäevaseid kasutusea nõudeid ning arvestades minimaalset hooldust.

Sellest tulenevalt on antud töös pakutud edasiseks kasutamiseks välja tänapäeval kõige töökindlam kontaktvõrgu kompenseerimisseadmed – vedrutüüpi kompenseerimisseadmed. Töös oli oluline välja tuua seadmete paigaldamise küsimused, kuna uued vedrutüüpi kompenseerimisseadmed erinevad põhimõtteliselt olemasolevatest kompenseerimisseadmetest ning AS Eesti Raudtee ja VAS “*Latvijas dzelzceļš*” olemasolevad juhendid ei kirjelda uute seadmete paigaldusviisi.

Töös määratletakse kompenseerimisseadete kasutusala, võttes arvesse Balti riikide kliimaomadusi, ning määratakse kasutuspiirangud, võttes arvesse kompenseerimisseadmete ja kasutatavate juhtmete konstruktsiooniomadusi.

Käesolevas töös on kindlaks tehtud kompenseerivate seadmete tootjad, kes on hästi tõestatud ja toodavad Balti riikide tingimustesse sobivaid kompenseerivaid seadmeid. Minu arvates on kõige sobivam kompensatsiooniseade firma Pfisterer kompensatsiooniseade, mis võimaldab kompenseerida juhtmeid laias temperatuurivahemikus olulisel pikkusel ankurlõikudel. Töös on esitatud ka samm-sammult kompenseerimisseadmete paigaldamise tehnoloogia AS Eesti Raudtee ja VAS “*Latvijas dzelzceļš*” jaoks.

Seda tüüpi seadmete kasutamise põhieelduseks on, et tootja lubab seadet kasutada töötemperatuuril kuni -40° C. See võimaldab seda seadet kasutada uutes projektides, hinnates tingimata juhtme pikenemise vastavust temperatuurimuutuste vahemikule ja tootja poolt valitud tüübi jaoks deklareeritud vedrukompenseerimis seadme maksimaalset pikenemist. Koormustega kompenseerimisseadmete kasutamise võimatuse tulevikus (eeldan tulevikus seda tüüpi kompenseerimisseadmete täielikku loobumist) põhjustab järkjärguline üleminek täiesti hooldusvabale kontaktvõrgule. Lisaks, vaatamata sellele, et Eesti ja Läti raudteede eeskirjades, mis ei ole veel kehtetuks tunnistatud, on maksimaalne ankurduslõigu pikkus 1800 m, nõuavad kõik kompenseerimisseadmete tootjad tegelikkuses kuni 1400 meetri ankurduslõigu pikkust. Seega saame tulevikus kõigil juhtudel nendele seadmetele üle minna.

Antud teema edasiarenduseks – vedru tüüpi kompenseerimisseadmete kasutamise mõttes – peaks olema kompenseerimisseadmete paigaldamine uutesse kohtadesse. Tegemist on

kompanseerimiseseadmete paigaldusega portaali otse rööbasteede telje kohale (Joonis 35), mis aitab vältida pikki ankurdatud ja mittetöötavaid juhtmete harusid mitmeteelistes jaamades. Selle teema edasiarendamine on vajalik tüüpkonstruktsioonide väljatöötamisega, mille alusel uute hangete läbiviimisel esitatakse tehnilised nõuded.



Joonis 35. Kontaktvõrgu juhtmete ankurdamine portaalil

Kompenseerivate seadmete kasutamine, mis on kinnitatud rööbastee telje kohal risttaladel, eriti suure arvu rööbasteedega jaamades, väldib pikki mittetöötavaid ankurdatud kontaktvõrgu harusid, mis läbivad kogu jaama.

Arvestades asjaolu, et töö sisaldab juhiseid seadmete paigaldamiseks, meetoodilisi aluseid juhtmete pikenemise arvutamiseks, teavet kompanseerimiseseadmete tootjate kohta koos seadmete tehniliste andmetega, pean seda tööd kasulikuks praktiliseks kasutamiseks AS Eesti Raudtee ja VAS "Latvijas dzelzceļš" elektrivõrkude osakondadele (sealhulgas kontaktvõrgule).

SUMMARY

The following thesis *The necessity and working principles of spring-type compensating device in catenary system* was chosen due to the large number of tenders and the large quantity of electrification work in the Baltics. Since a new approach is needed due to the application of European standards and due to the gradual transition to alternating current, fundamentally new solutions are needed that require minimal human presence during maintenance and have a long service life. Of all the power supply devices, the most important ones from the point of view of reliability are considered - these are compensating devices in the anchoring of contact wires.

The aim of the work was to identify the problems of compensating devices of the existing catenary network (massively used today in the infrastructures of Estonian and Latvian Railways) and to propose compensating devices of a fundamentally new type for further application.

In the course of the work, the limitations and places of application of devices of this type were determined, including calculations of permissible elongations of wires for the use of devices, as well as the advantages in construction and maintenance (including climatic limitations). Possible manufacturers, which have a good reputation and produce compensating devices suitable for Baltic conditions, have also been considered. In addition, the work shows step-by-step the technology of installation of this device.

New compensating devices should allow normal operation without regular maintenance. Taking into account the fact that the service life of devices is up to 50 years, the economic efficiency of using these compensating devices, which do not require additional maintenance, is very high, and accordingly, the topic is very relevant in the catenary market.

Information about compensating devices was taken from publicly available sources of manufacturers, and requests were also made to both - to infrastructure owners and to manufacturers. In order to determine the relevance of the topic, meetings were held with catenary technical specialists of infrastructure owners (AS Eesti Raudtee and VAS “*Latvijas dzelzceļš*”).

Further development of this topic should be the installation of compensating devices in fundamentally new places. It is a question of installing compensating devices on the crossbeams directly above the track axis, which will eliminate long anchored and non-working suspension branches at multi-track stations. It is necessary to further develop this topic with the development of standard designs, on the basis of which technical requirements will be put forward when conducting new tenders.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Friedrich Kiessling, Rainer Puschmann, Axel Schmieder, Contact Lines for Electric Railways. Planning, Design, Implementation, Maintenance, Germany: Publicis MCD Verlag, 2017.
- [2] MABO Sp. z.o.o., „Устройство для натяжения проводов контактной сети, инструкция по обслуживанию. (EST - Seade kontaktliini juhtmete pingutamiseks, hooldusjuhend),“ MABO Sp. z o.o. , Poola , 2019.
- [3] Ministru kabineta noteikumi Nr. 724, „Dzelzceļa tehniskās ekspluatācijas noteikumi (TE-3199) (EST - Raudtee tehnilise ekspluatatsiooni eeskirjad (TE-3199)),“ Rīgā, 2010.
- [4] Ministru kabineta noteikumi Nr. 432, „Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 003-19 "Būvklimatoloģija" (EST - Lāti ehitusseadustiku LBN 003-19 "Ehitusklimatoloogia" eeskirjad),“ Rīgā , 2019.
- [5] SiemensMobility, „Contact line equipment for mass transit and main-line railways,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:a406c8a0-064d-4c4f-8065-0b6edd53ec48/siemens-contact-line-material-cat-en.pdf?ste_sid=f0cccf113e15249c7fe6973982d6b7f7. [Kasutatud 11 2023].
- [6] MABO Sp. z.o.o., „MABO. Railway Infrastructure. Overhead Line Tensioners,“ MABO Sp. z.o.o., [Võrgumaterjal]. Available: <https://en.mabo.pl/offer/railway-infrastructure/overhead-line-tensioners>. [Kasutatud 11 2023].
- [7] PFISTERER, „Railway Catenary Systems. Solutions for Overhead Contact Lines,“ Edition 2021.[Võrgumaterjal].Available:https://www.pfisterer.com/fileadmin/pfisterer/downloads_en/PFISTERER_Catalogue_Railway_Catenary_Systems_2021_EN.pdf [Kasutatud 11 2023].
- [8] DIN 48201-1 - COPPER STRANDED CONDUCTORS, DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, 1981 Edition, April 1981.
- [9] EVS-EN 50149:2012, Raudteealased rakendused. Püsipaigaldised. Elektertransport. Vasest ja vasesulamitest kontaktjuhtmed, Kehtiv alates 03.07.2012.

- [10] DIN EN 50341-1 VDE 0210-1:2013-11, Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV, KE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, November 2013.
- [11] DIN VDE 0115-1 VDE 0115-1:2002-06 Railway applications - General construction and safety requirements, DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, 2002-06.
- [12] „IndiaMART.com,“ IndiaMART, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/contact-wire-22776293591.html>. [Kasutatud 12 2023].
- [13] EVS-EN 50119:2020 Raudteealased rakendused. Püsipaigaldised. Elekterveo kontaktõhuliinid, 15.04.2020.

LISAD

- Lisa 1. VAS “*Latvijas dzelzceļš*” Operatiivarutelu protokoll
- Lisa 2. TUN-1 (ühe vedruga) vedrukompensaatori tüübid ja omadused
- Lisa 3. TUN-2 (kahe vedruga) vedrukompensaatori tüübid ja omadused
- Lisa 4. Tensorex C+ 2-SPRING-MODEL seadmete tehnilised andmed
- Lisa 5. Tensorex C+ 3-SPRING-MODEL seadmete tehnilised andmed
- Lisa 6. Tensorex C+ 4-SPRING-MODEL seadmete tehnilised andmed
- Lisa 7. Tensorex C+ 4S-SPRING-MODEL seadmete tehnilised andmed
- Lisa 8. Tensorex C+ 5-SPRING-MODEL seadmete tehnilised andmed
- Lisa 9. Juhtmete pikenemise arvutuse tulemused TENSOREX C+ 1350/1200 4SS näitel
- Lisa 10. Trosside materjalide parameetrid vastavalt standardile DIN 48 201 ja kontaktjuhtmete materjalide parameetrid vastavalt standardile EN 50149 ja samuti lubatud maksimaalne pingutus vastavalt standartidele DIN EN 50341 ja DIN VDE 0115

Lisa 1. VAS "Latvijas dzelzceļš" Operatiivarutelu protokoll [VAS "Latvijas dzelzceļš" arhiiv]

VAS "Latvijas dzelzceļš" Elektrotehniskās pārvaldes Rīgas reģionālā centra vadītāja vadītās		
OPERATĪVĀS APSPIEDĒS P R O T O K O L S		
2022.gada 31. augusta	Rīgā	Nr. _____
Apspriedes priekšsēdētājs:	EPR-1	
Pedalijās:	EPRE-1	
	EPK-4 M.	
DIENAS KĀRTĪBĀ: kontakttīkla un strāvas noņēmēju bojājuma gadījuma 24.08.2022. ceļa posmā Tukums I - Ķemeri izskatīšana.		
Paskaidrojumus sniedza: EPKV-4		
UZSTĀJĀS: D. K.		
29.08.2022. plkst.15.24 no zemes aizsardzības atslēdzās kontakttīkls ceļa posmā Tukums I - Ķemeri (atslēdzās Q-K-3 KSP-3). Plkst.15.30 energodispečers E.Vormsbehers saņēma ziņojumu no elektrovilciena Nr.8520 mašīnista A. Safronova, ka elektrovilciens apstājās pie p.p Smārde uz viencēļa ar norautiem abiem strāvas noņēmējiem. Energodispečers nekavējoties veica pasākumus kontakttīkla avārijas atjaunošanas brigādes izsaukšanai un noformēja brīdinājumu par ERS caurlaišanas aizliegumu ceļa posmā Tukums I - Ķemeri un plkst. 15.48 no EPK-Sloka izbrauca brigāde ar automašīnu bojāta strāvas noņēmēja nostiprināšanai un kontakttīkla apskatei, bet plkst.16.20 no EPK-Zasulauks automotriše ADM-1508 kontakttīkla bojājuma atjaunošanai. Plkst. 16.41 kontakttīkla brigāde uzsaka apskati. EPKV-4 N.Golubevs paziņoja, ka posmā Ķemeri-Tukums1 uz balsta Nr.151 k/t enkurojuma mezglā ir pārrauts vads. Nav gabarīta. Plkst.18.38-18.53. pēc kontakttīkla iepriekšējās apskates un strāvas noņēmēju nostiprināšanas tika atļauta elektrovilciena transportēšana ar dīzeļlokomotīvi uz Ķemeru staciju. Atklāt ERS kustību iecirknī nebija iespējams, jo starp balstiem Nr.150-151 (ap 70 m garumā) kontakttīkla gabarīts attiecībā uz ritošo sastāvu bija izjaukts. Avārijas brigāde uzsaka darbus plkst.19.05 un plkst.20.37 pēc gabarīta atjaunošanas un kontakttīkla pārbaudes vilcieni kustība tika atjaunota. plkst. 20.48 pēc kontakttīkla pilnīgas atjaunošanas elektrovilcieni kustība tika atklāta. Bojājuma rezultātā aizkavēts _____ OPERATĪVĀ SAPULCE KONSTATĒJA: Veicot notikuma vietas apskati, komisija konstatēja, ka pārrauts M-120 troses un enkurojuma kompensācijas savienojums. Troses pārrāvums notika šādu iemeslu dēļ: • metāla novecošana (1967.g.); • iekšēja korozija; • troses un fiksācijas mezglā nepārtraukta kustība horizontālā plaknē, kad notiek temperatūras svārstības. Elektrovilciena ER2T-8520R strāvas noņēmēju un kontakttīkla saskarsmes rezultātā tika bojāti šādi elementi: • 2 strāvas noņēmēji; • M-120 troses starp balstiem Nr.150-151 ap 70m garumā; • kontakttīkla stīgu 6 apakšējie posmi; • 2 elektrosavienotāji. 29.08.2022. tika veikta kontakttīkla piekares papildapskate no automotrišes darba laukuma. Bojājumi netika atklāti. Kontakttīkla piekares revīzija bojājuma vietā tika veikta 20.04.2022. no izolējoša noņemama torņa. Defekti nebija konstatēti. 17.08.2022. tika veikta vizuāla apskate no zemes. Apskati veica EPKE D. K. un EPKV M. P. J. Pamatojoties uz iepriekš minēto nav iespējams definēt troses iekšējo koroziju. OPERATĪVĀ APSPIEDĒ NOLĒMA: 1. Kontakttīkla un elektrovilciena Nr.8520 bojājuma gadījumu, kurš tiek klasificēts kā kustības drošības pārkāpums, pieskaitīt _____. 2. EPK 1+6 laikā līdz 01.12.2022. veikt analogisko enkurojuma mezglu stāvokļa apskati. Atklātos defektus operatīvi likvidēt. 3. EPK-4 M. P. J. laikā līdz 01.11.2022. dienas laikā veikt ārpuskārtas kontakttīkla revīziju no automotrišes ceļa posmā Tukums I - Ķemeri. 4. EPK 1+6 2023.gadā, veicot pavasarī kārtējo kontakttīkla piekares apskati, pievērst īpašu uzmanību M-120 markas vada gala apdarās stāvoklim. 5. Ar šo protokolu iepazīstināt visus iesaistītus darbiniekus. 6. EPRCK _____ kontrolēt šī protokola izpildi. Elektrotehniskās pārvaldes Rīgas reģionālā centra vadītājs _____ Nosūtīts: EPR-1, EPD, EPK-1+6, EPRE-1, EPRCK		

Lisa 2. TUN-1 (ühe vedruga) vedrukompensaatori tüübid ja omadused [6]

Nr	Tüüp	Jõude vahemik, N	Pingutusjõud, N	Vedru- de arv	Kompen- satsiooni pikkus, mm	Seadme kaal, kg	Mõõtmed, pikkus × laius × kõrgus, mm	Maksimaalne nukkraadius, mm
1	TUN-10	9 000 10 999	9 530 9 560	1	800	190	820 × 445 × 520	433
2	TUN-12	11 000 12 999	11 670 12 160 12 670 12 740	1	800	200	820 × 445 × 520	499
3	TUN-14	13 000 14 999	13 480 13 790 14 000 14 050 14 280	1	800	200	820 × 445 × 520	476
4	TUN-16	15 000 16 999	15 760 15 890	1	800	210	820 × 445 × 520	496
5	TUN-18	17 000 18 999	–	1	800	210	820 × 445 × 520	462
6	TUN-20	19 000 20 999	19 070 19 180 19 600	1	800	210	820 × 445 × 520	444

Lisa 3. TUN-2 (kahe vedruga) vedrukompensaatori tüübid ja omadused [6]

Nr	Tüüp	Jõude vahemik, N	Pingutusjõud, N	Vedru- de arv	Kompen- satsiooni pikkus, mm	Seadme kaal, kg	Mõõtmed, pikkus × laius × kõrgus, mm	Maksimaalne nukkraadius, mm
1	TUN- 22	21 000 22 999	21 000 21 180 21 230	2	800	280	840 × 660 × 740	422
2	TUN- 24	23 000 24 999	24 000	2	800	280	840 × 660 × 740	394
3	TUN- 26	25 000 26 999	25 410 26 480	2	800	290	840 × 660 × 740	551
4	TUN- 28	27 000 28 999	27 530 28 600	2	800	290	840 × 660 × 740	529
5	TUN- 30	29 000 30 999	29 670	2	800	300	840 × 660 × 740	526
6	TUN- 32	31 000 32 999	31 760	2	800	300	840 × 660 × 740	509
7	TUN- 34	33 000 34 999	33 880 34 940	2	800	320	840 × 660 × 740	489
8	TUN- 36	35 000 36 999	35 000	2	800	320	840 × 660 × 740	484

Lisa 4. Tensorex C+ 2- spring-model seadmete tehnilised andmed [7]

Nº	Nimetus	Kompensatsiooni pikkus (mm)	Veojõud (kg / kN)
1	Tensorex C + 900/500, 2 S	900	500 / 4,9
2	Tensorex C + 750/600, 2 S	750	600 / 5,9
3	Tensorex C + 1000/600, 2 S	1000	600 / 5,9
4	Tensorex C + 1000/650, 2 S	1000	650 / 6,4
5	Tensorex C + 750/750, 2 S	750	750 / 7,4
6	Tensorex C + 900/750, 2 S	900	750 / 7,4
7	Tensorex C + 1000/750, 2 S	1000	750 / 7,4
8	Tensorex C + 750/800, 2 S	750	800 / 7,8
9	Tensorex C + 900/800, 2 S	900	800 / 7,8
10	Tensorex C + 750/850, 2 S	750	850 / 8,3
11	Tensorex C + 800/850, 2 S	800	850 / 8,3
12	Tensorex C + 950/850, 2 S	950	850 / 8,3
13	Tensorex C + 750/900, 2 S	750	900 / 8,8
14	Tensorex C + 750/1000, 2 S	750	1000 / 9,8
15	Tensorex C + 735/1020, 2 S	735	1020 / 10,0
16	Tensorex C + 700/1050, 2 S	700	1050 / 10,3
17	Tensorex C + 650/1100, 2 S	650	1100 / 10,8
18	Tensorex C + 650/1125, 2 S	650	1125 / 11,0
19	Tensorex C + 450/1200, 2 S	450	1200 / 11,8
20	Tensorex C + 550/1200, 2 S	550	1200 / 11,8
21	Tensorex C + 600/1200, 2 S	600	1200 / 11,8
22	Tensorex C + 450/1225, 2 S	450	1225 / 12,0
23	Tensorex C + 550/1225, 2 S	550	1225 / 12,0
24	Tensorex C + 600/1250, 2 S	600	1250 / 12,3
25	Tensorex C + 450/1320, 2 S	450	1320 / 12,9
26	Tensorex C + 450/1345, 2 S	450	1345 / 13,2
27	Tensorex C + 525/1350, 2 S	525	1350 / 13,2
28	Tensorex C + 525/1360, 2 S	525	1360 / 13,3
29	Tensorex C + 450/1380, 2 S	450	1380 / 13,5

№	Nimetus	Kompensatsiooni pikkus (mm)	Veojõud (kg / kN)
30	Tensorex C + 450/1425, 2 S	450	1425 / 14,0
31	Tensorex C + 500/1425, 2 S	500	1425 / 14,0
32	Tensorex C + 450/1500, 2 S	450	1500 / 14,7
33	Tensorex C + 500/1500, 2 S	500	1500 / 14,7
34	Tensorex C + 450/1575, 2 S	450	1575 / 15,5
35	Tensorex C + 450/1600, 2 S	450	1600 / 15,7
36	Tensorex C + 450/1640, 2 S	450	1640 / 16,1
37	Tensorex C + 400/1800, 2 S	400	1800 / 17,7

Lisa 5. Tensorex C+ 3- spring-model seadmete tehnilised andmed [7]

Nº	Nimetus	Kompensatsiooni pikkus (mm)	Veojõud (kg / kN)
1	Tensorex C + 1100/750, 3 S	1100	750 / 7,4
2	Tensorex C + 1000/835, 3 S	1000	835 / 8,2
3	Tensorex C + 1000/850, 3 S	1000	850 / 8,3
4	Tensorex C + 1100/850, 3 S	1100	850 / 8,3
5	Tensorex C + 1000/875, 3 S	1000	875 / 8,6
6	Tensorex C + 900/1000, 3 S	900	1000 / 9,8
7	Tensorex C + 1000/1000, 3 S	1000	1000 / 9,8
8	Tensorex C + 1100/1000, 3 S	1100	1000 / 9,8
9	Tensorex C + 1100/1050, 3 S	1100	1050 / 10,3
10	Tensorex C + 750/1100, 3 S	750	1100 / 10,8
11	Tensorex C + 900/1100, 3 S	900	1100 / 10,8
12	Tensorex C + 1000/1100, 3 S	1000	1100 / 10,8
13	Tensorex C + 1000/1125, 3 S	1000	1125 / 11,0
14	Tensorex C + 750/1200, 3 S	750	1200 / 11,8
15	Tensorex C + 850/1200, 3 S	850	1200 / 11,8
16	Tensorex C + 900/1200, 3 S	900	1200 / 11,8
17	Tensorex C + 750/1225, 3 S	750	1225 / 12,0
18	Tensorex C + 840/1225, 3 S	840	1225 / 12,0
19	Tensorex C + 750/1250, 3 S	750	1250 / 12,3
20	Tensorex C + 850/1250, 3 S	850	1250 / 12,3
21	Tensorex C + 850/1275, 3 S	850	1275 / 12,5
22	Tensorex C + 750/1320, 3 S	750	1320 / 12,9
23	Tensorex C + 850/1320, 3 S	850	1320 / 12,9
24	Tensorex C + 840/1325, 3 S	840	1325 / 13,0
25	Tensorex C + 750/1345, 3 S	750	1345 / 13,2
26	Tensorex C + 840/1345, 3 S	840	1345 / 13,2
27	Tensorex C + 850/1360, 3 S	850	1360 / 13,3
28	Tensorex C + 750/1375, 3 S	750	1375 / 13,5
29	Tensorex C + 750/1400, 3 S	750	1400 / 13,7

№	Nimetus	Kompensatsiooni pikkus (mm)	Veojõud (kg / kN)
30	Tensorex C + 800/1400, 3 S	800	1400 / 13,7
31	Tensorex C + 600/1425, 3 S	600	1425 / 14,0
32	Tensorex C + 750/1425, 3 S	750	1425 / 14,0
33	Tensorex C + 750/1440, 3 S	750	1440 / 14,1
34	Tensorex C + 750/1500, 3 S	750	1500 / 14,7
35	Tensorex C + 700/1575, 3 S	700	1575 / 15,5
36	Tensorex C + 700/1600, 3 S	700	1600 / 15,7
37	Tensorex C + 650/1640, 3 S	650	1640 / 16,1
38	Tensorex C + 450/1680, 3 S	450	1680 / 16,5
39	Tensorex C + 550/1680, 3 S	550	1680 / 16,5
40	Tensorex C + 650/1700, 3 S	650	1700 / 16,7
41	Tensorex C + 600/1800, 3 S	600	1800 / 17,7
42	Tensorex C + 450/2000, 3 S	450	2000 / 19,6
43	Tensorex C + 550/2000, 3 S	550	2000 / 19,6
44	Tensorex C + 450/2100, 3 S	450	2100 / 20,6
45	Tensorex C + 500/2170, 3 S	500	2170 / 21,3
46	Tensorex C + 500/2250, 3 S	500	2250 / 22,1
47	Tensorex C + 450/2400, 3 S	450	2400 / 23,5

Lisa 6. Tensorex C+ 4- spring-model seadmete tehnilised andmed [7]

Nº	Nimetus	Kompensatsiooni pikkus (mm)	Veojõud (kg / kN)
1	Tensorex C + 1350/1000, 4 S	1350	1000 / 9,8
2	Tensorex C + 1000/1150, 4 S	1000	1150 / 11,3
3	Tensorex C + 1000/1200, 4 S	1000	1200 / 11,8
4	Tensorex C + 1100/1200, 4 S	1100	1200 / 11,8
5	Tensorex C + 1000/1215, 4 S	1000	1215 / 11,9
6	Tensorex C + 1000/1225, 4 S	1000	1225 / 12,0
7	Tensorex C + 1100/1225, 4 S	1100	1225 / 12,0
8	Tensorex C + 1100/1275, 4 S	1100	1275 / 12,5
9	Tensorex C + 1000/1320, 4 S	1000	1320 / 12,9
10	Tensorex C + 1000/1345, 4 S	1000	1345 / 13,2
11	Tensorex C + 1100/1350, 4 S	1100	1350 / 13,2
12	Tensorex C + 1000/1360, 4 S	1000	1360 / 13,3
13	Tensorex C + 1000/1400, 4 S	1000	1400 / 13,7
14	Tensorex C + 1000/1425, 4 S	1000	1425 / 14,0
15	Tensorex C + 840/1500, 4 S	840	1500 / 14,7
16	Tensorex C + 900/1500, 4 S	900	1500 / 14,7
17	Tensorex C + 1000/1500, 4 S	1000	1500 / 14,7
18	Tensorex C + 980/1530, 4 S	980	1530 / 15,0
19	Tensorex C + 840/1600, 4 S	840	1600 / 15,7
20	Tensorex C + 840/1600, 4 S	840	1600 / 15,7
21	Tensorex C + 750/1640, 4 S	750	1640 / 16,1
22	Tensorex C + 750/1680, 4 S	750	1680 / 16,5
23	Tensorex C + 840/1680, 4 S	840	1680 / 16,5
24	Tensorex C + 750/1750, 4 S	750	1750 / 17,2
25	Tensorex C + 850/1750, 4 S	850	1750 / 17,2
26	Tensorex C + 840/1780, 4 S	840	1780 / 17,5
27	Tensorex C + 750/1800, 4 S	750	1800 / 17,7
28	Tensorex C + 840/1800, 4 S	840	1800 / 17,7
29	Tensorex C + 750/1835, 4 S	750	1835 / 18,0

№	Nimetus	Kompensatsiooni pikkus (mm)	Veojõud (kg / kN)
30	Tensorex C + 750/1875, 4 S	750	1875 / 18,4
31	Tensorex C + 750/1900, 4 S	750	1900 / 18,6
32	Tensorex C + 750/1940, 4 S	750	1940 / 19,0
33	Tensorex C + 750/2000, 4 S	750	2000 / 19,6
34	Tensorex C + 735/2040, 4 S	735	2040 / 20,0
35	Tensorex C + 700/2100, 4 S	700	2100 / 20,6
36	Tensorex C + 650/2150, 4 S	650	2150 / 21,1
37	Tensorex C + 650/2200, 4 S	650	2200 / 21,6
38	Tensorex C + 680/2200, 4 S	680	2200 / 21,6
39	Tensorex C + 650/2250, 4 S	650	2250 / 22,1
40	Tensorex C + 600/2400, 4 S	600	2400 / 23,5
41	Tensorex C + 625/2400, 4 S	625	2400 / 23,5
42	Tensorex C + 600/2500, 4 S	600	2500 / 24,5
43	Tensorex C + 525/2700, 4 S	525	2700 / 26,5
44	Tensorex C + 550/2700, 4 S	550	2700 / 26,5
45	Tensorex C + 550/2750, 4 S	550	2750 / 27,00
46	Tensorex C + 500/2800, 4 S	500	2800 / 27,50
47	Tensorex C + 450/3000, 4 S	450	3000 / 29,4

Lisa 7. Tensorex C+ 4S- spring-model seadmete tehnilised andmed [7]

Nº	Nimetus	Kompensatsiooni pikkus (mm)	Veojõud (kg / kN)
1	Tensorex C + 1350/1200, 4 SS	1350	1200 / 11,8
2	Tensorex C + 1100/1500, 4 SS	1100	1500 / 14,7
3	Tensorex C + 1125/1500, 4 SS	1125	1500 / 14,7
4	Tensorex C + 1000/1600, 4 SS	1000	1600 / 15,7
5	Tensorex C + 1100/1600, 4 SS	1100	1600 / 15,7
6	Tensorex C + 1000/1650, 4 SS	1000	1650 / 16,2
7	Tensorex C + 1000/1680, 4 SS	1000	1680 / 16,5
8	Tensorex C + 1100/1700, 4 SS	1100	1700 / 16,7
9	Tensorex C + 1000/1800, 4 SS	1000	1800 / 17,7
10	Tensorex C + 1050/1800, 4 SS	1050	1800 / 17,7
11	Tensorex C + 840/1900, 4 SS	840	1900 / 18,6
12	Tensorex C + 840/1955, 4 SS	840	1955 / 19,2
13	Tensorex C + 750/2000, 4 SS	750	2000 / 19,6
14	Tensorex C + 840/2000, 4 SS	840	2000 / 19,6
15	Tensorex C + 1350/2000, 4 SS	900	2000 / 19,6
16	Tensorex C + 1350/2100, 4 SS	900	2100 / 20,6
17	Tensorex C + 1350/2150, 4 SS	750	2150 / 21,1
18	Tensorex C + 1350/2200, 4 SS	750	2200 / 21,6
19	Tensorex C + 1350/2250, 4 SS	840	2250 / 22,1
20	Tensorex C + 1350/2350, 4 SS	750	2350 / 23,1
21	Tensorex C + 1350/2350, 4 SS	800	2350 / 23,1
22	Tensorex C + 1350/2400, 4 SS	750	2400 / 23,5
23	Tensorex C + 1350/2400, 4 SS	785	2400 / 23,5
24	Tensorex C + 1350/2500, 4 SS	750	2500 / 24,5
25	Tensorex C + 1350/2550, 4 SS	750	2550 / 25,0
26	Tensorex C + 1350/2590, 4 SS	700	2590 / 25,4
27	Tensorex C + 1350/2800, 4 SS	675	2800 / 27,5

Lisa 8. Tensorex C+ 5-spring-model seadmete tehnilised andmed [7]

Nº	Nimetus	Kompensatsiooni pikkus (mm)	Veojõud (kg / kN)
1	Tensorex C + 1350/1500, 5 SS	1350	1500 / 4,7
2	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	1350	1700 / 16,7
3	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	1000	1985 / 19,5
4	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	1000	2000 / 19,6
5	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	1100	2000 / 19,6
6	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	1000	2085 / 20,5
7	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	1100	2100 / 20,6
8	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	1050	2200 / 21,6
9	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	1000	2250 / 22,1
10	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	1000	2270 / 22,3
11	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	900	2400 / 23,5
12	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	950	2400 / 23,5
13	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	750	2500 / 24,5
14	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	925	2500 / 24,5
15	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	900	2590 / 25,4
16	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	900	2600 / 25,5
17	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	900	2640 / 25,9
18	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	850	2720 / 26,7
19	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	840	2800 / 27,5
20	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	800	2850 / 28,0
21	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	750	2860 / 28,1
22	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	750	3000 / 29,4
23	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	750	3060 / 30,0
24	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	750	3150 / 30,9
25	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	640	3630 / 35,6
26	Tensorex C + 1350/1000, 5 SS	550	4000 / 39,2
TENSOREX C+ 5S-SPRING-MODEL, ML			
1	Tensorex C + 1100/2200, 5 SS-ML	1100	2200 / 21,6

Nº	Nimetus	Kompensatsiooni pikkus (mm)	Veojõud (kg / kN)
2	Tensorex C + 1100/2200, 5 SS-ML	1100	2400 / 23,5
3	Tensorex C + 1100/2200, 5 SS-ML	1050	2500 / 24,5
4	Tensorex C + 1100/2200, 5 SS-ML	900	2850 / 28,0
5	Tensorex C + 1100/2200, 5 SS-ML	825	3150 / 30,9
6	Tensorex C + 1100/2200, 5 SS-ML	800	3300 / 32,4
7	Tensorex C + 1100/2200, 5 SS-ML	780	3400 / 33,4
8	Tensorex C + 1100/2200, 5 SS-ML	750	3560 / 34,9
9	Tensorex C + 1100/2200, 5 SS-ML	700	3750 / 36,8
10	Tensorex C + 1100/2200, 5 SS-ML	650	4000 / 39,2
11	Tensorex C + 1100/2200, 5 SS-ML	625	4080 / 40,0

Lisa 9. Juhtmete pikenemise arvutuse tulemused Tensorex C+ 1350/1200 4SS

näitel [LEONHARD WEISS OÜ arhiiv]

Väljavõtte programmist, mis on loodud LEONHARD WEISS OÜ kontaktvõrgu osakonna sisekasutuseks.

Source data	
Contact wire	AC-120-CuAg
Messenger wire	DIN 48201-70-Bz II
Hxcw, Tension CW final position), N	15000
H0cw, Tension CW (start position), N	0
Hxmw, Tension MW final position)	15000
H0mw, Tension MW (start position), N	0
Lcw , represents the distance measured in meters from the midpoint anchor point to the anchor point for the contact wire, m	720
Lmw , the measurement in meters representing the distance from the middle anchor point to the anchor point for the messenger wire, m	720
ux, High temperature, C	70
u0, temperature is low, C	-40
Max temperature	70
Wind, km/h	86,4
Type of railways	Main line
Type of anchoring	CW and MW com
Presence of tension clamps	No
Presence of splicing clamps	No
Presence of additional loads on the wires for the load coefficient	No
σ_{min}cw , minimum tensile strength of the contact wire	350
σ_{min}mw , minimum tensile strength of the messenger wire	552

Source data	
Ktempcw , coefficient that considers the correlation between the maximum operating temperature and the allowable tensile stress for the contact wire	1
Ktempmw , coefficient that considers the correlation between the maximum operating temperature and the allowable tensile stress for the messenger wire	1
Kizncw , coefficient accounting for allowable wire wear (for the contact wire)	0,8
Kiznmw , coefficient accounting for allowable wire wear (for the messenger wire)	1
Kwindcw , wind coefficient (for the contact wire)	1
Kwindmw , wind coefficient (for the messenger wire)	1
Kicecw , icing coefficient (for the contact wire)	0,95
Kicemw , icing coefficient (for the messenger wire)	1
Kcomcw , coefficient considering the efficiency (COP) of the tension device (for the contact wire)	0,97
Kcommw , coefficient considering the efficiency (COP) of the tension device (for the messenger wire)	0,97
Kzccw , coefficient accounting for the efficiency (COP) of tension clamp (for the contact wire)	1
Kzcmw , coefficient accounting for the efficiency (COP) of tension clamp (for the messenger wire)	1
Kscw , coefficient accounting for the strength of the joint during splicing (for the contact wire)	1
Ksmw , coefficient accounting for the strength of the joint during splicing (for the messenger wire)	1
Kncw , coefficient accounting for the effect of additional loads on the wires (for the contact wire)	1
Knmw , coefficient accounting for the effect of additional loads on the wires (for the messenger wire)	1
sdopcw , allowable mechanical stress of the wire under tension (for the contact wire)	167,71

Source data	
sdopmw , allowable mechanical stress of the wire under tension (for the messenger wire)	348,04
Fdopcw , permissible tension force CW, N	20125,56
Fdopmw , permissible tension force MW, N	24362,52
DLTcw , stretching MW with temperature changes, m	1,35
DLTmw , stretching CW with temperature changes, m	1,35
DLEcw , elongation from initial tension to final tension for CW, m	0,75
DLEmw , longation from initial tension to final tension for MW, m	1,47

Lisa 10. Trosside materjalide parameetrid vastavalt standardile DIN 48 201 ja kontaktjuhtmete materjalide parameetrid vastavalt standardile EN 50149 ja samuti lubatud maksimaalne pingutus vastavalt standartidele DIN EN 50341 ja DIN VDE 0115

	Nimiristlõige	Nõutav ristlõige	Soonte arv	Läbimõõt	Lubatud pingutus					
					maksimaalne			minimaalne		
					Al	Cu	BzII	Al	Cu	Al
	mm ²	mm ²		mm ²	N/mm ²			mm ²		
Kandetross	10	10,02	7	4,1	70	175	295	-	392	589
	16	15,89	7	5,1	70	175	295	179	392	589
	25	24,25	7	6,3	70	175	295	172	392	589
	35	34,36	7	7,5	70	175	295	168	392	589
	50	49,48	7	9,0	70	175	295	160	392	589
	50	48,35	19	9,0	70	175	295	175	392	589
	70	65,81	19	10,5	70	175	295	172	392	589
	95	93,27	19	12,5	70	175	295	168	392	589
	120	116,99	19	14,0	70	175	295	161	392	589
	240	242,54	61	20,3	70	175	295	163	392	589
	400	400,14	61	26,0	70	175	295	152	392	589
	625	626,20	91	32,6	70	175	295	152	-	-

	Nimiristlõige	Nõutav ristlõige	Soonte arv	Läbimõõt	Lubatud pingutus					
					maksimaalne			minimaalne		
					AI	Cu	BzII	AI	Cu	AI
	mm ²	mm ²		mm ²	N/mm ²			mm ²		
Kontaktjuhe	Ri 100	Cu		12,0	125			355		
	RiSlOO	CuAgO,1			160			360		
	RiMlOO	CuMgO,5			225			500		
	Ri 120	Cu		13,2	125			330		
	RiS120	CuAgO,]			160			350		
	RiM120	CuMgO,5			225			490		
	Ri 150	Cu		14,5	125			310		
	RAS150	CuAgO,1			160			350		