



Elar Abozenko

VIGASE VEEREMI TRANSPORDIVÕIMALUSED RAUDTEEL

LÕPUTÖÖ

Logistikainstituut

Transpordi- ja liikluskorralduse õppekava

Juhendaja: Mihhail Kirejev

Tallinn 2023

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina, Elar Abozenko, 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 autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja: Mihhail Kirejev (allkiri ja allkirjastamise kuupäev on digiallkirjas)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud logistikainstituudi direktori korraldusega nr 1-14/55 kuupäev 08.05.2023.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Elar Abozenko (sünnikuupäev 22.08.1985), annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Vigase veeremi transpordivõimalused raudteel“:

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 (allkiri ja allkirjastamise kuupäev on digiallkirjas)

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1 RAUDTEESEKTORI ÜLEVAADE	7
1.1 Raudteesektori näitajad.....	8
1.2 Raudteetranspordi psühhosotsiaalne mõju	10
2 ALUSVANKRI RATTAPAAR	11
2.1 Ratta eksploatatsioon raudteel	12
2.1.1 Rattal tekkivad defektid.....	14
2.1.2 Defektse rattajuhtumi näide.....	16
2.2 Telje eksploatatsioon raudteel.....	18
2.2.1 Teljel tekkivad defektid.....	19
2.2.2 Defektse teljejuhtumi näide	19
2.3 Teljelaagri eksploatatsioon raudteel.....	21
2.3.1 Teljelaagril tekkivad defektid	23
2.3.2 Defektse laagrijuhtumi näide	24
3 RATTAPAARI DEFEKTIDE TUVASTAMISVÕIMALUSED.....	25
3.1 Raudtee äärne veeremi seiresüsteem	26
3.2 Veeremi pardapealne seiresüsteem	27
4 VIGASE REISIRONGI TRANSPORDILAHENDUSED	30
4.1 Pukseerimismeetod.....	31
4.1.1 Pukseerimine veduri või rongiga	32
4.1.2 Pukseerimine juhtratastel eriveeremiga.....	33
4.2 Rattapaari päästevankri kasutamine	34
5 RAUDTEE-ETTEVÕTTE ELRON PRAKTIKA.....	37
5.1 Elroni rongide tehniline lühikirjeldus.....	38
5.2 Elroni statistilised näitajad.....	40
5.3 Rikkis reisirongi transportimise ajakulu teeninduspiirkonnas	42
5.4 Intervjuu raudtee-ettevõttega Elron.....	46
5.4.1 Intervjuu tulemused.....	46
6 JÄRELDUS	49
KOKKUVÕTE.....	50
SUMMARY	51
VIIDATUD ALLIKAD	53

LISAD.....	60
Lisa 1. Lihkelohu sügavus üle lubatu	61
Lisa 2. Harja paksus alla lubatu	62
Lisa 3. Harja kõrgus lubatust suurem	63
Lisa 4. Harja jalami kumerus alla lubatu	64
Lisa 5. Teravatipuline harja kulum.....	65
Lisa 6. Veereringi ebaühtlane kulum.....	66
Lisa 7. Elroni rongireisi kaart	67
Lisa 8. Intervjuu küsimused	68

SISSEJUHATUS

Raudteetransport on läbi aastakümnete olnud üks efektiivsemaid mooduseid nii inimeste kui kaupade vedamiseks. Seeläbi mängib ta ühiskonnas sotsiaalelu ja majanduse edendamises tähtsat rolli. Kasvavate kliimaprobleemide ja kütusehindadega on raudteetransport ka üks ökonoomsemaid transpordiliike maailmas. [1]

Eesti Vabariigi Valitsuse poolt heaks kiidetud „Transpordi ja liikuvuse arengukava 2021–2035“ toob välja raudtee valdkonna kolm peamist eesmärki – kaubaveo suunamine raudteele, reisijateveo populariseerimine ja raudteel kiiruste suurendamise saavutamine. Arengukavas väljatoodud eesmärgi nimel ja selleks *„et raudteekasutust ka edaspidi suurendada, tuleb pöörata eritähelepanu olemasoleva taristu kvaliteedi parandamisele ja kasutusmugavusele – kaubaveos luua intermodaalseid terminale ning reisijateveos ühendada raudteed teiste liikumisviisidega“*. [2]

Raudteetranspordil väikest manööverdamis võimalusi silmas pidades, on hästitoimiva ja turvalise raudteesüsteemi eelduseks stabiilselt toimiv rongiliiklus ja korras taristu. Kui võrgustiku mingis punktis juhtub mõni rike või suurem õnnetus, on selle olukorra lahendamine mitte ainult ohutuse vaatenurgast ajakriitilise tähtsusega, vaid sellel on ka negatiivne ülekandeeffekt, mis mõjutab raudteeliiklust ka võrgustiku kaugemates otstes. Väga olulisel kohal on ennetada raudteeveeremitel tehnilisi rikkeid ja selleks süsteemselt kontrollida nende korrasolekut.

Raudteeveeremi liikuvelement – rattapaar, koosneb ratastest, rattateljest ja teljelaagritest. Rikked võivad tekkida ükskõik millisel eelnimetatud komponendil, kuid kõige levinum põhjus selleks on detaili kulumine. Reisirongil tähendab see seda, et eelnimetatud detailil rike võib põhjustada rööpalt maha sõitu, seades seeläbi ohtu reisijate elud ja tekitades tõsiseid häireid raudtee võrgutöös. Ärilisest vaatenurgast lähtudes see omakorda kahjustab raudtee-ettevõtte mainet ja vähendab avalikkuse valikut raudteetranspordi vastu. [3]

Seetõttu on rongiliikluses oluline, et vigase raudteeveeremi teisaldamine raudteel on lahendatud võimalikult kiiresti, efektiivselt ning turvaliselt. Antud lõputöö eesmärgiks on uurida reisirongi teisaldamisvariante raudteel, seoses raudteeveeremi rikkis rattapaari olukorraga, kasutades selleks kvalitatiivse uurimusmeetodi lähenemist. Selleks on töö koostamisel kasutatud mitmesuguseid avalikke teadusartikleid, intervjuusid antud valdkonna ekspertidega ja teisi avalikult kättesaadavaid kirjalikke materjale.

Kõige selle põhjal on antud töö eesmärk mõista käesolevat teemat järgmistest uurimuspunktidest lähtuvalt:

- Rattapaari kooslus ja rikketunnused;
- Rongi teisaldamisvõimalus rattapaari rikkest lähtudes;
- Kuidas on lahendatud rongireisi ettevõttes Elron veermiku rattapaari kõlbliku seisukorra monitooring;
- Kuidas on rongireisi ettevõttes Elron kaetud rikkis reisirongi teisaldamisvõimekus tehnoloogilisest ja operatiivsest vaatenurgast lähtuvalt.

Käesolev töö on jaotatud viieks osaks, kus esimesed neli osa on taustinfoks ja annavad ülevaate teemaga seonduvast ning viiendas osas on koos nii taust kui uurimuslikku tööd.

Esimene osa annab ülevaate raudteesektori hetkeolukorrast Euroopa Liidu tasandil, ja et mõista raudteesüsteemi suundumust terviklikust vaatenurgast. Lisaks sellele tutvustab lõputöö esimene osa seadusest tulenevaid regulatsioone ning toob välja statistikat rongi õnnetusjuhtumite kohta.

Raudteeveeremi mehaanilise eripära paremaks mõistmiseks annab töö teine osa ülevaate alusvankri ühest põhielemendist – rattapaarist ja selle konstruktsioonist. Peatükk kirjeldab rattapaari erinevaid põhiosasid ja nende võimalikke tehnilisi rikkeid, et situatsiooni tõsidust mõista ning halvimat ennetada. Lisaks on välja toodud õnnetusjuhtumite näited, mida rattapaaririke võib põhjustada.

Töö kolmas osa keskendub erinevatele tehnilistele võimalustele, mille abil on võimalik raudtee-ettevõttel tuvastada raudteeveeremi rattapaaril esinevaid rikkeid. Seeläbi ennetada liiklusõnnetusi, maandada riske ning tagada suurem turvalisus ja efektiivsus raudteesüsteemis.

Töö neljas osa käsitleb erinevaid teisaldamise võimalusi raudteeveeremi rattapaari rikkest lähtuvalt. Autor tutvustab antud osas päästeoperatsiooniks vajalikke tehnilisi lahendusi ning nende kasutegureid ja kitsaskohti.

Töö viimane ehk viies osa keskendub raudteeveo-ettevõtte Elron lähenemisele teemaga seonduvalt. Selleks toob autor koos ettevõtte ekspertide kaasamise ja nendega läbiviidud intervjuus uurimusliku poolena sisse ettevõtte praktilised lahendused. Lisaks on autori poolt väljatoodud arvutuslik ajakulu vigase rongi pukseerimisel.

Autor tänab lõputöö koostamisel oma juhendajat ja tema abivalmidust ning raudteeveo-ettevõtte Elron töötajad kes olid nõus intervjuud andma ja oma kogemusi jagama.

1 RAUDTEESEKTORI ÜLEVAADE

Euroopa Liidu (lühend EL) liikmesriigiks olemine tähendab seda, et EL aluslepingutest lähtuvalt on Eesti Vabariik kohustatud järgima ning täitma liidu poolt etteseatud määruseid ja direktiive. Vastavalt Euroopa Liidu toimimise artiklis 288 väljatoodule on sätestatud, et „*liidu pädevuse teostamisel võtavad institutsioonid vastu määruseid, direktiive, otsuseid, soovitusi ja arvamusi*“ [4], mis on „*tervikuna siduvad ja vahetult kohaldatav kõikides liikmesriikides*“. [4]

Raudteevaldkonda silmas pidades tähendab see seda, et Eesti on kohustatud järgima ning täitma Euroopa Liidu 4. raudteepaketti, mille eesmärk on tagada ühtselt ja turvaliselt toimiv raudteevõrgustik Euroopa Liidus. [5]

Euroopa Komisjoni poolt vastuvõetud 4. raudteepakett koosneb kuuest erinevast seadusandlikust dokumendist, mille laiem eesmärk on luua Euroopa Liidu liikmesriikide vahel ühtselt toimiv ja turvaline raudtee transpordisüsteem [5].

Lisaks ülal mainitud seadusandlusele on Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium koostanud antud seaduste paremaks mõistmiseks ja rakendamiseks „Transpordi ja liikuvuse arengukava 2021–2035“. Antud arengukava vaatab Eesti transpordisüsteemi ja liikuvust Eesti terviklikust vaatenurgast ning seab selged mõõdikud ning tegevussuunad, milleni aastaks 2035 pürgida. [2]

„Transpordi ja liikuvuse arengukava 2021–2035“ kaks peamist tegevussuunda on suurendada transpordisüsteemi konkurentsivõimet ning tuua ühistransport inimestele lähemale [2].

Kõiki neid ülalpool väljatoodu asjaolusid silmas pidades, võib järeldada, et rongiliiklus nii Eestis kui Euroopas on järgnevatel aastatel kasvava trendiga. Muutuva trendiga ei ole mitte ainult rongiliikluse tihedus, vaid vastavalt arengukavas väljatoodule suureneb ka rongiliikluse kiirus ning laieneb ka rongiliikluse haare.

Antud järeldust toetab ka Eesti siseriikliku raudteeveo-ettevõtte Elroni poolt oktoobris 2020 avaldatud uudis, kus selgub, et alates detsembrist 2024 hakkavad Tallinn–Tartu elektrifitseeritud raudteelõigul sõitma kuus uut elektrirongi [6].

1.1 Raudteesektori näitajad

Eesti raudteetransport suureneva koormuse valguses, kus plaanis on suurendada mitte ainult raudteekaubaveo osakaalu (26%-ilt 40%-ni), vaid eesmärgiks on populariseerida ka ühistranspordi kasutajate arvu (38,7%-ilt 60%-ni), muutub raudteesüsteemi ohutus ja korrashoid veelgi olulisemaks [2].

Euroopas raudteetranspordi osakaalu suurenemise tingib Euroopa Liidu „Valge raamatus“¹ välja toodud logistika muudatuskorraldus. Euroopa Liidu liikmesriigid peavad 30% oma maanteevedudest aastaks 2030, mille sõiduvahemaad ületavad 300 km, üle viima teistele transpordiliikidele nagu raudtee või merd mööda. Ning aastaks 2050 juba rohkem kui 50% maanteevedudest. [7]

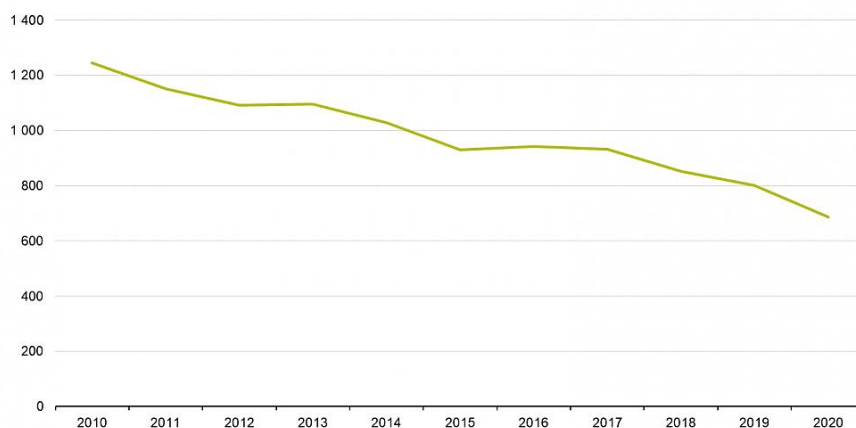
Positiivse muutusena saab Euroopa Liidu statistikaameti, Eurostat, andmetest välja tuua, et alates 2010. aastast on rongiõnnetuste arv püsinud jätkuvalt langevas trendis (Joonis 1). Kindlasti on viimaste aastate langustrendi mõjutanud ka COVID-19 pandeemia, mil rongiliiklus vähenes märgatavalt, kuid statistika kaugem vaatlus näitab, et langustrend on algas juba enne COVID-19 kriisi. [8]



Joonis 1. Õnnetusjuhtumite arv raudteel Euroopa Liidus 2010-2020 [8]

Lisaks raudteetranspordi õnnetusjuhtumite langustrendile, toob Eurostat välja rongiõnnetustes hukkunute statistika, mis on samuti ajavahemikul 2010–2020 langustrendis (Joonis 2). Eurostat andmetest selgub, et kui 2010. aastal hukkus raudteetranspordi õnnetusjuhtumites 1245 inimest, siis 2020. aastal oli see näitaja 687. See tähendab seda, et antud aastate jooksul on toimunud on ligi 45%-line langus raudtee transpordisüsteemis hukkunute seas. [8]

¹ Euroopa Komisjoni dokumendid, mis sisaldavad Euroopa Liidu poolse tegevuse ettepanekuid spetsiifilises valdkonnas [73].



Joonis 2. Hukkunute arv raudtee õnnetustes Euroopa Liidus 2010–2020 [8]

Euroopa Liidu liikmesriikides toimunud õnnetusest tuleb teavitada Euroopa Liidu Raudteeametit. Eestis reguleerib raudteeõnnetusi vastavalt Raudteeseaduse. Vastavalt Eesti Raudteeseaduse § 48, mis käsitleb raudteeohutust mõjutavaid juhtumeid tõlgendatakse õnnetusjuhtumeid järgnevalt [9]:

- Tõsine õnnetusjuhtum;
- Õnnetusjuhtum;
- Vahejuhtum;

„Tõsine õnnetusjuhtum käesoleva seaduse tähenduses on rongide kokkupõrge või rööbastelt mahasõit, mis põhjustab inimese surma või vähemalt viiele inimesele raske tervisekahjustuse või mille tulemusena saab raudteeveerem, raudteetaristu või keskkond, OhutusjuurdLuse Keskuse² hinnangul, vähemalt kahe miljoni euro ulatuses kahjustusi, ja muud samade tagajärgedega õnnetusjuhtumid, millel on selge mõju raudteeohutusele“ [9].

„Õnnetusjuhtum käesoleva seaduse tähenduses on ettekatsemata või ootamatu sündmus või sündmuste jada, mille tagajärjel tekib kahju“ [9].

„Vahejuhtum käesoleva seaduse tähenduses on rongi kasutamisega seotud sündmus, mis ei ole tõsine õnnetusjuhtum ega õnnetusjuhtum, kuid mõjutab või võib mõjutada raudtee kasutamise ohutust“ [9]. Lisaks sätestab Raudteeseadus juhise raudteeõnnetust puudutava teatamise korra kohta. Vastavalt Raudteeseadus § 49 kirjeldatud juhiste tuleb kõigi ülaltoodud juhtumite korral teavitada koheselt Tarbijakaitse Ja Tehnilisejärelvalve Ametit³ [9].

² Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi spetsiifilist ülesannet täitev struktuuriüksus, mis on ohutusjuurdLuste läbiviimisel sõltumatu ning iseseisev [72]. Veebileht <https://www.ojk.ee>

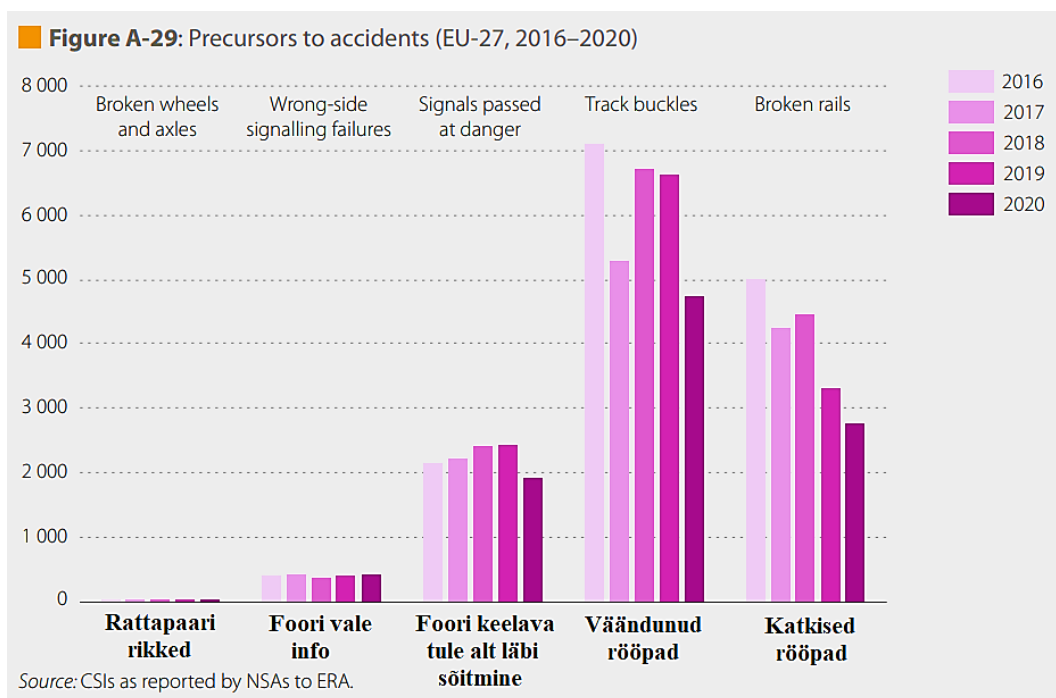
³ Loodud 01.01.2019 eesmärgiga tugevdada turegulasiooni ja ohutusjärelvalve ning tarbijakeskkonna võimekust [75]. Veebileht <https://www.ttja.ee>

1.2 Raudteetranspordi psühhosotsiaalne mõju

Reisirongide liiklusgraafiku häiretes ei saa tähelepanuta jätta ka emotsionaalseid ja psühholoogilisi faktoreid, mis mõjutavad otseselt reisijate suhtumist raudteetransporti.

2017. aastal Rezapour'i ja Ferraro poolt läbiviidud uuringus selgus, et raudteetranspordis tingitud hiline mistel on ka psühholoogiline mõju rongireisijate suhtumisse raudteetransporti. Kus rongireisijate suhtumine raudteetransporti on usalduse ja kindlustunde eksisteerimine ühistranspordi sõidugraafiku täpsusel, mis omakorda mõjutab tarbijakäitumist ning laiemas vaates ka sellega seonduvat majandust. [10]

Euroopa Raudteeameti statistika näitab, et viimastel aastatel on Euroopa Liidu liikmesriikides toimunud raudteeõnnetused ja sellest tingitud rongiliiklushäired suures osad tingitud taristu juhtumitega (Joonis 3). Antud statistikast on näha ka, et kuigi näitajad on iga aasta paranenud, siis veeremiga seotud rikked on jäänud samale tasandile. [1]

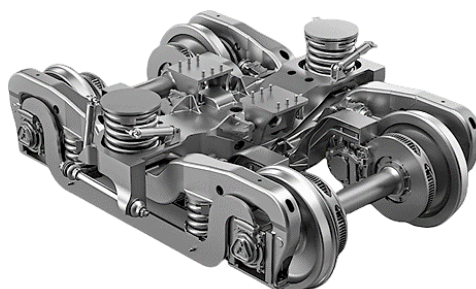


Joonis 3. Rongiõnnetuste põhjused Euroopa Liidus 2016–2020 [1]

Kõike eelnevat arvesse võttes on märkimisväärselt oluline, et raudteesüsteem töötab stabiilselt ja efektiivselt ning rikkejuhtumi korral, kus saab kannatada raudteeveerem, on vigase veeremi transport raudteel lahendatud võimalikult operatiivselt ning turvaliselt.

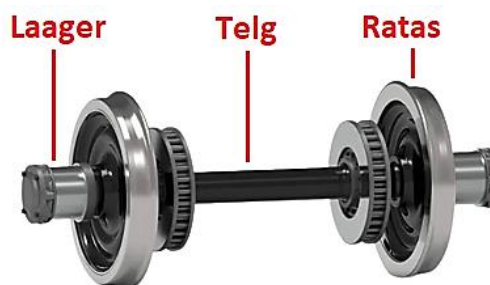
2 ALUSVANKRI RATTAPAAR

Ülesehituselt toetuvad nii veduri kui vaguni raamid oma alusvankrile (Joonis 4). Alusvankrite mudelid ja tüüpe on erinevaid. Nende konstruktsioonilise eripära tingib veeremi tööiseloorm ja kasutusmugavus. Raudteeveeremi juures alusvanker on oluline masinaelement, kuna tema küljes paiknevad mitmed veeremit mehaaniliselt mõjutavad detailid. [11]



Joonis 4. Alusvanker, illustratiivne [12]

Alusvankri raami mõlemal küljel paiknevad veeremi rattad. Nad on omavahel ühendatud jäigalt silindrilise metallvardaga, mida kutsutakse teljeks. See telg hoiab mõlemaid rattaid koos liikumas. Üheskoos moodustavad nad rattapaari. Lisaks paigaldatakse telje külge rattapaari kergemaks funktsioneerimiseks veel üks oluline komponent – laager (Joonis 5). [11]



Joonis 5. Rattapaar, illustratiivne [13]

Raudteeveeremi sõiduohutuse ja -mugavuse mõttes omab rattapaar tähtsat rolli. Reisirongide suured sõidukiirused ja tugevad pidurdused ning kaubarongide raskekaalulised veosed seavad rattapaari raske mehaanilise koormuse alla. Kuigi rattapaarid on valmistatud tugevast metallmaterjalist, tuleb nende seisukorda regulaarselt jälgida ning teostada korrapäraselt hooldustööd. Siiski tekib ajajooksul rattapaari osadele elementidele ootamatuid ja enneaegseid defekte, mis tuleb kõrvalda, kuna vastasel juhul võivad tagajärjed olla väga tõsised.

Tootmise vaatenurgast, rattapaaride välisilmes viimaste aastate jooksul märkimisväärsed muutusi ei ole kuigi palju tulnud. Siiski püüavad tootjad valmistada tehniliselt võimalikult pikaajalisi

rattapaare ja edasi arendada tootmistehnoloogiat. Selleks viiakse läbi erinevaid uurimustöid tootmismaterjalide keemiliste, füüsikaliste, termo ja mehaanilistele kvaliteedi omaduste mõistmiseks ja parendamiseks. Rattapaaride tootmisprotsessis põhirõhk on, et lõpptulemus oleks tänapäevastele raudtee normidele ja väljakutsetele vastav. [14]

Kuid rattapaar teostab mehaanilist tööd ja seda tehes taluma ka väliseid mõjusid, on ta siiski kulumaterjal, mis ajajooksul amortiseerub ning muutub kunagi kasutuskõlbmatuks. Olenevalt defekti iseloomust saab rattapaaril neid liigitada kulunuks ja katkiseks. Sõltuvalt defekti ulatusest teostatakse remonti kas depoos või tehases. Kui ei ole võimalik remontida, siis see element kantakse maha ja vahetatakse välja [15].

Rattapaari konstruktsiooni tervest seisukohast tuleb muuhulgas jälgida, et [15]:

- Veereringi ovaalsus ja ekstsentrilisus vastaks lubatule;
- Teljel rataste läbimõõtude erinevus vastaks lubatule;
- Rataste siseservade vahe erinevus vastaks lubatule.

2.1 Ratta eksploatatsioon raudteel

Raudteeveeremi puhul rattaid võib pidada tema üheks tähtsamaks elemendiks, kuna nad on otsekontaktis rööbastega, siis praktiliselt sõltub neist veeremi turvaline ja ootuspärane kulgemine raudteel. Seda tehes rattad võtavad enda kanda kogu veeremi suure raskuse ning seda taluma erinevatel sõidukiirustel ja pidurdusjõududel. Lisaks vastupidama muutlikele ilmastiku oludele, rasketele keskkonna tingimustele ja erineva suurusega tsentrifugaaljõududele raudtee kurve läbides.

Raudteeveeremitel rattaid valmistatakse terasest ja nende kvaliteeti reguleerivad erinevad rahvusvahelised ja riiklikud standardid. Nendes dokumentides on väljatoodud ratta omaduste parameetrid nagu kõvadus, tugevus, korrosiooni-, kuumus- ja kulumiskindlus. Samuti on väljakujunenud erineva suurusega rattad igale veeremi tüübile (Tabel 1, Tabel 2).

Tabel 1. Üldised ratta läbimõõdud, mm [16]

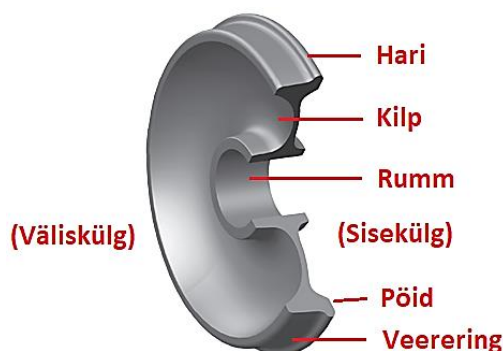
Veeremi tüüp	Läbimõõt
Reisirong	750–950
Vedur	1000–1300
Kaubavagun	900–1000

Tabel 2. Ratta materjali kooslus (AAR⁴ standard) [17]

Klass	Süsiniku sisaldus, %	Brinelli kõvadusaste	Kasutuskoht
L	< 0,47	197–277	Suured kiirused, rasked pidurdus-tingimused, madalad teljekoormused
A	0,47–0,57	255–321	Suured kiirused, rasked pidurdus-tingimused, keskmine teljekoormused
B	0,57–0,67	302–341	Suured kiirused, rasked pidurdus-tingimused, suuremad teljekoormused
C	0,67–0,77	321–363	Suured kiirused, rasked pidurdus-tingimused, suured teljekoormused

Rattad on välimuselt kui ümmargused kettad, mille keskel on ümar ava, teljega kokku ühendamiseks. Ratast rööbastel hoiab ja juhib tema küljel olev hari. Mõlemad rattad pöörlevad oma teljel sama kiirusega, k.a kurvides, kuna raudteeveeremil ei kasutata erinevalt maantee sõidukitest diferentsiaalseadet. Raudtee kurvide paremaks läbimiseks on ratta veerering tehtud kooniline ja mõlemad rattad asetavad rööbasteel üksteise suhtes sümmeetriliselt (Joonis 6).

Lisaks rataste veerepinna kooniline disainlahendus vähendab rongil oluliselt veeretakistust. Seeläbi aidates kaasa suurte ja raskete rongide energiatõhusamaks liikumiseks. Praktika näitab, et reisirongide järsk kiirendused-aeglustused mõjuvad negatiivselt ratta haardumisele teega. Juhul kui rattal ei ole piisvalt haardumist rööpaga, nõrgeneb ratta ja rööpa vaheline kontakt, mis omakorda kiirendab ratta kulumist. Niisamuti kaubarongide veosekaalud avaldavad survet ratta struktuurile ja põhjustavad kulumise teket. [18]



Joonis 6. Rehvita ehk monoliitne ratas, illustratiivne [19]

⁴ Inglise keeles *Association of American Railroads*. Veebileht <http://www.aar.org> ning <http://www.aar.com>

2.1.1 Rattal tekkivad defektid

Raudteeveeremi rattal tekkivaid defekte saab neid tunnuse järgi jaotada kahte kategooriasse – kulunud ja/või katki (pragu, mõra). Kuna ratas on oma tööülesande poolest kulumaterjal, siis veeremi ekspluatatsiooni ajal toimub rattaprofiilis (Joonis 7) kontuuride muutumine ja materjalide kahjustumine. Kuigi ratta oodatav tööaeg on ca üks miljon kilomeetrit, siis sõltub see tootmiskvaliteedist, montaažist ja sõidutingimustest.

Mõningad tõsisemad rattaharja piirkonnas esinevad defektid on järgmised [15]:

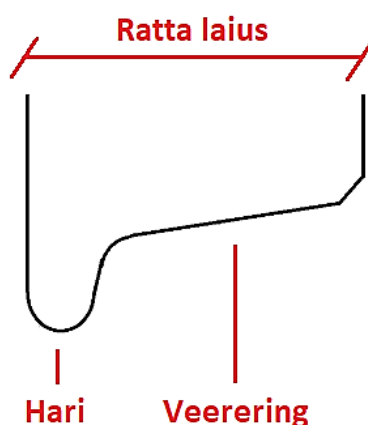
- Harja paksus alla lubatu;
- Harja kõrgus lubatust suurem;
- Harja jalami kumerus alla lubatu;
- Teravatipuline harja kulum.

Lisaks ülaltoodud näidetele, tuleb harja piirkonnas kontrollida veel, et pragusid ei ole moodustunud.

Ratta veere piirkonnas esinevad mõningad tõsisemad defektid on järgmised [15]:

- Veereringi ebaühtlane kulum;
- Lihkelohu sügavus üle lubatu (Lisa 1, [20]);
- Pöia laiuse suurenemine;
- Veereringil murendid – lihkelohud, väsimuspraod, temperatuuripraod (Joonis 8).

Niisamuti on siin oluline, et veere piirkond, rattarumm ja rattakilp ei oleks lõhenenud.



Joonis 7. Rattaprofiil, illustratiivne [20]



Joonis 8. Erinevate defektidega ratas [21]

Harja paksus alla lubatu on olukord kus harja paksus on väiksem lubatust piirmäärast (Lisa 2, [20]). Selle tagajärjel võib kurve läbides hari murduda. [22]

Harja kõrgus lubatust suurem on olukord kus mõõtmistulemus harja tipust kuni veereringini ületab lubatud piirmäära (Lisa 3, [20]). Selle tagajärjel võib rattahari puudutada rööpa sidelappe ja neid kahjustada või sidelappe ületades rööpast maha sõita. [22]

Harja jalami kumerus alla lubatu on olukord kus harja jalami raadius on piirmäärast väiksem (Lisa 4, [20]). Selle tagajärjel hakkab kuluma harja kõrgus kiiremini ja tekib veereringile nõgusa kontuuri. [22]

Teravatipuline harja kulum on olukord kus harja tipu raadius on kulunud piirmäärani (Lisa 5, [20]). Tekkepõhjuseks on üldiselt kui ratas pika aja jooksul veereb samades kurvides. Selle tagajärjel võib ristmikel ratas vale liikumissuuna võtta (Joonis 9). Seda eeldusel, et ristumispunkt ise on defektne – nt lõhenenud, kulunud või muul moel kahjustunud. [22]



Joonis 9. Ristmik raudteel [23]

Veereringi ebaühtlane kulumine on olukord kus ratas ei ole enam kujult ümmargune (Lisa 6, [20]). Harilikult on selle tekkepõhjuseks kas veereva ratta lukustumine pidurdamise ajal, mille tulemusena ületab pidurdusjõud ajutiselt olemasoleva ratta ja rööpa hõõrdejõu, või ratta ringikäimine kohapeal, mille tingib ratta ja rööpa vaheline haardumisjõu vähesus (Joonis 10). See kahjustab rööpa struktuuri ja keevisühendusi, kogu rattapaari, põhjustab müra ja halba vibratsiooni nii veeremile kui raudteetaristule [24].



Joonis 10. Lamepind ratta veereringil, illustratiivne [25]

2.1.2 Defektse rattajuhtumi näide

3. juunil 1998 Saksa riiklik raudtee-ettevõtte *Deutsche Bahn*⁵ kiirreisirong sõitis suurel kiirusel rööpalt maha (Joonis 11, Joonis 12). Õnnetus juhtus Saksamaal Eschede linna lähedal. Rong teenindas parajasti München–Hamburgi reisiliini. Rong liikus jaamavahelisel teel kiirusega 200 km/h kui järsku murdus rattarehv (Joonis 13), millele järgnes kohene rongi rööpalt mahasõit ja traagilise lõpuga õnnetus. Õnnetuse tagajärjel oli palju hukkunuid ja suured varalised kahjud. [26]

Rongi rööpalt mahasõidul toimus ühtlasi ka kokkupõrge maanteeesillaga, mis põhjustas selle täieliku kokkuvarisemise. Teadaolevalt paar minutit enne õnnetust, möödus rongist vastassuunas liikunud teine reisirong. [26]

⁵ Saksa keeles *Deutsche Bahn AG* on Saksamaa raudtee-ettevõtte, kelle peamiseks tegevusalaks on reisijate ja kaupade transport Saksamaa raudteedel. Veebileht <https://www.bahn.de>



Joonis 11. Kiirreisirongi õnnetus. Eschede, Saksamaa 1998 a [27]



Joonis 12. Kiirreisirongi õnnetus. Eschede, Saksamaa 1998 a [27]



Joonis 13. Murdunud rattarehv. Kiirreisirongi õnnetus. Eschede, Saksamaa 1998 a [27]

2.2 Telje ekspluatatsioon raudteel

Telg on üks rattapaari moodustavast komponentidest. Ehitusdisainilt on telg silindrilise kujuga ja valmistatud terasest (Joonis 14). Rattapaari koostespektist, võib telge pidada siduvaks detailiks. Tema külge ühendatakse ülejäänud osad nagu rattad ja laagrid. Rattad paigaldatakse telje külge pressimis meetodil. Rataste vahekaugus teljel peab sobima raudtee rööpmelaiusega (Joonis 15), kus teda kasutatakse. Kuna rattad on telje küljes jäigalt, siis veeremi liikudes pöörleb telge koos ratastega ning võtab vastu dünaamilisi ja staatilisi koormusi.



Joonis 14. Rattatelg, illustratiivne [28]



Joonis 15. Raudtee rööpmelaiuse mõõtmiskoht [29]

Veeremi ohutuse kohapealt on telje struktuuriline vastupidavus väga oluline. Deformeerunud või katki pooleks läinud telje korral, võivad õnnetuse tagajärjed olla majanduslikult ja sotsiaalselt suured. Teljel sisemisi defekte kontrollitakse seadmetega, mis võimaldavad mõõtmisi teha ultraheli tehnoloogial. [30]

Raudteeveeremeid on erinevaid liike ja nende erinevate otstarvete tõttu valmistatakse vastava koormustaluvusega telgi (Tabel 3).

Tabel 3. Üldised teljekoormused erinevatel raudteeveeremitel, t [16]

Raudteeveerem	Teljekoormus
Metroo (kerge)	14
Kiirrongid	17
Metroo (raskem)	18
Vedurid ja kaubavagunid	< 25
Raske veose kaubavagunid	32–40

2.2.1 Teljel tekkivad defektid

Vaatama asjaolule, et teljel on veeremi liikumas hoidmise seisukohast täita suurt vastust kandvat roll, on siiski nende tööiga pikk. Keskeltläbi on ühe telje ekspluatatsiooni pikkus 30 aastat. Oma tavapärase töökeskkonnas võtab telg vastu mitmeid teda potentsiaalselt kahjustavaid välistegureid. Nendeks võivad olla pindkahjustused ballastilt pärit objektidel ja korrodeerumist põhjustavad tegurid.

Praktika on näidanud, et ratta veereringil olevad kahjustused võivad halvasti mõjutada telje seisukorda. Teljele võivad defektse ratta „hüppamisest“ ning vibratsioonist tekkida praod ja kõverdumised. Üldjuhul kui teljel avastatakse mingi defekt, siis enamuse remondi protseduuridest näevad ette telje välja vahetamist. [31]

Mõningad tõsisemad kulumid, praod ja muud defektid teljel on järgmised [15]:

- Teljekaela või rummuelese osa koonilisus;
- Teljekaela või rummuelese osa ovaalsus;
- Telje keskosal lubatust suuremad hõõrdevaod;
- Praod teljekaela ja rummuelel osal;
- Praod rummualuses osas;
- Praod telje keskosas;
- Lubatust suuremad muljumised ja mõlgid;
- Telje kõverus (viskumine pöörlemisel);
- Rooste ja juuslaigud⁶.

2.2.2 Defektse teljejuhtumi näide

9. juulil 2008 Saksa riikliku raudtee-ettevõtte *Deutsche Bahn* kiirreisirong sõitis rööpalt maha. Õnnetuse põhjustas ühe rattapaari telje katki murdumine (Joonis 16, Joonis 17, Joonis 18). Rong oli parajasti teel Kölnist Düsseldorfis kui vahetult peale lähtejaamast väljumist toimus õnnetus. Õnneks oli rongi kiirus madal, kuna ta oli jõudnud jaamast välja sõita, vaid mõned meetrid ning inimesed kannatada ei saanud. [32]

⁶ „Juuslaiguks nim. metalli õhukesti pikisuunalisi kihistumisi, mis tekivad valtsimisel metallis olevate gaasimullide ja mittemetallsete ühendite toimele“ [70]

Kölni ja Düsseldorf'i rongiliini pikkus on 64 km, kus kiirused ulatuvad kohati 250 km/h. Rongiliikluse poolest on tegemist tiheda liikluspõrkkonnaga. Kuna sündmuskoht oli häiritud mitu tundi pidi *Deutsche Bahn* tühistama 90 rongireisi. [32]

Õnnetuse uurimistöö käigus väitsid mõned reisijad, kes olid varem sama rongiga reisinud Frankfurtist Kölni, et sõiduajal oli rongi salongi kuulda tugevat müra. Sellel liinil ulatub rongi kiirus kuni 300 km/h. Õnnetuse hetkeks oli telg töötanud 3,09 miljon kilomeetrit [31].

Õnnetusjuhtumiga seotud oludel oli hiljem rongiliiklus ka häiritud, kuna raudtee-ettevõtte, oli sunnitud kõik oma rongipargist samad rongimudelid ülevaatusesse saatma [32].



Joonis 16. Reisirongi rööpast mahasõit. Köln, Saksamaa 2008 a [33]



Joonis 17. Reisirongi rööpast mahasõit. Köln, Saksamaa 2008 a [33]



Joonis 18. Murdunud telge. Reisirongi rööpast mahasõit. Köln, Saksamaa 2008 a [33]

2.3 Teljelaagri ekspluatatsioon raudteel

Teljelaagrid (Joonis 19) on rattapaari konstruktsioonis tähtis element. Laagrid ühendavad rattapaari pöörlevad osad veermiku mittepöörlevate osadega. Seda tehes peavad teljelaagrid taluma veeremi massi ja samal ajal tagama rattapaaride sujuva liikumise. Seetõttu teljelaagrid on rattapaari üks põhikomponent, mis peab alati töökorras olema. Suurel määral sõltub teljelaagritest ratta ja telje mehaaniline töö ning tehniline seisukord. Valdav osa rattapaari riketest, mis on lõppenud rööpalt maha sõiduga on tingitud vigastest teljelaagritest. [34]

Teljelaager on rattapaari kulumaterjal, mis töökaigus kulub ja lõpuks tuleb välja vahetada [35]. Lihtne laagri struktuur koosneb välis- ja sisevõrust ning nende vahel asetsevatest veerekehadest.

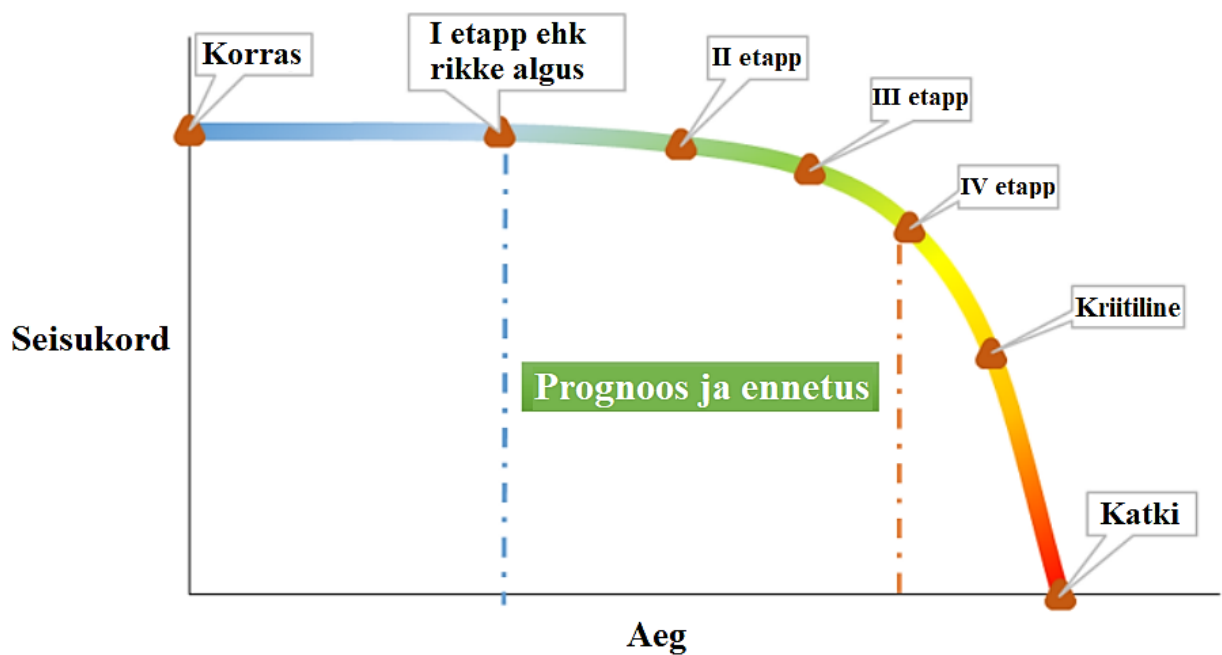


Joonis 19. Koonusrull teljelaager, illustratiivne [36]

Laagritel esinevaid kulumeid on liigitatud nende tõsiduse järgi nelja kulumis etappi [35]:

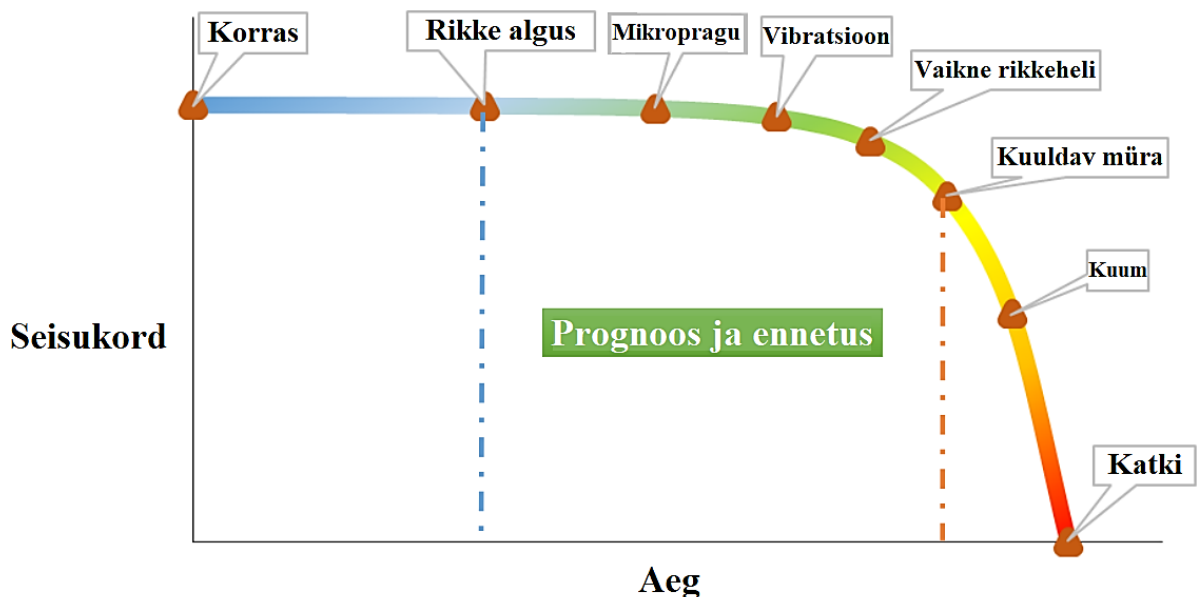
- I. Mikroskoopiline kahjustus, kus laager on piisavalt töökorras ja risk on madal. Enamik seireseadmetest ei suuda seda kahjustuse taset tuvastada;
- II. Kahjustus on nähtav ja seda saab tuvastada mõne seireseadmega. Selle etapis, on soovitatav järgmisel hooldusel ka laagrit parandada. Mõõdukas risk;
- III. Kahjustused on levinud üle laagri. Kuu aja jooksul võiks laagri remonti saata. Kõrge risk;
- IV. Kahjustus on kuuldav ja tuntav. Väga kõrge risk ja vajalik on kohene remont.

Teljelaagri seisukorra jälgimist, etappide kulgemist ja sealt parandustööde planeerimist illustreerib laagri kulumiskõverik (Joonis 20) [35].



Joonis 20. Laagri etapilise seisukorra kõverik [35]

Laagrite tööajal nende seisukorda saab jälgida mõõtes nendest tulevat helitaset, vibratsiooni ja töötemperatuuri. Üldiselt kui laagri mõni komponent on defektne, siis on häiritud laagri normaalne funktsioneerimine ja rike aina süveneb (Joonis 21). Veeremi töökorrasoleku juures on laagrite seisukorra jälgimine üks esmatähtsamaid ülesandeid raudtee-ettevõttel. [34]



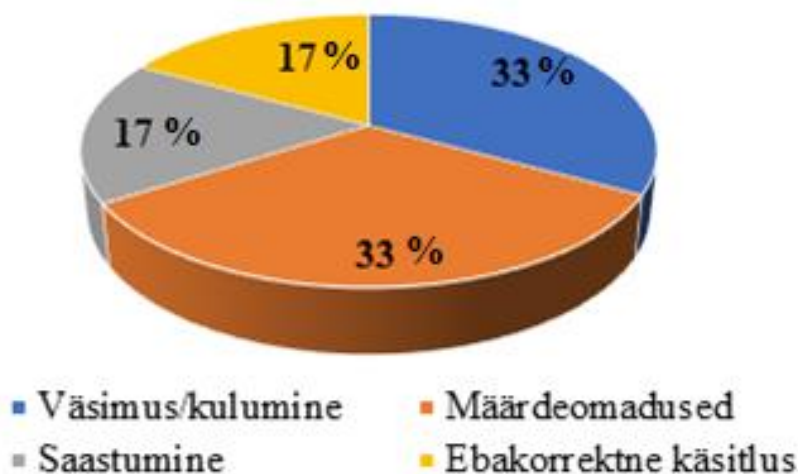
Joonis 21. Laagri rikketunnuste arengukõverik [35]

Ülaltoodud joonised (Joonis 20, Joonis 21) on omavahel seotud ja aitavad koos paremini mõista laagri rikkeprotsessi.

2.3.1 Teljelaagril tekkivad defektid

Teljelaagri defektid võivad mõjutada veeremi liikumis efektiivsust negatiivselt ja põhjustada tehnilisi rikkeid, kahjustades rööbasteed ja veeremit veelgi rohkem. Defekti tekkimise algfaasis laager põhjustab märkimisväärset vibratsiooni ja müra. Kui lasta defektil edasi arenda võib see tekitada suuri kahjusid nii veeremile kui raudteele. Seega suuremate remondikulude ja -tööde vältimiseks on oluline pöörata tähelepanu teljelaagrite tehnilisele seisukorrale (Joonis 22). [35]

Teljelaager on võrreldes ratta ja teljega palju kompleksema ehitusega. Ta koosneb mitmetest erinevast komponentidest ning sees käib määrdeaine, et parendada liikuvate osade veere- ja hõõrdeomadusi. Teljelaager valmistakse metallist, kuid ta mõned seismised osad on tehtud kummimaterjalist. Heades töötingimustes on laagri eluiga kolme miljoni kilomeetri lähedal, kuid praktika on näidanud, et välised tegurid nagu ratta defektid ja löögid raudteelt mõjuvad palju koormavalt ning laagrid võidakse välja vahetada juba ühe miljoni kilomeetri juures. [37]



Joonis 22. Laagritootja SKF⁷ analüüs laagri rikkepõhjustest [35]

Üldiselt võib laagri rikkeilminguid liigitada kolme iseärasuse järgi [35]:

- Äkiline/järsk ilming. Siin rikkесümptomid ilmnevad ootamatult;
- Vahelduvad/perioodiline ilming. Siin rikkесümptomid pidevalt ei esine, vaid need võivad ilmnedat teatud aja tagant ja seejärel ajutiselt kaduda, mistõttu on nende tuvastamine raske;
- Algfaas. Tegu on rikkega, mis areneb aja jooksul järk-järgult, koos sümptomite süvenemisega, ühe tõsisemaks.

⁷ Rootsi rahvusvaheline tööstuskoondis ja maailmas juhtival kohal laagrite tootmises. Varem kutsuti *Svenska Kullagerfabriken* (rootsi keeles Rootsi Kuullaagrivabrik). [71] Veebileht <https://www.skf.com>

Teljelaagrite äkilised ja vahelduvad rikked, olenevalt nende kahjustuse tasemest, võivad algselt välja kujuneda ka algfaasi rikkest. Selle võib põhjustada näiteks elektrikontakt ja mustus. Äkilisi rikkeid saab vähendada tööks sobiva laagri valiku tegemisega, selle korrektne paigaldus ja hooldusprotseduurid. Vahelduvate rikete tuvastamine on pikaajaline protsess. Selleks on vaja läbi viia konkreetne komponendi analüüs, näiteks määrdeaine viskoossusse tase. Algfaasi rike on siis, kui rike on püsivalt väljaarenenud ning ajajooksul see progresseerub ja süveneb. Neid rikkeid saab üldiselt tuvastada seiretehnikate abil. [35]

2.3.2 Defektse laagrijuhtumi näide

13. oktooberil 2020 Austraalias Moss Vale–Campbelltown liinil tekkis teljelaagris rike, mis viis rongis tulekahjuni. Rong tegi hädapeatuse Yerrinbool jaamas, kus rongimeeskond asus tulekustutiga kustutus töid tegema. Paraku oli laager rike tõttu nii kuumaks läinud, et lõplikult saadi ohtlik olukord kontrolli alla tuletõrje abiga (Joonis 23). [38]

Intsidendis reisijad kannatada ei saanud. Tulekahju tõttu tekkis rongil varaline kahju, kus muuhulgas hävines veeremi kiirusandur. Hilisem uuring tuvastas, et rikke põhjustas laagri hooldustööde käigus ebakorrektselt tagasi kokkupandud laager osad. [38]

Tund aega enne tulekahju oli rong läbinud raudtee äärse *Hot-box*⁸ seireseadme, mis tuvastas laagri kõrgeenenud töötemperatuuri, aga tol hetkel oli see veel lubatud piirides ja raudtee-ettevõtte otsustas sellele mitte reageerida. [38]



Joonis 23. Austraalia reisirongil ülekuumenenud teljelaager [38]

⁸ Inglise keeles *Hot-Box*. Veeremi pukside ja rataste ülekuumenemise tuvastamise kontrollsüsteem

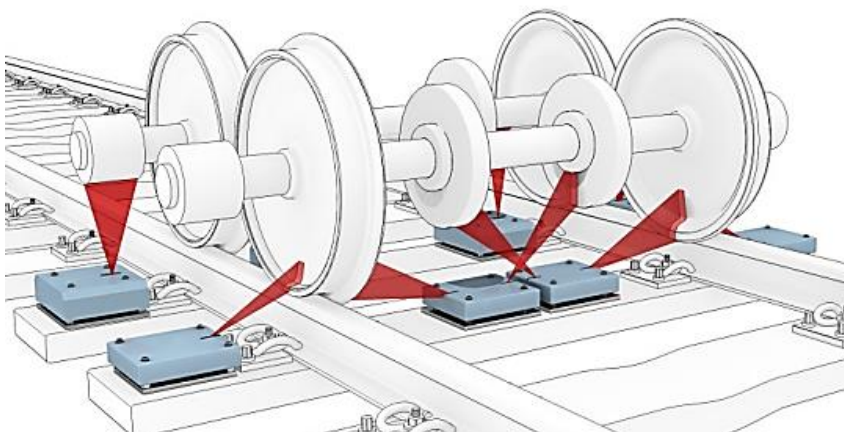
3 RATTAPAARI DEFJEKTIDE TUVASTAMISVÕIMALUSED

Rattapaari defektide tuvastamiseks on erinevaid võimalusi. Üks kohustus, mis määrab, millal on vaja teha rattapaaridel hooldustöid on välja toodud tootja poolt koostatud juhendis. Antud hooldusnõuded rajanevad tootja läbiviidud katsete ja uurimustööde põhjal. Saadud tulemused on objektiivsed ja kehtivad kindlatel tingimustel. Samas ekspluatatsiooni käigus tekkinud erinevad kulumid, praod ja muud materjali väsimustunnused on väljakujunenud keskkonnas, kus tingimused on muutlikud ja ootamatud. Lisaks on sealhulgas inimlik eksimustegur.

Raudtee-ettevõtjad järgivad erinevaid hooldusstrateegiaid ja peamised meetodid on [34]:

- Ennetav – kui komponente hooldatakse/vahetatakse välja varakult enne riket (mõõdetuna ajas või läbisõidust) ja sõltumata täpsest seisukorrast;
- Reaktiivne – kui komponente hooldatakse/vahetatakse pärast riket;
- Seisundipõhine jälgimine – kui komponente hooldatakse/vahetatakse välja olenevalt nende hetke jätkusuutlikuse seisukorrast.

Kõikide eelmainitud hoolduste peamine eesmärk on vältida rikkeid veeremitöös, mis vastasel juhul võivad olla suure remondikuluga. Raudteeveeremi hooldus- ja remonttöid saab teostada vastava võimekusega depoos ja tehases. Samas rikkeid on võimalik piisavalt varakult avastada ja seda lisaks depoos ja tehases, ka raudteel erinevates asukohtades. Seda võimaldab andur tehnoloogia põhimõttel töötavad seadmed, mida on võimalik kasutada kas statsionaarselt paigaldatuna (Joonis 24, Joonis 25) raudtee äärde või veeremi enda külge (Joonis 26) ja niiviis jooksvalt jälgida veeremi tehnilist seisukorda.



Joonis 24. Illustreeriv näide kuidas mõõdab raudtee äärde andurseade [39]



Joonis 25. *Hot-box* seade raudteel [40]



Joonis 26. Teljelaager seireanduriga, illustratiivne [41]

3.1 Raudtee äärne veeremi seiresüsteem

Raudtee äärsed seireseadmed paigaldatakse rööpa kõrvale. Kõige tüüpilisem seireseadeteljelaagrite seisukorra kontrollimiseks on ülekuumenemise detektor *Hot-box*. Antud seade võimaldab omanikul teljelaagri hetke seisukorra andmeid koguda igalt mööduvalt veeremilt. *Hot-box* paraku suudab vigast laagrit tuvastada ainult siis, kui rike on välja arenenud ja vajab kohest reageeringut olukorrale. [35]

Raudtee äärne seireseadet, mis tuvastab teljelaagris riket varajases tekkestaadiumis on ohutuse kaalutustel väga soovitatav raudtee-ettevõttele. Raudteeveo-ettevõtte, kellel on suur veeremipark on teeäärse seiresüsteemi lahendus kuluefektiivsem lahendus, kui eraldi varustada oma veeremid sama põhimõtte anduritega. [35]

Lisaks *Hot-box*⁹le on olemas veel teisigi seireseadmed rattapaari seisukorra jälgimiseks [42]:

- Heliandur tehnoloogial põhine, mis tuvastavad vigase laagri temast tulevalt ebanormaalse heli järgi (Joonis 27);
- Ratta löökjõudu mõõtev seade, mis aitab tuvastada kui ratta veereringil on lubatust suurem lamepind tekkinud (Joonis 28);
- Laserkiirtega rattaprofiili mõõtev seade (Joonis 29);
- Kinnikiilunud ratta tuvastamis seade, mis tuvastab ratta kui ta ei veere sõiduajal (Joonis 25, Joonis 30).

3.2 Veeremi pardapealne seiresüsteem

Veeremi pardapealse seiresüsteemi korral on seadme andurid ühendatud iga teljelaagriga. Kuna andurid on laagri lähedal, siis signaal on tugev, mis omakorda annab tõhusa võimaluse tuvastada defekte varajases staadiumis. Tõhususe varjupooleks on see, et antud lahendus on väga kulukas, kuna igale teljelaagriks on vaja paigaldada andurid ja andmeid protsessivad tarvikud. [35]

Eelmainitud lahenduse kasuks räägib kiire infovahetus. Kui seade tuvastab teljelaagris rikke, edastab ta selle info kohe veeremijuhile, kes saab tekkinud olukorrast varakult teada ja võtta kasutusele vastavad lahendusmeetmed.

Seiretehnoloogiaid mida seadmetes kasutakse [35]:

- Helisageduse baasil (Joonis 27);
- Vibratsiooni baasil (Joonis 28);
- Soojustemperatuuri baasil (Joonis 25, Joonis 30).

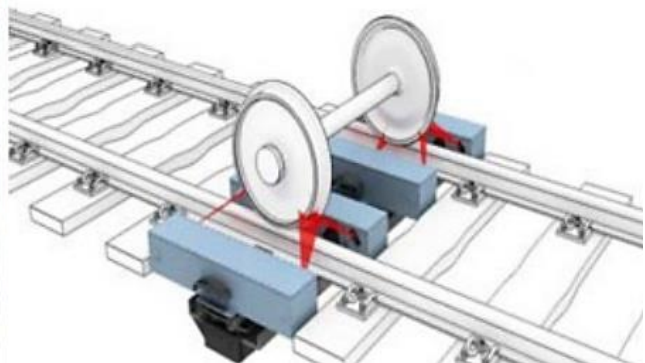


Joonis 27. Rööbasteeäärne akustiline tuvastussüsteem (TADS⁹) [42]

⁹ Inglise keeles *Trackside Acoustic Detection System*



Joonis 28. Ratta löögikoormuse detektor (WILD¹⁰) [42]



Joonis 29. Rattaprofiili mõõtmisüsteem (WPMS¹¹) [42]



Joonis 30. Ratta temperatuuri detektor (WTD¹²) [42]

¹⁰ Inglise keeles *Wheel Impact Load Detector*

¹¹ Inglise keeles *Wheel Profile Measurement System*

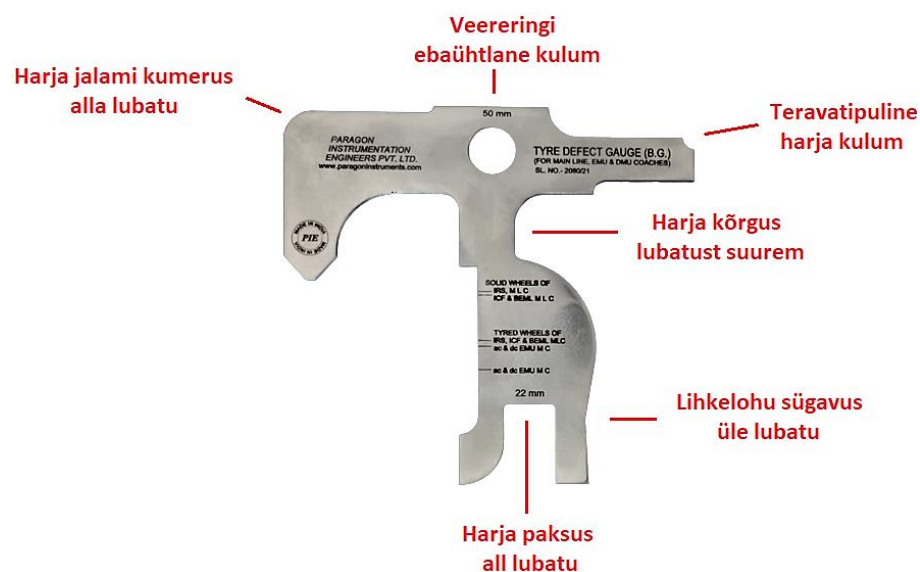
¹² Inglise keeles *Wheel Temperature Detector*

Lisaks on olemas käsitööriistad, millega hooldusmehaanikud saavad mõõtmistulemusi teostada. Rattaprofiili eripiirkondade mõõtmise jaoks on olemas eraldi ja universaalne tööriist. On olemas lasertehnoloogial põhinev elektrooniline mõõteriist, mis võimaldab saata tulemusandmed arvutisse, kus saab neile hiljem põhjalikumat analüüsi teha (Joonis 31).

Saadaval on ka mitteelektroonset mõõteriistu (Joonis 32). Seejuures on oluline, et kuna mõõtmist tehakse n-ö silma järgi, siis tööriista kasutaja peab tundma rattaprofiili ja mõõtmispunktide asukohti. Lisades 1–6 on väljatoodud selle tööriista illustreeriv kasutus [20].



Joonis 31. Rattaprofiili elektrooniline mõõteriist [43]



Joonis 32. Ratta mitme kulumi mõõtmisšabloon ja mõõtmispunktid [44]

4 VIGASE REISIRONGI TRANSPORDILAHENDUSED

Rongiliikluse plaanipärase toimise seisukohast on väga oluline, et reisirongid, mis on planeeritud liinile, on tehniliselt heas sõidukorras. See tähendab seda, et rong ei tohiks oma liikumisega raudteetaristut kahjustada, ega tehnilise rikke tõttu seisma jääda.

Reisirongide puhul on oluline täheldada ka seda, et sõltuvalt nende ringlusest, läbivad rongid teinekord pikki vahemaid, mille käigus rongide tehniline seisukord võib erinevates sõidutingimustes ootamatult muutuda. Rikke korral rongi edasine liikumine võib muutuda ohtlikuks või selliseks, et sõidu jätkamine on võimatu. Selles olukorras ei ole rikkis rongil võimalik ettenähtud sõiduplaani järgi sõita ja tööülesannet lõpuni viia. Lisaks võib rikkis rong põhjustada terves rongiliikluses tõsisemaid häireid ja segada teiste rongide sujuvat graafiku järgset liiklemist.

Seega rongiliiklus terviklikust aspektist lähtudes, siis liinil seisma jäänud rikkis reisirong ei piirdu oma probleemiga olema üksi, vaid mõjutab kogu liiklussüsteemi normaalset tööd. Tekkinud olukord vajab operatiivset lahendamist, sest sellel on rongi-ettevõttele majanduslikud negatiivsed tagajärjed. Sagenevate säärase olukordade korral kahjustub samuti rongireiside maine ja usaldus, mis pikemas perspektiivis võib ühiskonnas kujundada hoiakut ka kogu valdkonna vastu.

Vigase reisirongi olukorra tekkimisel, kus rong tehnilise rikke tõttu ei liigu edasi, tuleb probleemi lahendusvõimalust selgitada kahest tingimusest (Tabel 4). Esmalt kas rong on võimeline ise edasi liikuma või mitte. Viimase olukorra puhul, kui rongil näiteks mootor ei tööta mingil tehnilisel põhjusel, on võimalik rong pukseerimismeetodil sündmuskohast ära teisaldada. Teisalt kui rongi jõuallikas töötab ja rong liigub, kuid esineb rattapaari rike, mis ohustab edasi sõitmist, on võimalik see rattapaari piirkond isoleerida spetsiaalse transpordiseadmega – rattapaari päästevanker.

Tabel 4. Vigase veeremi teisaldamise võimalused

Lahendus Rike	Päästevedur (pukseerimine)	Reservrong (pukseerimine)	Eriveerem (pukseerimine)	Päästevanker (omajõul)
Rattapaar	–	–	–	+
Pidurid	+	+	+	+
Mootor	+	+	+	–
Vooluvõttur	+	+	+	–
Kütus otsas	+	+	+	–
Avarii	+	+	+	+/-

Asjaolu, et tehnilise rikke tõttu seisev rong mõjub raudtee võrgustiku toimimisele häirivalt ja vajab kiiret korda ajamist, on Raudteeseaduses § 90 väljatoodud läbilaskevõimeosa taotlemisel ka mööndus. Seal on välja toodud, millises eriolukorras seda taotlust ei ole vaja [9]:

- „päästerongi või abiveduri liiklemiseks“ [9];
- „veduri või mootorrongi liiklemiseks õnnetusjuhtumi korral või tehnilise rikkega rongikoosseisu vedava veduri või mootorrongi väljavahetamiseks, et oleks võimalik jätkata kauba- või reisijatevedu“ [9].

Ülaltoodu kohta olgu juurde mainitud, et sellise päästeoperatsiooni jaoks tuleb siiski eelnevalt kooskõlastada ja luba saada raudteetaristu-ettevõttelt.

4.1 Pukseerimismeetod

Juhul kui rong jääb liinil olles seisma tehnilise rikke tõttu ja seda ei ole võimalik kohapeal ära parandada, siis antud olukorda saaks lahendada pukseerimisega. Sellisel juhul raudteeveo-ettevõtte või raudteetaristu-ettevõtte (raudteeveo-ettevõtte tellimustööna) saadab sündmuskohale oma raudteeveeremi ja mõlemad veeremid haagitakse omavahel kokku nende haakeseadmetega.

Seejuures erinevate veeremite puhul tuleks enne pukseerimistöid eelnevalt veenduda mõlema veeremi haakeseadmete omavahelises ühilduvuses. Samuti vedava veeremi haakeseadme tõmbejõud peab olema sobilik pukseerimise jaoks. Tänapäeval reisirongidel ühed laialt levinumad haakeseadmed on Scharfenberg¹³ ja Janney¹⁴ tüüpi haakeseadmed (Joonis 33, Joonis 34).



Joonis 33. Scharfenberg tüüpi haakeseadme reisirongil [45]

¹³ Saksa leiutaja Karl Scharfenberg järgi 1903 aastal. Veebileht <https://www.voith.com>

¹⁴ Ameerika leiutaja Eli Janney järgi 1893 aastal. Eesti raudteel on kasutusel Janney haakeseadme SA3 modifikatsioonis



Joonis 34. Ühendus Janney tüüpi haakeseadmetega [46]

Pukseerimisel sõidukiirused on raudteetaristu-ettevõtte reglementidega kehtestatud. Näiteks AS Eesti Raudtee „Rongiliikluse ja manöövr töö ohutu korraldamise juhend“ sätestab peatükis „Töötajate kohustused manöövr töö“, et sõidukiirused on mitte suuremad kui [47]:

- 1) „60 km/h mööda vaba teed veovahendiga või veovahendi järele haagitud vagunitega, kui manöövriveeremi automaatpidurid on töökorras ja piduriproov tehtud“ [47];
- 2) „40 km/h mööda vaba teed, kui vagunid on haagitud veovahendile järele (automaatpidurid ei tööta)“ [47];
- 3) „25 km/h sõites vaguniga ees mööda vaba teed või sõitmisel päästerongiga“ [47].

Seejuures „veovahendiga või manöövriveeremiga võib sõita kiirusega 60 ja 40 km/h ainult sel juhul, kui raudteeveeremi juht on veendunud jaamatee vabaolekus, mida mööda ta sõidab. Kui raudteeveeremi juht ei ole saanud teadet jaamatee vabaolekust, siis tuleb tal sõita tähelepanelikult ja sellise kiirusega, mis tagab manöövriveeremi peatamise enne võimalikku liiklustakistust“. [47]

4.1.1 Pukseerimine veduri või rongiga

Tehnilise rikke tõttu liinil seisma jäänud reisirongi ära toomiseks, peab raudteeveo-ettevõtte, sellele probleemile viivitamatult reageerima ja lahendama kiiremas korras. Seisev reisirong blokeerib teed, mis omakorda segab plaanipärast rongiliiklust ja ning põhjustab sõidugraafikutes hilinemisi. Kuna reisirongid on varustatud haakeseadmetega, siis on ka võimalik neid selle abil minema pukseerida. Selle operatsiooni jaoks on vaja teist vedurit või rongi, mis kokku haakides rikkis reisirongiga kas veab või lükkab minema (Joonis 35, Joonis 36).



Joonis 35. Pukseerimine. Reisirong ja vedur, illustratiivne [48]



Joonis 36. Haakes kaks reisirongi, illustratiivne [49]

4.1.2 Pukseerimine juhtratastel eriveeremiga

Juhtratastega eriveeremi puhul on tegemist sõidukiga, mida saab kasutada nii maanteel kui raudteel [9]. Väliselt näeb ta välja nagu veoauto, kuid sellele sõidukile on raudteel sõitmiseks külge paigaldatud lisa rattad (Joonis 37). Nad näevad välja nagu rongirattad, aga on mõõdult väiksemad. Niisamuti nagu raudteeveeremi puhul, need rattad juhivad ja hoiavad sõidukit rööbastel. Raudteerattad paiknevad sõiduki esi- ja taguotsas. Hüdrauliline mehhanism tõstab ja langetab neid paikka (Joonis 38). Pukseerimisel ulatub sõiduki liikumiskiirus kuni 25 km/h ja võimelised liigutama kuni 800 t rongi [50].

Tegemist on mitmekülgse sõidukiga, mida on võimalik kasutada raudteel laiaotstarbeliselt. Alates taristu hooldus- ja remonditöödest kuni vagunite ja rongikoosseisude liigutamiseni. Sõiduki suurim kasutegur on tema mobiilsus, mis võimaldab tal vigase veeremi juurde läheneda kasutades osaliselt maanteed ja raudteel sobivast suunast. Teisalt kui sõidukit ei ole vaja kasutada, saab raudtee-ettevõtja ta parkida valikuvariandina ka sõiduteele.



Joonis 37. Juhtratastega eriveerem vedamas reisirongi [51]



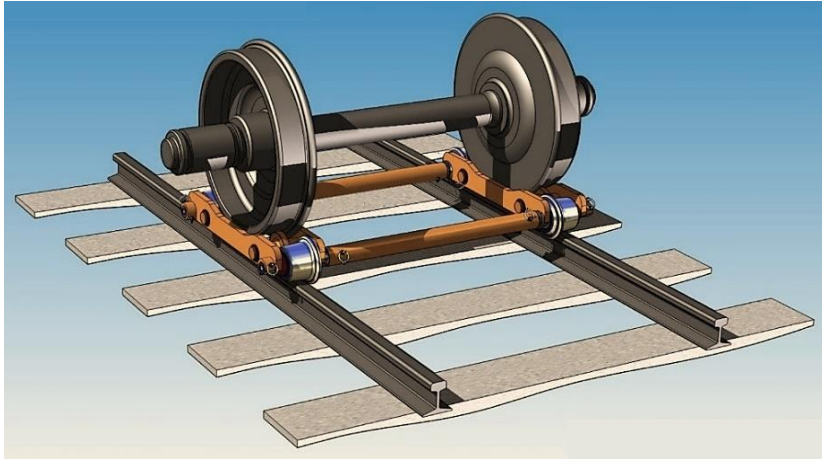
Joonis 38. Juhtratastega eriveeremi paiknemine raudteel [50]

4.2 Rattapaari päästevankri kasutamine

Rattapaari päästevanker¹⁵ on ratastel platvorm-konstruktsiooniga, mille peale saab tõsta raudteeveeremi koos rattapaariga (Joonis 39, Joonis 40, Joonis 41). Juhul kui reisirongi rattapaaril on tekkinud tõrge, näiteks rattad on kinni kiilunud või avastati ohtlik kulumisdefekt, siis oleks vaja see rong raudteeliiklusest kõrvaldada. Seda tehes tuleb arvestada, et vigane rattapaar võib kahjustada raudteed kui ka rongi ennast. Selliste lisakahjustuste vältimiseks ja ohutumalt tagasi rongidepoosse remonti jõudmiseks on mõistlik kasutada rattapaari päästevankrit. [52]

Päästevankri puhul tegemist on metall konstruktsiooniga, mis paigutatakse rööbaste ja veeremi vahele niimoodi, et rattapaar toetub päästevankri peale. Sedasi saab vigase rattapaari isoleerida ja ta ei ole enam otseses kontaktis rööbastega. Rong liigub sujuvalt edasi alukäru küljes olevate rataste abil. Olenevalt päästevankri mudelist, on neil võimalik vastu võtta rattapaari teljekoormusega kuni 27 t ja rongi liikumiskiirus kasutades seda seadet on kuni 25 km/h. [52]

¹⁵ Inglise keeles *axle dolly*, *wheelskate*



Joonis 39. Rattapaari päästevankri 3D joonis [53]



Joonis 40. Rattapaari päästevanker [54]



Joonis 41. Rattapaari päästevanker toestamas rongi [55]

Rattapaari päästevankri paigaldamiseks on muuhulgas vaja järgmisi seadmeid:

- Hüdraulilised tungrauad (Joonis 42);
- Tungraudade tugisild (Joonis 43);
- Juhtpult tungraudade opereerimiseks (Joonis 44);
- Jõujaam/generaator (Joonis 45);
- Päästemeeskond 2–5 inimest;
- Sõiduvahend maanteel ja raudteel liikumiseks (juhtrastega eriveerem).



Joonis 42. Hüdrauliline tungraud, illustratiivne [56]



Joonis 43. Tungraudade tugisild, illustratiivne [57]



Joonis 44. Juhtpult, illustratiivne [58]



Joonis 45. Jõujaam, illustratiivne [59]

5 RAUDTEE-ETTEVÕTTE ELRON PRAKTIKA

Elron¹⁶ on Eesti riiklik raudteeveo-ettevõtte Elron, millel põhitegevus on riigisisese rongireisi teenuse pakkumine. Käesoleval hetkel tegutseb ettevõtte raudteevõrgustikul kogupikkusega 795 km, millest elektrifitseeritud on 138,7 km. Lähiaastatel on raudteeinfrastruktuuri-ettevõttel kavas elektrifitseeritud liini pikkust järk-järgult laiendada, kuna vastavalt riiklikule keskkonnasäästmise tegevuskavale, suureneb ka raudtee elektrifitseeritud ala ulatus. Sellest plaanist lähtuvalt on ka Elronil plaanis lähiaastatel suurendada oma elektrirongide arvu [6].

Käesoleval hetkel kasutab Elron ainult Stadler FLIRT tüüpi reisiringe. Rongipargis on kokku 20 diisel- ja 18 elektrirongi, mille koosseisude suurused on 2–4 vagunit (Joonis 46). Stadler FLIRT tüüpi reisiringidega hakati teenindama alates 2013 aasta suvest ja täielikult juba 2014 aasta kevadest. Elroni ronge teenindav depoo asub Tallinnas Nõmme külje all Pääskülas (Joonis 47). Arvestades Eesti geograafilist asukohta kliimavööndi suhtes, peavad Elroni rongid sõitma väga erinevates ilmastiku oludes. Seega rongide rattapaar on loodusliku keskkonna poolt mitmel moel mõjutatud.



Joonis 46. Elroni Stadler FLIRT tüüpi 4-vaguniline reisirong [60]



Joonis 47. Elroni Pääsküla depoo. Sissesõidu vaade [61]

¹⁶ Ärinimi AS Eesti Liinirongid [74]

5.1 Elroni rongide tehniline lühikirjeldus

Raudteeveo-ettevõtte Elroni kõik Stadler FLIRT¹⁷ tüüpi reisirongid töötavad *Jacobs*¹⁸ tüüpi alusvankritel. Nende alusvankrite iseloomulik tunnus on, et nad paiknevad kahe vaguni vahel ja selliselt, et alusvanker kannab enda peal mõlemat vagunit (Joonis 48). Üldiselt kasutatakse *Jacobs* tüüpi alusvankreid reisirongides ja trammides, mis on kokku moodustatud liigendvagunitest. Selline vagunite lahendus pakub reisijatele palju hõlpsamat ja ohutumast liikumist ühest vagunist teise.



Joonis 48. *Jacobs* tüüpi alusvankri kasutus [62]

Jacobs tüüpi alusvankrite kasutuseeliseks on asjaolu, et ühe vaguni kohta läheb tarvis vähem alusvankreid ja seega ka vähem rattapaare. Selline lähenemine pakub omakorda ettevõttele kuluefektiivsemat majandamist. Võttes arvesse Elroni praeguse rongipargi suurust, mis koosneb kolmekümne kaheksast Stadler FLIRT tüüpi reisirongist, võib selle põhjal näitlikult allolevas tabelis välja tuua järgmised hooldust ja rongi teisaldamist puudutavad andmed (Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7). Kokkuvõtvalt on käesoleval hetkel alusvankreid rongipargi peale kokku on 178 ja rattapaare 356 tk.

¹⁷ FLIRT akronüüm inglise keelsest sõnast *Fast Light Intercity and Regional Train* [77]

¹⁸ Inglise keeles *Jacobs bogie*. Nimi tuleneb saksa raudtee-insenerilt Wilhelm Jakobs, 1858–1942 [76]

Tabel 5. Elroni Stadler FLIRT tüüpi reisirongide rattapaaride ja alusvankrite arvuline kogus, tk [63]

Koosseis Tüüp	Kahe vaguniline	Kolme vaguniline	Nelja vaguniline
Elektrirong (–/12/6 tk)			
Rattapaare:	–	8	10
Kokku:	–	96	60
Alusvankreid:	–	4	5
Kokku:	–	48	30
Diiselrong (6/8/6 tk)			
Rattapaare:	8	10	12
Kokku:	48	80	72
Alusvankreid:	4	5	6
Kokku:	24	40	36

Tabel 6. Elroni Stadler FLIRT tüüpi reisirongide brutokaal, t [63]

Koosseis Tüüp	Kahe vaguniline	Kolme vaguniline	Nelja vaguniline
Elektrirong (–/12/6 tk)	–	130	159
Diiselrong (6/8/6 tk)	124	148	176

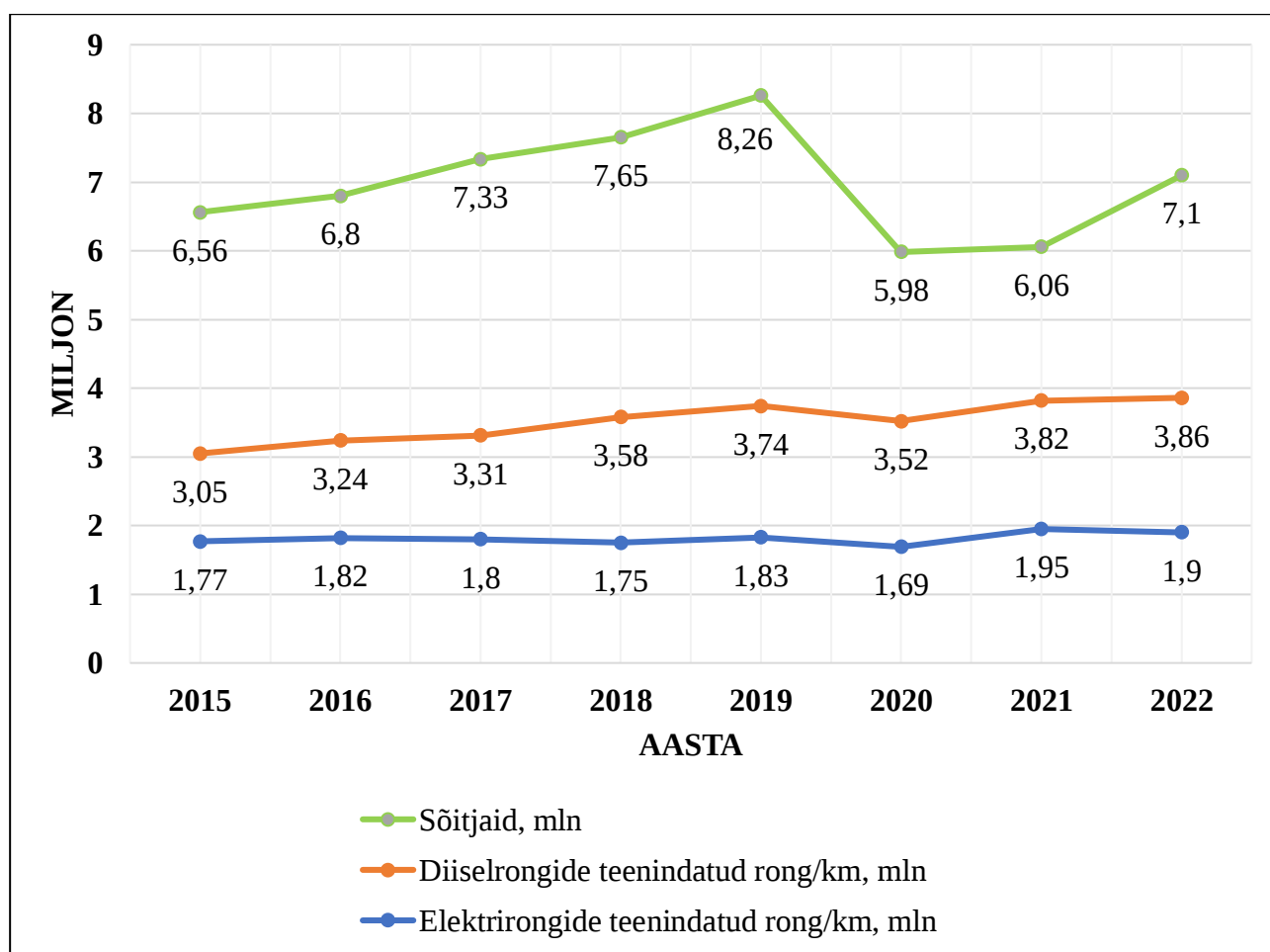
Tabel 7. Elroni Stadler FLIRT tüüpi reisirongide reisijate mahutavus, in [63]

Koosseis Tüüp	Kahe vaguniline	Kolme vaguniline	Nelja vaguniline
Elektrirongis istekohti (–/12/6 tk)	–	188	262
Elektrirongis seisukohti (–/12/6 tk)	–	160	222
Kokku:	–	348	484
Diiselrongis istekohti (6/8/6 tk)	105	161	214
Diiselrongis seisukohti (6/8/6 tk)	99	154	211
Kokku:	204	315	425

5.2 Elroni statistilised näitajad

Allolevatel joonistel (Joonis 49, Joonis 50) on välja toodud raudteeveo-ettevõtte Elroni statistilised näitajad alates aastast 2015, mil ettevõtte rongipark teenindas täielikult uute Stadler FLIRT tüüpi elektri- ja diiselreisirongidele. Ülemineku faas Stadler FLIRT tüüpi reisirongidele algas juba 2012. aasta detsembrist, kui saabus kohale esimene partii uusi ronge. Alates 2014. aasta maikuust, kui jõudsid kohale ka viimased hangitud rongid, osutab Elron riigisisest rongireisiteenust 20. diiselrongi ja 18. elektrirongiga. Joonistel (Joonis 49, Joonis 50) väljatoodud statistilised näitajad on koostatud majandusaasta-, kvartali- ja teenuse kvaliteedi aruannete põhjal. [64]

Allolev joonis (Joonis 49) näitab, et perioodil 2015–2019 oli reisijate arv positiivses tõusujoones ja kasv 26%. Peale 2019. aastat toimus järsk reisijate arvu langus. Reisijate võrdeline vähesus jätkus perioodil 2020–2021, mille põhjustas COVID-19 pandeemia puhang. 2020. aastal oli võrreldes 2019. aastaga 28% vähem reisijaid. Alates 2021 aastast on reisijate arv taas tõusvas joones liikuma hakanud. Perioodil 2015-2022 on arvutuslikult keskmiseks reisijate arvuks aastas ca 6,96 mln.



Joonis 49. Elroni rongireiside koondandmed 2015–2022 [64]

Samalt jooniselt (Joonis 49) on näha ka infot rongide läbisõidu kohta. Üldiselt on diiselrongide aastane läbisõit igakorraka kasvanud. Perioodil 2015–2022 tõusis diiselrongide läbisõit keskmiselt 27%. Diiselrongi keskmine läbisõit oli *ca* 176 000 km aastas¹⁹. Samal perioodil oli elektrirongide läbisõit stabiilsem ja keskmiselt läbis elektrirong *ca* 81 000 km aastas²⁰.

Ülaltoodu võrdluseks saab veel välja tuua asjaolu, et kuna elektri- ja diiselrongi aastase läbisõidu vahe on natukene üle kahekorra ehk 117%, kuid samas Elroni raudteevõrgustikust *ca* 17,5% on elektrifitseeritud, siis liikluskorralduslikust aspektist see omakorda tähendab, et elektrirongide sõidud olid küll lühemad, aga 4 korda sagedasemad kui diiselrongidel.

Allolev joonis (Joonis 50) näitab rongide tehnilist seisukorda perioodil 2015–2022, mis peegeldab ka depoo hooldus- ja remondisüsteemi kvaliteeti. Üldiselt antud andmete järgi võib pidada rongide töövõimet kõrgeks. Kõige stabiilsem oli elektrirong, aga seda kõigest väikese vahega. Nimetatud 8 aastasel perioodil oli elektri- ja diiselrongide keskmine töökindlus vastavalt 99,93% ja 99,78%. Samas tasub välja tuua ka tähelepaneku, et diiselronge on arvel 2 tükki rohkem. Seega kogu rongipargi üldine tehniline töökindlus sel ajal oli 99,86%.

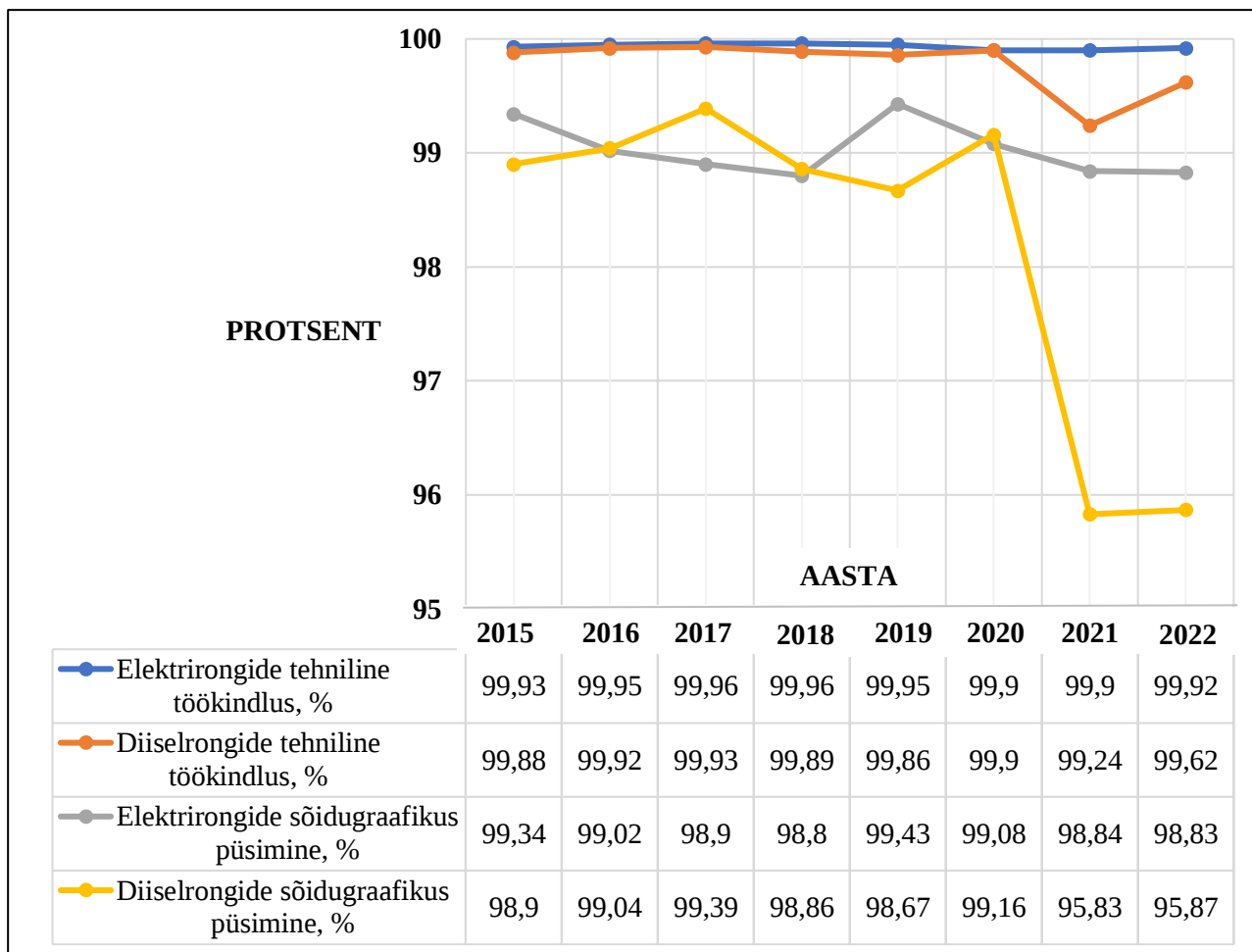
2016. aastal avastas Elron, et rongide ratta materjal ei ole sobilik Eesti ilmastikutingimustes ning seetõttu toimus ratta kiirem kulumine. Rongide kolme aastase ekspluatatsiooni järel hakati teostama kõikidel rongidel rattapaaride vahetust. Kulumi avastamisel oli arvutuslikult veeremi läbisõit elektrirongi puhul *ca* 290 000 km ja diiselrongil *ca* 480 000 km lähedale. Rattapaari vahetusprotsess kestis 2016–2018 a. Võttes arvesse asjaolu, et ratta tööiga peetakse normaalses tingimustes *ca* 1 mln kilomeetrit, siis antud juhtumi puhul on tegu 2–3 korda lühema kasutusperioodiga, mis vähendas kasutust 3–6 aastat.

Samal joonisel (Joonis 50) on välja toodud ka rongide sõiduplaani täitmine. Mõlemal rongitüübil on perioodil 2015–2022 sõidugraafiku täitmisel väikeseid kõikumisi, kuid taset võib sellest olenevalt pidada kõrgeks. Elektri- ja diiselrongide keskmine sõidugraafikus püsimine sellel ajal oli vastavalt 99,03% ja 98,21%. Samas tasub tähelepanu pöörata ka sellele, et elektrirongi raudteeliini pikkus on 138,7 km ja diiselrongil 795 km. Seega üldine sõidugraafiku täitmine sellel perioodil oli 98,7%.

Kogu rongiliiklusega seotud hiline mised ja muud häired sõiduplaani täitmisel olid statistiliselt *ca* 2/3 tingitud raudteetaritu, teetööde, avariide jne asjaoludel.

¹⁹ 2015 aastal oli liiklusteenistuses 19 diiselrongi

²⁰ 2018–2019 aastatel oli liiklusteenistuses 17 elektrirongi



Joonis 50. Elroni reisirongide tehnilised ja liikluskorralduslikud koondandmed 2015–2022 [64]

5.3 Rikkis reisirongi transportimise ajakulu teeninduspiirkonnas

Rikkis reisirongi transportimise/teisaldamise ajakulu raudteel saab arvutusliku näitena välja tuua raudtee-ettevõtte Elron teeninduspiirkonna põhjal. Näitena on allolevates tabelites (Tabel 8, Tabel 9, Tabel 10, Tabel 11) arvutuslikult välja toodud Elroni rikkis reisirongi sõiduaeg tagasi Pääsküla depoesse. Jaamade vaheline kaugus on võetud raudteetaristu-ettevõtte raudteevõrgustiku teadaande lehelt [65], [66]. Arvutusliku sõiduaja leidmisel on kasutatud tuletust kiirusevalemist (1) [67]. Tehtes ei ole arvestatud rongi kiirenduse ja pidurduse faktoriga. Elroni rongireiside teekond ja rongijaamade asukohad on väljatoodud töö lõpus kaardi peal (Lisa 7) [68]. Elron tegutseb raudteevõrgustikul, mille pikkus on 795 km.

$$t = \frac{s}{v}, \quad (1)$$

kus t – aeg;

s – tee pikkus;

v – ühtlane kiirus.

Tabel 8. Elroni edelasuunalise reisirongi transportimise ajakulu veeremi rikke korral [69], [65], [66]

Elroni rongireisi edelasuund			Keskmise sõidukiirus, km/h									
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Lähtejaam	Sihtjaam	Vahemaa, km	Aeg, min									
Pääsküla	Tallinn-Balti jaam	11,047	132,6	66,3	44,2	33,1	26,5	22,1	18,9	16,6	14,7	13,3
Tallinn-Balti jaam	Tallinn-Väike	2,947	35,4	17,7	11,8	8,8	7,1	5,9	5,1	4,4	3,9	3,5
Tallinn-Väike	Liiva	3,132	37,6	18,8	12,5	9,4	7,5	6,3	5,4	4,7	4,2	3,8
Liiva	Kiisa	17,468	209,6	104,8	69,9	52,4	41,9	34,9	29,9	26,2	23,3	21,0
Kiisa	Kohila	8,338	100,1	50,0	33,4	25,0	20,0	16,7	14,3	12,5	11,1	10,0
Kohila	Rapla	21,362	256,3	128,2	85,4	64,1	51,3	42,7	36,6	32,0	28,5	25,6
Rapla	Lelle	17,5	210,0	105,0	70,0	52,5	42,0	35,0	30,0	26,3	23,3	21,0
Lelle	Türi	26,1	313,2	156,6	104,4	78,3	62,6	52,2	44,7	39,2	34,8	31,3
Türi	Võhma	21,8	261,6	130,8	87,2	65,4	52,3	43,6	37,4	32,7	29,1	26,2
Võhma	Viljandi	30,8	369,6	184,8	123,2	92,4	73,9	61,6	52,8	46,2	41,1	37,0

Tabel 9. Elroni läänesuunalise reisirongi transportimise ajakulu veeremi rikke korral [69], [65]

Elroni rongireisi läänesuund			Keskmise kiirus, km/h					
			5	10	15	20	25	30
Lähtejaam	Sihtjaam	Vahemaa, km	Aeg, min					
Tallinn-Balti jaam	Pääsküla	11,047	133	66	44	33	27	22
Pääsküla	Keila	15,647	188	94	63	47	38	31
Keila-Paldiski								
Keila	Klooga	9,091	109	55	36	27	22	18
Klooga	Paldiski	11,583	139	69	46	35	28	23
Keila-Kloogaranna								
Keila	Klooga	9,091	109	55	36	27	22	18
Klooga	Kloogaranna	3,357	40	20	13	10	8	7
Keila-Turba								
Keila	Vasalemma	10,67	128	64	43	32	26	21
Vasalemma	Riisipere	13,947	167	84	56	42	33	28
Riisipere	Turba	6,433	77	39	26	19	15	13

Tabel 10. Elroni idasuunalise reisirongi transportimise ajakulu veeremi rikke korral [69], [65]

Elroni rongireisi idasuund			Keskmise kiirus, km/h					
			5	10	15	20	25	30
Lähtejaam	Sihtjaam	Vahemaa, km	Aeg, min					
Pääsküla	Tallinn-Balti jaam	11,047	133	66	44	33	27	22
Tallinn-Balti jaam	Ülemiste	6,469	78	39	26	19	16	13
Ülemiste	Lagedi	8,588	103	52	34	26	21	17
Lagedi	Raasiku	14,42	173	87	58	43	35	29
Raasiku	Kehra	9,78	117	59	39	29	23	20
Kehra	Aegviidu	17,299	208	104	69	52	42	35
Aegviidu	Tapa	20,908	251	125	84	63	50	42
Tapa–Narva								
Tapa	Kadrina	13,739	165	82	55	41	33	27
Kadrina	Rakvere	12,791	153	77	51	38	31	26
Rakvere	Kabala	18,025	216	108	72	54	43	36
Kabala	Sonda	9,497	114	57	38	28	23	19
Sonda	Kiviõli	6,982	84	42	28	21	17	14
Kiviõli	Püssi	4,77	57	29	19	14	11	10
Püssi	Kohtla-Nõmme	8,206	98	49	33	25	20	16
Kohtla-Nõmme	Jõhvi	12,295	148	74	49	37	30	25
Jõhvi	Oru	9,969	120	60	40	30	24	20
Oru	Vaivara	11,109	133	67	44	33	27	22
Vaivara	Narva	24,942	299	150	100	75	60	50
Tapa–Tartu								
Tapa	Tamsalu	15,102	181	91	60	45	36	30
Tamsalu	Kiltsi	8,966	108	54	36	27	22	18
Kiltsi	Rakke	11,894	143	71	48	36	29	24
Rakke	Vägeva	9,471	114	57	38	28	23	19
Vägeva	Pedja	10,029	120	60	40	30	24	20
Pedja	Jõgeva	9,355	112	56	37	28	22	19
Jõgeva	Kaarepere	12,122	145	73	48	36	29	24
Kaarepere	Tabivere	13,669	164	82	55	41	33	27
Tabivere	Kärkna	11,735	141	70	47	35	28	23
Kärkna	Tartu	10,178	122	61	41	31	24	20

Tabel 11. Elroni kagusuunalise reisirongi transportimise ajakulu veeremi rikke korral [69], [65]

Elroni rongireisi kagusuund			Keskmise kiirus, km/h					
			5	10	15	20	25	30
Lähtejaam	Sihtjaam	Vahemaa, km	Aeg, min					
Pääsküla	Tallinn-Balti jaam	11,047	133	66	44	33	27	22
Tallinn-Balti jaam	Ülemiste	6,469	78	39	26	19	16	13
Ülemiste	Lagedi	8,588	103	52	34	26	21	17
Lagedi	Raasiku	14,42	173	87	58	43	35	29
Raasiku	Kehra	9,78	117	59	39	29	23	20
Kehra	Aegviidu	17,299	208	104	69	52	42	35
Aegviidu	Tapa	20,908	251	125	84	63	50	42
Tapa–Tartu (idasuund)								
Tapa	Tamsalu	15,102	181	91	60	45	36	30
Tamsalu	Kiltsi	8,966	108	54	36	27	22	18
Kiltsi	Rakke	11,894	143	71	48	36	29	24
Rakke	Vägeva	9,471	114	57	38	28	23	19
Vägeva	Pedja	10,029	120	60	40	30	24	20
Pedja	Jõgeva	9,355	112	56	37	28	22	19
Jõgeva	Kaarepere	12,122	145	73	48	36	29	24
Kaarepere	Tabivere	13,669	164	82	55	41	33	27
Tabivere	Kärkna	11,735	141	70	47	35	28	23
Kärkna	Tartu	10,178	122	61	41	31	24	20
Tartu–Valga (kagusuund)								
Tartu	Ropka	8,768	105	53	35	26	21	18
Ropka	Nõo	6,78	81	41	27	20	16	14
Nõo	Elva	9,49	114	57	38	28	23	19
Elva	Palupera	12,381	149	74	50	37	30	25
Palupera	Puka	9,72	117	58	39	29	23	19
Puka	Keeni	12,277	147	74	49	37	29	25
Keeni	Sangaste	9,652	116	58	39	29	23	19
Sangaste	Valga	13,825	166	83	55	41	33	28
Tartu–Kodiula ja Piusa (kagusuund)								
Tartu	Reola	13,401	161	80	54	40	32	27
Reola	Vastse-Kuuste	14,578	175	87	58	44	35	29
Vastse-Kuuse	Põlva	15,081	181	90	60	45	36	30
Põlva	Veriora	17,565	211	105	70	53	42	35
Veriora	Orava	11,956	143	72	48	36	29	24
Orava	Koidula	13,226	159	79	53	40	32	26
Koidula	Piusa	6,519	78	39	26	20	16	13

5.4 Intervjuu raudtee-ettevõttega Elron

Raudtee valdkonna ekspertide kaasamiseks viidi läbi intervjuud raudtee-ettevõttega Elron. Elroni puhul on tegemist raudtee-ettevõttega, mis osutab riigisisest rongireisi teenust. Nende rongipark koosneb moodsatel Stadler FLIRT tüüpi elektri- ja diislrongidest. Lähiaastatel on ettevõtte olemasoleva rongipargi koosseisu lisandumas uued Škoda RegioPanter tüüpi elektrirongid [6]. See annab võimaluse reisirongide kvaliteedi tõstmisele läbi tihedama sõiduplaani.

Intervjuu eesmärk oli saada vastused lõputöö alljärgnevatele uurimusküsimustele:

- Kuidas on lahendatud rongireisi ettevõttes Elron veermiku rattapaari kõlbliku seisukorra monitooring;
- Kuidas on rongireisi ettevõttes Elron kaetud rikkis reisirongi teiseldamisvõimekus tehnoloogilisest ja operatiivsest vaatenurgast lähtuvalt.

Intervjuu sisuline vorm oli kvalitatiivne ja põhines poolstruktureeritud küsimustikul (Lisa 8). Intervjuust võtsid osa kokku kolm Elroni töötajat kahest erinevast osakonnast. Nende osakondade igapäevane töö on otseselt seotud lõputöö teema kontekstiga.

Lõputöö autor kontakteerus Elroni töötajatega e-posti teel ja peale nõusoleku saamist intervjuu andmiseks saadeti eelnevalt tutvumiseks intervjuu küsimustik. Intervjuu viidi läbi avatud küsimuste ja vastuste vormis, kestvusega ca 45–90 min olenevalt intervjuueeritava avameelsusest. Algselt planeeritud intervjuu pikkus oli 1 tund töötaja kohta.

Intervjuud viidi läbi suulise vestluse vormis, mis töötajate nõusolekuga kooskõlas ka salvestati. Salvestuse eesmärk oli hiljem materjali ülekuulamine, et kõik detailid saaksid korrektselt antud lõputöös kajastatud. Intervjuudes osalenud eksperdid soovisid lõputöös jääda anonüümseks ning seetõttu nende nimesid ja ametinimetusi antud lõputöös välja ei tooda.

5.4.1 Intervjuu tulemused

Kvalitatiivse intervjuu andmetele tuginedes on võimalik väita, et raudtee-ettevõtte Elron reisirongi hooldusprotsess tugineb peaaesjalikult kahel erineval strateegial. Esmalt jälgitakse rongide valmistaja poolset hooldusjuhendit, kus on välja toodud täpsed juhised veeremil hooldustööde korrashoiuks koos tehnoloogiliseks vajalike andmetega. See tähendab, et eksploatatsioonis olevad rongid läbivad korralise hoolduse kas aja või läbisõidu faktorist lähtudes, olenevalt kumb enim täitub (Tabel 12).

Tabel 12. Elroni rongide korraliste hooldustööde ajaplaan (allikas: intervjuu)

Hooldusvälp	Läbisõit, km	Aeg, kuu
P1	10 000	1
P2	30 000	3
P3	60 000	6
P4	120 000	12

Intervjuu: „Üldiselt rongide ekspluatatsioonis me järgime valmistajate juhendit. Projekti alguses valmistaja poolt oli edastatud dokumentatsiooni pakett, mis sisaldab hooldusjuhendit. Hooldusjuhendi järgi on ettenähtud erinevad hooldusvälbad.“

Teisalt teostatakse hooldus- ja remonditöid vajadusest lähtuvalt. Vajadusest tingitud hooldus- ja remonditöödeks sisend saabub hooldusmeeskonnale veeremijuhtidelt ja/või tagasisidena klienditeenindajalt. Saabunud veateated registreeritakse rikete protokollisüsteemis ning veerem saadetakse depoesse kontrolli.

Intervjuu: „/.../ me kogume infot mitte ainult hoolduse käigus, vaid saame tagasisidet meie rongibrigaadidelt. Et kui tekib rattapaaril vibratsioon, siis me kindlasti ei oota järgmist hooldust, vaid kohe kontrollime.“

Lisaks eelpool mainitud kahele peamisele strateegiale, mida raudtee-ettevõtte Elron peasjalikult hooldus- ja remonditööde korraldamisel rakendab, selgus intervjuudest, et on veel üks lähenemine, mida oleks samuti võimalik rakendada. Intervjuudest selgus, et hetkel olemas olevate töövahendite juures aitaks veeremil rattapaari defekte oluliselt tõhusamalt tuvastada, kui kasutada automaatkontrollisüsteeme. Antud lähenemine annaks selle eelise, et rattapaari seisukorra kohta saabuv info oleks kohe kättesaadav ja lüheneks reageerimisaeg. Hetkel intervjuueeritavatele teadaoleva info alusel Elroni vajadusi arvestades täisautomaatset-kontrollisüsteemi, mis teostab nii kalibreerimist, kui ka veerepinna defektide tuvastamist turul veel sobivat ei ole. Samas raudtee valdkonna tehnoloogilisi uuendusi jälgitakse ning sobiva toote jõudmisel turule plaanitakse depootehnikat täiustada.

Intervjuu: „Tehnoloogiad arenevad väga kiiresti ja ideaalis võiks meil olla automaatne süsteem, mis kontrolliks rattapaari vigastusi. Viimane kord InnoTrans'il ma olen suhelnud sama kaliibrisüsteemide valmistajaga, mis me kasutame, nendel on olemas selline automaatsüsteem, aga seal mõõdetakse automaatselt ainult profiil, see ei anna võimalust tuvastada just veerepinna vigastusi.“

Hooldus- ja remonditööde meeskonna kompetentsitaseme kvaliteedi tagamiseks korraldati uute rongide saabumisel meeskonnaliikmetele koolitusprogramm rongitootja juures. Antud perioodil saadi põhjalikku väljaõpet rongi erinevate tehnosõlmede ja iseärasuste kohta. Meeskonnaliikmed läbisid sertifikaadiga lõppenud koolitusprogrammi ning juhised, kuidas hiljem uusi meeskonnaliikmeid juhendada, et tagada kompetentside jätkusuutlik edasi andmine.

Uute meeskonnaliikmete värbamisel hooldus- ja remondimeeskonda viiakse läbi pädevate oskuste ja teadmiste omandamiseks sisekoolitus. Samuti on kehtestatud uutele meeskonnaliikmetele katseaeg, et tagada vajalike kompetentside kvaliteetne edasi andmine. Sarnast lähenemist plaanitakse kasutada ka uute reisirongide saabumisega Elroni rongiparki lähiaastatel. Lisaks Elroni hooldus- ja remondimeeskonna lähenemisele korraldab periooditi rattapaari seisukorda puudutavaid nõuete alaseid koolitusi ka raudteetaristu-ettevõtte.

Intervjuu: „/.../ alustasime koolitusprotsessiga, kus saime lisakoolituse Eesti Raudtee poolt just rattapaaride vigastuste kohta.“

Vigase veeremi transport raudtee-ettevõttes Elron on korraldatud operatiivüksuse ehk avariibrigaadi kaasamise abil. Intervjuudest selgus, et sõltuvalt rikkest üritab avariibrigaad selle liinil korda saada. Kui see ei ole võimalik ning vigane veerem vajab transporti depoosse, teostatakse remonditööd depoos. Depoos asub ka lisarong ehk reservrong, mida rakendatakse siis, kui ringluses oleval reisirongil ei ole võimalik tööd turvaliselt ja kvaliteetselt edasi teha. Rikki läinud rong pukseeritakse liinil oleva teise rongi kaasabil. Kui antud lähenemine ei ole võimalik, siis kasutatakse pukseerimiseks rongi depoost, mille kaasabil pukseerimine teotatakse.

Olukorras, kus rattapaar on lakanud töötamast ja pukseerimine ei ole mõistlik on Elronil olemas abivanker, mille kaasabil on võimalik vigane veerem raudteelt eemaldada. Antud operatsiooni kaastakse lisaks Elroni avariibrigaadile ka raudteetaristu-ettevõtte pääsemeeskond koos spetsiaalse tehnikaga, sh kraana, tungraud jms. Kuna veeremi tõsteprotsessi näol on tegemist väga erakordse ja suuremahulise tööga, siis kasutab Elron siinkohal raudteetaristu-ettevõtte sellealaseid eksperte, et tagada tööprotseduuride sujuv ja tõhus korraldus.

Intervjuu: „Me tihedalt suhtleme Eesti Raudtee päästemeeskonnaga, et kuna nemad aitavad mitte ainult reisironge, vaid ka kaubaronge, siis mõistlik, kuna neil on see pädevus olemas ja maksimaalselt varustatud.“

6 JÄRELDUS

Raudteel on rikkis veeremit võimalik minema transportida kahel viisil, kas pukseerides või sõidab veerem ise omal jõul minema kasutades selleks vastavaid abiseadmeid nagu rattapaari päästevankrit. Mõlemal juhul, kuigi nad on efektiivsed meetodid ning lõppkokkuvõttes teevad oma töö ära, võib tegemist olla vägagi ajakuluka protsessiga, mis kindlasti häirib ülejäänud rongiliiklust. Ülaltoodud Elroni rongireiside tabelist on näha, et kui Tartu–Pääsküla depoo vahemaa on ca 202 km ja liikudes keskmise sõidukiirusega 30 km/h kulub vahemaa läbimiseks ligikaudu 6 tundi 45 minutit.

Samas kui on tekkinud rike rattapaari konstruktsioonis, siis tõenäoliselt sõiduajal kahjustab see veeremit ennast veelgi rohkem, on rööbast maha sõidu oht ning kannatada saab ka raudteetaristu. Rongi edasine liikumine toimub kas piiratud kiirusel ja kõrgendatud valve all või tuleb rong seisma jätta ning teostada päästeoperatsioon.

Rattapaar kui veeremi oluline mehaaniline element on loomupoolest kulumaterjal ja nõuab regulaarset seisukorra järelvalvet ja periooditi hooldustöid. Rattapaari rikete ennetamiseks on olemas mitmed veatuvastamise seadmeid, mida saab kasutada nii depoos kui raudteel. Nende kasutamine eeldab hästitoimivat seiresüsteemi ja spetsialistidest koosnevat järelvalve personali. Samuti tuleks korraldada periooditi rongi teisaldamisvõimaluste praktilisi harjutusi, et meeskond oleks reaalse ohuolukorra lahendamiseks võimalikult efektiivselt valmis.

Raudteeveo-ettevõtja tegevus rikkis rattapaari ennetamisel ja remontimisel eeldab varuosade süsteemset laomajandust, ettenägelikkust tarneaegade suhtes ning põhjalikku hooldustööde planeerimist. Päästmistehnika, mis on mõeldud seisma jäänud rongi teisaldamiseks liinil, peab olema töökorras ja selle kasutamisel ohutud töövõtted selged.

Juhtratastega eriveeremi lisamine päästetehnika inventari on suurem finantsiline otsus raudteeveo-ettevõtte jaoks. Seetõttu on oluline, et antud lahendus rikkis rongi teisaldamiseks on majanduslikult läbimõeldud ja kasutegureid põhjalikult analüüsitud. Siinkohal ei tasu unustada ka pukseerimise võimalust, kui ühte rikkis rongi teisaldamise võimalustest. Antud juhul aga vajab analüüsimist ajakulu, mida pukseerimine nõuab ning selle mõju reisirongi sõiduplaani terviklikule toimimisele. Paljuki sõltub see sellest kui suur on veo territoorium ja kas raudtee on ühe- või mitmeteeline. Töös olevatest raudtee-ettevõtte Elroni andmetest saab järeldada, et rongide seisukorra süsteemi järelvalve ja hooldus hoiab ära vajaduse kalli päästetehnika omamise, mida saab vajadusel teenusena sisse osta. Teisalt tähendab see sõltumist teenusepakkuja operatiivsusest ja valmisolekust.

KOKKUVÕTE

Antud lõputöö püstitatud eesmärgiks oli tutvuda raudteeveeremi rattapaaril esinevate riketega ning vaadelda võimalikke lahendusi, kuidas kõige sujuvamalt rikked rattapaariga liinil olevat reisirongi turvaliselt minema teisalda. Ohutu liiklemine raudteel sõltub suuresti rongi rattapaari konstruktsioonilisest seisukorrast, mistõttu on oluline, et sellele pööratakse erilist tähelepanu. Teisalt on oluline pöörata tähelepanu ka sellele, et kui jaamavaheline raudteelõik on üheteeline, siis rikked seisma jäänud rong mõjutab oluliselt ülejäänud reisirongide liiklusgraafiku täpsust.

Lõputöös on välja toodud Euroopa Liidu viimase aastakümne statistilised andmed raudteeliikluse kohta. Antud andmetest selgub, et kui ohutuse ja turvalisuse valdkonnas on märgata positiivset trendi, siis rattapaari rikkejuhtumid on jäänud erinevate aastate lõikes stabiilseks. Võttes arvesse tõsiasja, et Euroopa Liidu laiem plaan on märgatavalt suurendad raudteevedude arvu, kaasates sinna osaliselt praeguseid maanteetranspordi vedusid, seab see trend senisest suurema vastutuse raudteesektori sujuvale toimimisele.

Antud lõputöö vaatles raudteeveeremi rattapaari kolmest kooste osast – ratas, telg ja laager. Selle käigus tuvastati nende tööülesanne ja kulumiskohad. Lõputöös tuuakse välja kuidas mõjutavad kirjeldatud komponentide rikked potentsiaalselt veeremit, taristut ja ühiskonna arvamust transpordiliigi vastu.

Rattapaari rikke tõttu seisma jäänud reisirongi minema transportimiseks on töös välja toodud mitmed variandid. Tutvustatud nende võimalike kasutamisolukordi ja kitsaskohti, sh liikumiskiirus. Samuti tutvustas antud töö teisi lisaseadmeid, mida läheb teisdaldamistööks vaja.

Töö viimases osas vaadeldi raudtee-ettevõtte Elron näitel rongireiside ligikaudset ajakulu rikkis reisirongi transportimisel ning toodi välja antud protseduuri ajaline kulu. Samuti annab aimduse kuidas see mõjutab sõiduplaani. Lisaks viidi läbi intervjuud antud valdkonna ekspertidega Elronist ja uuriti kuidas on sarnaste probleemide lahendamine antud ettevõttes organiseeritud.

Kõike töös kirjeldatud faktoreid arvesse võttes võib kokkuvõtvalt väita, et rattapaari tehnilist seisukorda tuleb regulaarselt ja põhjalikult töökodades/depoos kontrollida. Lisaks sellele on oluline, et taristul on olemas võimekus ning vastava väljaõppega eksperdid, kes oskavad rongi rattapaaride seisukorda jooksvalt vastava seiresüsteemi abil jälgida. Sellisel juhul on tagatud rongide sujuv liikumine raudteetaristul, raudtee-ettevõtte suudab hoida kõrget taset transpordi teenuse pakkumisel ning arengukavas etteseatud raudteetranspordi senisest suurem kasutus muutub võimalikuks.

SUMMARY

The aim of this thesis *The Faulty Rolling Stock Transportation Opportunities on the Railway* was to look at the failures occurring on the train wheelset and to explore the possible solutions on how to move the faulty train on the railway most safely.

Safety on a railway depends heavily on the structural conditions of the train wheelset, which is why it is important that it gets the utmost attention. On the other hand, it is also important to pay attention to the fact that if the railway section between the stations is a single-track railway, then a train that is forced to stop due to a failure, will significantly affect the accuracy of the traffic schedule in the whole system.

This thesis presented the statistical data from the last decade of the European Union's railway traffic. From the given data, it is clear that while a positive trend can be seen on the field of safety and security, the number of wheelset failures has remained stable across the years. Taking into consideration the fact that the broader development plan of the European Union is to significantly increase the number of railway transport, partially including the current road transport, this trend places a greater responsibility than before on the smooth functioning of the railway sector.

This thesis examined the railway rolling stock wheelset from three parts of the assembly – wheel, axel and bearing. In the process, their main tasks and places of wear were identified. The thesis points out how the failures of the above-mentioned components potentially affect the rolling stock, infrastructure and the society's opinion of the railway transportation.

The paper presents several options on how to transport a faulty train that has been forced to stop due to a failure on the wheelset, introduced possible usage situations and disadvantages of these options, including movement speed. In addition to this, this paper also introduced other accessories that are necessary in order to move a faulty train away from the railway. Also in the last part of this paper, the calculated approximate time spent on transporting a faulty train back to Pääsküla depot was examined using the example of Elron's trains service area.

In the last part of this thesis, using the example of the railway company Elron, the approximate time cost of train journey when transporting a faulty passenger train was examined, the given time cost was introduced and what it required from the perspective of the train traffic planning. The author also conducted interviews with the experts on this field from Elron and it was investigated how the solution of similar problems is organized in this company.

In conclusion, taking into account all the above-mentioned factors described in this paper, it is fair to say that the technical conditions of a wheelset must be regularly and thoroughly checked in the workshop/depot. In addition to this, it is also important that the railway company has the capacity and experts with appropriate training experience who know how to monitor the conditions of the wheelset on an ongoing basis by using appropriate monitoring systems. In this case, the smooth drive of trains on the railway is guaranteed, the railway company can maintain a high level of service, and the greater use of train transport can be assured as set out in the development plan.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] European union agency for railways, *Report on railway safety and interoperability in the EU*, 2022, 22 juuni 2022.
- [2] Majadnus- ja kommunikatsiooniministeerium, *Transpordi ja liikuvuse arengukava 2021–2035*, 2021.
- [3] A. Amini, M. Entezami, Z. Huang, H. Rowshandel ja M. Papaelias, „Wayside detection of faults in railway axle bearings using time spectral kurtosis analysis on high-frequency acoustic emission signals,” Sage journals (SAGE Publications Ltd), 2016.
- [4] „Eur-Lex,” 12 oktoober 2012. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=celex%3A12012E%2FTXT>. [Kasutatud 28 detsember 2022].
- [5] European Commison, „Fourth railway package of 2016“.
- [6] AS Eesti Liinirongid, „Elron,” AS Eesti Liinirongid, 29 oktoober 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://elron.ee/elronist/uudised/uued-rongid-ehitab-skoda>. [Kasutatud 28 detsember 2022].
- [7] L. Knapcikova ja R. Konings, „European railway infrastructure: A review,” september 2018.
- [8] Eurostat, „Railway safety statistics in the EU,” Eurostat, jaanuar 2022. [Võrgumaterjal]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Railway_safety_statistics_in_the_EU#Continued_fall_in_the_number_of_railway_accidents. [Kasutatud 28 detsember 2022].
- [9] „Riigi Teataja,” 31 oktoober 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/130032021008?leiaKehtiv>. [Kasutatud 28 detsember 2022].
- [10] M. Rezapour ja F. R. Ferraro, „Rail Transport Delay and Its Effects on the Perceived Importance of a Real-Time Information,” Frontiers, 2021.
- [11] „The Contact Patch,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://the-contact-patch.com/book/rail/r1610-the-wheelset>. [Kasutatud 4 detsember 2022].
- [12] Amsted Rail, „Bogie Assembly Systems & Components,” Amsted Rail, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.amstedrail.com/products/transit-rail-offerings/bogies-assembly-system-components/>. [Kasutatud 4 detsember 2022].
- [13] Railway Technology, „Railway wheelsets,” Railway Technology, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.railway-technology.com/products/railway-wheelsets/>. [Kasutatud 4

detsember 2022].

- [14] A. Bracciali, „Railway Wheelsets: History, Research and Developments,“ *International Journal of Railway Technology*, jaanuar 2016.
- [15] AS Eesti Raudtee, „Eesti Raudtee,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evr.ee/files/96--TE-lisa.pdf>. [Kasutatud 6 detsember 2022].
- [16] SKF, Bogie designs.
- [17] A. Cunha, R. V. Bôas, S. Fonseca ja P. Mei, „Effect of microalloying on structure and properties of hot rolled 0.5 % C steel,“ *Journal of Metallurgical Engineering*, aprill 2013.
- [18] K. Sreenivas ja A. A. Kumar, „Desing & analysis of railwheel failure,“ *International Research Journal of Engineering and Technology*, kd. 04, nr 12, detsember 2017.
- [19] Amsted Rail, „Wheels,“ Amsted Rail, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.amstedrail.com/products/freight-car-components/wheels/>. [Kasutatud 4 detsember 2022].
- [20] South Western Railway, „South Western Railway,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://swr.indianrailways.gov.in/cris/uploads/files/1516706478968-Wheel%20Defects.pdf>. [Kasutatud 6 detsember 2022].
- [21] T. A. Zucarelli, M. A. Vieira, L. M. Filho, D. Reis ja L. Reis, „Failure analysis in railway wheels,“ 2016.
- [22] Rail News Center, „Wheels Defects,“ Rail News Center, 10 detsember 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.railnewscenter.com/wheels-defects/railway-employee/>. [Kasutatud 5 detsember 2022].
- [23] Anyang General International Co., Ltd (AGICO), „Railway Turnout,“ AGICO group, [Võrgumaterjal]. Available: http://www.railroadpart.com/uploads/allimg/single_crossover_railway_turnout.jpg. [Kasutatud 28 detsember 2022].
- [24] L. Jing, „Wheel-Rail Impact by a Wheel Flat,“ %1 *Modern Railway Engineering*, IntechOpen, 2017.
- [25] J. Jafferson ja A. Prasad, „Finite element model of wheel – Rail impact due to flat spot,“ *Materials Today: Proceedings*, veebruar 2021.
- [26] RailTarget, „The biggest railway accidents: Eschede-Germany,“ RailTarget, 11 november 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.railtarget.eu/passenger/the-biggest-railway->

- accidents-eschede-deutschland-48.html. [Kasutatud 7 detsember 2022].
- [27] M. Schroeder, „The Cost of Comfort: The 1998 Eschede Train Derailment,“ Medium, 24 detsember 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://mx-schroeder.medium.com/the-cost-of-comfort-the-1998-eschede-train-derailment-4809dde1c450>. [Kasutatud 7 detsember 2022].
- [28] Railway Technology, „Railway axles,“ Railway Technology, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.railway-technology.com/products/railway-axles/>. [Kasutatud 6 detsember 2022].
- [29] RailSystem, „Rail gauges,“ RailSystem, [Võrgumaterjal]. Available: <https://railsystem.net/rail-gauges/>. [Kasutatud 7 detsember 2022].
- [30] K. Hirakawa, K. Toyama ja M. Kubota, „The analysis and prevention of failure in railway axles,“ *International journal of fatigue*, 1998.
- [31] Zerbst, Beretta, Köhler, Lawton, Vormwald, Beier, Klinger, Černý, Rudlin, Heckel ja Klingbeil, „Safe life and damage tolerance aspects of railway axles – A review,“ *Engineering Fracture Mechanics*, jaanuar 2013.
- [32] B. Schmid ja F. Dohmen, „Prosecutors Open Investigation into Derailed Train,“ Spiegel International, 11 juuli 2008. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.spiegel.de/international/germany/high-speed-rail-accident-prosecutors-open-investigation-into-derailed-train-a-565278.html>. [Kasutatud 7 detsember 2022].
- [33] C. Klinger, D. Bettge, R. Häcker, T. Heckel, D. Gohlke ja D. Klingbeil, „Failure Analysis on a Broken ICE3 Railway Axle,“ ESIS TC24 Railway Structures, 2010.
- [34] V. Brundisch, „Axle bearings and condition monitoring for railway vehicles,“ *Global Railway Review*, 18 märts 2016.
- [35] M. Entezami, C. Roberts, P. Weston, E. Stewart, A. Amini ja M. Papaelias, „Perspectives on railway axle bearing condition monitoring,“ *Journal of Rail and Rapid Transit*, veebruar 2019.
- [36] Schaeffler, „Axlebox Bearings for Freight Cars,“ Schaeffler, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.schaeffler.com.tr/en/products-and-solutions/industrial/industry_solutions/rail/axlebox_bearings_freight_cars/. [Kasutatud 9 detsember 2022].
- [37] A. Milne, „Good vibrations,“ RailEngineer, 18 mai 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.railengineer.co.uk/good-vibrations/>. [Kasutatud 28 detsember 2022].
- [38] R. Chan, „Axle bearing collapse cause of rail fire,“ RailExpress, 22 jaanuar 2022.

- [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.railexpress.com.au/axle-bearing-collapse-cause-of-rail-fire/>. [Kasutatud 17 detsember 2022].
- [39] C. Tarawneh, J. Aranda, V. Hernandez ja C. Ramirez, „An analysis of the efficacy of wayside hot-box detector data,” University Transportation Center for Railway Safety.
- [40] Voestalpine Railway Systems, „PHOENIX MDS Hot Box Detection and Hot Wheel Detection,” Voestalpine Railway Systems, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.voestalpine.com/railway-systems/en/products/phoenix-mds-hbd-hwd-hot-box-detection-and-hot-wheel-detection/>. [Kasutatud 27 detsember 2022].
- [41] SKF, Railway technical handbook. Volume 1, 2011.
- [42] U.S. Department of Transportation Federal Railroad Administration, An Implementation Guide for Wayside Detector Systems, 2019.
- [43] Nextsense, Nextsense, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.nextsense-worldwide.com/en/industries/railway/wheel-profile-measuring-tool.html>. [Kasutatud 27 detsember 2022].
- [44] Paragon Instrumentation Engineers Pvt. Ltd., „Wheel Wear Measuring Gauges,” Paragon Instrumentation Engineers Pvt. Ltd., [Võrgumaterjal]. Available: <https://paragoninstruments.com/railway-measurement/tyre-defect-gauge-model-tdg-1/>. [Kasutatud 5 detsember 2022].
- [45] A. Schwarz, „Hellertal startbilder,” 15 september 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <https://hellertal.startbilder.de/bild/Deutschland~Detailaufnahmen~Kupplungen/367540/detail-scharfenbergkupplung-schaku-typ-10-mit.html>. [Kasutatud 3 jaanuar 2023].
- [46] The American Society of Mechanical Engineers, „ASME. #267 Janney Coupler,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.asme.org/about-asme/engineering-history/landmarks/267-janney-coupler>. [Kasutatud 3 jaanuar 2023].
- [47] AS Eesti Raudtee, „Eesti Raudtee. Rongiliikluse ja manöövritöö ohutu korraldamise juhend,” 29 märts 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evr.ee/files/Rongiliikluse-ja-man-vrit----ohutu-korraldamise-juhend-2022-juh-otsus-637-12-29-03-2022.pdf>. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].
- [48] R. Lütsepp, „Eestimaa rongid. Stadler FLIRT diislrong,” 2012. [Võrgumaterjal]. Available: <http://est-train.ertas.eu/photos/larges/1375301202.jpg>. [Kasutatud 3 jaanuar 2023].
- [49] K. N, „Pinterest,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.pinterest.com/pin/557953841315773512/>. [Kasutatud 3 jaanuar 2023].

- [50] Zagro Group, „Zagro. Unimog Shunter up to 1000 tons,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.zagro-group.com/en/products/shunting-vehicles/unimog-shunters>. [Kasutatud 3 jaanuar 2023].
- [51] Daimler Truck AG, „Special mercedes-benz trucks,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://special.mercedes-benz-trucks.com/en/unimog/road-rail-operations/tending-the-rails.html>. [Kasutatud 3 jaanuar 2023].
- [52] Zagro Group, „Zagro. Auxiliary Car Dolly,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.zagro-group.com/fileadmin//media/downloads/zweiweg/ZWEIWEG_Hilfsabschleppwagen_DOLLY_Flyer.pdf. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].
- [53] Railquip, Inc, „Railquip. Locked Axle Dollies,“ Railquip, [Võrgumaterjal]. Available: <https://railquip.com/product/locked-axle-dollies/>. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].
- [54] Lukas Hydraulik GmbH, „Lukas. Dolly XL,“ Lukas, [Võrgumaterjal]. Available: <https://lukas.com/rerailing/en/products/equipment/167/dolly-xl?c=372>. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].
- [55] millemille, „Rail UK forums,“ 26 november 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.railforums.co.uk/threads/failed-train-twyford-2330-hrs-sunday-21st-november.225166/page-2>. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].
- [56] Lukas Hydraulik GmbH, „Lukas. HP 25 / T 185 R,“ Lukas, [Võrgumaterjal]. Available: <https://lukas.com/rerailing/en/products/rerailing-systems/176/hp-25/t-185-r?c=374>. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].
- [57] Lukas Hydraulik GmbH, „Lukas. Bridge 85 x,“ Lukas, [Võrgumaterjal]. Available: <https://lukas.com/rerailing/en/products/rerailing-systems/196/bridge-85-x....?c=374>. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].
- [58] Lukas Hydraulik GmbH, „Lukas. Control Desk CU 4DVV,“ Lukas, [Võrgumaterjal]. Available: <https://lukas.com/rerailing/en/products/rerailing-systems/157/control-desk-cu-4dvv?c=374>. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].
- [59] Lukas Hydraulik GmbH, „Lukas. GC 650 E-2POWER,“ Lukas, [Võrgumaterjal]. Available: <https://lukas.com/rerailing/en/products/rerailing-systems/150/gc-650-e-2power>. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].
- [60] „Tervise geenius,“ Geenius Meedia OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://tervise.geenius.ee/rubriik/uudis/elron-annab-aru-miks-inimesed-rongides-maski-ei-kanna-ja-kas-teenindaja-saab-maskita-reisija-valja-tosta/>. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].

- [61] Tibukonn, „Vikipeedia,“ 24 aprill 2022. [Võrgumaterjal]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AS_Elroni_P%C3%A4%C3%A4sk%C3%BCla_de_poo.jpg#/media/File:AS_Elroni_P%C3%A4%C3%A4sk%C3%BCla_de_poo.jpg. [Kasutatud 29 aprill 2023].
- [62] „Europe Train Lab,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://europe-train-lab.com/www/portfolio/europe/france/train/tgv/duplex-old.html>. [Kasutatud 29 aprill 2023].
- [63] AS Eesti Liinirongid, „Elron. Elroni rongid,“ AS Eesti Liinirongid, [Võrgumaterjal]. Available: <https://elron.ee/elronist/elroni-rongid>. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].
- [64] „Elron. Hanked ja dokumendid,“ AS Eesti Liinirongid, [Võrgumaterjal]. Available: <https://elron.ee/ulldinfo/hanked-ja-dokumendid>. [Kasutatud 30 aprill 2023].
- [65] AS Eesti Raudtee, „Eesti Raudtee. Raudteevõrgustiku teadeanne liiklusgraafikuperioodiks 2021-2022. Lisa 4 (3) Andmed rongkilomeetrite arvutamiseks reisijateveol,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evr.ee/files/Protokoll-2021-609-RVT--LISA-4-3-.pdf>. [Kasutatud 3 jaanuar 2023].
- [66] Edelaraudtee AS, „Edelaraudtee. Raudteevõrgustiku teadeanne liiklusgraafikuperioodiks 2022-2023,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://edel.ee/wp-content/uploads/2022/01/Rdrtv-teadaanne-Edelaraudtee-AS-2022-23.pdf>. [Kasutatud 3 jaanuar 2022].
- [67] OÜ Trinity Capital, „Valem. Kiirus,“ OÜ Trinity Capital, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.valem.ee/et/kiirus>. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].
- [68] AS Eesti Raudtee, „Eesti Raudtee jaamad,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.evr.ee/images/ER_kaart_edited_sept2020indd.jpg. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].
- [69] AS Eesti Liinirongid, „Elron. Sõiduplaanid,“ AS Eesti Liinirongid, [Võrgumaterjal]. Available: <https://elron.ee/soiduinfo/soiduplaanid>. [Kasutatud 3 jaanuar 2023].
- [70] AS Eesti Raudtee, „Eesti Raudtee,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evr.ee/files/67--TE-lisa.pdf>. [Kasutatud 5 detsember 2022].
- [71] Vikipeedia, „SKF,“ Vikipeedia, [Võrgumaterjal]. Available: <https://et.wikipedia.org/wiki/SKF>. [Kasutatud 28 detsember 2022].
- [72] Ohutusjuurdluse Keskus, „Ohutusjuurdluse Keskus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://ojk.ee/>. [Kasutatud 28 detsember 2022].
- [73] Eur-Lex, „Valge raamat,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=LEGISSUM:white_paper. [Kasutatud detsember 2022].
- [74] AS Eesti Liinirongid, „Elron. Organisatsioonist,“ Elron, [Võrgumaterjal]. Available:

- <https://elron.ee/elronist/organisatsioonist>. [Kasutatud 4 jaanuar 2023].
- [75] Tarbijakaitse ja Tehnilise Järevalve Amet, „Tutvustus ja struktuur,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ttja.ee/ariklient/ametist/ametist/tutvustus-ja-struktuur>. [Kasutatud 28 detsember 2022].
- [76] „Trackopedia,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.trackopedia.com/en/encyclopedia/railway-vehicles/types-of-bogies>. [Kasutatud 29 aprill 2023].
- [77] „Stadler,“ Stadler Rail AG, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.stadlerrail.com/en/products/>. [Kasutatud 29 aprill 2023].

LISAD

Lisa 1. Lihkelohu sügavus üle lubatu

Lisa 2. Harja paksus alla lubatu

Lisa 3. Harja kõrgus lubatust suurem

Lisa 4. Harja jalami kumerus alla lubatu

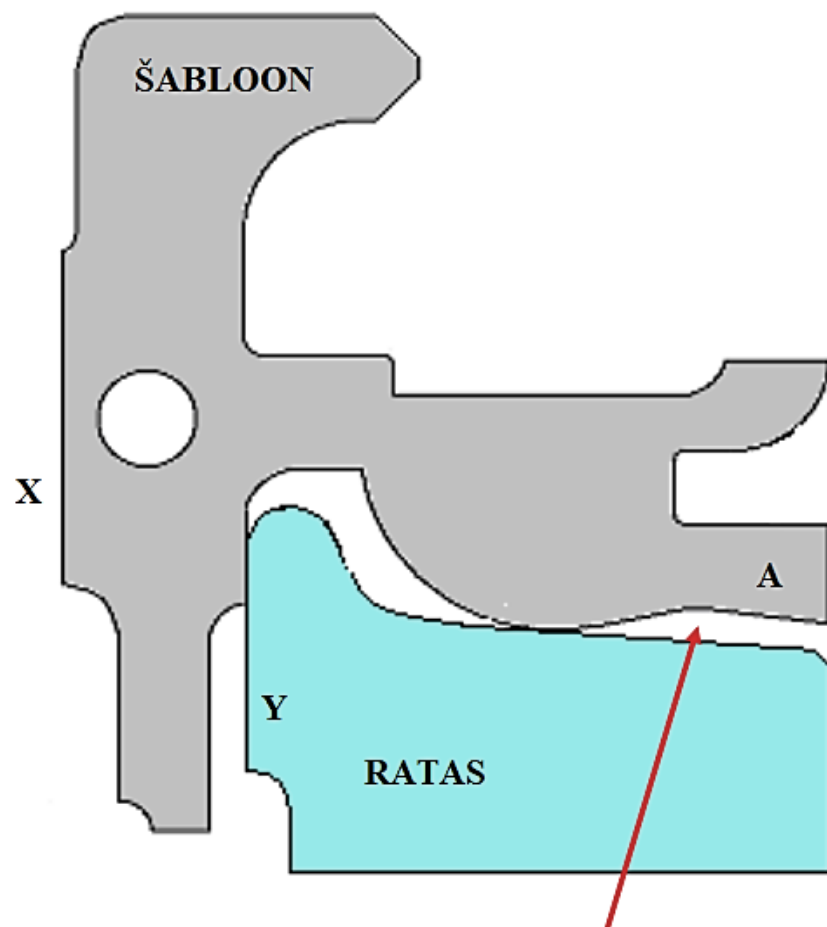
Lisa 5. Teravatipuline harja kulum

Lisa 6. Veereringi ebaühtlane kulum

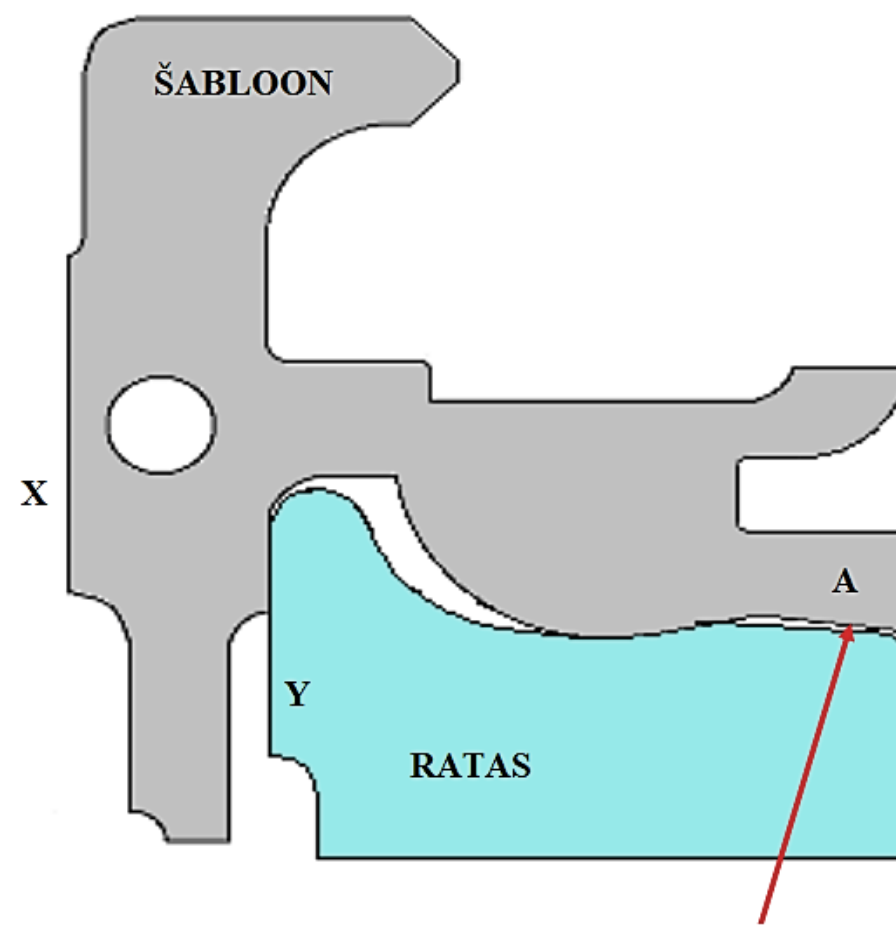
Lisa 7. Elroni rongireisi kaart

Lisa 8. Intervjuu küsimused

Lisa 1. Lihkelohu sügavus üle lubatu

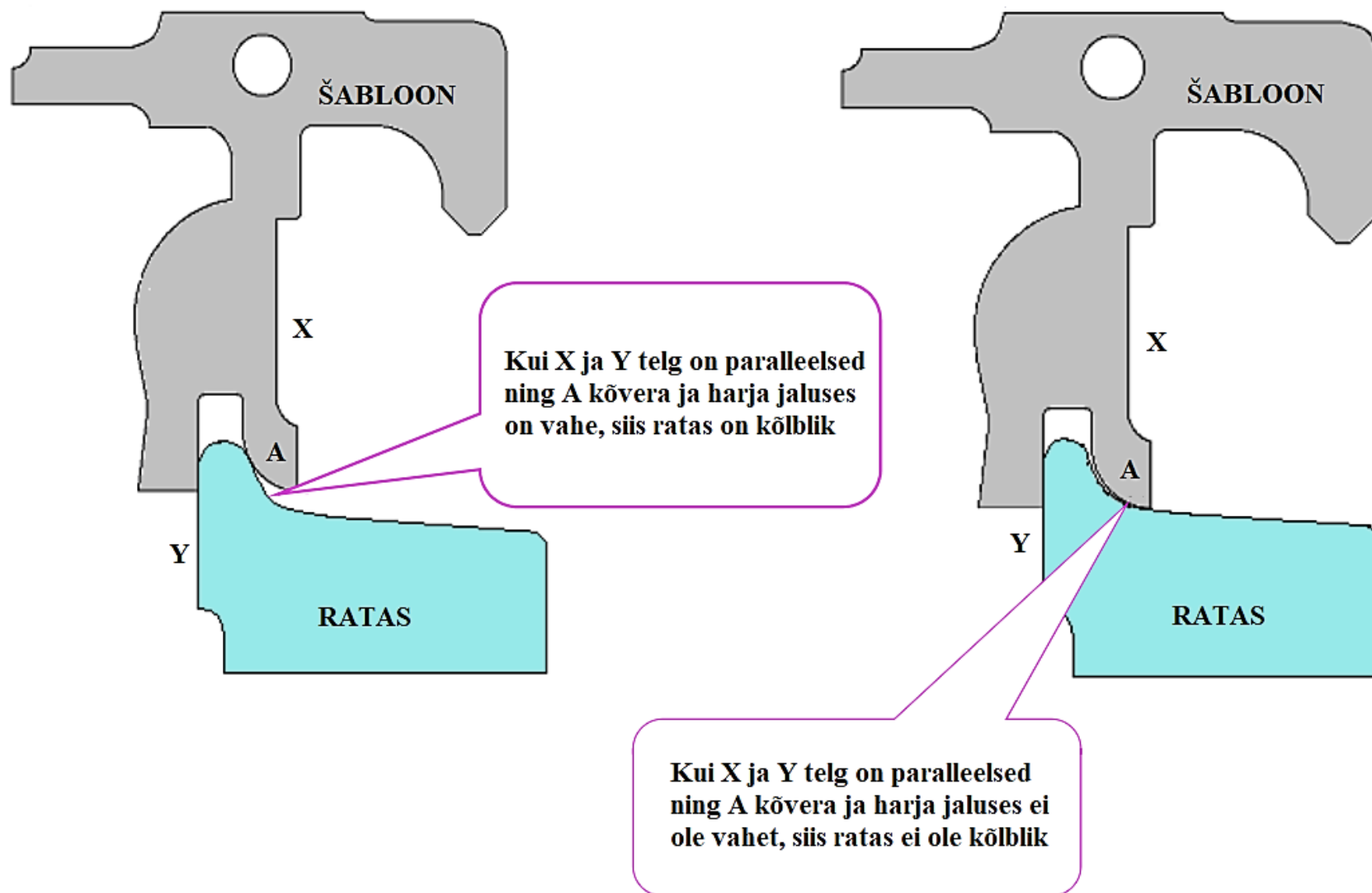


Kui X ja Y telg on paralleelsed ning A sektori ja veereringi vahel on ava, siis ratas on kõlblik

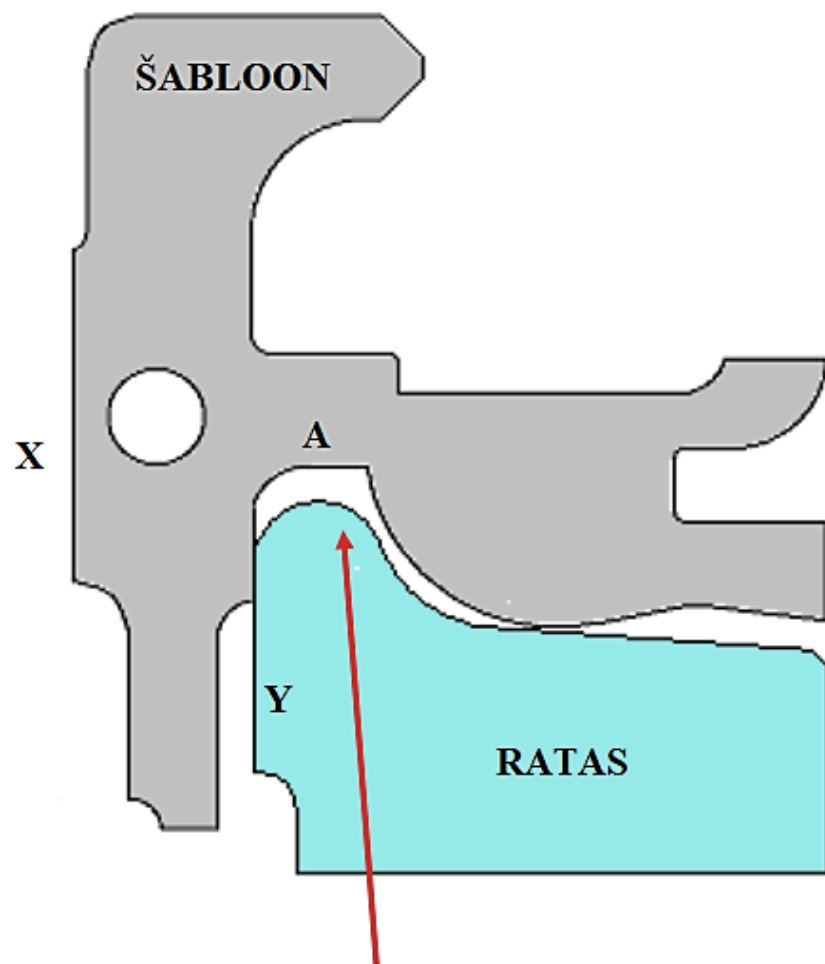


Kui X ja Y telg on paralleelsed ning A sektor ja veerering on kontaktis, siis ratas ei ole kõlblik

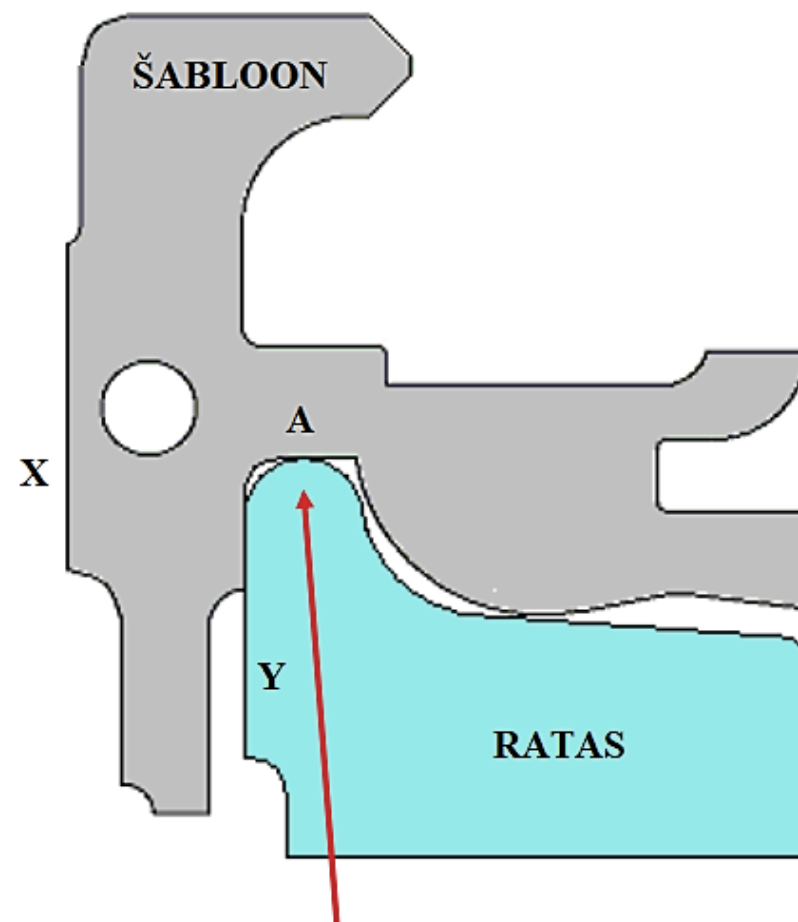
Lisa 2. Harja paksus alla lubatu



Lisa 3. Harja kõrgus lubatust suurem

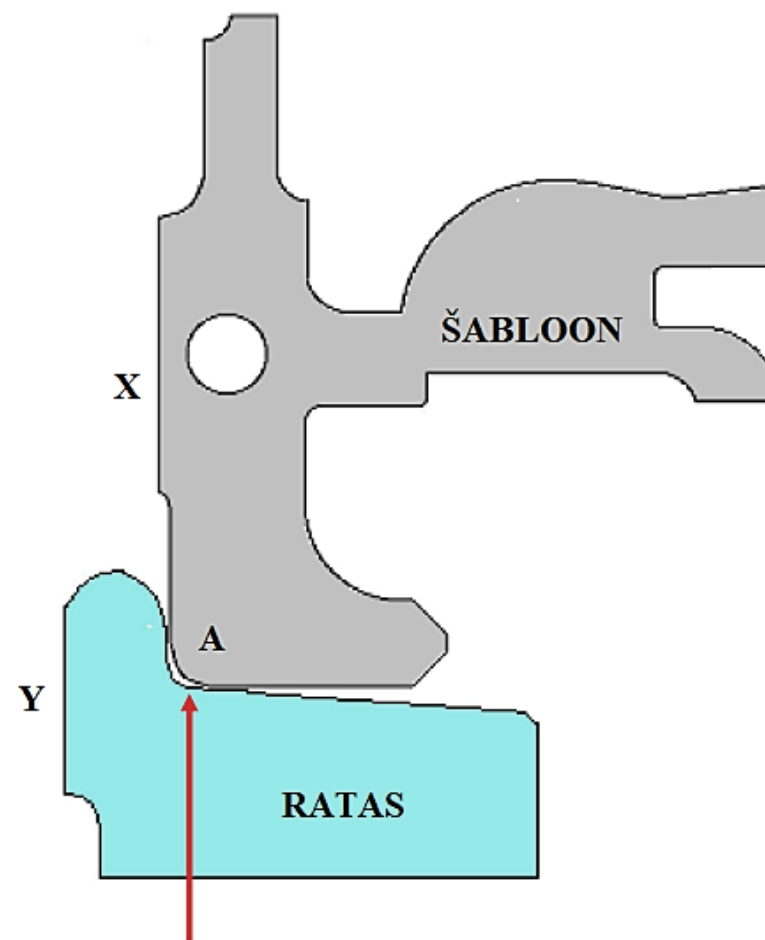
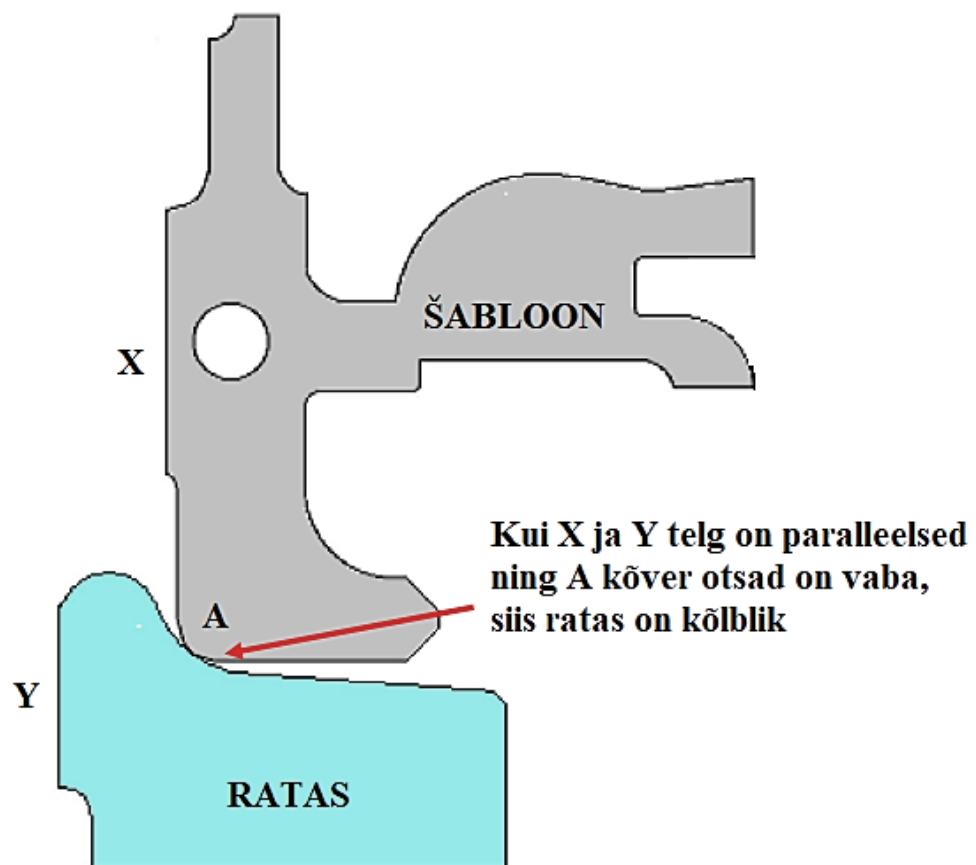


Kui X ja Y telg on paralleelsed ning A sektori ja harja tipu vahel on ava, siis ratas on kõlblik



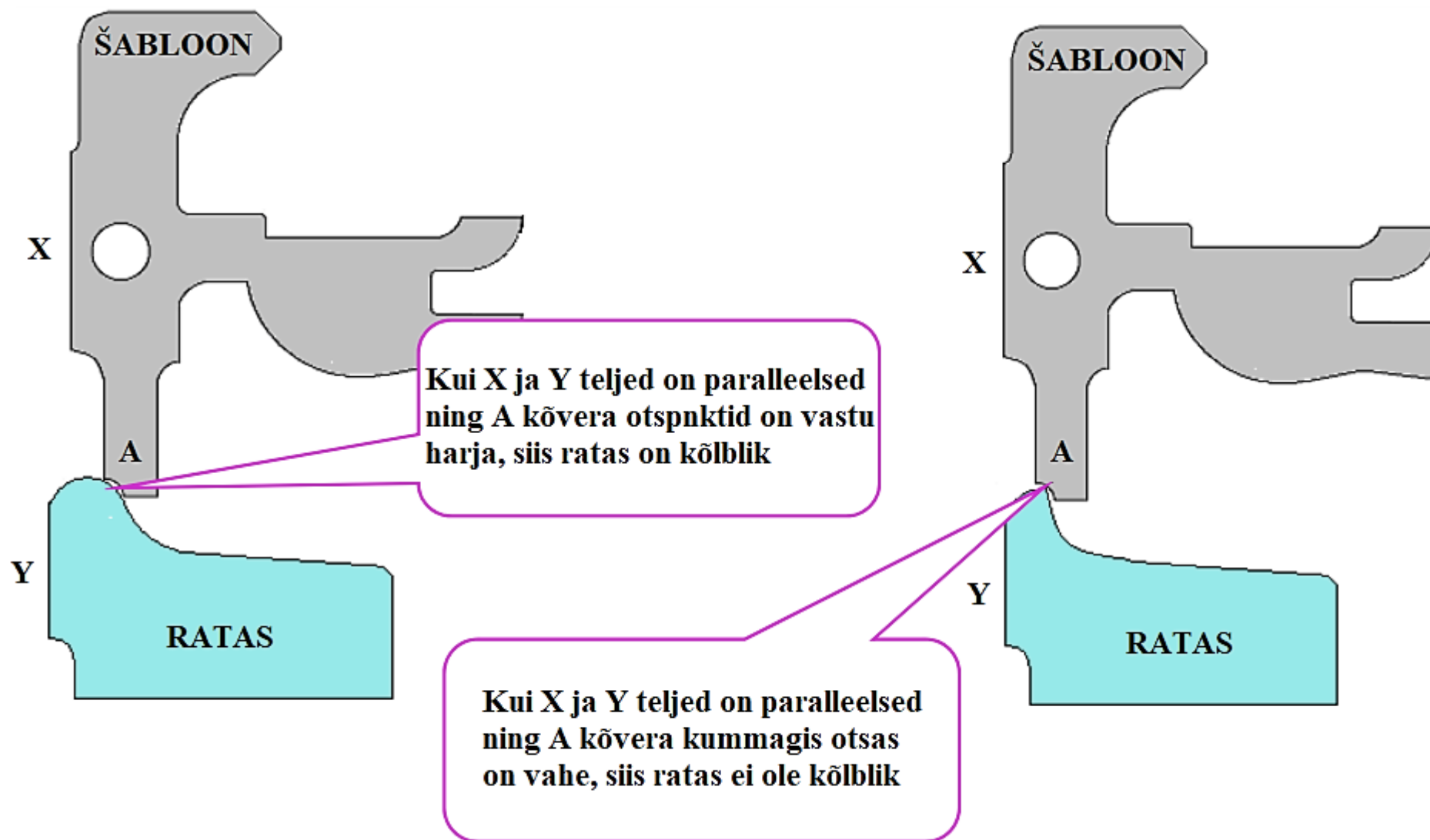
Kui X ja Y telg on paralleelsed ning A sektori ja harja tipu vahel ava ei ole, siis ratas ei ole kõlblik

Lisa 4. Harja jalami kumerus alla lubatu

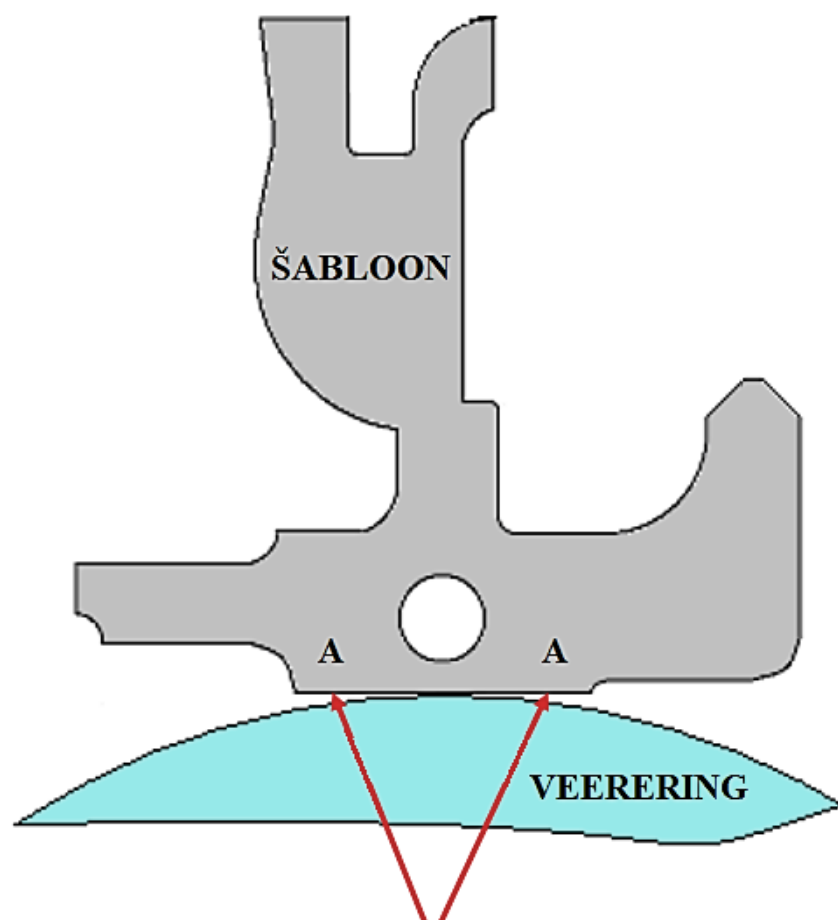


Kui X ja Y telg on paralleelsed ning A kõvera ja harja vahel on ava, siis ratas ei ole kõlblik

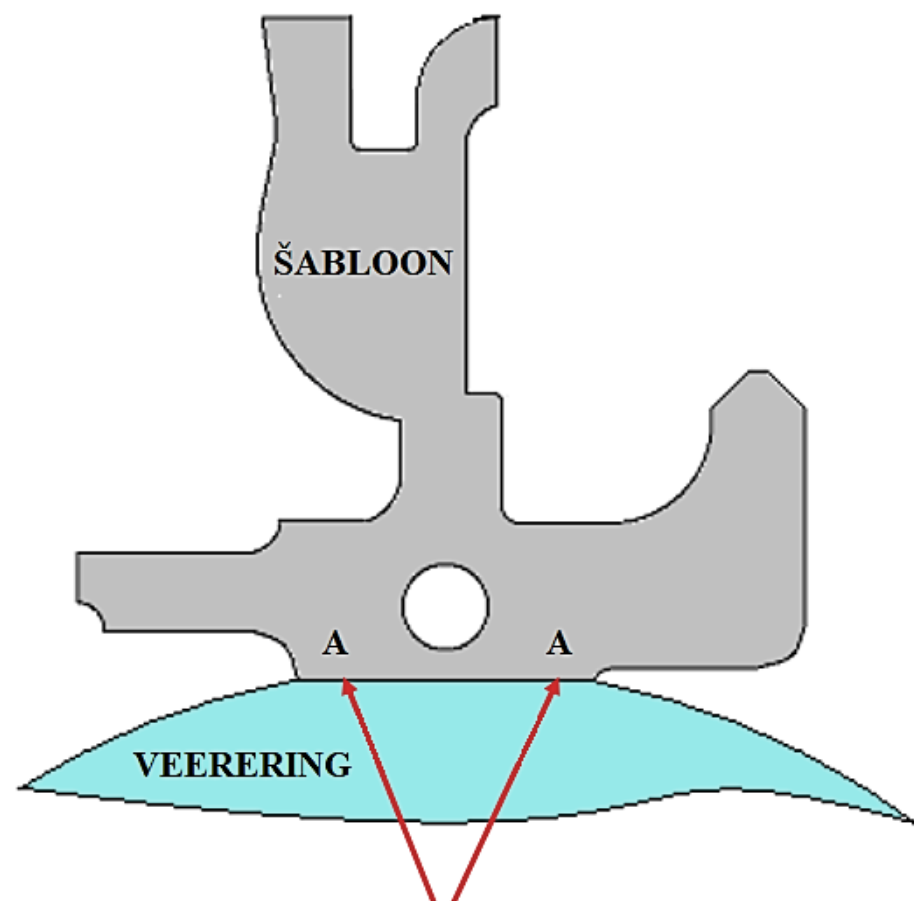
Lisa 5. Teravatipuline harja kulum



Lisa 6. Veereringi ebaühtlane kulum

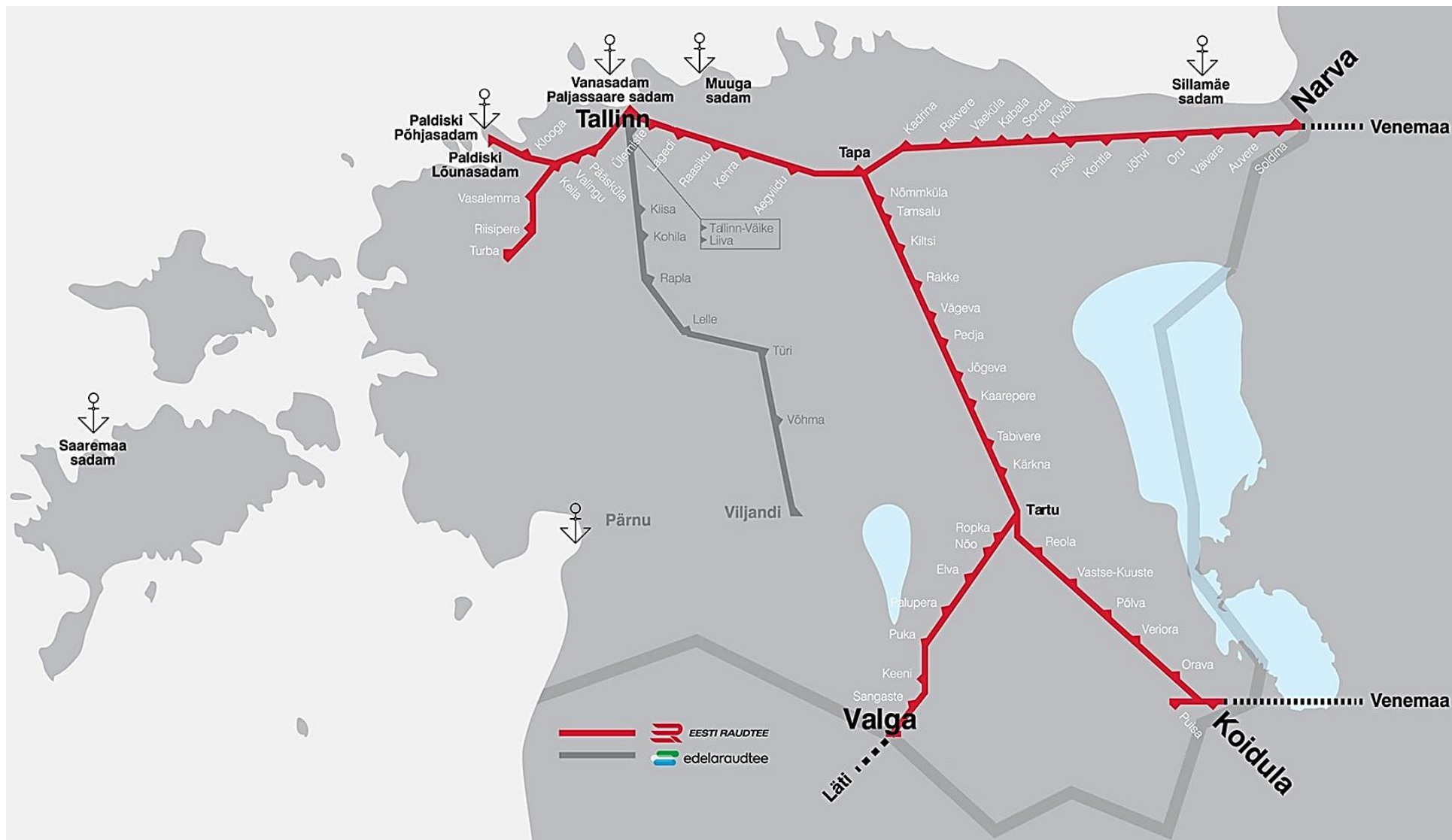


**Kui veereringi ja A punktide vahel
on ava, siis ratas on kõlblik**



**Kui veereringi ja A punktide vahel
ei ole ava, siis ratas ei ole kõlblik**

Lisa 7. Elroni rongireisi kaart



Lisa 8. Intervjuu küsimused

I plokk. Küsimused rattapaari hoolduse kohta:

1. Kuidas on Elronis korraldatud rongi rattapaari hooldus ning, mis on selle protseduuri sagedus?
 - 1.1. Kas Teie arvates on antud sagedus piisav? Kui ei, palun põhjendage?
 - 1.2. Mis on Teie arvates peamine takistus ideaalse olukorra saavutamisel?
2. Kuidas on Elronis tagatud rongi rattapaari heakorra eest vastutava hooldusmeeskonna teadmiste ja oskuste tase? Kas ja kuidas hoiab Elron hooldusmeeskonna teadmised värskena (nt üleminek Stadler rongidelt Škoda rongidele)?
 - 2.1. Kui Teil oleks võimalik antud olukorda (kardinaalselt) muuta, mida teeksite teisti?
3. Kuidas on Elronis korraldatud hooldusmeeskonna jätkusuutlikkus? Kes kvalifitseerub hooldusmeeskonna liikmeks ja kui tihti uusi meeskonnaliikmeid hooldusmeeskonda värvatakse?
 - 3.1. Juhul kui hooldusmeeskonnas tekib vajadus uue positsiooni järele või vabaneb mõni olemas olevatest positsioonidest, kas konkurss uue töötaja leidmiseks oleks suur? Mis teeb värbamisprotsessi keeruliseks?
 - 3.2. Kuidas hinnatakse uue töötaja kvalifikatsiooni taset? Milliseid mõõdikuid selleks kasutatakse?
 - 3.3. Kuidas olete rahul hetkeolukorraga tööturul (oskustöölised, spetsialistid), kui ei, mida võiks parandada või muuta?
4. Kas ja kuidas on Elronil võimalik muuta hooldusmeeskonna tööprotseduurid veelgi tõhusamaks?
5. Kuidas on Elron plaaninud tagada suureneva rongipargi ja tiheneva liiklusgraafiku valguses hooldusprotsesside jätkusuutlikkuse?

II plokk. Küsimused rikkis rongi teisaldamise kohta:

6. Kuidas on Elronis tagatud rongiliikluse efektiivne funktsioneerimine rongi rikke korral?
7. Kuidas on Elronis korraldatud vigase rongi teisaldamine raudteel?
8. Kas eksisteerib asjaolusid kus teie võimekus ja valmidus ei mõjuta protsessi üldse? Mis takistab?
9. Kas suureneva rongipargi valguses on Elronil plaanis investeerida vigase rongi teisaldamise tehnikasse või meeskonda?
10. Mis on Teie arvates peamised kitsaskohad, mille peale peaks rohkem tähelepanu pöörama lähitulevikus?
11. Kujutake ette Elroni postkaarti aastast 2028, mis võiks olla seal kujutatud (rongide hoolduse ja remondi kontekstist vaadatuna)?