



# Dieselveturin kiihtyvyyssmit- taukseen perustuva tehonsäätö

Teemu Valo

OPINNÄYTETYÖ  
Maaliskuu 2022

Konetekniikka  
Koneautomaatio

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikka  
Koneautomaatio

VALO, TEEMU:

Dieselveturin kiihtyvyyssmittaukseen perustuva tehonsäätö

Opinnäytetyö 34 sivua, joista liitteitä 27 sivua  
Helmikuu 2022

---

Opinnäytetyön aiheena oli tehdä selvitys Dr14-veturiin asennetusta, kiihtyvyyssmittaukseen perustuvan tehonsäätöjärjestelmän hyödyistä ja toimivuudesta. Tehonsäätö perustuu vaihteiston kiihtyvyyden mittaamiseen. Sen tarkoituksena on ehkäistä voimansiirtoon kohdistuva haitallinen kuormitus äärimmäisissä vetotilanteissa, joissa pyörän ja kiskon välinen kitka ei riitä enää pitämään pyörää paikallaan, ja pyörät alkavat sutimaan. Tarkoituksena oli tuoda ilmi, miten järjestelmä on todellisuudessa rajoittanut haitallista käyttöä asennuksen jälkeen.

Selvitys pohjautuu voimansiirtovikoihin vuosilta 2015–2021 ja tehonsäätömuutoksen toimivuuteen vikahistorian perusteella. Selvityksessä on käytetty kaikkia Dr14-mallisarjan vetureiden vikailmoituksia vuosilta 2015–2021.

Työ aloitettiin tutustumalla voimansiirron rakenteeseen, tehonsäädön toimintaperiaatteeseen ja tehonsäätömuutoksen dokumentaatioon. Vika-analyysi suoritettiin analysoimalla mallisarjan vetureiden toiminnanohjausjärjestelmästä saatu vikahistoria vuosilta 2015–2021. Analyysiin sisällytettiin myös vikojen korjauskustannukset. Tehonsäätöjärjestelmien asennuspäivämäärät huomioiden vikahistoriaa voitiin vertailla uudella ja vanhalla tehonsäädöllä olevien vetureiden välillä.

Opinnäytetyön tuloksena toimeksiantajayritys sai selvityksen muutostyön todellisista vaikutuksista haitalliseen kuormitukseen. Selvitys toimitettiin yritykselle erillisenä salattuna dokumenttina. Sen perusteella on mahdollista arvioida järjestelmän asennuksen kannattavuutta ja sen mahdolliset kehityskohteet.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Machine automation

VALO, TEEMU:  
Acceleration-Based Power Control of a Diesel Locomotive

Bachelor's thesis 34 pages, appendices 27 pages  
February 2022

---

The subject of the thesis was to conduct a study of the benefits and functionality of a power control system that is based on acceleration measurement, and installed in a Dr14-locomotive. The power control is based on measuring the acceleration of the transmission. Its purpose is to prevent a detrimental load on the transmission in extreme traction situations, where the friction between the wheel and the rail is no longer sufficient to hold the wheel in place and the wheels begin to slip. The purpose was to show how the system has limited harmful use after installation.

The study was based on transmission faults from 2015–2021 and the functionality of the power control change based on the fault history. All fault reports for the locomotives of the Dr14-model series from 2015–2021 were used in the study.

The work was started by an examination of the transmission structure, the operating principle of the power control and the documentation of the power control change. The fault analysis was performed by analyzing the fault history of the locomotives in the model series from 2015–2021 obtained from the operational control system. Fault repair costs were also included in the analysis. Considering the installation dates of the power control systems, the fault history could be compared between locomotives with new and old power control.

As a result of the thesis, the client company received an explanation of the actual effects of the power control modification on the harmful load. The report was submitted to the company as a separate encrypted document. Based on it, it is possible to evaluate the profitability of the system installation and its potential development targets.

---

Key words: diesel locomotive, control theory, acceleration

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	VR GROUP KONSERNI .....	6
3	VETURI DR14 .....	9
	3.1 Ominaisuudet ja käyttökohteet .....	9
	3.2 Päädieselmoottori MAN R8V 22/30 ATL .....	12
	3.3 Vaihteisto Voith L 206 rsb .....	13
	3.4 Telin voimansiirto .....	14
	3.5 Tehonsäätö .....	16
4	OHJELMOITAVA LOGIIKKA .....	18
	4.1 PLC .....	18
	4.2 Anturit .....	20
	4.3 Käyttöikä ja turvallisuus .....	21
5	KIIHTYVYYSMITTAUKSEEN PERUSTUVA TEHONRAJOITUS .....	23
	5.1 Muutostyö .....	23
	5.2 Toimintaperiaate .....	23
	5.3 Laitteisto .....	24
	5.4 Käytännön koe .....	26
6	VIKAHISTORIA-ANALYYSI .....	27
	6.1 Periaate .....	27
	6.2 Voimansiirtoviat vetureissa ilman tehonsäätömuutosta .....	27
	6.3 Voimansiirtoviat tehonsäätömuutos vetureissa .....	28
	6.4 Tehonsäätömuutoksesta aiheutuneet vikailmoitukset .....	29
	6.5 Tehonsäätömuutoksen asennuksen jälkeen ilmenneet muut tehonsäätöviat .....	30
	6.6 Yhteenveto .....	30
7	POHDINTA .....	32
	LÄHTEET .....	33
	LIITTEET .....	35
	Liite 1. Vikaantumisen todennäköisyysarvot ja tarkastusvälit SIMATIC S7 (Siemens 2013, 98) .....	35
	Liite 2. Dr14 kiihtyvyyssmittaukseen perustuva tehonrajoitus VR Fleetcare (salainen) .....	36

## 1 JOHDANTO

Veturin tuottama teho aiheuttaa äärimmäisissä vetotilanteissa ilmiön, jossa pyörän ja kiskon välinen kitka ei riitä enää pitämään pyörää paikallaan ja pyörät alkavat sutimaan. Tilanteessa jossa, pyörät sutivat, mutta vedettävä kuorma pitää veturin paikallaan, pidon muutokset saavat veturin pyörät irtoamaan hetkellisesti kiskosta pompottaen veturia. Takaisin kiskolle putoaminen aiheuttaa veturin voimansiirrolle ja rakenteille haitallista kuormitusta. Pidemmällä aikavälillä haitallinen kuormitus lisää merkittävästi rakenteiden pettämisriskiä ja näin ollen myös kokonaisturvallisuusriskiä.

Vuosina 2016–2018 on neljään Dr14-veturiin asennettu X- ja Y-akseleiden suuntaiseen kiihtyvyydsmittaukseen perustuva tehonrajoitus. Muutostyö mahdollistaa kaluston rakenteille haitallisten kuormitustilanteiden eliminoimisen kuljettajan toimista riippumatta. Asennusvaiheessa laitteiston säätö on suoritettu haastavasti järjestettävien käytännönkokeiden avulla ja säädön raja-arvoja ei ole voitu määrittää yhtenäisiksi veturiyksilöiden välillä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, onko edellä mainittu järjestelmä toiminut käyttötarkoituksensa mukaisesti ja ehkäissyt voimansiirtoa ylikuormittavia tilanteita. Tehonrajoituksen hyötyjä ei ole aiemmin voitu näyttää toteen, koska viikaantuminen ei tapahdu välittömästi. Vikahistoriadataan kertyminen mahdollistaa selvityksen järjestelmän hyödyistä, toimivuudesta, ja miten anturointi todellisuudessa rajoittaa haitallista käyttöä. Osa opinnäytetyössä käytetyistä materiaaleista ja tuloksista ovat salassa pidettäviä ja toimeksiantajayrityksen omaisuutta, joten niitä ei voi julkaista sellaisenaan.

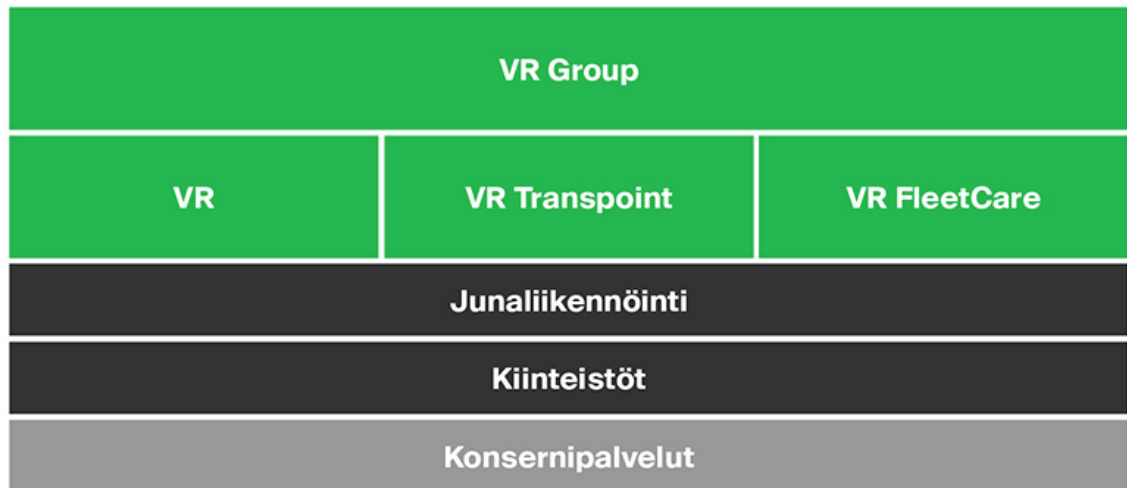
## 2 VR GROUP KONSERNI

VR Group on Suomen valtion kokonaisuudessaan omistama vastuullinen ja ympäristöystävällinen palveluyritys, jonka liiketoiminta koostuu matkustuksen, logistiikan ja kunnossapidon eri osa-alueista. Konsernin vuosittaisen liikevaihto on noin miljardi euroa. Se työllistää noin 6000 eri toimialan ammattihenkilöä ja on pitänyt suomalaisen yhteiskunnan liikkeessä lähes 160 vuoden ajan. (VR Group 2021b.)

Konsernin strategia on rakennettu vahvasti asiakkaan ympärille ja liiketoimintojen kokoava teema on vastuullisuus. Vastuullisuuden olennaisimmat osa-alueet ovat turvallisuus, asiakaslähtöisyys, työntekijäkokemus sekä ympäristö- ja yhteiskuntavastuu. (VR Group 2021b.)

Uudistumisessa ja kehityksessä digitalisaatio sekä uusien teknologioiden hyödyntäminen ovat avainasemassa. Liiketoiminnot keskittyvät pääasiassa kotimaahan, mutta kasvumahdollisuuksia tarkastellaan kansainvälisesti ja erityisesti pohjoismaiden lähimarkkina-alueella. (VR Group 2021b.)

Konsernin eri liiketoiminnot palvelevat niin kuluttaja- kuin yritysasiakkaitakin ja koostuvat kuudesta eri osasta, jotka ovat esitetty kuviossa 1. VR eli matkustajaliikenne tarjoaa joukkoliikenteen palveluja kauko- ja lähiliikenteessä. VR Transport harjoittaa rautatie- ja maantielogistiikan eri palveluita. VR Fleetcare toimii raidekaluston kunnossapidossa tarjoten asiakkailleen erilaisia kunnossapito- ja elinkaarihallinnanratkaisuja. Junaliikennöinti toimii kiinteänä osana matkustajaliikennettä ja rautatielogistiikkaa vastaten vetokalustosta sekä halliten häiriötilanteita. VR Groupin kiinteistöyksikkö puolestaan harjoittaa kiinteistökehitystä ja vuokraustoimintaa Konsernipalvelujen tukiessa muita eri liiketoimintoja. (VR Group 2021a.)



KUVIO 1. VR Group-konsernin liiketoiminnot (VR Group 2021a)

### VR Fleetcare

VR Fleetcare on 1.1.2019 perustettu VR Group konserniin kuuluva yritys, jonka tarjoamat palvelut on jaettu neljään eri kategoriaan. Moderncare sisältää kaluston elinkaaripidennykset, modernisointi- ja järjestelmäpäivitykset. Smartcare kattaa kunnonvalvonnan, optimoinnin ja digitalisaation. Assetcare pitää sisällään kaluston kunnossapidon, elinkaarihallinnan, konsultoinnin ja analytiikan. Componentcare sisältää kaikki komponenttipalvelut kuten esimerkiksi telit, elektroniikan, moottorit ja venttiilit. (VR Fleetcare 2021.)

Uuden strategian mukaisesti VR Fleetcare hakee kasvua ja uusia asiakkuuksia muusta raideliikennekalustosta ja lähialueilta. Kasvupotentiaalia on erityisesti tunnistettu erilaisissa kaluston raskashuoltopalveluissa, komponenttien huolto- ja korjauspalveluissa sekä asiantuntija- ja digitaalisissa palveluissa. (VR Fleetcare 2021.)

Junia ja muuta raidekalustoa kunnossapidetään, korjataan ja huolletaan varikoilla ja konepajoilla, jotka sijaitsevat eri puolilla Suomea. Varikkopalveluiden päätoimipisteet, jotka huolehtivat raidekalustojen päivittäisistä toimenpiteistä sijaitsevat Helsingissä, Oulussa, Kouvolassa, Tampereella, Pieksämäellä ja Joensuussa. Palvelukonepajoja on kaksi, ja ne sijaitsevat Helsingissä ja Pieksämäellä. Yhteensä VR Fleetcare:lla on käytössä noin 147 000 m<sup>2</sup> tuotantotilaa kaluston kunnossapitoon. (VR Fleetcare 2021.)

VR Fleetcare ylläpitää noin 12 000 yksikön kalustoa, joka koostuu yli 100 erilaisesta kalustotyypistä. Huoltokanta koostuu 370 veturista, 167 sähköjunasta, 16 kiskobussista, 500 ratatyökoneesta, 450 matkustajavaunusta sekä 9 000 tavaravaunusta. VR Fleetcare:n huoltokannassa olevalla kalustolla ajettiin vuonna 2020 yhteensä 431 miljoonaa kilometriä. Ajetut kilometrimäärät vähenivät vuoteen 2019 verrattuna 6,9 %. Pienentyneet junakoot sekä junamäärien lasku koronapandemiasta johtuen ovat vaikuttaneet tähän määrään. (VR Group 2021a.)



### 3 VETURI DR14

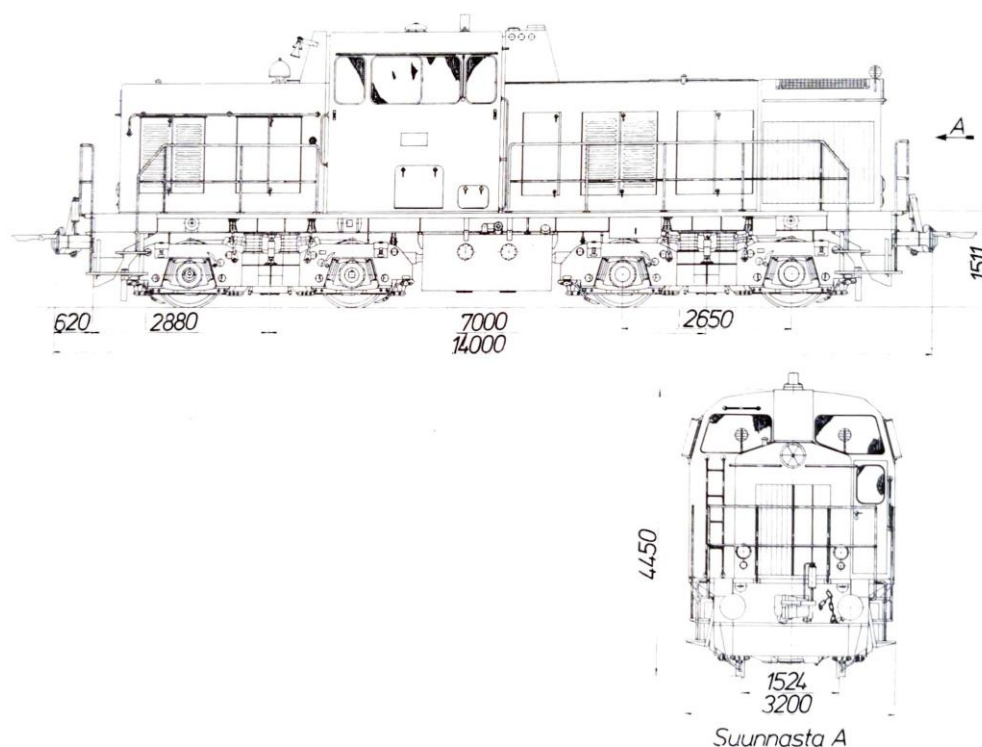
#### 3.1 Ominaisuudet ja käyttökohteet

Dr14-veturit (kuva 1) ovat Lokomo Oy:n vuosina 1969–1972 Suomessa valmistamia dieselkäyttöisiä ja hydrodynaamisella voimansiirrolla varustettuja vetureita. Niiden pääasiallinen käyttötarkoitus on raskaat vaihtotyöt. Dr14 soveltuu hyvin hitaaseen, suurta vetotehoa vaativaan ajoon vaihteiston erillisen öljynjäähdytyksen ja tiheävälitteisen aluevaihteen ansiosta. (VR Koulutuskeskus 2006.)



KUVA 1. Dr14-veturi (VR Group 2021a)

Paras vetovoima painottuu selvästi pieniin nopeuksiin, vaikka keliolosuhteista riippuen kitkakertoimen muutos estää täyden vetotehon käytön. Vetokyvyn parantamiseksi on veturin massaa nostettu kulkusiltoihin asennetuilla 10 tonnin lisäpainoilla. Sen perusrakenne muodostuu kahdesta 2-akselisesta käyttötelistä ja alustasta, jonka päälle on asennettu koneistot, konesuojat ja keskusohjaamo. Kuviossa 2 on esitetty veturin mitat. (VR Koulutuskeskus 2006.)



KUVIO 2. Dr14-veturin mitat (Kokkola, Kyrenius & Vehmainen 1972, 180)

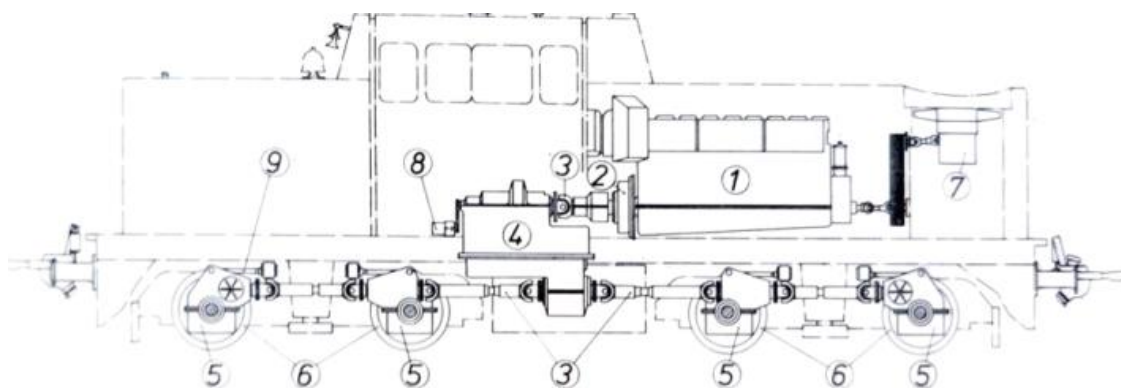
Vetureita on valmistettu yhteensä 24 kpl, joista kaikki ovat vielä käytössä ja koko mallisarja on saneerattu vuosien 2000–2005 aikana. Dr14:n tekniset tiedot ovat esitettyinä taulukossa 1. Koneiston ohjausjärjestelmät ovat sähköisiä, sähköpneumaattisia tai pneumaattisia. Osa vetureista on varustettu kulunvalvontalaitteistolla, joka mahdollistaa tavallisen linja-ajon. Mikäli veturia ei ole varustettu kulunvalvontalaitteistolla, sen suurimmaksi sallituksi nopeudeksi on määritetty 35 km/h. (VR Koulutuskeskus 2006.)

Kaikkiin Dr14-mallisarjan vetureihin on asennettu radio-ohjausjärjestelmä, joka tarjoaa ratapihahenkilöstölle mahdollisuuden kauko-ohjata yhtä veturia kerrallaan vaihtotyötoimintoja ja yleisiä ratapihatöitä suoritettaessa. Järjestelmä ohjaa veturia radioyhteydellä ohjaimelta lähtevillä käskysignaaleilla.

TAULUKKO 1. Dr14 teknisiä tietoja (VR Koulutuskeskus 2006)

Numerointi	1851–1874
Valmistusvuodet	1969–1972
Valmistaja	Lokomo Oy
Saneerattu	2000–2005
Suurin nopeus V-vaihde / T-vaihde	43 km/h / 75 km/h
Paino lisäpainoin	87 tn
Jarrupaino	65 tn
Päädieselmoottori	MAN R8V 22/30 ATL
Teho / kierrosluku	875 kW / 925 r/min
Vaihteisto	Voith L 206 rsb
Kestotehorajat V-vaihde / T-vaihde	2 km/h / 4 km/h
Apudieselmoottori	Sisu 320 D
Kompressori	GDT6+
Jarrujärjestelmä	itse- ja suoratoiminen paineilmajarru
Sähköjärjestelmä	24 VDC
Akusto	alkaliparisto 160 Ah/ 5 h
Kytkinlaitteet	Vapiti, SA-3
Ilmankuivain	Knorr

Kuviossa 3 esitellään veturin voimansiirtoa. Päämoottori (1) on kytketty kumikytkimellä (2) ja nivelakselilla (3) vaihteistoon (4). Moottorilta tuleva voima välitetään pyöräkertoihin (6) nivelakseleiden ja akselinkäyttölaitteiden (5) avulla samalla, kun momenttituet (9) pitävät akselinkäyttölaitteet paikoillaan. Pyöräkerroista vetovoima välittyy laakeripesien ja kumisten ensiöjousien kautta telin runkoon ja siitä telin keskitapin kautta veturin runkoon ja vetolaitteille. Moottorin vapaasta päästä johdetaan teho nivelakseleiden ja kiilahihnojen avulla jäähdytysjärjestelmälle (7). Apumoottori käyttää kompressoria, joka tuottaa tarvittavan paineilman veturin jarru- ja ohjausjärjestelmille. (VR Koulutuskeskus 2006.)



1. Moottori, 2. Kumikytkin, 3. Nivelakseli, 4. Vaihteisto, 5. Akselinkäyttölaite, 6. Pyöräkerta, 7. Jäähdyttimen tuuletin, 8. Varausgeneraattori, 9. Akselinkäyttölaitteen momenttituki

KUVIO 3. Voimansiirron kaavio (Kokkola, Kyrenius & Vehmainen 1972, 183, muokattu)

### 3.2 Päädieselmoottori MAN R8V 22/30 ATL

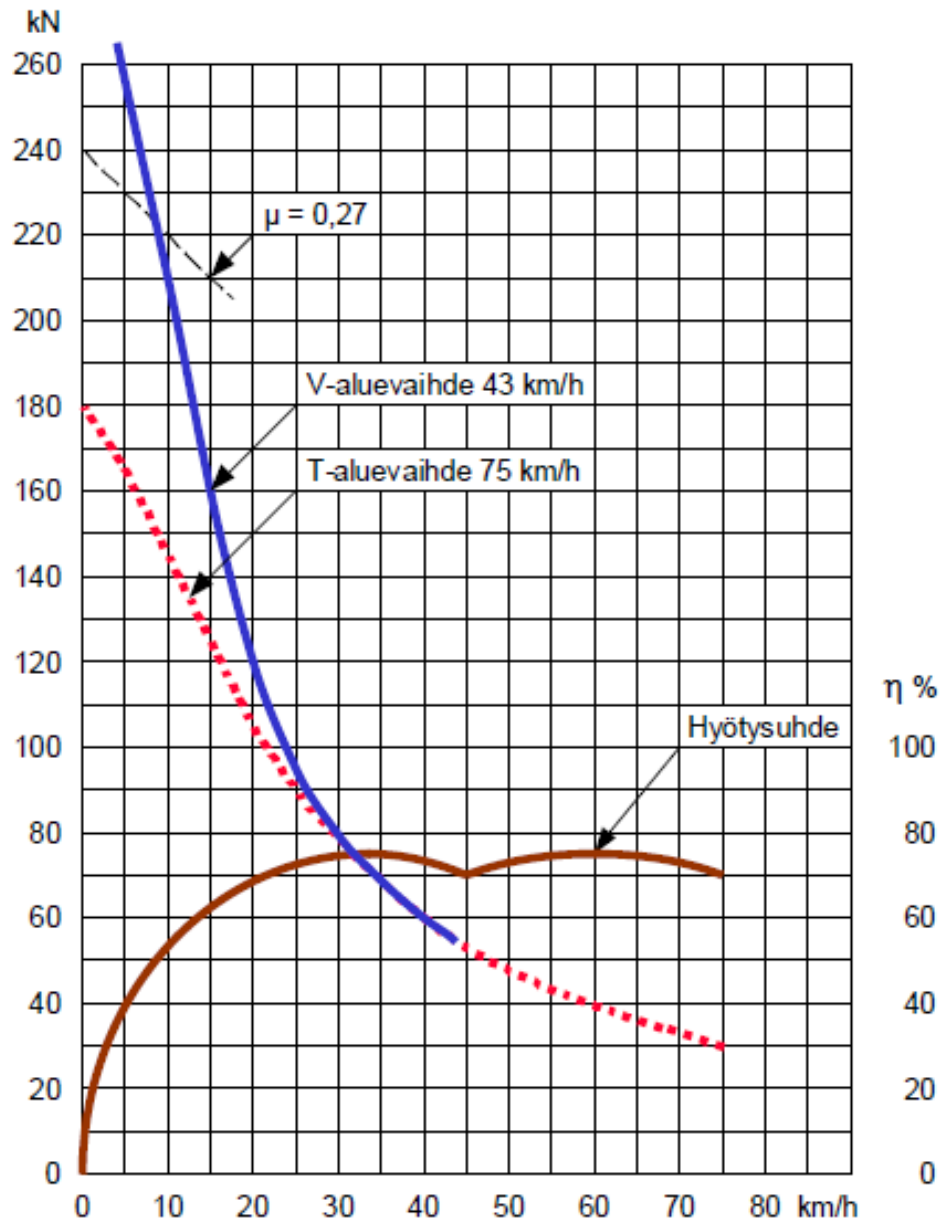
MAN R8V 22/30 ATL -dieselmoottori on turboahdettu 8-sylinterinen nelitahtirivimoottori, jossa on ahtoilman jäähdytys sekä polttoaineen suorasuihkutus. Sylinterit on numeroitu tehon ulosottopäästä lukien ja pyörimissuunta vastapäivään ulosottopäästä katsottuna. Turboahdistimesta ja ahtoilman jäähdytyksestä johtuen moottorissa on kaksi erillistä ja eri lämpötiloissa olevaa jäähdytysnestekiertoa. Ruiskutus on toteutettu yksikköruiskutuspumpeilla, joiden säätö tapahtuu aseteltavalla kierrosluvunsäätäjällä. (Kokkola, Kyrenius & Vehmainen 1972, 183–193.)

Moottorin käynnistys ja pysäytys on toteutettu sähköpneumaattisella käynnistimoottorilla sekä sähköohjatuilla paineilmaventtiileillä. Järjestelmään sisältyy myös moottorin suoja- ja pysäytyslaitteet häiriö- ja vaaratilanteiden varalta. (VR Koulutuskeskus 2006.)

### 3.3 Vaihteisto Voith L 206 rsb

Vaihteisto on täysin automaattisesti toimiva 2-vaihteinen virtausvaihteisto, johon kuuluu kaksi hydraulista momentinmuunninta, nopeusaluevaihde ja suunnanvaihtolaite. Kumpikin momentinmuunnin on tarkoitettu määrätyle nopeusalueelle ja vain toinen momentinmuuntimista kerrallaan on täytettynä öljyllä. Vaihteiston sisäisen ohjauksen tehtävänä on täyttää käytetyn tehon ja veturin nopeuden mukaan aina vaihteiston virtauspiireistä se, joka toimii parhaalla hyötysuhteella kyseenomaisissa ajo-olosuhteissa. Vaihteiston kytKentäsäädin määrää vaihtoajan kohdan siirryttäessä momentinmuuntimelta toiselle. Se ottaa huomioon kierrosluvun, eli tehon hydraulisesti, koska vaihteiston vastaanottaman tehon suuruus on verrannollinen päämoottorin kierroslukuun. (Kokkola ym. 1972, 197–200.)

Vaihteisto on varustettu kahdella eri nopeusaluevaihteella, joiden avulla on mahdollista valita käyttöön sopiva nopeusalue. Vaihteiston vääntömomentti- ja hyötysuhde eri aluevaihteilla on kuvattuna tarkemmin kuviossa 4. T-nopeusalueen maksiminopeus on 75 km/h ja V-nopeusalueen 43 km/h. (Voith 1972, 7.)



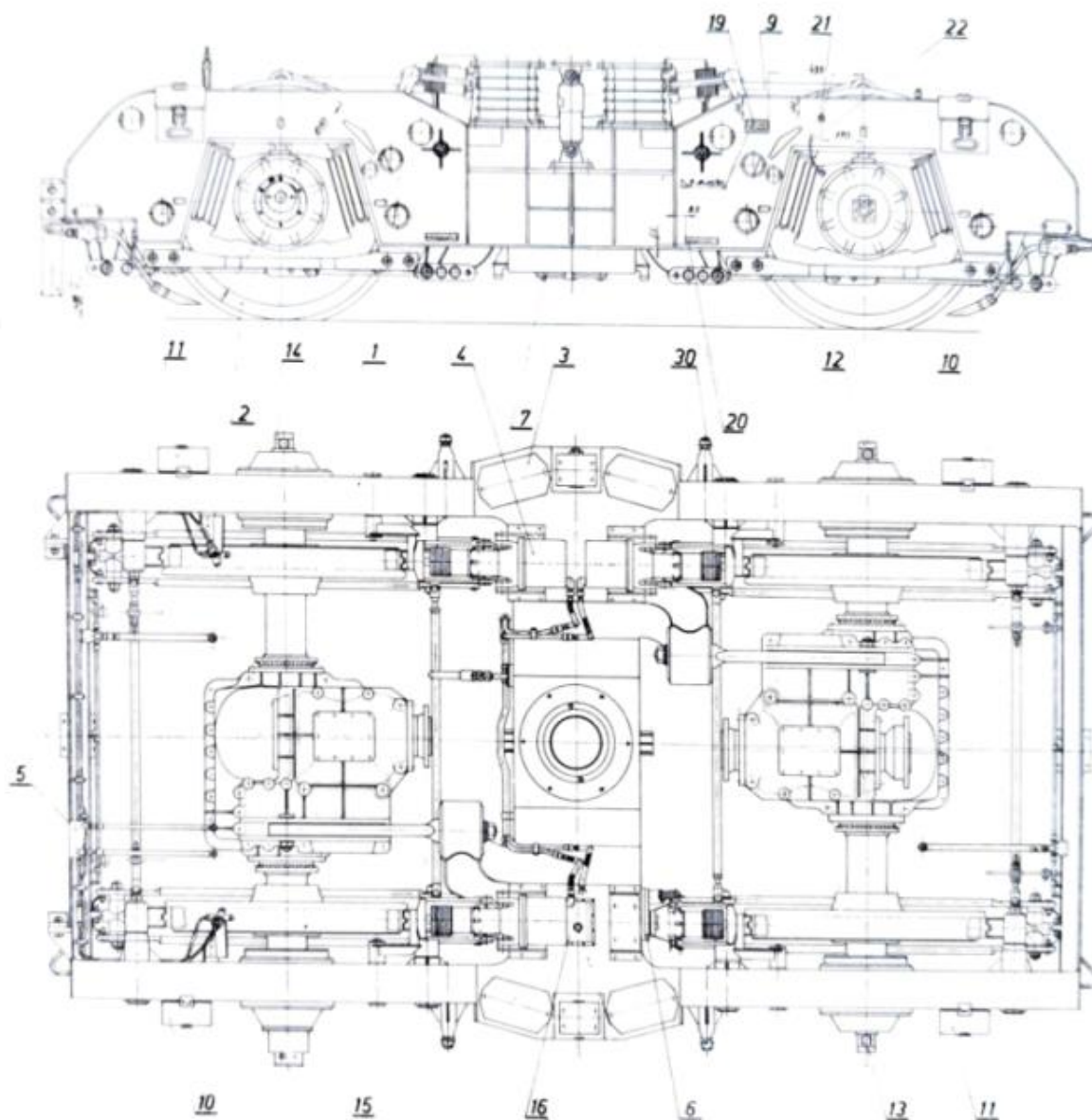
KUVIO 4. Voith L 206 rsb vääntömomentti- ja hyötysuhde (VR Koulutuskeskus 2006)

### 3.4 Telin voimansiirto

Telin rakenne on esitetty tarkemmin kuviossa 5. Veturin kori, koneistot, konesuojat ja keskusohjaamo on asennettu kahden kaksiakselisen telin päälle, jonka kehys (5) on kotelomaista levypalkkirakennetta ja muodoltaan suljettu kehä. Kehys sisältää tarvittavat rakenteet momenttituen (9), keskiön (7), jousituksen ja jarrulaitteiden tuentaa ja ripustusta varten. Molemmille telin akseleille on asennettu akselinkäyttölaitteet, joiden momenttituet on asennettu vaakatasoon, jotta telin



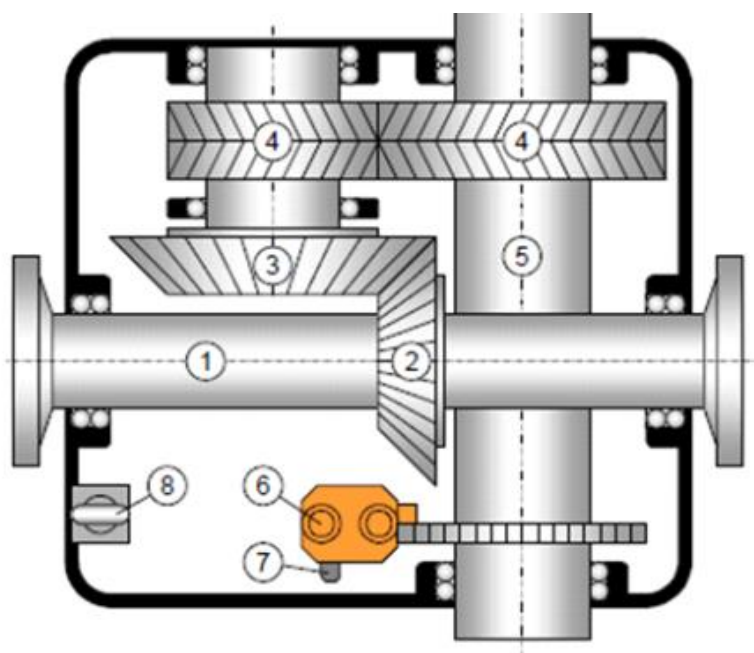
jouston vaikutus käyttölaitteisiin ja nivelakseleiden kulmiin on mahdollisimman pieni. Momenttituki on kiinnitetty akselinkäyttölaitteen ja telin kehysten välille, jotta akselinkäyttölaite ei pääse pyörimään vääntömomentin ansioista. (Kokkola ym. 1972, 181–182.)



1. Runko, 2. Pyöräkerta, 3. Toisiojousi, 4. Jarrusylinteri, 5. Telin kehys, 6. Käsi-jarrun käyttölaite, 7. Telin keskiö, 9. Momenttituki, 10, 11. Hiekkasäiliö, 12. Nopeuden rekisteröintilaitteen anturi, 13. Laipanvoitelulaitteen ohjausanturi, 14. Nopeusmittarin lähetingeneraattori, 15. Ympäriyöntisuojaan anturi

KUVIO 5. Telin rakenne (Kokkola, Kyrenius & Vehmainen 1972, 182, muokattu)

Akselinkäyttölaitteita on yhteensä neljä kappaletta, yksi kullekin pyörän akselille laakeroituna. Akselinkäyttölaitteen rakenne on kuvattu kuviossa 6. Sen tehtävänä on kääntää voiman kulkusuunta 90 astetta, jotta voima välittyy pyöräkerralle sopivaksi. Vaihteisto ja akselinkäyttölaitteet ovat nivelakselien välityksellä kiinni toisissaan. Käyttölaitteissa on kaksi eri välitystä eli ne ovat kaksiportaisia. Näissä nivelakseli käyttää pientä kartiohammaspyörää (2), joka puolestaan käyttää väliakselin isompaa lautaspöörää (3). Väliakselilla on myös nuolihammaspyörät (4), jotka välittävät voiman edelleen pyöräkerran akselille (5), mikä saa pyörän pyörimään. (VR Koulutuskeskus 2006.)



1. Sisääntuloakseli, 2. Kartiohammaspyörä, 3. Lautaspöörä, 4. Nuolihammaspyörät, 5. Pyöräkerran akseli, 6. Voiteluöljypumppu, 7. Öljynpainekeytkin, 8. Öljyn mittatikku.

KUVIO 6. Akselinkäyttölaitteen rakenne (VR Koulutuskeskus 2006, muokattu)

### 3.5 Tehonsäätö

Moottorin ja vaihteiston tehonsäätö on toteutettu logiikkaohjatulla sähköpneumaattikalla, joka on asennettu vuosina 2000–2001. Tehonsäätö on 16-portainen. Tehonsäätölogiikka ohjaa kahta virtaohjattua proportionaaliventtiilillä, joista toinen ohjaa vaihteiston täyttösylinteriä ja toinen päämoottorin tehonsäätösylinteriä. Portailta 1–4 ohjataan pelkästään vaihteiston täyttöä. Mikäli veturin nopeudesta



johtuen 2. vaihde on kytkettynä, ei portailla 2–4 ole ollenkaan vaikutusta tehonsäätöön. Tehoportailla 5–16 moottorin paineensäädin ohjaa paineilmaa tehonsäätösylinteriin asettaen säätäjän kulloistakin painetta vastaavalle pyörimisnopeudelle. (VR Koulutuskeskus 2006.)

Veturin ajopöytien rinnalle on kytketty GE:n valmistaman radio-ohjauslaitteiston tehonsäätö, joka kytkee ajopöydät pois käytöstä radio-ohjauksen ollessa aktiivisena ja ohjaa suoraan tehonsäätölogiikkaa. Laitteiston dokumentaatio on salassa pidettävää ainestoa, joten tarkempaa toiminnan kuvausta ei voida tässä opinnäytetyössä esittää.

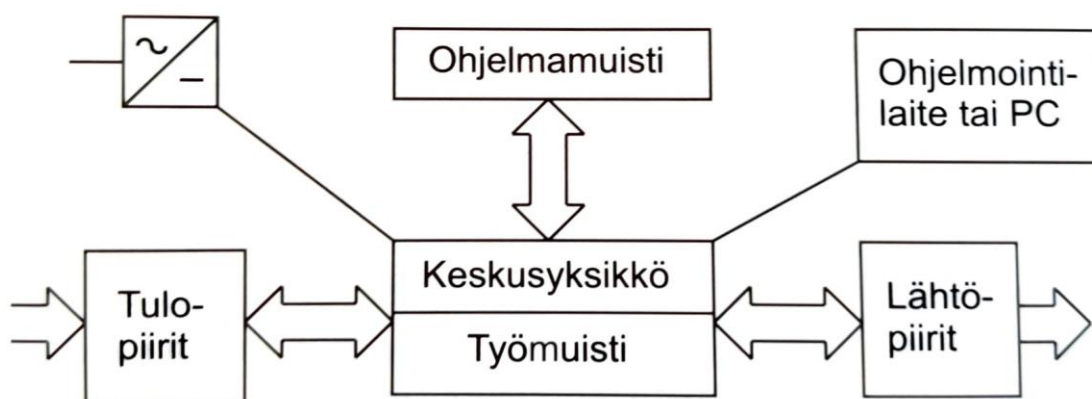
## 4 OHJELMOITAVA LOGIIKKA

### 4.1 PLC

Dr14-veturin tehonsäätö on varustettu ohjelmoitavalla logiikkaohjauksella (PLC), joka mahdollistaa ohjauksen tarkan yksilöinnin, toimintojen ja parametrien ohjelmalliset muutokset ilman suuria komponenttimuutoksia. Mahdollisuus uudelleenohjelmointiin on yksi ohjelmoitavan logiikan tärkeimpiä etuja verrattuna releohjaukseen.

Ohjelmoitavan logiikan PLC termi on lyhenne sanoista Programmable Logic Controller. Alkuperäisenä ajatuksena oli, että järjestelmän ohjelmointi olisi niin yksinkertaista, että varsinaisia tietokoneen ohjelmointitaitoja ei tarvittaisi ollenkaan ja ohjelmoinnin voisivat suorittaa aikaisemmin releohjausjärjestelmiä suunnitelleet henkilöt. Kunnossapitohenkilöstön oli myös tarkoitus pystyä tekemään ohjelmamuutoksia käyttöönötossa ja mahdollisissa kehitysvaiheissa lyhyen koulutuksen jälkeen. Jotta nämä vaatimukset täyttyisivät, oli laitteistoon kuuluttava käyttöliittymä ja ohjelmointilaite, jonka avulla järjestelmän toimintaa voidaan tarkkailla, paikantaa vioittuneet komponentit ja virheet itse ohjelmassa. (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2002, 241–242.)

Ohjelmoitava logiikka on mikroprosessoripohjainen laite, jossa on joko modulaarisia tai integroituja tulo- ja lähtöportteja, joihin on kytketty kentällä olevia antureita (kiihtyvyy-, paine- ja lämpötilamittauksia jne.) ja toimilaitteita kuten moottoreita, solenoideja, venttiileitä tai merkkivaloja. Logiikka ohjaa toimilaitteita paristovarmentettuun muistiin sijoitetun ohjelman ja anturien antamien tietojen pohjalta, riippuen käyttäjän luoman ohjelman toiminnoista. Ohjelmoitavan logiikan ohjaukokonaisuuden elementit ovat esitetty kuviossa 7. (Mikkonen 2009, 114.)



KUVIO 7. Ohjelmoitavan logiikan ohjauskokonaisuuden elementit (Keinänen ym. 2002, 245)

Logiikan ulkoisista liitännöistä käytetään yleisesti termejä tulo ja lähtö, jotka tulevat englanninkielisistä sanoista input ja output (I/O). Tuloporttien välityksellä logiikka saa tietoa järjestelmän tilasta ja lähtöporttien kautta se voi ohjata järjestelmän komponentteja. (Mikkonen 2009, 114.)

Tulopiirien signaalit ovat joko binäärisiä eli digitaalisia tai analogisia. Analogiset voivat vastaanottaa mittaustietoa sekä pulssituloja, jotka mahdollistavat pulssiantureiden lähettämän tiedon käsittelyn. Lähtöpiirien kautta tapahtuva komponenttien ohjaus (magneettiventtiilit ym.) on yleisesti joko rele- tai transistorilähtö. Relelähtöjen kautta voidaan ohjata tasasähkön ohella noin 2 ampeerin vaihtovirtaa. Transistorilähdöt ovat tarkoitettu tasasähkölle, jonka käyttöjännite koneautomaatiossa on yleisesti 24 VDC ja virran voimakkuus yleensä alle 2 ampeeria. (Keinänen ym. 2002, 246.)

Digitaaliset signaalit käyttäytyvät kytkimien tavoin ja ilmaisevat vain päällä tai poissa tilaa (1 tai 0, tosi tai epätosi). Esimerkiksi painikkeet, rajakytkimet, valokennot ovat laitteita, joissa on digitaalinen lähtö. Digitaalisten signaalien ilmaisuun käytetään jännitettä, jolloin suureen alue tietyllä välillä tulkitaan 0-tilaksi ja alueen ylittyessä 1-tilaksi. Esimerkiksi käytettäessä 24 VDC jännitettä, tulkitaan 22 V ylittävät jännitearvot päällä olevaksi signaaliksi ja 2 V alittavat jännitearvot poissa olevaksi signaaliksi. (Mikkonen 2009, 114.)

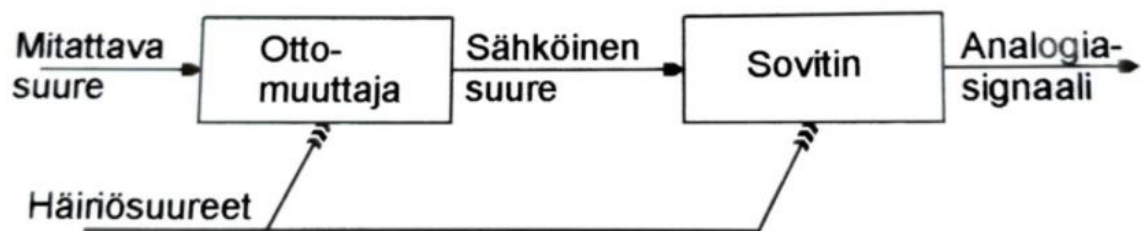
Analogiset signaalit välittävät kaikki arvot toiminta-alueensa ääripäiden väliltä ja ne muutetaan logiikan omassa tulopiirissään digitaalimuotoon. Niiden tarkkuus

riippuu käytössä olevasta laitteistosta. Mitä suurempi tarkkuus on, sitä enemmän se vaatii muistia. Signaali voi tyypistä riippuen olla esimerkiksi 4–20 mA, 0–20 mA, 0–10 V,  $\pm 10$  V tai  $\pm 5$  V. (Mikkonen 2009, 114.)

Kunnossapidossa, ennakoivassa kunnossapidossa ja kunnonvalvonnassa voidaan hyödyntää ohjelmoitavalta logiikalta saatua tietoa, mikä helpottaa erilaisten komponenttien kunnan analysoinnissa, vikatilanteiden ehkäisemisessä ja vikojen korjaamisessa. Diagnooseissa tulee kuitenkin aina ottaa huomioon myös prosessin ja käyttöolosuhteiden vaikutus. (Mikkonen 2009, 111, 170.)

## 4.2 Anturit

Koneautomaatiolaitteet tarvitsevat tilojen havaitsemiseen ja tietojen keräämiseen laitteita, joita kutsutaan yleisnimellä anturit. Anturi on laite, joka muuntaa prosessisuureen arvon siihen verrannolliseksi viestiksi. Mittauselin määrittää suureen arvon, jonka jälkeen anturiosa muuntaa tuloksen haluttuun viestimutoon. Perinteisen analogisen anturin toimintaperiaate on kuvattu kuviossa 8. Prosessin tilaa kuvaavia suureita ovat esimerkiksi paikka, lämpötila, paine, nestetaso, voima tai kiihtyvyys. Tavanomaisten antureiden yksi mainittava ongelma on epälineaarisuus ja häiriöalttius varsinkin lämpötilan vaihtelun alaisena, mikä onkin suurin muutoksia aiheuttava tekijä anturisovelluksissa. (Keinänen ym. 2002, 168.)



KUVIO 8. Perinteinen analoginen anturi (Keinänen ym. 2002, 168)

## Kiihtyvyyssanturit

Kappale on kiihtyvässä liikkeessä, jos kappaleen nopeus muuttuu. Kiihtyvyyden yksikkö on SI-järjestelmässä  $m/s^2$ . Kiihtyvyyden suunta on sama kuin nopeuden muutoksen suunta. (Inkinen & Tuohi 2006, 49.)

Kiihtyvyyssanturin osat ovat runko, seisminen massa ja näiden välissä oleva pietsoelementti. Rakenteen perusteella kiihtyvyyssanturit voidaan jakaa karkeasti kahteen eri kategoriaan: puristukselle herkät ja leikkaukselle herkät. Puristusherkkien antureiden osat ovat päällekkäin ja puristuvat toisiaan vasten jousikuorimitetun pultin avulla. Leikkauksille herkissä tyypeissä osat ovat koottu rungon ympärille usein liimaa tai puristusrengasta hyödyntäen. (Mikkonen 2009, 238.)

Anturi kiinnitetään mitattavaan kohteeseen siten, että anturi liikkuu koko ajan kohteen mukana. Seismiseen massaun kohdistuu tällöin Newtonin toisen lain mukainen voima  $F$

$$F = ma, \tag{1}$$

jossa  $m$  on massa ja  $a$  kiihtyvyys. Voima on tällöin verrannollinen kiihtyvyyteen ja anturin pietsoelementtiin muodostuu suoraan voimaan verrannollinen varaus, joka toimii anturista ulostulevana mittasignaalina. (Mikkonen 2009, 238.)

Pietsoelementtiin muodostuu sähkövarausta myös lämpötilan muuttuessa. Sen vuoksi kiihtyvyyssanturit ovat häiriöalttiita lämpötilan vaihtelulle. Muiden ympäristötekijöiden vaikutukset ovat hyvin vähäisiä.

### 4.3 Käyttöikä ja turvallisuus

Standardin IEC/TR 61508-0:fi mukaan järjestelmän määrittelijän tai kehittäjän on vaara-analyysin avulla tunnistettava laitteistoihin ja niihin liittyviin ohjausjärjestelmiin liittyvät merkittävät vaarat niille tarkoitetuissa ympäristöissä. (IEC/TR 61508-0:fi 2011, 10.)

Suurin osa koneautomaation ohjelmoitavan logiikan sovelluksista sisältää erilaisia turvamekanismeja ja näin ollen vaativat SFS-EN 61508-2 standardin hyväksynnän. Standardin osan 2 kohdan 7.6 mukaan turvallisuuteen liittyvän järjestelmän toiminnallinen turvallisuus on varmistettava käytön ja ylläpidon aikana. Kohdan 7.6.2.1 mukaan rutiinitoimenpiteet on suoritettava turvallisuuteen liittyvän järjestelmän toiminnallisen turvallisuuden ylläpitämiseksi, mukaan lukien ennalta määritetyn eliniän elementtien rutiiniomaiset vaihdot. (SFS-EN 61508-2 2011, 74–75.)

Esimerkiksi Siemens on määrittänyt IEC 65108 standardin vaatimuksien mukaan SIMATIC S7 -sarjan laitteilleen niiden vikaantumisen todennäköisyysarvojen perusteella käyttöiän ja eri komponenttien vaihto- tai testausvälit. Liitteessä 1 on esitetty Siemens SIMATIC S7 sarjan keskusyksikköjen vikaantumisen todennäköisyysarvot ja testausvälit. Vikaantumisarvot on laskettu arvioidun 20 vuoden käyttöiän perusteella. (Siemens 2019, 809, 1325.)

Standardin SFS-EN 61508-2 vaatimuksena on, että vikaantumisen todennäköisyysarvot ylittävät asetetun alarajan. Laitteiden, jotka toimivat harvojen vaateiden tilassa (Operation In Low Demand Mode), vikaantumisen todennäköisyys tunnin aikana saa olla enintään  $10^{-5}$ . Laitteiden, jotka toimivat tiheiden vaateiden tilassa (Operation In High Demand Mode), vikaantumisen todennäköisyys tunnin aikana saa olla enintään  $10^{-9}$ . (SFS-EN 61508-2 2011, 14.)

Laitteiden arvioidun käyttöiän ylittyessä on suoritettava turvallisuuteen liittyvän järjestelmän toiminnallisuuden ylläpitämiseksi, ennalta määritettyjen eliniän elementtien rutiiniomaiset vaihdot. Mikäli elementtejä ei vaihdeta, ei myöskään laitteisto täyty enää standardin vaatimuksia.

Esimerkkinä Siemensin ET 200MP 16x24VDC DI-moduulin manuaalissa mainitaan, että vikaturvalliset suorituskykyominaisuudet koskevat 20 vuoden ja 100 tunnin korjausaikaa. Jos 20 vuoden elinikä täyttyy ja jos korjaus 100 tunnin kuluessa ei ole mahdollista, kyseisen moduulin syöttöjännite on katkaistava ennen 100 tunnin täyteen tuleamista. (Siemens 2019, 5626.)

## 5 KIIHTYVYYSMITTAUKSEEN PERUSTUVA TEHONRAJOITUS

### 5.1 Muutostyö

Vuosina 2017 ja 2018 on neljään Dr14-veturiin asennettu X- ja Y-akseleiden suuntaiseen kiihtyvyyssmittaukseen perustuva tehonrajoitus. Järjestelmässä on tarvittavat analogiatulot kiihtyvyyssantureille, jotka ovat kiinnitetty veturin vaihteistoon. Muutostyö mahdollistaa kaluston rakenteille haitallisten kuormitustilanteiden eliminoimisen kuljettajan toimista riippumatta.

Kolmeen vetureista on asennettu tehonsäädön muutostyön yhteydessä myös Siemens S7-1500 logiikalla toteutettu uusi tehonsäätökeskus, joka on varustettu kansainvälisen EN 50155 Rautatiekaluston elektronisten laitteiden standardin hyväksynnällä, joka kattaa lämpötila, kosteus, isku, värinä ja muut parametrit (EN 50155 2017, 14).

Tehonsäätömuutos on tehty vetureihin 1853 (proto), 1859, 1873 ja 1874. Niiden asennuspäivämäärät ovat esitetty taulukossa 2. Veturin 1853 muutosasennuksessa on käytetty vanhaa Siemens S7-300 logiikkaa. Vetureiden 1859, 1873 ja 1874 muutosasennuksessa on käytetty uutta Siemens S7-1500 logiikkaa.

Taulukko 2. Tehonsäätömuutoksen asennuspäivämäärät

Asennusjärjestys	Veturi	Asennuspäivämäärä
#1	1853 (proto)	8.12.2016
#2	1873	16.11.2017
#3	1859	13.12.2018
#4	1874	31.12.2018

### 5.2 Toimintaperiaate

Kun kiihtyvyyden raja-arvojen ylityksiä ei havaita, välitetään radio-ohjaukselta tulevat tehopyynnin ohjaussignaalit sellaisenaan logiikalta eteenpäin tehonsäätöventtiileille (suoravälitys). Veturin kovasta värinästä johtuvan pitkittäis- tai pysty-

kiihtyvyyden raja-arvojen ylittyessä, alkaa järjestelmä pudottamaan tehonsäätöportaita yksi kerrallaan alaspäin. Tehonsäätöportaita pudotetaan, kunnes kiihtyvyydet ovat taas raja-arvojen sisällä, jonka jälkeen portaat palautuvat yksi kerrallaan, kunnes ne vastaavat taas radio-ohjaukselta saatavaa tehopyynnin signaalia. (Suutarla 2019.)

Jos radio-ohjauksen tehopyynti putoaa pienemmäksi, kuin logiikan tehonsäätöventtiileille välittämä, palaa järjestelmä takaisin suoravälitykseen. Siten logiikan tehonsäätöventtiileille välittämä ohjearvo ei voi missään tilanteessa olla suurempi kuin logiikalle välitetty tehopyynti. (Suutarla 2019.)

### 5.3 Laitteisto

Tehonsäädön muutos on toteutettu ensimmäisessä veturissa vanhalla Siemens S7-300 keskusyksiköllä ja muissa kolmessa veturissa Siemens S7-1500 keskusyksiköllä. S7-1500 keskusyksikön kaikki komponentit ovat RAIL-sarjaa, jotka ovat varustettu EN50155 standardin hyväksynnällä ja ovat esitettynä kuvassa 2.



KUVA 2. Tehonsäädön keskusyksikkö



Anturointi on kiinnitetty suoraan vaihteistoon erillisellä kiinnikkeellä, jonka välityksellä voimansiirron kiihtyvyyssarvot välittyvät suoraan todellisina antureille (kuva 3).



KUVA 3. Vaihteiston antureiden kiinnitys

Järjestelmä on myös varustettu ohjaamossa sijaitsevalla HMI-paneelin avulla toteutetulla käyttöliittymällä, joka mahdollistaa kuljettajan perusnäytössä tilatietojen seuraamisen ajopöydästä ajettaessa (kuva 4). HMI-paneelin kautta suoritetaan tarvittavat parametrimuutokset laitteiston säädön yhteydessä ja on mahdollista tarkastella mahdollisia kiihtyvyyden ylityksiä lokitietojen avulla.



KUVA 4. Käyttöliittymän perusnäyttö

#### 5.4 Käytännön koe

Veturiin 1874 suoritettiin selvityksen yhteydessä käytännön koe ulkolämpötilan ollessa 16 °C ja kiskon ollessa kuiva. Kokeessa testattiin laitteiston toiminta pyörien alkaessa sutimaan. Veturi 1874 (#4) oli kytkettynä kahteen moniajossa olevaan Dv12-veturiin, joissa molemmissa suoratoimijarru oli asetettu maksimipaineeseen. Dv12-vetureiden avulla saatiin simuloitua vetotilanteeseen riittävästi painoa ja vastusta.

Veturin 1874 tehoportaita nostettiin yksi kerrallaan 10 sekunnin välein, niin kauan kunnes järjestelmä alkoi rajoittaa tehoa estäen pyörien sutimisen ja järjestelmä indikoi kiihtyvyyden ylityksestä. Järjestelmä indikoi kiihtyvyyden ylityksestä tehoportaalla 12, eikä antanut enää lisätä tehoportaita.

Tämän jälkeen sama menettely toteutettiin ilman tehonrajoitusta nostamalla tehoportaita samalla tavalla yksi kerrallaan 10 sekunnin välein. Pyörien sutiminen tapahtui heti siirtyessä portaalta 12 portaalle 13.

Käytännönkokeen perusteella veturin 1874 järjestelmä toimii juuri ennen sutimista ehkäisten tehokkaasti mahdollisen tilanteessa syntyvän kuormituksen.

## 6 VIKAHISTORIA-ANALYYSI

### 6.1 Periaate

Vikahistoria-analyysi on kokonaisuudessaan salatussa liitteessä 2, joka on toimitettu toimeksiantajalle selvityksen tuloksena ja on toimeksiantajan omaisuutta. Tässä kappaleessa käsitellään yleisellä tasolla analyysin tuloksia.

Vikahistoria-analyysi pohjautuu koko Dr14-mallisarjan voimansiirtovikoihin vuosilta 2015–2021 ja tehonsäätömuutoksen toimivuuteen vikahistorian perusteella. Selvityksessä on käytetty kaikkia Dr14-mallisarjan vetureiden vikailmoituksia vuosilta 2015–2021.

### 6.2 Voimansiirtoviat vetureissa ilman tehonsäätömuutosta

Salatun liitteen 2 vikahistorian pohjalta voidaan todeta, että Dr14-veturin voimansiirto ylikuormittuu vetotilanteissa todella paljon. Vaihteistojen, nivelakselien sekä muiden isojen komponenttien vaihtojen lisäksi teleissä olevia halkeamia korjataan vuositasolla useita kertoja. Myös vaihteiston tukilaakereita uusitaan paljon.

Momenttitukien kiinnitysten halkeaminen viittaa materiaalin väsymiseen vaihtuvan kuormituksen alaisena. Materiaaliin kohdistuvan jännityksen kasvaessa, sen amplitudin tulisi pienentyä, jotta se kestäisi kuormituksen.

Veturin pomppimisilmiön seurauksena äkillinen kuormitus etenkin momenttituissa kasvaa ja näin ollen edistää materiaalin väsymistä. Kyseisessä tilanteessa äkillinen kuormitus kohdistuu juuri momenttitukeen ja sen kiinnitykseen, koska se estää akselinkäyttölaitetta pyörimästä vääntömomentin ansiosta.

Pomppiminen kuormittaa kokonaisvaltaisesti koko voimansiirtolinjaa, joka on myös todettavissa vikahistorian pohjalta. Ilmiön vaikutus korostuu, kun veturia

operoidaan radio-ohjauksella ja kuljettaja ei pysty fyysisesti havaitsemaan mahdollista pyörän luistoa, eikä radio-ohjaus pysty reagoimaan sutimiseen riittävän nopeasti.

### 6.3 Voimansiirtoviat tehonsäätömuutos vetureissa

Salatussa liitteessä 2 olevan tehonsäätömuutoksellisten voimansiirtovikahistoriasta voidaan selvästi todeta seuraavaa:

- 1853 (#1)
  - Asennuksen jälkeen on edelleen ilmennyt useaan kertaan halkeamia momenttitukien kiinnityksissä.
  - 3. akselinkäyttölaite on vikaantunut, mutta tutkinnassa on havaittu vian olleen komponentissa.
- 1859 (#3)
  - Asennuksen jälkeen on vaihteisto jouduttu vaihtamaan vikaantumisen takia. Vaihteisto on vikailmoitusten perusteella kuitenkin noin kaksi kuukautta ennen tehonsäädön asennusta alkanut oireilemaan, joten voidaan todeta vian olleen jo vaihteistossa ennestään.
  - Noin 6 kk tehonsäädön asennuksesta on nivelakseli jouduttu vaihtamaan. Nivelakselia ei ole kuitenkaan uusittu vaihteiston vaihdon yhteydessä, joten tämän perusteella ei voida suoraan todeta vian aiheuttajaa.
- 1873 (#2)
  - Ei yhtään voimansiirtoon liittyvää vikailmoitusta vuosilta 2015–2021.
- 1874 (#4)
  - Ei yhtään voimansiirtoon liittyvää vikailmoitusta asennuksen jälkeen.
  - Momenttituen kiinnityksen halkeama on korjaushitsattu ennen asennusta, eikä vika ole uusiutunut asennuksen jälkeen.

## 6.4 Tehonsäätömuutoksesta aiheutuneet vikailmoitukset

Salatun liitteen 2 tehonsäätömuutoksien aiheuttamista vikailmoituksista voidaan selvästi todeta seuraavaa:

- 1853 (#1)
  - Vikailmoituksia on useita tehojen aiheettomasta purkamisesta ja kierrosten seilaamisesta.
  - Logiikka on kadottanut parametrit ja logiikan paristo on jouduttu uusimaan. Tässä asennuksessa on käytetty vanhaa S7-300 sarjan logiikkaa, joka on vuodelta 2001.
- 1859 (#3)
  - Kierrosten soutamisesta on useita vikailmoituksia, varsinkin pienessä nopeudessa ja suurella kuormalla.
- 1873 (#2)
  - Järjestelmä on radio-ohjauksella aiheutunut erilaisia häiriöitä, jonka jälkeen on tehty kytkentämuutos ja häiriöt ovat loppuneet. Tässä asennuksessa on käytetty ensimmäistä kertaa S7-1500 sarjan logiikkaa.
  - Tehottomuudesta on vain yksi vikailmoitus.
- 1874 (#4)
  - Järjestelmän toimintaan liittyviä vikailmoituksia ei ole yhtään. Luokun ottamatta tehoportaiden 7, 13 ja 15 puuttumista ajopöydän porrasnäytöiltä. Tämä on tehonsäätöohjelman ominaisuus.

## 6.5 Tehonsäätömuutoksen asennuksen jälkeen ilmenneet muut tehonsäätöviat

Salatussa liitteessä 2 olevista muista tehonsäätövioista voidaan todeta seuraavaa:

- 1853 (#1)
  - Tehonsäädössä on havaittu normaaleja perusvikoja, joihin tehonsäätömuutoksella ei ole vaikutusta.
- 1859 (#3)
  - Tehottomuudesta on paljon vikailmoituksia pienellä aikavälillä. Logiikkayksikkö on uusittu, joka ei vaikuttanut vikaan. Polttoainepumpun vaihdon jälkeen samaa vikaa ei ole esiintynyt.
- 1873 (#2)
  - Tehonsäädössä on havaittu normaaleja perusvikoja, joihin tehonsäätömuutoksella ei ole vaikutusta.
- 1874 (#4)
  - Tehonsäädössä on havaittu normaaleja perusvikoja, joihin tehonsäätömuutoksella ei ole vaikutusta.

## 6.6 Yhteenveto

Vika-analyysin perusteella voidaan todeta, että vetureiden säätöarvot ja pyörän sutimisen reagoitiherkkyys eroavat merkittävästi veturikohtaisesti toisistaan. Vetureiden 1853 ja 1859 osalta on useita vikailmoituksia kierrosten seilaamisesta kovassa vedossa. Viimeisimpänä tehdystä 1874 puolestaan ei ole yhtään vikailmoitusta järjestelmän yliherkkyydestä. Kaikkien neljän veturin laitteistot ovat asennettu talviaikaan, jolloin kiskon ja pyörän välinen pito eroaa merkittävästi kesäajasta. Jo tämä seikka itsessään lisää käytännönkokeissa ja oikeassa tilanteessa syntyvien erojen mahdollisuutta.

Veturin 1853 kohdalla järjestelmän asennus ei ole myöskään vaikuttanut voimansiirron vaurioiden ehkäisyyn, vaan momenttitukien halkeamia on ilmennyt myös asennuksen jälkeen. 1853 on ensimmäinen veturi, johon tehonsäätömuutos on

tehty ja kyseinen seikka puoltaa vahvasti sitä, että säädöt eroavat veturikohtaisesti toisistaan. Veturikohtaisia eroja säätöarvoissa ei kuitenkaan voida todeta varmasti ilman kaikkien neljän veturin vertailua keskenään, mikä ei tämän selvityksen puitteissa ollut mahdollista.

Kaikkien neljän veturin säädön on suorittanut sama henkilö. Edellä mainittujen tietojen perusteella on mahdollista, että henkilö on harjaantunut laitteiston säädössä, koska viimeisimpänä tehty muutos veturiin 1874 on toiminut moitteetta. Veturin 1874 parametrien asettelua voidaan pitää oikeana. Tämä voidaan todeta niin vika historian kuin käytännön kokeen perusteella, ja se on ehkäissyt todistetavasti voimansiirtoon kohdistuvaa haitallista rasisusta. Veturin 1874 parametrit olisivat suositeltavaa syöttää testinä myös muihin kolmeen veturiin, josta voitaisiin karkeasti todeta, onko järjestelmässä mahdollista käyttää yhtenäisiä parametreja eri vetureiden kesken.

Laajentamista loppusarjaan puoltaa myös S7-300 sarjalla toteutettujen tehonsäätölogiikoiden elinkaari. Insta Automationin mukaan se on noin 20 vuotta (Suutarla 2019). Nykyiset (S7-300) tehonsäätölogiikat ovat peräisin vuosilta 2000–2001. Tästä hyvänä esimerkkinä voidaan pitää 1853 tehonsäätölogiikan vikaantumisen, jossa kaikki parametrit nollaantuivat kokonaan (liite 2).

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, onko veturiin asennettu järjestelmä toiminut käyttötarkoituksensa mukaisesti ja ehkäissyt voimansiirtoa ylikuormittavia tilanteita. Työn tuloksena saavutettiin vikahistoria-analyysiin pohjautuva selvitys järjestelmän todellisesta toimivuudesta.

Järjestelmän hyötyjä ei ole aiemmin voitu näyttää toteen, koska voimansiirron rasituksesta johtuva vikaantuminen ei tapahdu välittömästi. Vikahistoriadataan kertyminen asennuksien jälkeen mahdollisti selvityksen tekemisen järjestelmästä. Kertyneen datan pohjalta oli mahdollista verrata tehonrajoituksella varustettuja vetureita vetureihin, joissa tehonrajoitusta ei ole.

Työ aloitettiin perehtymällä veturin voimansiirron rakenteeseen, tehonsäädön toimintaperiaatteeseen ja tehonrajoituksesta laadittuun dokumentaatioon. Seuraavaksi kerättiin veturikohtainen vikahistoriadata toiminnanohjausjärjestelmästä, josta suodatettiin tarvittavat tiedot. Tehtävää helpotti merkittävästi 10 vuoden aikana kertynyt kokemukseni toimeksiantajayrityksen työntekijänä. Tästä syystä yrityksen toiminannohjausjärjestelmä oli minulle ennestään tuttu, eikä sen käyttö vaatinut erillistä perehtymistä.

Vikahistorian pohjalta kerättyä tietoa voidaan pitää luotettavana ja selvityksen lopputulosta onnistuneena, koska vika-analyysillä voidaan perustellusti osoittaa järjestelmän toimivuus. Jos järjestelmä laajennetaan loppuun Dr14-mallisarjaan, olisi hyvä selvittää säätöarvojen veturikohtaiset erot keskenään vertailemalla ja mahdollisilla muilla lisätesteillä. Mikäli säätötoimenpiteet toteutetaan samantyyppisellä käytännönkokeella kuin aiemmat, on mahdollista, että syntyy veturikohtaisia eroja säätöarvoissa.



## LÄHTEET

IEC/TR 61508-0:fi. 2011. Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Osa 0: toiminnallinen turvallisuus ja IEC 61508. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 6.2.2022. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi/fi/index/>

Inkinen, P. Tuohi, J. 2006. Momentti 1. 4. painos. Kerava: Otava Oy

Keinänen, T. Kärkkäinen, P. Metso, T. Putkonen, K. 2002. Logiikat ja ohjausjärjestelmät koneautomaatio 2. 2. painos. Porvoo: WSOY

Kokkola, K. Kyrenius, H. Vehmainen, E. 1972. Dieselveturit ja moottorivaunut 2. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. 2. painos. Kerava: KP-Media Oy

SFS-EN 50155. 2017. Railway applications. Rolling stock. Electronic equipment- Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 4.5.2021. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi/fi/index/>

SFS-EN 61508-2. 2011. Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Osa 2: vaatimukset sähköisille/elektronisille/ohjelmoitaville elektronisille turvallisuuteen liittyville järjestelmille. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 6.2.2022. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi/fi/index/>

Siemens. 2013. Safety Engineering in SIMATIC S7. Pdf-tiedosto. Luettu 4.5.2021 [https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/12490443/s7\\_safety\\_engineering\\_system\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf?download=true](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/12490443/s7_safety_engineering_system_manual_en-US_en-US.pdf?download=true)

Siemens. 2019. SIMATIC automation systems. Pdf-tiedosto. Luettu 4.5.2021 [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/384/86140384/att\\_1052110/v1/s71500\\_et200mp\\_manual\\_collection\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/384/86140384/att_1052110/v1/s71500_et200mp_manual_collection_en-US.pdf)

Suutarla, J. 2019. Dr14 tehonsäädön uusinta. Powerpoint-esitys. Luettu 23.11.2021. Vaatii käyttöoikeuden

[https://vrgroup-my.sharepoint.com/:p:/r/personal/teemu\\_valo\\_vr\\_fi1/\\_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B8854D60B-175A-4C25-A8B2-365988AF4F5A%7D&file=Dr14%20tehons%C3%A4d%C3%A4n%20uusinta\\_.pptx&action=edit&mobileredirect=true](https://vrgroup-my.sharepoint.com/:p:/r/personal/teemu_valo_vr_fi1/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B8854D60B-175A-4C25-A8B2-365988AF4F5A%7D&file=Dr14%20tehons%C3%A4d%C3%A4n%20uusinta_.pptx&action=edit&mobileredirect=true)

Tampella. 1972. Tampella-M.A.N. dieselmoottorin käyttö- ja huolto-ohjeet. R8V22/30ATL. Tampere: Oy Tampella Ab

Voith. 1972. Virtausvaihteisto L 206 rsb. Rakenneselostus ja käyttöohje. Teknillinen kehitysvaihe 3.225-93-1 fi. Heidenheim: Voith

VR Fleetcare. 2021. VR Fleetcare palvelut. Luettu 27.4.2021.

<https://www.vrfleetcare.com/fi/vr-fleetcare/palvelut/>

VR Group. 2021a. Toimintakertomus ja tilinpäätös 2020. Pdf-tiedosto. Julkaistu 1.4.2021. Luettu 27.4.2021.

[https://vrgroup.studio.crasman.fi/file/dl/a/kQIJvA/WAtcMk9syfnNofLA1XzfaA/VR\\_Group\\_Toimintakertomus\\_ja\\_tilinpaatos\\_2020.pdf](https://vrgroup.studio.crasman.fi/file/dl/a/kQIJvA/WAtcMk9syfnNofLA1XzfaA/VR_Group_Toimintakertomus_ja_tilinpaatos_2020.pdf)

VR Group. 2021b. VR Group yrityksenä. Luettu 27.4.2021.

<https://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/vr-group-yrityksena/>

VR Koulutuskeskus. 2006. Dr14 kuljettajan oppikirja. Julkaistu 15.4.2006. Luettu 27.4.2021. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://vrgroup.sharepoint.com/sites/verstas/Documents/Forms/AllItems.aspx?FolderCTID=0x01200051FD4929CD98BE4189A6251ADBD1B6EC&viewid=c4cee8c5%2D75e1%2D4af4%2D86d0%2D0918229ad7e5&id=%2Fsites%2Fverstas%2FDocuments%2FKuljettajan%20ohjeet%2FDr14>

## LIITTEET

Liite 1. Vikaantumisen todennäköisyysarvot ja tarkastusvälit SIMATIC S7 (Siemens 2013, 98)

	<b>Operation In Low Demand Mode</b> low demand mode (average probability of failure on demand)	<b>Operation In High Demand or Continuous Mode</b> High demand/continuous mode (probability of a dangerous failure per hour)	<b>Proof-test Interval</b>
<b>F-capable CPUs for S7 Distributed Safety:</b>			
IM 151-7 F-CPU	1.59 E-05	3.62E-10	10 years
6ES7151-7FA20-0AB0	3.18E-05	3.62E-10	20 years
IM 151-8F PN/DP CPU	< 5E-05	< 2E-09	10 years
6ES7151-8FB00-0AB0	< 1E-04	< 2E-09	20 years
CPU 315F-2 DP	2.38 E-05	5.43E-10	10 years
6ES7315-6FF01-0AB0	4.76E-05	5.43E-10	20 years
CPU 315F-2 PN/DP	4.76E-05	1.09E-09	10 years
6ES7315-2FH13-0AB0	9.52E-05	1.09E-09	20 years
CPU 317F-2 DP	4.76E-05	1.09E-09	10 years
6ES7317-6FF03-0AB0	9.52E-05	1.09E-09	20 years
CPU 317F-2 PN/DP	4.76E-05	1.09E-09	10 years
6ES7317-2FK13-0AB0	9.52E-05	1.09E-09	20 years
CPU 319F-3 PN/DP	< 1E-04	< 3E-09	10 years
6ES7318-3FL00-0AB0	< 2E-04	< 3E-09	20 years
CPU 416-2	4.76E-05	1.09E-09	10 years
6ES7416-2FN05-0AB0	9.52E-05	1.09E-09	20 years
CPU 416F-3 PN/DP	4.76E-05	1.09E-09	10 years
6ES7416-3FR05-0AB0	9.52E-05	1.09E-09	20 years
<b>F-capable CPUs for S7 F/FH Systems:</b>			
CPU 412-3H	1.9E-04	4.3E-09	10 years
6ES7412-3HJ14-0AB0	3.8E-04	4.3E-09	20 years
CPU 414-4H	1.9E-04	4.3E-09	10 years
6ES7414-4HM14-0AB0	3.8E-04	4.3E-09	20 years
CPU 417-4H	1.9E-04	4.3E-09	10 years
6ES7417-4HT14-0AB0	3.8E-04	4.3E-09	20 years
Safety-related communication	1.00E-05	1.00E-09*	

Liite 2. Dr14 kiihtyvyyssmittaukseen perustuva tehonrajoitus VR Fleetcare (salainen)