



## **Voith L216RS Vaihteiston Vikakorjausten Laajentaminen VR FleetCarella**

Juuso Puranen

OPINNÄYTETYÖ  
Kesäkuu 2024

Ajoneuvotekniikka  
Älykkäät koneet

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Ajoneuvotekniikka  
Älykkäät koneet

PURANEN JUUSO

Voith L216RS Vaihteiston Vikakorjausten Laajentaminen VR FleetCarella

Opinnäytetyö 82 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Kesäkuu 2024

---

Opinnäytetyössä tutkitaan Dv12 diesel veturin vaihteistojen vikaantumista ja vikakorjausten laajentamista Hyvinkään konepajan korjausmenetelmillä, joilla saataisiin vähennettyä vaihteistojen vaihtoja VR FleetCarella. Tutkimuksessa selvitettiin toiminnanohjausjärjestelmästä vaihteistoihin kohdistuvat vikatyypit ja -määrät, joita hyödyntämällä saatiin tuotettua laskelmat vältettävissä olevien vaihteistojen vaihtojen määrästä. Kokonaisuudessaan Hyvinkään konepajan korjausmenetelmiä hyödyntäen voidaan vuodessa säästyä jopa vajaalta 10:ltä vaihteiston vaihdolta. Laskelmista tuotettiin säästölaskelmat yritykselle, joiden perusteella todettiin vikakorjausten laajentaminen kannattavaksi ja ensimmäinen laajennettu vikakorjaus saatiin tehtyä Tampereen varikolla vuoden 2023 joulukuussa.

Lisäksi tutkittiin vaihteiston mekaanisen puolen rakennetta ja toimintaa, sekä vikaantumista ja vikakorjauksiin käytettäviä Hyvinkään konepajan korjausmenetelmiä. Tutkimuksen pohjalta saatiin kattava katsaus vaihteiston suunnanvaihtolaitteen ja nopeusaluevaihteen vikaantumiseen ja erilaisiin korjausmenetelmiin, joita niihin voidaan hyödyntää. Saadun tietotaidon pohjalta pystytään laajempia vikakorjauksia tekemään myös muissa kunnossapitoyksiköissä, sillä laajempien korjausten edellytykset eivät ole mahdottomat toteuttaa.

Tutkimus eteni 2023 vuoden lopulla nopeasti vaihteistojen vikatietojen ja säästölaskelmien osalta. Myös vaihteistojen laajempien vikakorjausten edellytykset saatiin kuntoon vuoden loppuun mennessä, jolloin saatiin toteutettua ensimmäinen prototyypikorjaus. Vikaantumisen ja korjausmenetelmien sekä teoriaosuiden rakentamisen kanssa oli aikataulullisia haasteita, mutta tutkimus saatiin kokonaisuudessaan valmiiksi.

Tulevaisuudessa voitaisiin pohtia vaihteiston hydraulisen puolen vikaantumista ja voitaisiinko niidenkin vikakorjauksia laajentaa vaihteistojen vaihtojen vähentämiseksi. Hydraulisella puolella vikaantumiset johtavat pääsääntöisesti aina vaihteiston vaihtoon ja konepajakorjaukseen.

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Vehicle engineering  
Intelligent machines

PURANEN JUUSO

Expanding Fault Repairs on Voith L216RS Transmissions at VR FleetCare

Bachelor's thesis 82 pages, appendices 3 pages  
June 2024

---

The purpose of this Bachelor's thesis was to study fault repairs on Voith L216RS transmission and figure out how many transmission swaps could be avoided by expanding certain mechanical fault repairs on the transmission. To achieve this the enterprise resource planning software had to be studied and transmission fault data to be extracted for further research. After the data had been extracted it could be combined to find out the types and quantities of the faults that the transmission has gathered over a 5-year period. Comparing the data to transmission repair reports revealed that it would be profitable to expand the fault repairs.

This meant that Tampere depot was to have its first prototype repair done by the end of 2023. According to the calculations it would seem that by expanding the fault repairs it would be possible to avoid nearly 10 transmission swaps in a year. This would be very beneficial to the company in a situation whereby outsourcing maintenance the costs of fault repairs have increased.

For future research it might be wise to study the hydraulic side of the transmission as well to further knowledge about the possibilities of expanding the hydraulic side fault repairs to avoid even more transmission swaps.

---

Key words: tooth coupling, l216rs, voith, hirth

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	VOIMANSIIRTO JA VOITH L216RS -VIRTAUSVAIHEISTO.....	7
	2.1 Hydraulinen voimansiirto .....	7
	2.2 Mekaaninen voimansiirto .....	10
	2.3 Voith L216rs -virtausvaihteisto .....	14
	VAIHEISTON VIKAANTUMINEN JA KORJAUKSET .....	25
	2.4 Vaihteiston vikatyypit ja määrät.....	25
	2.5 Vaihteiston vikaantuminen .....	27
	2.5.1 Suunnanvaihtolaitteen viat .....	28
	2.5.2 Nopeusaluevaihteen viat .....	43
	2.6 Hyvinkään konepajan korjausmenetelmät.....	53
	2.6.1 Nopeusaluevaihteen kunnostus .....	53
	2.6.2 Suunnanvaihdon kunnostus .....	71
3	VÄLTETTÄVISSÄ OLEVAT VAIHEISTOJEN VAIHDOT .....	76
4	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	77
	LÄHTEET .....	79
	LIITTEET .....	80
	Liite 1. Voith L 216 rs poikkileikkaus (Voith Virtausvaihteisto L 216 rs käyttöohje, Liite 1).....	80
	Liite 2. Vaihteiston vikakorjausten säästölaskelmat, salainen.....	81
	Liite 3. Vaihteistojen kunnostusraportit ja -kustannukset, salainen .....	82

## 1 JOHDANTO

VR FleetCare Oy on vuonna 2019 perustettu raidekaluston kunnossapito-yhtiö, jonka omistaja on VR Group. VR FleetCaren organisaatio koostuu yhdeksästä yksiköstä, joilla jokaisella on organisaation sisäiset vastualueet. Opinnäytetyön kannalta keskeisin yksikkö on kalustopalvelut, joka jakautuu kaupunkiliikennekaluston kunnossapitoon, kaukoliikennekaluston kunnossapitoon, vetureiden kunnossapitoon, tavaraliikennekaluston kunnossapitoon ja näitä kaikkia yhdistäviin komponenttien kunnossapitoon, sekä raskaaseen kunnossapitoon ja projektipalveluihin. VR FleetCarella on toimipisteitä ympäri Suomea, joista suurimmat sijaitsevat Helsingissä, Pieksämäellä ja Oulussa. Opinnäytetyön tutkimus tapahtuu pienemmällä Tampereen varikolla. Tampereen varikolla huolletaan ja korjataan pääsääntöisesti VR:n dieselkalustoa. Huollettavaan kalustoon lukeutuvat tavaraliikenteessä käytettävä ja kalustomäärältään laajin Dv12 -sarjan veturi, ratapihoilla vaihtotöissä käytettävä Dr14 ja 2023 vuonna käyttöön otettu moderni dieselsähköveturi Dr19, jolla aletaan korvaamaan VR:n vanhentunutta dieselkalustoa. Dieselvetureiden lisäksi varikolla huolletaan myös VR:n dieselkäyttöisiä Dm12 -sarjan moottorivaunuja.

Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä Dv12 -sarjan vetureissa käytettävään Voith L216rs -virtausvaihteistoon, sen vikaantumiseen, korjauksiin ja toteutettavissa olevien vikakorjausten laajentamiseen varikko-olosuhteissa hyödyntäen Hyvinkään konepajalla kehitettyjä korjausmenetelmiä. Hyvinkään konepajan toiminta lopetettiin vuonna 2018, jonka myötä korjausmenetelmien käytöstä luovuttiin ja vaihteistojen kunnostukset ulkoistettiin. Tutkimuksessa selvitetään, kuinka monta vaihteiston vaihtoa vikakorjausten laajentamisella voitaisiin välttää ja kuinka suuret säästöt tällä saataisiin. Tuloksena saadaan selville lisäksi vaihteistojen vaihtoihin johtaneen vikatyypit ja -määrät.

Tutkimus rajataan vaihteiston mekaanisen puolen vikoihin, koska hydraulisen puolen vikaantuminen vaatii lähes aina vaihteiston purkamisen konepajalla. Vikojen tutkimisessa keskitytään Hyvinkään konepajan korjausmenetelmien poh-

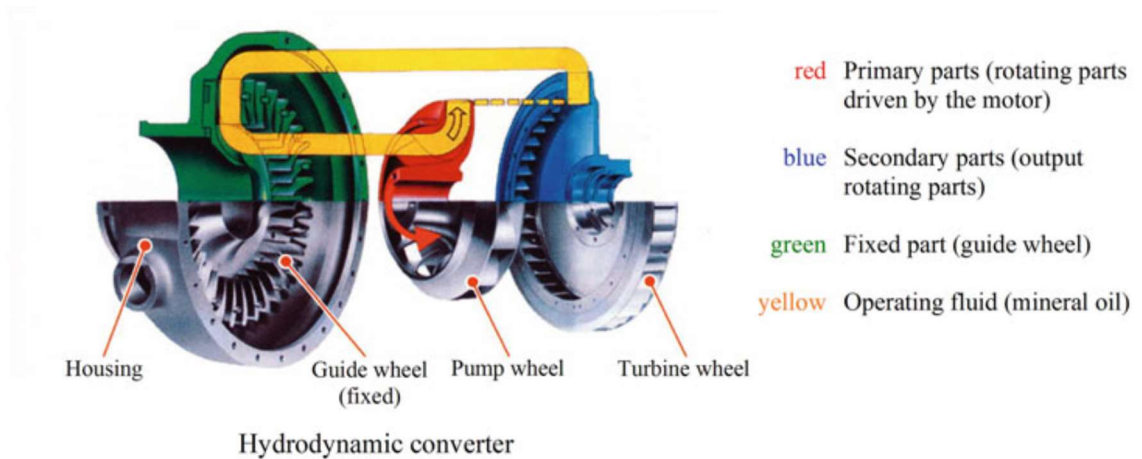
jalta vaihteiston suunnanvaihtolaitteen ja nopeusaluevaihteen vikoihin. Nopeusaluevaihteen vikojen korjauksia ei ole aiemmin tehty korjaamo-olosuhteissa, joten tutkimuksessa selvitetään edellytykset nopeusaluevaihteen korjauksille.

## 2 VOIMANSIIRTO JA VOITH L216RS -VIRTAUSVAIHTTEISTO

Mekaanisen voimansiirron käyttäminen vetureiden vaihteistoissa ei nykyaikana ole enää mahdollista moottorien tehojen kasvaessa ja vedettävien junien painon lisääntyessä. Täysin mekaanista voimansiirtoa saatetaan edelleen käyttää joissain pienitehoisissa vetureissa, joilla ei vedetä kokonaisia junia. Nykyaikaisemmissa vetureissa suuritehoisille moottoreille käytetään hydraulismekaanisia vaihteistoja, joissa hyödynnetään Hermann Föttingerin keksimien momentinmuuntimien ja nestekytkimien ominaisuuksia suuren vetovoiman luomiseksi liikkeellelähdistä ja moottorin hyötysuhteen optimoimiseksi koko kierrosalueella. Voimansiirron mekaanisella puolella toteutetaan monikäyttöisyyteen mahdollistavat ominaisuudet kuten suunnanvaihdot ja eri nopeusaluevaihteet.

### 2.1 Hydraulinen voimansiirto

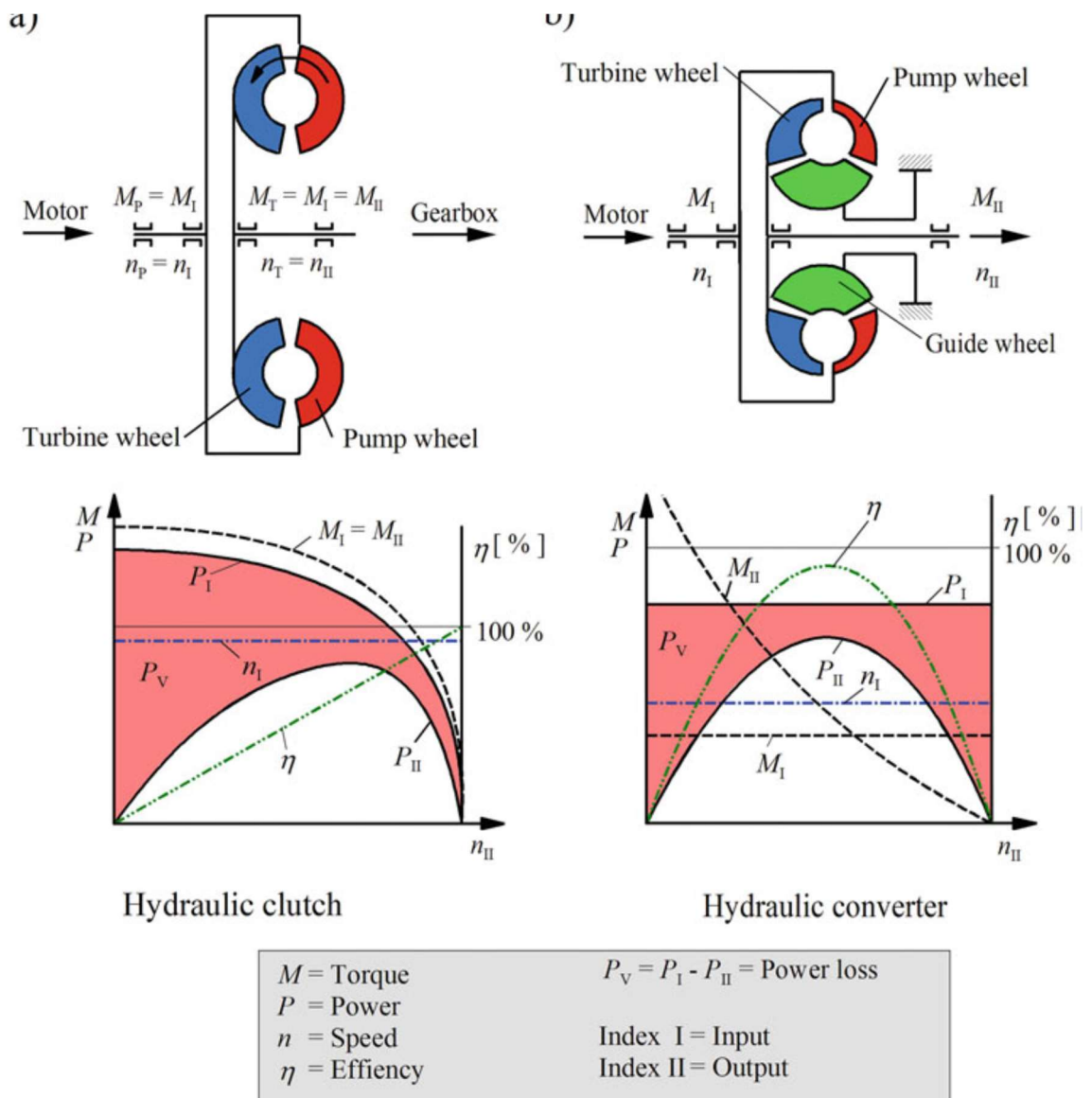
Hydraulisessa voimansiirrosta käytettävät momentinmuuntimet ja nestekytkimet perustuvat kaikki Föttingerin periaatteeseen. Föttingerin periaatteella toimivissa momentinmuuntimissa on kaksi vastakkain aseteltua vapaasti pyörivää elementtiä, turbiinipyörä ja pumppupyörä, jotka on suljettu tiiviisti muuntajakotelon sisään. Pumppupyörä on yhdistetty moottoriin, joka pyöriessään keskipakoisvoiman vaikutuksesta kiihdyttää mineraaliöljyä pumppupyörän ulkokehälle, josta vastakkain aseteltu turbiinipyörä ottaa öljyvirtauksen liike-energian vastaan ja hidastaa sitä. Tällöin mineraaliöljyn kulkiessa turbiinipyörän siipien läpi alkaa turbiinipyörä pyöriä, hidastaen mineraaliöljyä ja muuntaen sen liike-energian omakseen. Kuvassa 1 momentinmuuntaja, johon merkattuna edellä käytyt muuntajan osat.



KUVA 1. Momentinmuuntajan osat (Ihme, J. 2019, 86)

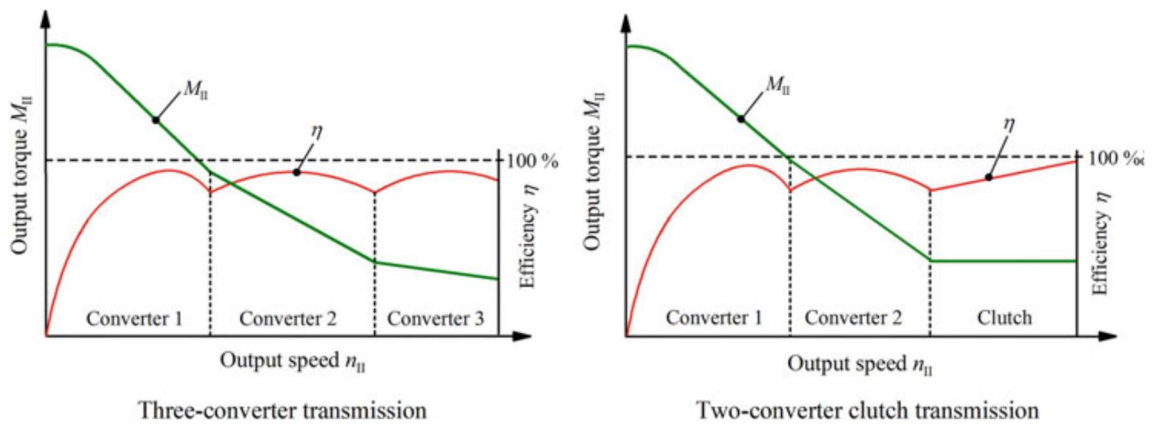
Momentinmuuntajat tuottavat turbiinipyörälle matalilla pumppupyörän kierroksilla suuremman vääntömomentin mitä pumppupyörä ottaa vastaan moottorilta. Parhaimman hyötysuhteen momentinmuuntaja saavuttaa, kun turbiinipyörä eli momentinmuuntajan ulostulo, on sen kierrosalueen puolivälissä. Mitä korkeammaksi ulostulon pyörimisnopeus kasvaa, sitä pienemmäksi hyötysuhde laskee. Nestekytkin taas toimii eri tavalla. Nestekytkimen pumppupyörän pyöriessä tasaisella nopeudella kasvaa kytkimen hyötysuhde melkein 100 %:iin asti, mutta jos pumppupyörä ja ulostulo saavuttaisivat saman pyörimisnopeuden, ei pumppupyörän vääntö enää välittyisi ulostulolle. Tämän takia nestekytkimet suunnitellaan luistamaan noin 3 %, jotta pumppupyörän ja ulostulon pyörimisnopeudet eivät koskaan saavuttaisi toisiaan. Kuvassa 2 esitetty nestekytkimen ja momentinmuuntajan vääntömomenttikäyrät ulostulon pyörimisnopeuden funktiona. (Ihme, J. 2019. 86–87)





KUVA 2. Vääntömomenttikäyrät nestekytkimelle ja momentinmuuntajalle (Ihme, J. 2019, 87)

Käytännössä nestekytкимиä ja momentinmuuntajia yhdistellään vaihteistoissa, jolloin voidaan hyödyntää molempien hyvät puolet. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi kahden momentinmuuntajan ja nestekytkimen yhdistelmänä, jolloin ensimmäinen momentinmuuntaja suunnitellaan tuottavan suurimman vääntömomentin liikkeellelähdössä ja toisen muuntajan tuottavan parhaimman vääntömomentin keskinopeuksille. Nestekytкин tuottaisi parhaimman väännön kierrosalueen loppuun, kun toisen momentinmuuntajan hyötysuhde alkaa pienentyä. Kuvassa 3 vääntömomentti ja hyötysuhdekäyrät ulostulon nopeuden funktiona kahden momentinmuuntajan ja nestekytkimen, sekä kolmen momentinmuuntajan kokoonpanolle. (Ihme, J. 2019, 85–86)



KUVA 3. Vääntömomentti ja hyötysuhde käyrät (Ihme, J. 2019. 88)

## 2.2 Mekaaninen voimansiirto

Tutkimuksen kannalta olennaista on ymmärtää hammaskytkimien ja Hirth-hammastuksen toiminta pääpiirteittäin. Hirth-hammastukset ovat myös hammaskytkimiä, jotka on keksinyt saksalainen insinööri Carl Alber Hirth vuonna 1928. Hirth-hammaskytkimiä käytetään mekaanisissa käyttökohteissa kuten työstökoneissa, voimansiirrossa, ahtimissa, momentinmuuntajissa ja yleisesti ajoneuvotekniikassa voimansiirrossa. Kuvassa 4. Hirth-hammaskytkentä laippaliitoksessa. (Croccolo, D. 2018. 1–2) Hirth-hammaskytkimen etuja ovat:

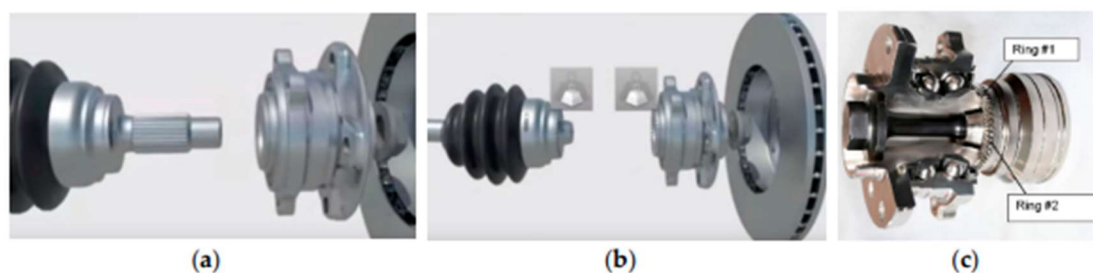
- Kytkenän tarkkuus
- Itsestään keskittävä kytkentä
- Suuri voiman välitys hammastuksessa
- Pitkä elinikä, kuluminen vähäistä suuren hammaskosketuksen ja materiaalin ansiosta



Figure 1. Example of Hirth rings: (a) disengaged and (b) engaged.

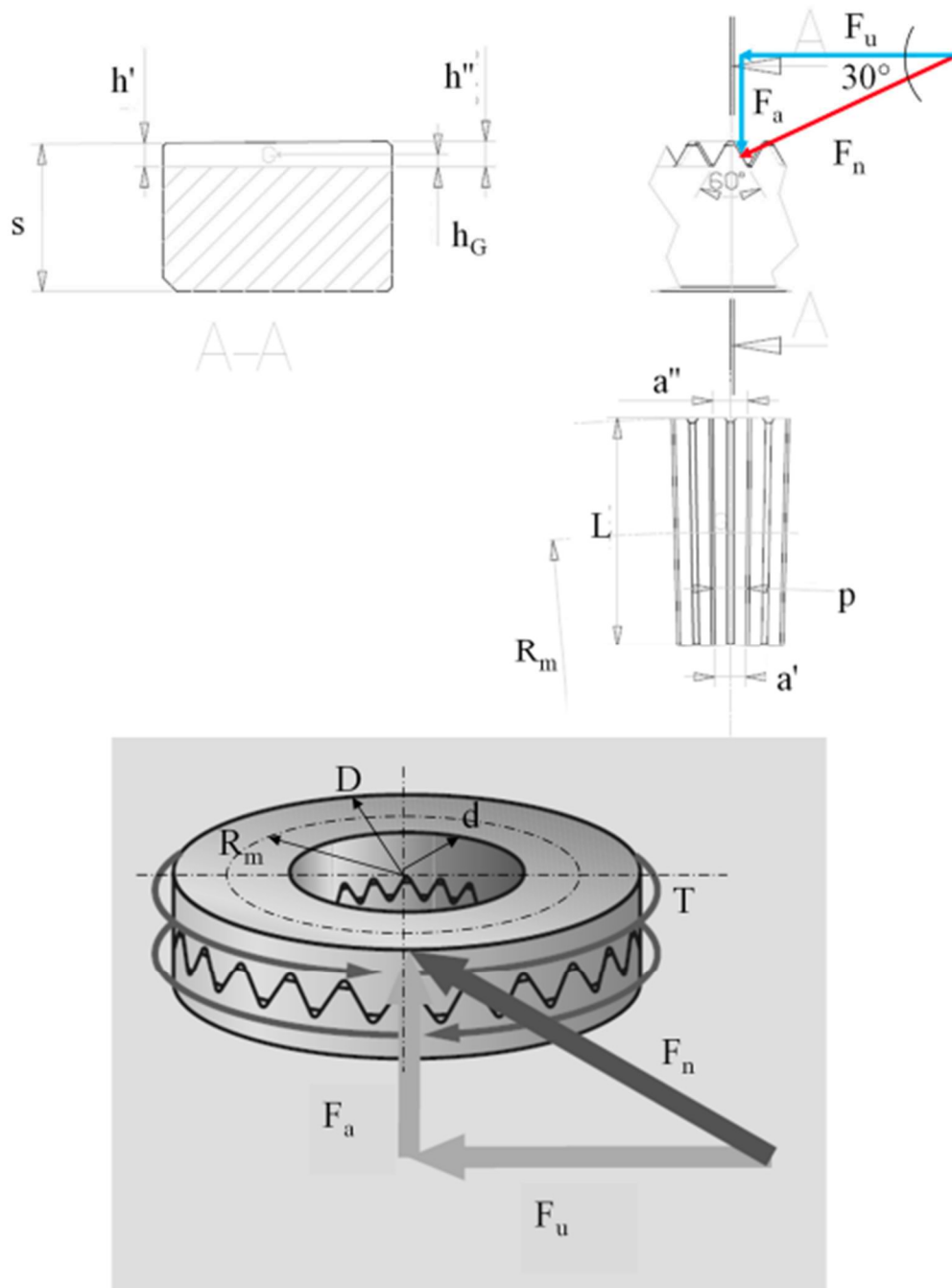
KUVA 4. Hirth-hammaskytkentä laippaliitoksessa (Croccolo, D. 2018. 1)

Ajoneuvoissa käytetään usein akselin ulkokehällä olevia hammastuksia, jotka pystyvät liukumaan pyörivässä kappaleessa akselin suuntaisesti kytkettynäkin. Toisenlaisessa kytkennässä hammastus on akselin päässä, jossa vastakappale kiinnitetään akseliin hammastuksen läpi kulkevilla pulteilla. Kuvassa 5. molemmat hammastyypit. (Croccolo, D. 2018. 2)



KUVA 5. Hirth-hammastyypit, akselin ulkokehän hammastus a kohdassa, b ja c kohdassa hammastus akselin päässä (Croccolo, D. 2018. 2)

Voith L216RS Vaihteiston ulostuloakseli on kaksiosainen akseli, jossa puoliskot yhdistetään toisiinsa edellisen kuvan c kohdan tyyppisellä hammastuksella. Hirth-hammastuksien laskennassa määritetään kuvassa 6 nähtävät voimat ja niiden avulla hammastuksen koko ja kiinnityspulttien mitat.



KUVA 6. Hirth-hammastuksen termistö ja vaikuttavien voimien suunnat (Croccolo, D. 2018. 4)

Tangentiaalinen voima  $F_u$  on

$$F_u = \frac{T}{R_m}, \quad (1)$$

jossa  $T$  on hampaisiin kohdistuva vääntömomentti ja  $R_m$  hammastuksen keskipisteen etäisyys akselin keskipisteestä (Croccolo, D. 2018. 3)

Hammastukseen kohdistuva aksiaalinen voima  $F_a$  on

$$F_a = F_u \tan\left(\frac{\pi}{6}\right), \quad (2)$$

jossa  $F_u$  on tangenciaalinen voima. Aksiaalinen voiman kautta saadaan liitoksessa käytettävät pultit mitoittettua kestäväää liitosta varten. (Croccolo, D. 2018. 4)

Hampaiden mitoituksessa lasketaan taivutusjännitys  $\sigma_b$  kaavalla

$$\sigma_b = \frac{6 \frac{F_u}{z} h_G}{L \left(\frac{a' + a''}{2}\right)^2} \leq \sigma_{b_{ref}}, \quad (3)$$

jossa  $z$  on hampaiden lukumäärä, muut arvot kuvasta 6 ja  $\sigma_{b_{ref}}$  vertailuarvo otetaan kuvasta 7. (Croccolo, D. 2018. 3–4). Hampaiden mitoitusta ei ole oleellista käydä tämän enempää läpi.

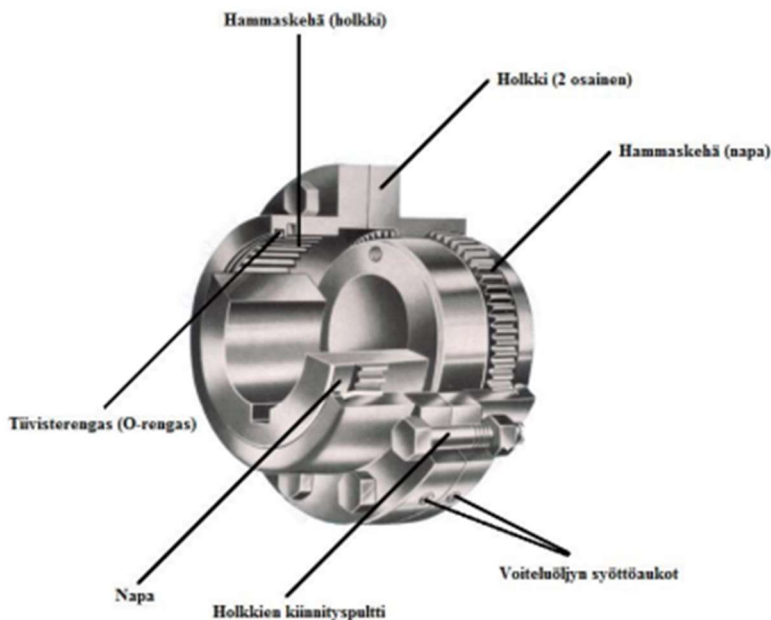
**Table 1.** Allowable stresses ( $\sigma_{b_{ref}}$  and  $\tau_{ref}$ ) for carbon steel and for alloyed steels for base radius  $r > 0.3$  mm [14,20].

Type of Stress	Carbon Steel		Alloyed Steel Cr-Ni and Cr-Mo	
	$\sigma_{b_{ref}}$ (MPa)	$\tau_{ref}$ (MPa)	$\sigma_{b_{ref}}$ (MPa)	$\tau_{ref}$ (MPa)
No Shocks	90	33.5	120	44.5
With shocks	50	18.5	70	26
With shocks and with torsional vibration	35	13	50	18.5

KUVA 7. Sallitut taivutusjännitykset eri terästyypeille (Croccolo, D. 2018. 4)

Hammaskytkimiä, joita käytetään suunnanvaihtolaitteessa ulostuloakselin pyörimissuunnan määrittämiseen, kuvailee Seppo Kivioja Koneenosien suunnittelu 3 kirjassa näin: "Hammaskytkin, jossa on kaksi hammastusta, sallii kaiken suuntaisia akselien välisiä pieniä asennusvirheitä." Hammaskytkimiä pystytään siis asentamaan myös siten, että yhdistettävien akselien päät eivät ole täysin suorassa linjassa. Hammaskytkimeen kuuluu akseliin asennettava hammaskehällinen napa, jonka hampaiden muoto on kovera. Koveruudella lisätään hammas-

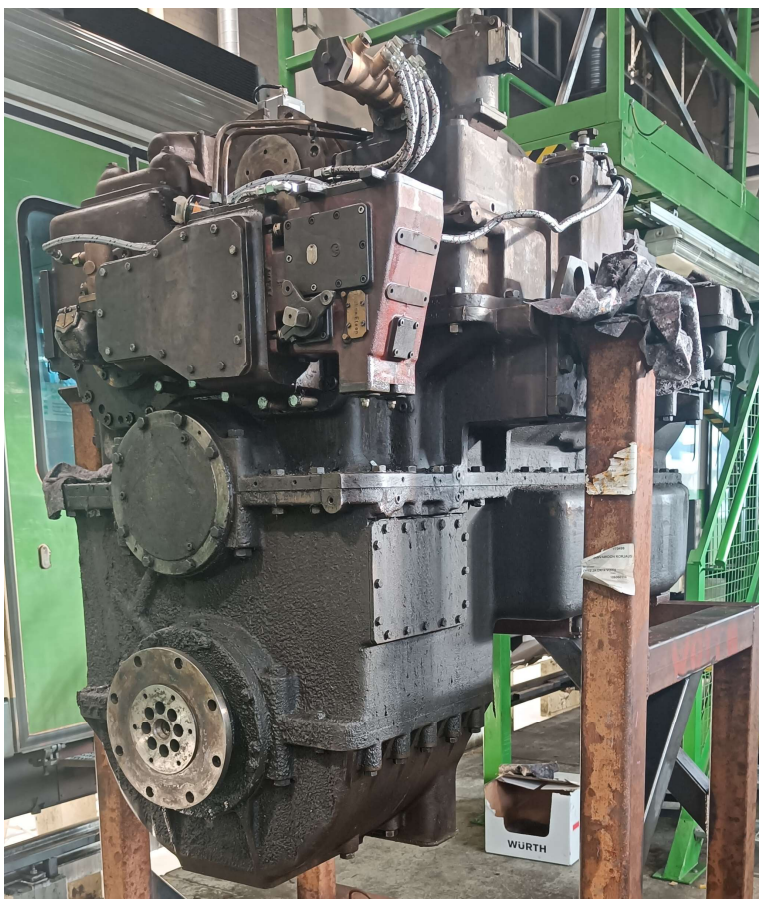
kytkimen liikkuvuutta ja parannetaan sen kytkeytymistä. Vastakappaleessa on sisäpuolinen hammastus. Voith L216RS vaihteistossa akseliin yhdistettävä napana toimii suunnanvaihdon holkki ja vastakappaleena suunnanvaihdon napa. Kuvassa 8. Hammaskytkimen yleisrakenne toissijaisesta lähteestä. (Airila, M. 1985. 198–199)



KUVA 8. Hammaskytkimen rakenne (Ihalainen, A. 2014. 13)

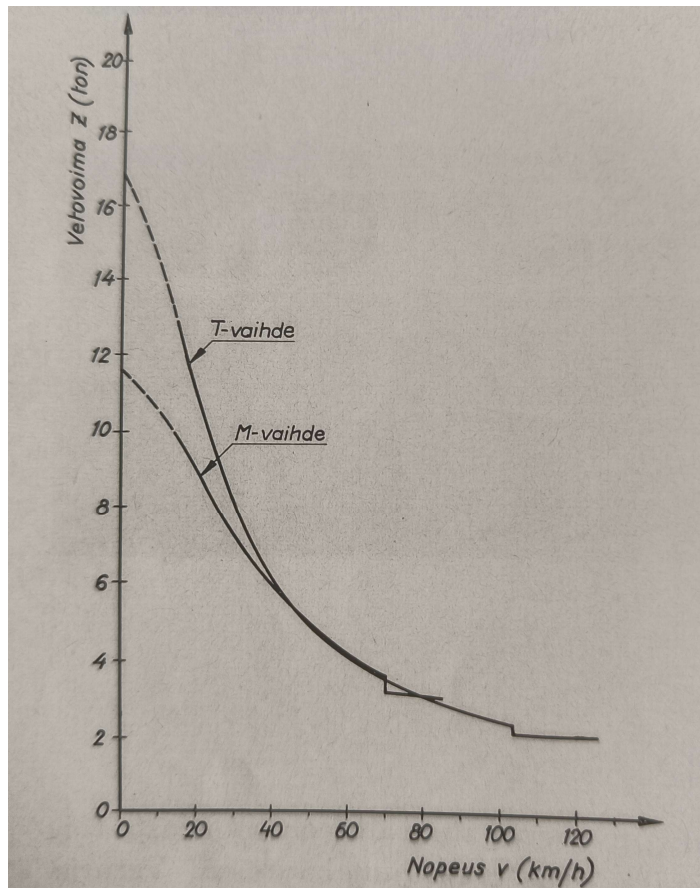
### 2.3 Voith L216rs -virtausvaihteisto

Voith L 216 rs on 3-vaihteinen vaihteisto, jonka toiminta perustuu kahteen Föttin-gerin periaatteella toimivaan momentinmuuntimeen, yhteen hydrauliseen virtauskytkimeen sekä mekaanisiin suunnanvaihtolaitteeseen ja nopeusaluevaihteeseen. Kaksi eri nopeusaluevaihdetta mahdollistavat veturin käytön matkustaja- ja tavarajunaliikenteessä, sekä vaihtotyöveturina ratapihoilla. Vaihteistossa on yksi sisääntulolaippa, joka yhdistetään kardanaakselin ja kumikytkimen välityksellä Dv12 veturin päämoottoriin, kahdella ahtimella varustettuun Tampella MGO V16 BSHR dieselmoottoriin. Kuvassa 9 Voith L216rs vaihteisto. (Kokkola ym. 1971, 250; Voith virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, 1)



KUVA 9. Voith L216rs vaihteisto (Kuva: Juuso Puranen)

Moottorin tuottama vääntö muuntuu vaihteistossa portaattomaksi vääntömomentiksi, joka välittyy vaihteiston kahdesta käyttölaipasta kardaaniakselien kautta akselinkäyttölaitteille ja sitä kautta pyörille tuottaen veturille liikkeellelähdistä parhaimmillaan vajaan 200kN vetovoiman. Kuvassa 10 veturin vetovoimakäyrät nopeuden funktiona kahdella eri nopeusaluevaihteella. (Kokkola ym. 1971, 250; Voith virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, 1)

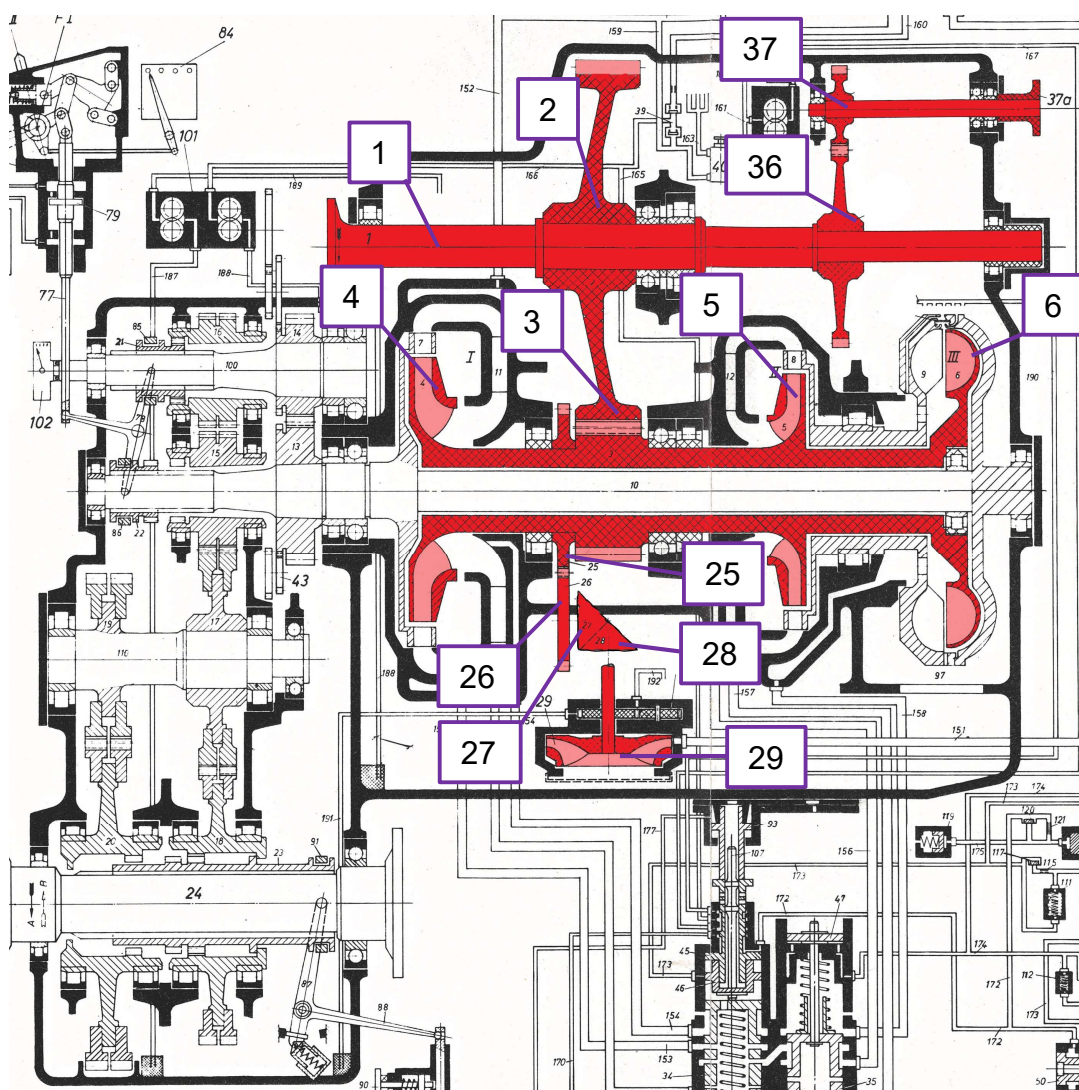


KUVA 10. Veturin vetovoimakäyrät eri nopeusaluevaihteilla (Kokkola ym. 1971, 250)

Opinnäytetyön tutkimuksen kannalta olennaisinta on ymmärtää vaihteiston mekaanisen voimansiirron toiminta pääpiirteittäin. Vaihteiston hydraulisen puolen toimintaa ei erikseen käydä läpi, koska hydraulisen puolen vikaannuttua joudutaan vaihteisto yleensä purkamaan, jolloin vaihteiston vaihdolta ei voi välttyä. Vaihteistossa suunnanvaihtolaite ja nopeusaluevaihte sijoittuvat vaihteiston mekaaniselle puolelle ja näiden korjauksia pystytään tekemään ilman vaihteiston purkamista. Suunnanvaihtolaite ja nopeusaluevaihte perustuvat toiminnaltaan hammaskytkimiin, jossa hammaskytkentää muuttamalla vaihdetaan mekaanisen voimansiirron kytkentöjä halutun kulkusuunnan ja vetovoiman saavuttamiseksi. Vaihteiston toiminnan ja rakenteen havainnollistamiseksi hyödynnetään liitteen 1 poikkileikkausta vaihteistosta, jota muokkaamalla saadaan helpommin luettava seloste vaihteiston toiminnasta. Vaihteiston suunnanvaihtolaitteen ja nopeusaluevaihteen toimintaa käydään tarkemmin läpi kappaleessa 2.5 Vaihteiston vikaantuminen.



Vaihteiston ensiöpuolella, moottorin tuottama vääntö siirtyy sisääntuloakselissa 1 olevan esivaihteen suuren hammaspyörän 2 kautta esivaihteen pieneen hammaspyörään 3, jonka välityksellä pumppuakseli ja siihen kiinnitetyt pumppupyörät 4, 5 ja 6 pyörivät. Vaihteiston ensiöpuolen sisääntuloakselissa on lieriöhammaspyörien 36 ja 37 välityksellä myös generaattorille suunniteltu ulostulo, jota ei nykyään hyödynnetä. Pumppuakselin lieriöhammaspyörien 25 ja 26, sekä kartiohammaspyörien 27 ja 28 välityksellä toimii vaihteiston täyttöpumppu 29, joka tuottaa vaaditun öljynpaineen ja virtauksen järjestelmään aina moottorin käytössä. Vaihteiston kahden momentinmuuntimen ja virtauskytkimen öljyä kiihdyttävät pumppupyörät on kaikki kiinnitetty samaan pumppuakseliin. Kuvassa 11 vaihteiston poikkileikkaus, jossa ensiöosat punaisella ja numeroituna. (Voith virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, 1–3)

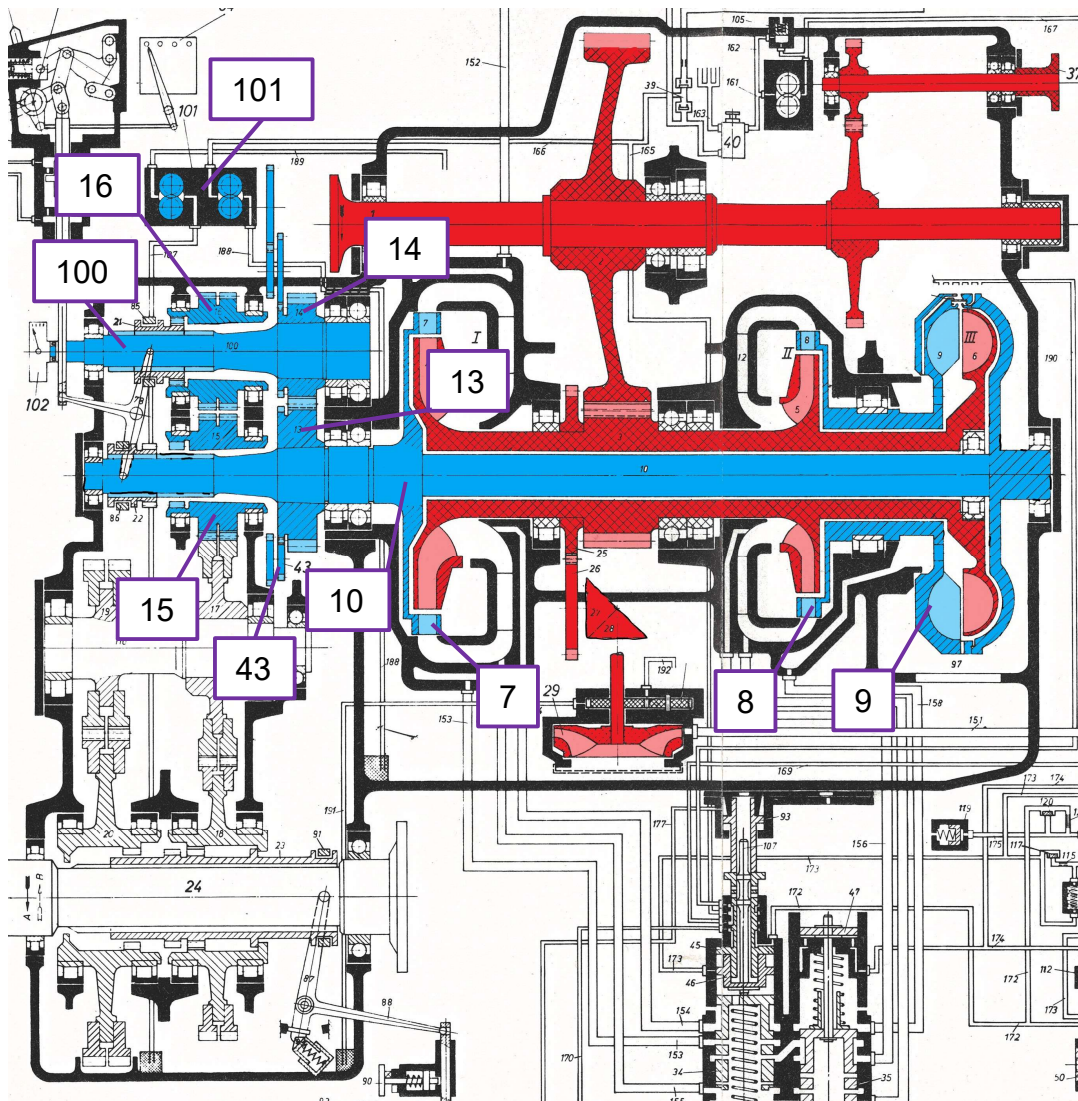


KUVA 11. Vaihteiston ensiöosat punaisella (Voith Virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, Liite 1, muokattu)

Numeroidut osat listattuna alla

1. Sisääntuloakseli
2. Esivaihteen suuri hammaspyörä
3. Esivaihteen pieni hammaspyörä
4. Muuntaja 1:n pumppupyörä
5. Muuntaja 2:n pumppupyörä
6. Virtauskytkimen pumppupyörä
25. Täyttöpumpun lieriöhammaspyörä
26. Täyttöpumpun lieriöhammaspyörä
27. Täyttöpumpun kartiohammaspyörä
28. Täyttöpumpun kartiohammaspyörä
29. Täyttöpumppu
36. Apulaitteiden lieriöhammaspyörä
37. Apulaitteiden lieriöhammaspyörä

Vaihteiston toisiopuolella, toisioakselissa 10, on molempien momentinmuuntajien ja virtauskytkimen turbiinipyörät 7, 8 ja 9, jotka muuntavat pumppupyöriltä tulevan öljyvirtauksen sitä hidastamalla takaisin mekaaniseksi energiaksi. Tämä energia siirtyy toisioakselia pitkin toisiohammaspyörälle 13, jonka kautta se siirtyy toisiohammaspyörän 14 kautta sivuakselille 100. Toisioakseli 10 ja sivuakseli 100 ovat rinnakkain ja näiden akselien ulostuloa muuttamalla päätetään, mihin suuntaan veturi kulkee. Toisiopuolelta otetaan voima toisiohammaspyörän 14 välityksellä myös toisiovoitelu- ja palautuspumpulle 101. Vaihteiston kytkentäsäätäjä saa välityksen toisiohammaspyörän 43 kautta, joka on kosketuksissa toisiohammaspyörään 13. Yksinkertaistettuna vaihteiston kytkentäsäätäjä säätelee vaihteiden vaihtoa veturin päämoottorin ruiskutuksen ja nopeuden mukaan ohjaamalla öljyä joko momentinmuuntajille tai nestekytkimelle. Kuvassa 12 toisiopuoli sinisellä ja numeroituna. (Voith Virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, 2–5)



KUVA 12. Toisiopuoli sinisellä (Voith Virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, Liite 1, muokattu)

Numeroidut osat listattuna alla

- 7. Muuntaja 1:n turbiinipyörä
- 8. Muuntaja 2:n turbiinipyörä
- 9. Virtauskytkimen turbiinipyörä
- 10. Toisioakseli
- 13. Toisiohammaspyörä, toisioakseli
- 14. Toisiohammaspyörä, sivuakseli
- 15. Kytentähammaspyörä, toisioakseli

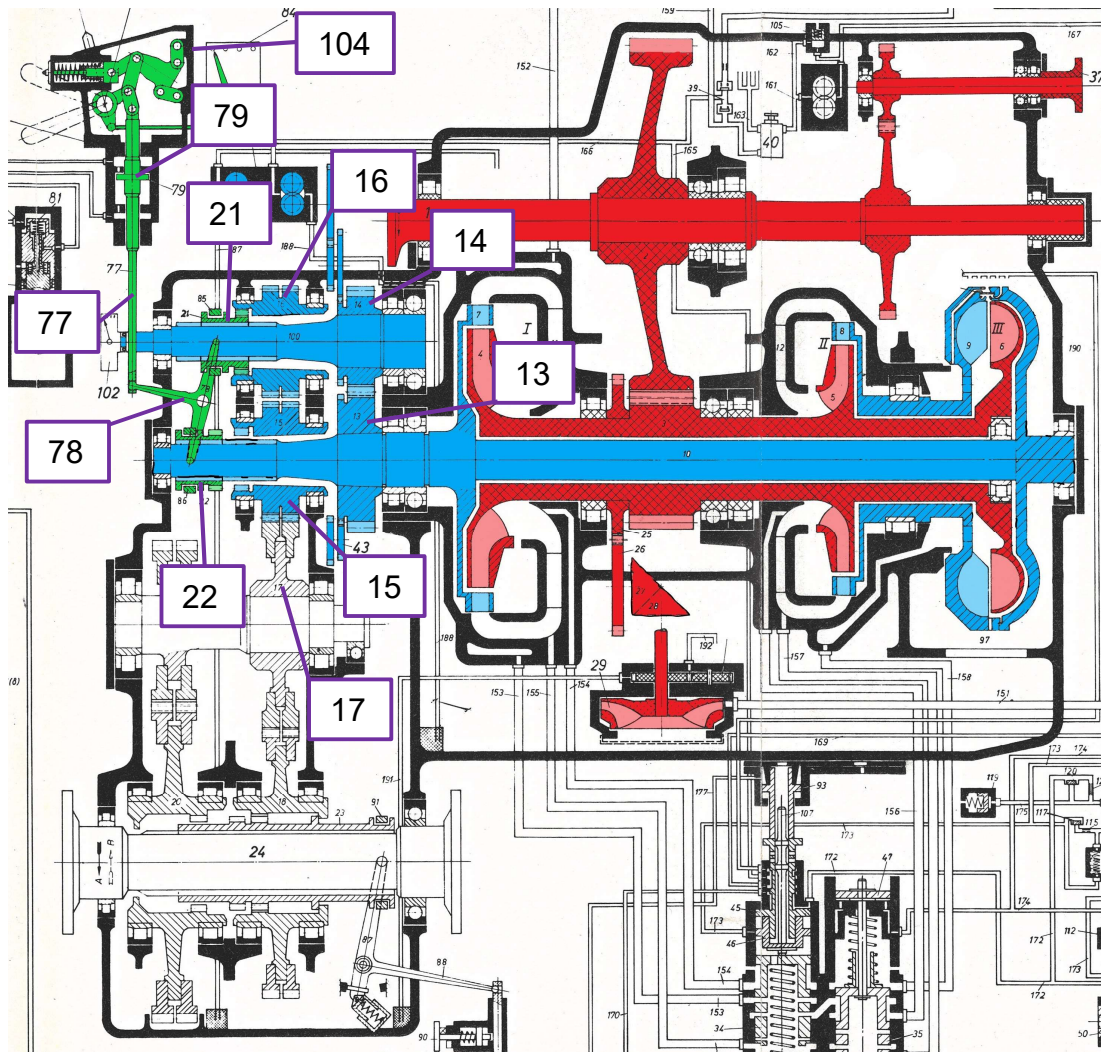
16. Kyt kentähammaspyörä, sivu akseli

43. Kyt kentäsäätimen käyttö

100. Sivua akseli

101. Toisiovoitelu- ja palautuspumput

Suunnanvaihtolaite päättää ulostuloakselin pyörimissuunnan suunnanvaihdon kytkentäsynterillä 104. Suunnanvaihtomäntä 79 liikuttaa suunnanvaihtosynterinin työntötangon 77 välityksellä kytkentähaarukkaa 78, joka suunnanvaihtoholkin 22 hammaskosketusta muuttamalla ottaa voiman toisioakselin 10 ja hammaspyörän 15 kautta hammaspyörälle 17. Vastaavasti toiseen suuntaan toisioakselin 10 kautta hammaspyörien 13 ja 14 kautta pyörimissuuntaa kääntäen sivuakselille 100, josta suunnanvaihtoholkin 21 ja hammaspyörän 16 kautta myös hammaspyörälle 17. Kuvassa 13 suunnanvaihdon mekanismit vihreällä värillä ja numeroituna. (Voith Virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, 2–5)



KUVA 13. Ensio, Toisio ja suunnanvaihto värjättyinä (Voith Virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, Liite 1, muokattu)

Numeroidut osat listattuna alla

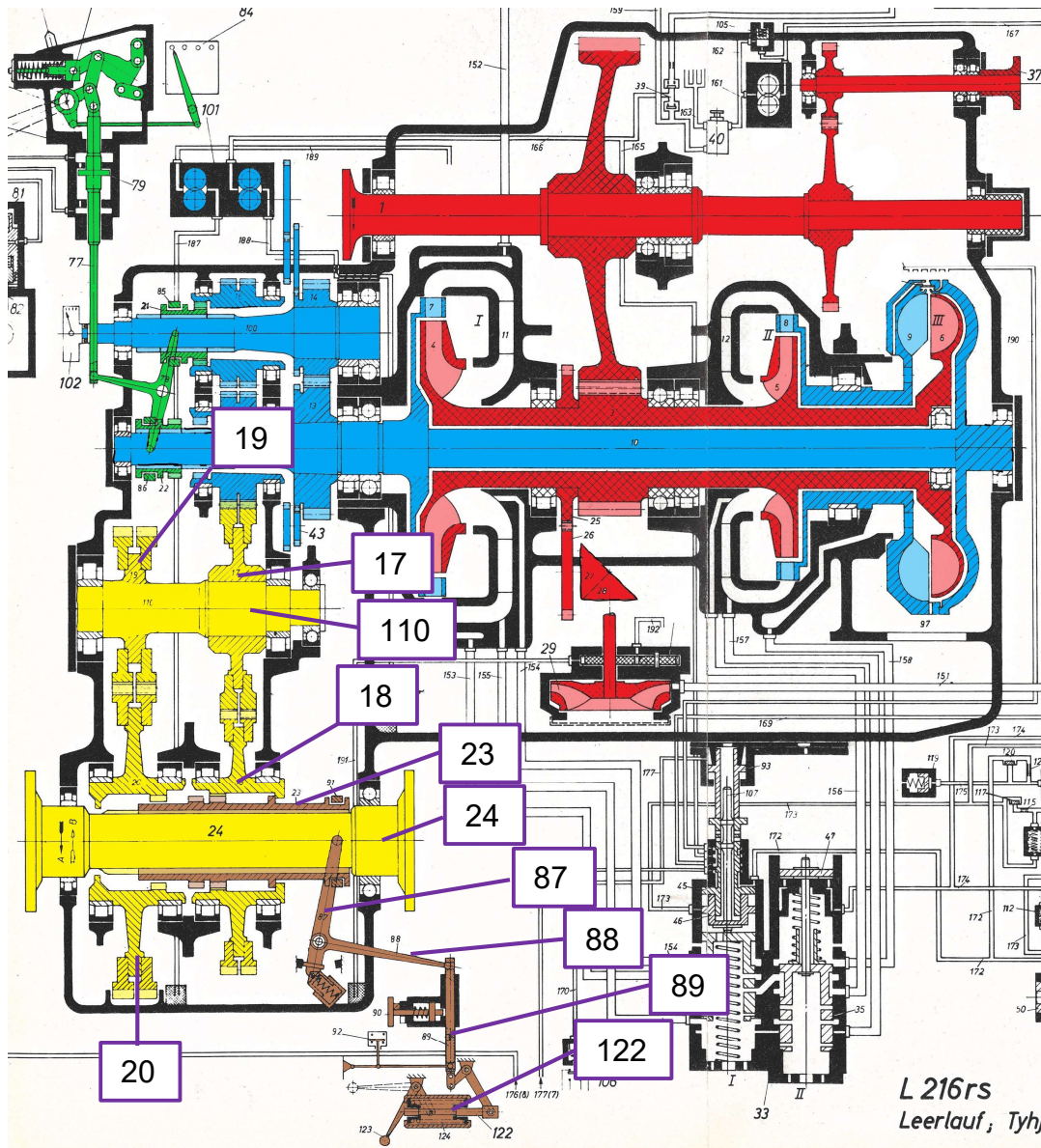
- 13. Toisiohammaspyörä, toisioakseli
- 14. Toisiohammaspyörä, sivuakseli
- 15. Kytentähammaspyörä, toisioakseli
- 16. Kytentähammaspyörä, sivuakseli
- 17. Toisiohammaspyörä, väliakseli
- 21. Suunnanvaihtoholkki, sivuakseli
- 22. Suunnanvaihtoholkki, toisioakseli
- 77. Suunnanvaihtosylinterin työntötanko

78. Suunnanvaihdon kytkentähaarukka

79. Suunnanvaihtomäntä

104. Suunnanvaihdon kytkentäsylinteri

Nopeusaluevaihteen muodostavat hammaspyörät 17 ja 18, sekä 19 ja 20. Hammaspyörät 17 ja 18 sijaitsevat suunnanvaihtolaitteen ja vaihteiston ulostuloakselin 24 välissä väliakselilla 110. Hammaspyörät 19 ja 20 sijaitsevat ulostuloakselilla 24. Nopeusaluevaihteen ollessa pienellä nopeusalueella ovat hammaspyörät 19 ja 20 kosketuksissa. Suurella nopeusaluevaihteella kosketuksissa ovat vastaavasti hammaspyörät 17 ja 18. Nopeusaluevaihteen hammaskytkimen toimintaperiaate on samanlainen kuin suunnanvaihtolaitteessa, mutta siinä ei ole sähköistä ohjausta. Nopeusaluevaihteen kytkentälaite 122 ohjaa kytkentätankojen 89 kautta kytkentävipua 88, joka liikuttaa kytkentähaarukan 87 välityksellä ulostuloakselilla sijaitsevaa nopeusaluevaihteen kytkentäholkkia 23. Kytkentäholkki kytkee hampaiden välityksellä, nopeusaluevaihteen asennon mukaan, hammaspyöräparin 19/20 tai 17/18 ulostuloakseliin 24. Kuvassa 14 nopeusaluevaihteen osat värjättyinä keltaisella, ja aluevaihteen holkki ja ohjausmekanismi ruskealla, osat numeroituna. (Voith Virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, 2–5)



KUVA 14. Ensio, toisio, suunnanvaihto ja aluevaihte värjättyinä (Voith Virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, Liite 1, muokattu)

Numeroidut osat listattuna alla

- 17. Toisiohammaspyörä, väliakseli
- 18. Kytentähammaspyörä, ulostuloakseli
- 19. Toisiohammaspyörä, väliakseli
- 20. Kytentähammaspyörä, ulostuloakseli
- 23. Nopeusaluevaihteen kytentäholkki, ulostuloakseli
- 24. Ulostuloakseli

87. Nopeusaluevaihteen kytkentähaarukka

88. Nopeusaluevaihteen kytkentävipu

89. Nopeusaluevaihteen kytkentätangot

110. Väliakseli

122. Nopeusaluevaihteen kytkentälaite

Edellä käydyt vaihteiston voimansiirron hammaspyörien kytkennät nopeusaluevaihteen ja suunnan mukaan listattuna taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Vaihteiston hammaskytkennät (Voith Virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, 3)

Ulostuloakselin pyörimissuunta (ajosuunta)	Pieni nopeusalue		Suuri nopeusalue	
	A Taakse	B Eteen	A Taakse	B Eteen
Kuormituksen alaiset hammaspyöräparit	4	3	4	3
Voima välittyy hammaspyörien kautta	2/3 13/14 16/17 19/20	2/3 15/17 19/20	2/3 13/14 16/17 17/18	2/3 15/17 17/18



## **VAIHEISTON VIKAANTUMINEN JA KORJAUKSET**

Vaihteiston vikaantumisessa käsitellään aluksi vaihteiston eri vikatyypit ja määrät, joiden pohjalta eritellään suunnanvaihtolaitteen ja nopeusaluevaihteen viat. Suunnanvaihtolaitteen ja nopeusaluevaihteen vikaantumisprosessi käydään läpi ja pohditaan vikaantumisien syitä ja esitellään suunnanvaihtolaitteen vikojen korjauksiin jo käytössä olevat korjausmenetelmät, sekä selvitetään edellytykset nopeusaluevaihteen korjauksien aloittamiselle Hyvinkään korjausmenetelmillä.

### **2.4 Vaihteiston vikatyypit ja määrät**

Tässä kappaleessa käsitellään vaihteiston eri vikatyyppejä ja määriä vuositasolla viimeisen viiden vuoden ajalta. Vaihteistojen vikahistoriaa tutkimalla vuosien 2018–2023 ajalta saadaan tietoa eri vikatyypeistä ja määristä, joita vaihteistoissa on ilmaantunut niiden elinkaaren aikana. Tutkimuksen kannalta olennaisinta on keskittyä suunnanvaihtolaitteen ja nopeusaluevaihteen vikoihin. Tiedot on poimittu 2018–2023 vuosina käytössä olleiden vetureiden vikailmoituksista VR FleetCaren toiminnanohjausjärjestelmän tiedoista, jotka on koostettu excel-taulukkoon ja suodatettu vaihteistoon liittyvät viat. Suodatuksen jälkeen on saadut tiedot vielä tarkastettu manuaalisesti, jotta vikamäärien oikeellisuus on todenmukainen. Tämä koettiin lopulta parhaimmaksi tavaksi löytää oikeat vikamäärät, sillä alkuperäisellä suunnitelmalla, jossa turvauduttiin veturin rakennepuun ja sen pohjalta luodun veturin vikapuun dataan, huomattiin toiminnanohjausjärjestelmässä merkittäviä puutteita vikailmoituksien oikein kohdistamisessa oikealle laitteelle. Tämä hankaloitti tietojen koontia helposti luettavaan muotoon. Taulukossa 2 nähdään vuosien 2018–2023 vuotuiset vaihteistoihin kohdistuneet vikamäärät koottuna toiminnanohjausjärjestelmän tiedoista edellä mainittujen suodatusten jälkeen.

TAULUKKO 2. Vaihteistojen vikamäärät vuosittain

Vaihteistolle kohdistetut vikamäärät	
2018	364
2019	480
2020	444
2021	499
2022	555
2023	470

Kokonaisvikamääristä eritellään tutkimuksen kannalta merkittävät vikatyypit eli suunta- ja nopeusaluevaihdeviat. Edellä mainittuja asiasanoja ”suunta” ja ”alue” suodattamalla saatiin vikatyypit ja määrät eriteltyä taulukossa 2 havaituista kokonaisvikamääristä. Suodatusten jälkeen tiedot tarkastettiin manuaalisesti, jonka jälkeen ne koostettiin taulukoihin 3 ja 4. Taulukoissa eriteltynä suunnanvaihdon ja nopeusaluevaihteen vikamäärät vuosittain.

TAULUKKO 3. Suunnanvaihdon vikamäärät vuosittain

Suunnanvaihtoon liittyvät vikamäärät	
2018	172
2019	194
2020	140
2021	176
2022	190
2023	156

TAULUKKO 4. Nopeusaluevaihteen vikamäärät vuosittain

Nopeusaluevaihteen vikamäärät	
2018	40
2019	59
2020	49
2021	34
2022	38
2023	39

Taulukoiden luvuista nähdään, että suunnanvaihtolaitteeseen liittyviä vikoja on lähes puolet kaikista vaihteistoihin kohdistuvista vikatyypeistä. Nopeusaluevaihteen viat ovat määrältään pienempiä, mutta ne ovat kustannuksiltaan suurempia, koska ne ovat useimmiten johtaneet vaihteiston vaihtoon ja vikaantuneen vaihteiston purkamiseen ja korjaamiseen. Jäljelle jäävät vikamäärät ovat yleisempiä vikoja, jotka eivät tiettyä hydraulisen voimansiirron puolen vikoja lukuun ottamatta aiheuta vaihteistojen vaihtoja.

## 2.5 Vaihteiston vikaantuminen

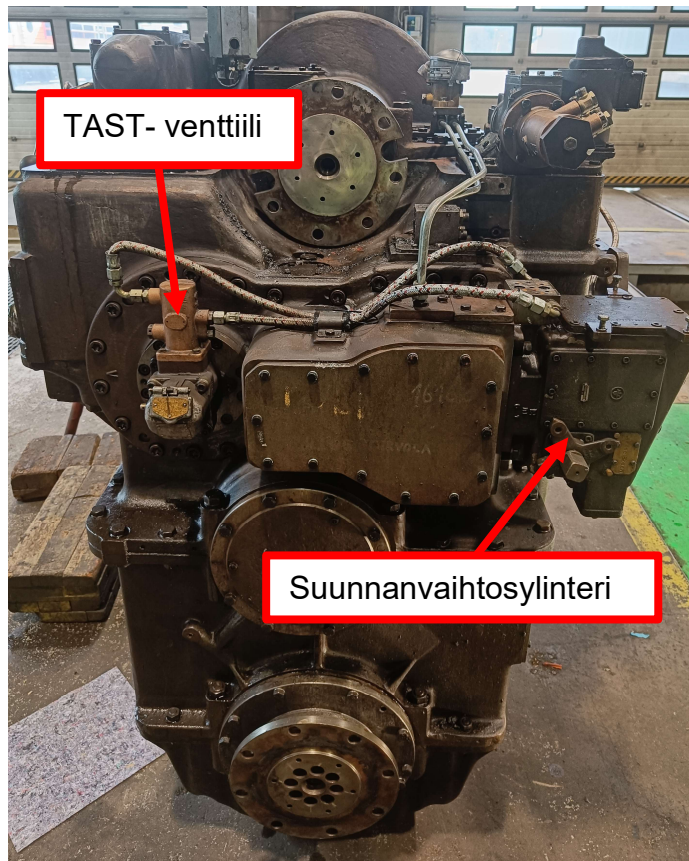
Dv12 dieselveturin monipuolisen käytön mahdollistavat vaihteiston ominaisuudet, kaksi eri nopeusaluevaihdetta ja kaksisuuntainen kytkentä, tuovat vaihteiston muuten täysin hydraulisesti toimivaan kolmivaiheiseen toimintaan mukaan toisiinsa vasten kytkeytyviä, akselin suuntaisesti liikkuvia, hammaspyörästäjä ja liikkuvia mekanisme, jotka kulumisellaan aiheuttavat epävarmuutta vaihteiston toiminnassa. Vaihteiston toimiessa automaattisesti veturin ajonopeuden ja moottorin antaman tehon mukaan ei prosessissa ole mukana inhimillisiä tekijöitä, eikä mekaanisesti toisiaan vastaan hankaavia komponentteja.

### 2.5.1 Suunnanvaihtolaitteen viat

Suunnanvaihtolaitteen toimintaa ohjataan yksinkertaistettuna veturin käyttäjän antamalla ohjauksella suunnanvaihdon EP-venttiileillä, jotka ohjaavat paineilmaa suunnanvaihtosylinteriin. EP-venttiilit ovat elektropneumaattisia venttiileitä, joiden toimintaa ohjataan elektronisesti. Suunnanvaihtolaitteen ohjaustavat mahdollistavat käyttäjävirheiden syntyminen ja sitä kautta liikkuvien osien liiallisen kulumisen ja ennenaikaisen hajoamisen. Suunnanvaihdon vikaantumiseen vaikuttaa merkittävästi myös vetureihin lisätty radio-ohjauksen mahdollisuus, jossa veturin käyttäjän ei tarvitse olla lähellä vaihteistoa ohjatakseen sitä. Tämä aiheuttaa sen, että käyttäjä on anturien ilmoittamien tietojen varassa suunnanvaihdon onnistumisesta, eikä suunnanvaihtoholkin liikkeestä ole kuulohavaintoa, joka normaalitilanteessa tulisi käyttäjälle veturin ohjaamoon. Suunnanvaihtolaitteen mahdolliset vikakohteet voidaan jakaa suunnanvaihdon ohjauksen vikoihin ja mekaanisiin vikoihin. Todennäköisiä vikakohteita ovat:

1. Suunnanvaihdon ohjaus
2. Suunnanvaihtosylinteri
3. Suunnanvaihdon kytkentähaarukka, -holkit ja -navat

Kohdan 1 viat ovat pääsääntöisesti helpompia korjata ja niistä ei yleensä aiheudu vetureiden linjallejääntejä ja vaihteistojen vaihtoja. Kohtien 2 ja 3 suunnanvaihtosylinteri, suunnanvaihdon kytkentähaarukan, -holkkien ja -napojen vikaantuminen saattaa mekaanisesti estää vaihteiston suunnanvaihdon tekemisen myös manuaalisesti, jolloin veturin kulkusuuntaa ei saa lainkaan vaihdettua. Tällöin veturi joudutaan siirtämään hinaamalla. Tutkimuksessa keskitytään pääsääntöisesti kohtien 2 ja 3 vikaantumiseen, koska vikojen ilmaantuminen johtaa joskus vaihteiston vaihtamiseen. Kuvassa 15 vaihteisto, josta osoitettuna suunnanvaihtolaitteen osia.

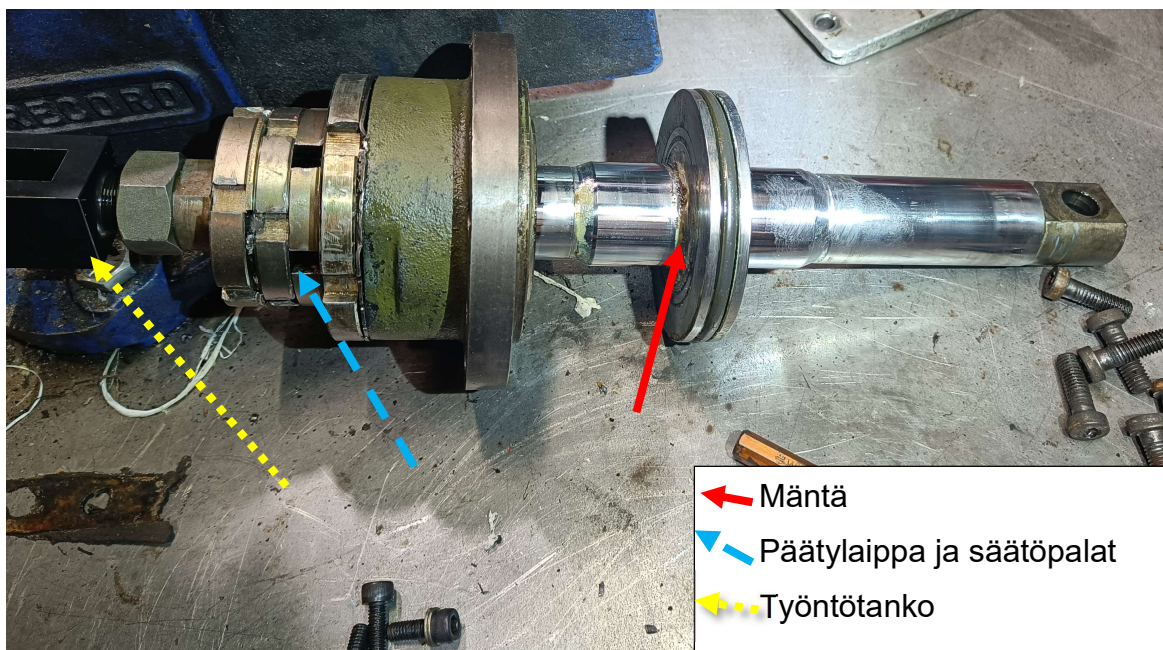


KUVA 15. Suunnanvaihtolaite vaihteistossa (Kuva: Juuso Puranen)

Suunnanvaihtosylinteri saa ohjauspaineensa veturin paineilmajärjestelmästä suunnanvaihdon kahden EP-venttiilin ohjaamana. EP-venttiilien vikaantuessa suuntasylinteri ei yleensä saa ohjausilmaa, jolloin suunnanvaihdon mekaaninen liike ei ala suunnanvaihtosylinterillä. Toinen yleinen vikakohde ohjauksessa on ennen EP-venttiileitä tuleva, vaihteiston sivuakseliin kytketty TAST-venttiili, joka sivuakselin pyöriessä, eli veturin liikuessa, lipsauttaa venttiilin karan sulkuasentoon, sulkien paineilmapiiirin ja estäen paineilman pääsyn EP-venttiileille. Näissä tapauksissa suuntavika on yleensä helppo diagnosoida ja paikallistaa TAST-venttiilille tai EP-venttiilien ja suunnanvaihdon ohjauspainikkeiden välille, kun napin painalluksen jälkeen ei kuulu paineilman virtausta järjestelmässä.

Suunnanvaihtosylinteri on suunniteltu paineilmaohjauksen saadessaan tekemään yhtäjaksoinen ja hidas aksiaalinen liike sylinterin suuntaisesti. Sylinterin valurautaisessa rungossa on messinkiset kuristinholkit, joiden kautta ohjausilma

kulkee rajoitetulla nopeudella männän molemmille puolille. Mäntä liikkuu molempiin suuntiin samalla voimalla ja nopeudella, koska mäntä on liikkuvan akselin keskellä ja männän pinta-ala on sama molemmin puolin. Kuvassa 16 suunnanvaihtosylinterin mäntä päätylaippaan kiinnitettynä.



KUVA 16. Suunnanvaihtosylinterin työntötanko, päätylaippa säätöpaloineen ja mäntä. (Kuva: Juuso Puranen)

Kuvassa 17 naarmuuntunut sylinteriholkki ja ohjausilman kuristinholkki. Violetilla nuolella osoitettu lisäksi sylinteriin kuulumatonta metallisilppua.

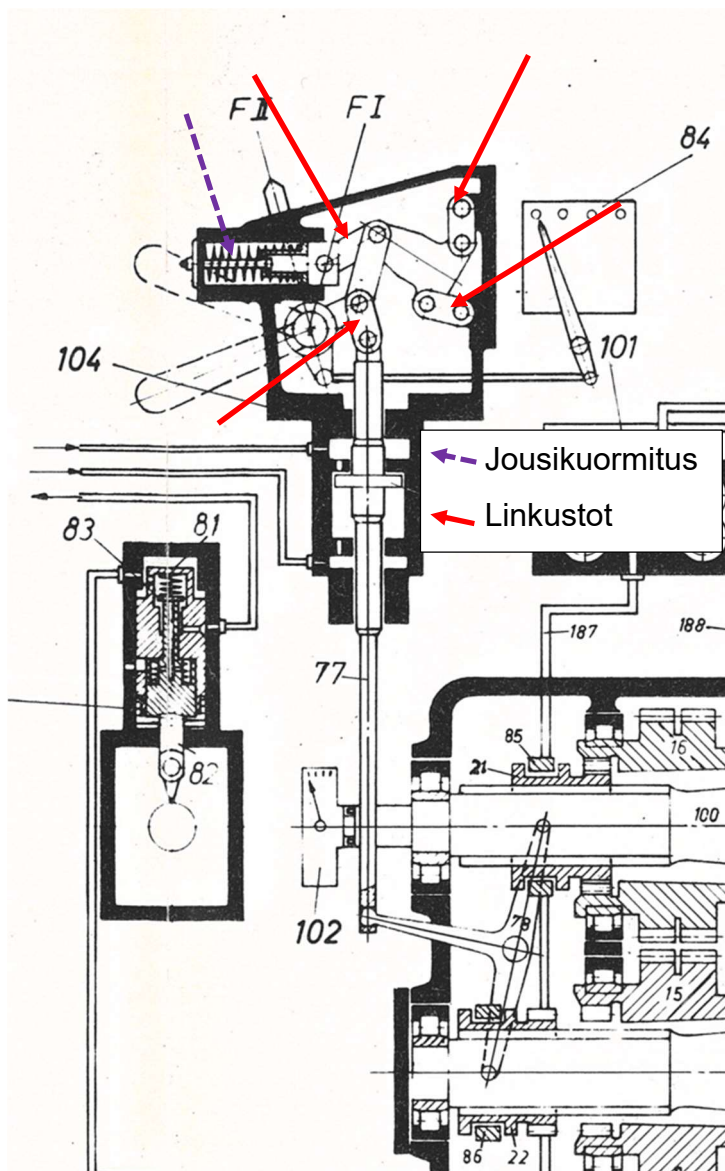


KUVA 17. Sylinteri holkkeineen ja ohjausilmakanava ja -kuristin. (Kuva: Juuso Puranen)

Yksi mahdollisista vikakohteista männän ja sylinterin välisessä toiminnassa on männässä ja männän varressa olevien O-renkaiden kuluminen ja kovettuminen. Nämä aiheuttavat ohipuhallusta, jolloin suunnanvaihtosylinteri saattaa olla tehotomampi toiseen suuntaan, vaikka toiseen suuntaan se toimisikin normaalisti. Tiivisteaden kovettuminen johtaa yleensä myös männän kosketukseen sylinteriholkkiin, jolloin holkki naarmuuntuu ja mäntä voi leikata kiinni.

Sylinterissä on myös linkustoja, jotka yhdistävät männän suunnanvaihdon manuaalikäytön kahvaan ja sitä kautta suunnanvaihdon varmistuskoteloon, joka kertoo ohjausjärjestelmälle, onko suunta vaihtunut. Linkustojen välityksellä toimii myös suunnanvaihtosylinterin jousikuormitus, joka painaa männän ääriasentoon myös paineilmajärjestelmän ollessa tyhjä. Nämä linkustot on neulalaakeroitu. Kuvassa

18 linkustot ja neulalaakerit osoitettuna punaisilla nuolilla. Jousikuormitus violetilla.



KUVA 18. Linkusto ja neulalaakerit suunnanvaihtosylinterissä (Voith Virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, Liite 1, muokattu)

Paineilmajärjestelmän epäpuhtaudet ja muut ympäristön elementit kuten lämpövaihtelut vähentävät sylinterin käyttöikää. Erityisesti talvella on veturin paineilmaohjaus koetuksella. Veturin paineilmajärjestelmässä käytetään talvisin jarrujen jäätymisenestoainetta, joka on pohjimmiltaan alkoholia. Veturissa on ilman-kuivain, jonka kautta kaikki ilma kulkee ja päättyy sitten paineilmasäiliöihin ja siitä muihin järjestelmiin, sekä junan vaunuihin. Paineilmakuivaimen vikaantuessa jää paineilmaan kosteutta. Erityisesti talvisin, kun järjestelmässä on lisäksi alkoholia, tämä aiheuttaa ongelmia esimerkiksi kestovoideltujen venttiilien o-renkaiden ja



suunnanvaihtosylinterin kanssa, jossa käytetään rasvaa sen liikkuvien osien voitelussa. Rasvaa ei elinkaaren aikana vaihdeta ennakoivassa kunnossapidossa, joten paineilman mukana kulkeutuva alkoholi irrottaa rasvaa pikkuhiljaa laakerista ja männän tiivisteiltä, jolloin ne alkavat kuivettua. Kosteuden päästyä paljaan metallin kanssa kosketuksiin, alkavat laakerit ruostua ja jumittua. Kuvassa 19 ja 20 linkustoa ja laakeristoa kuvattuna sylinterissä ja siitä irrotettuna.



KUVA 19. Suunnanvaihtosylinterin linkustoa sylinterin sisällä. (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 20. Ruostunut linkusto (Kuva: Juuso Puranen)

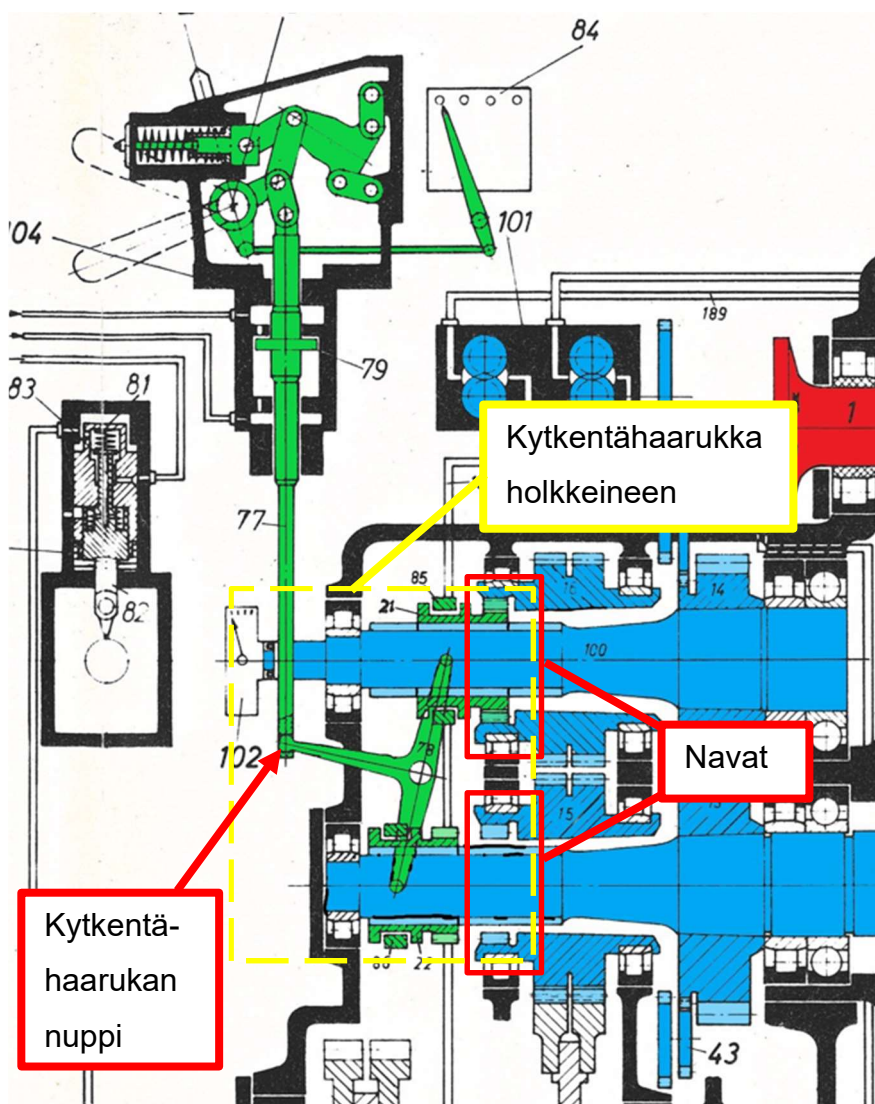
Kuvassa 20 nähdään ruostevauriota yhdellä linkuston neulalaakerilla. Suunnanvaihtosylinterin puutteellisen toiminnan oli kuvien tapauksessa aiheuttanut jumittava laakeri, sekä hajonnut männäntiiviste. Kuvassa 21 ruostunut neulalaakeri.



KUVA 21. Ruostunut neulalaakeri. (Kuva: Juuso Puranen)

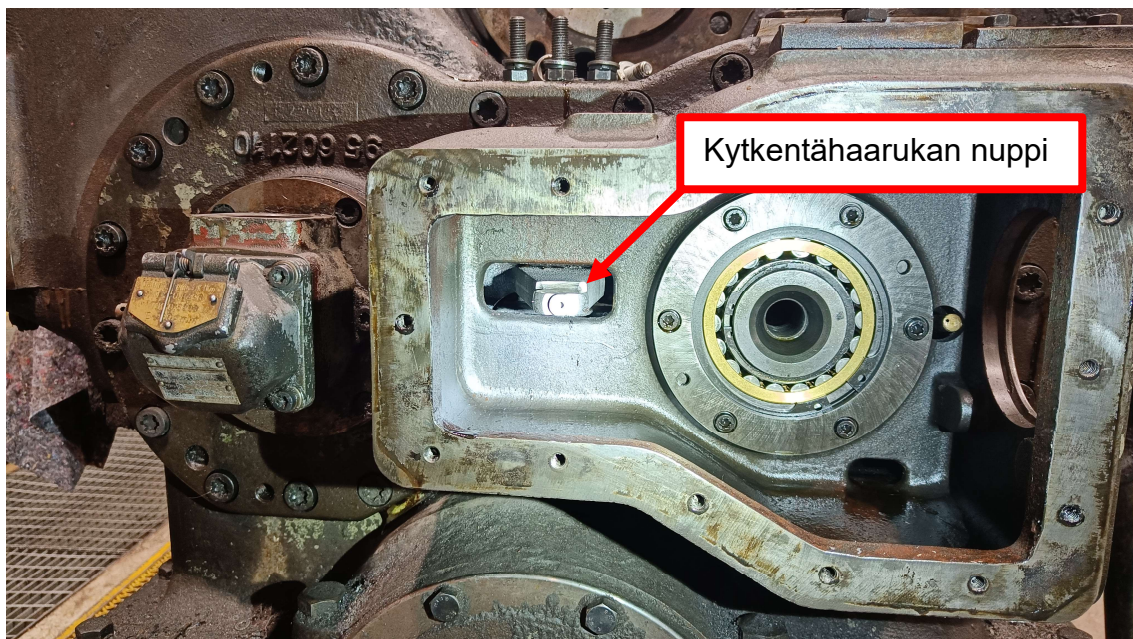
Merkittävimmät suunnanvaihtolaitteen viat kohdistuvat suunnan kytkentähaarukkaan ja siinä oleviin suunnanvaihdon holkkeihin, sekä niiden vastakappaleisiin,

vaihteiston toisio- ja sivuakselilla sijaitseviin suunnanvaihdon napoihin. Suunnanvaihdon navat ovat kiinni vaihteiston toisiopuolella hammaspyörissä 15 ja 16. Suunnanvaihtohaarukka ja sen holkit yhdessä napojen kanssa toimivat eräänlaisena hammaskytkimenä, joka kytkeytyessään määrittää veturin kulkusuunnan. Hammaskytkimenä toimivat suunnanvaihdon holkit ja -navat vikaantuvat pääasiassa pitkän ajan kuluessa, tuhansien suunnanvaihtojen seurauksena. Hammaskytken kulumista ja vaurioitumista tapahtuu jatkuvasti ja se onkin yleinen vikakohde, jota kunnossapidossa korjataan. Kuvassa 22 Punaisella neliöllä merkattuna suunnanvaihdon napojen sijainti hammaspyörien 15 ja 16 vieressä. Keltaisen neliön sisässä vihreällä suunnanvaihtohaarukka holkkeineen.

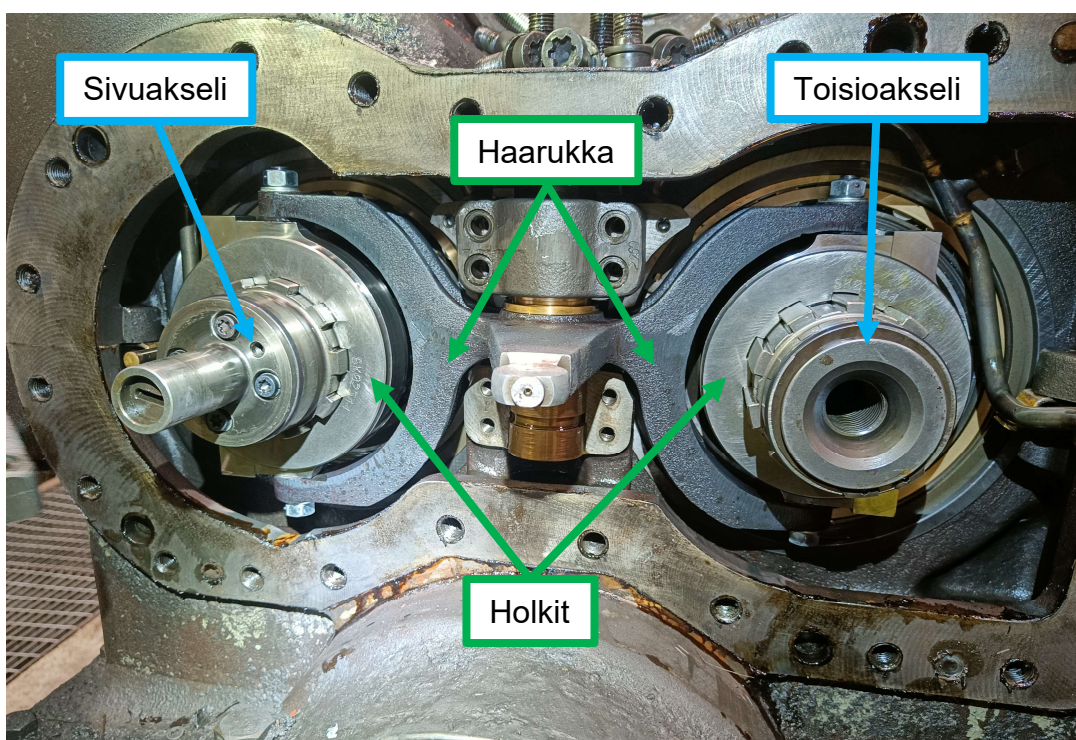


KUVA 22. Suunnanvaihtohaarukka, -holkit ja -navat.

Kuvissa 23 ja 24 suunnanvaihtolaite kotelolla ja ilman koteloa. Kuvissa merkattuna lisäksi toisio- ja sivuakseli, sekä kytentähaarukan nuppi, johon suunnanvaihtosylinterin työntötanko kiinnittyy.



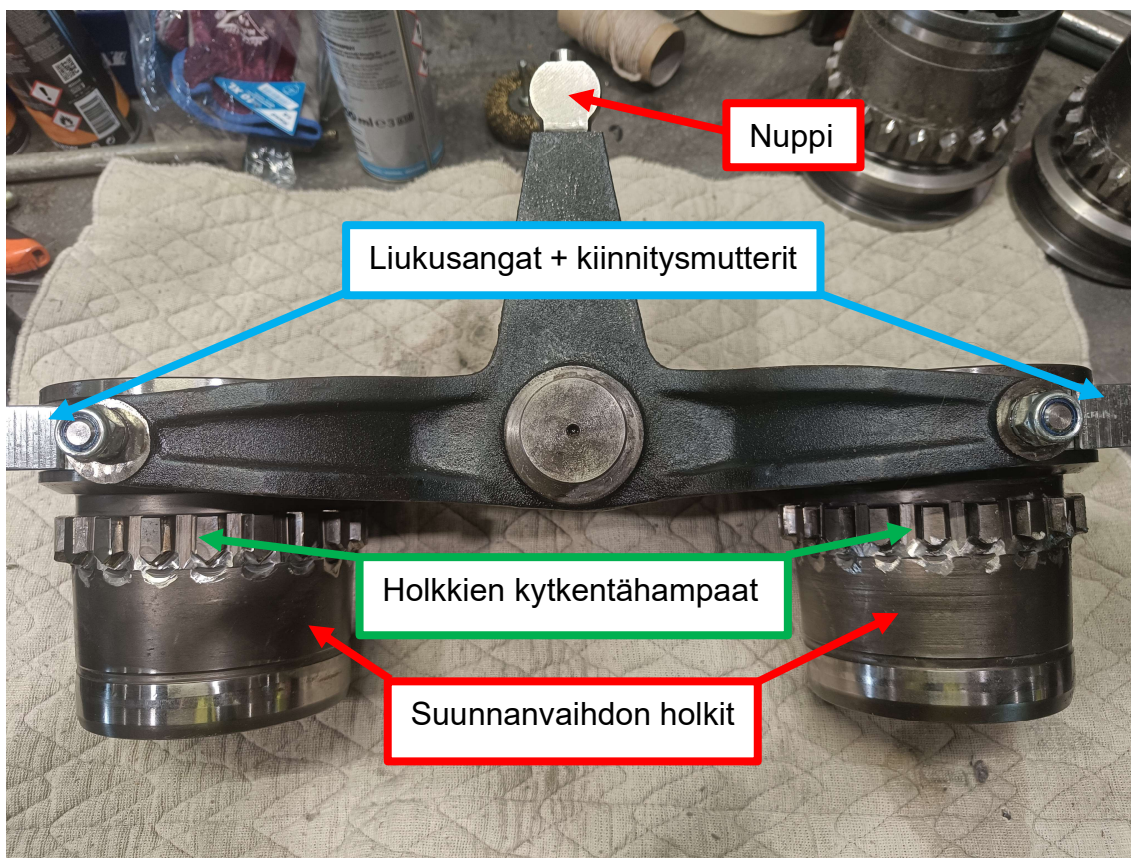
KUVA 23. Suunnanvaihtolaite kotelo paikallaan, suunnanvaihtosylinteri irrotettuna (Kuva: Juuso Puranen)



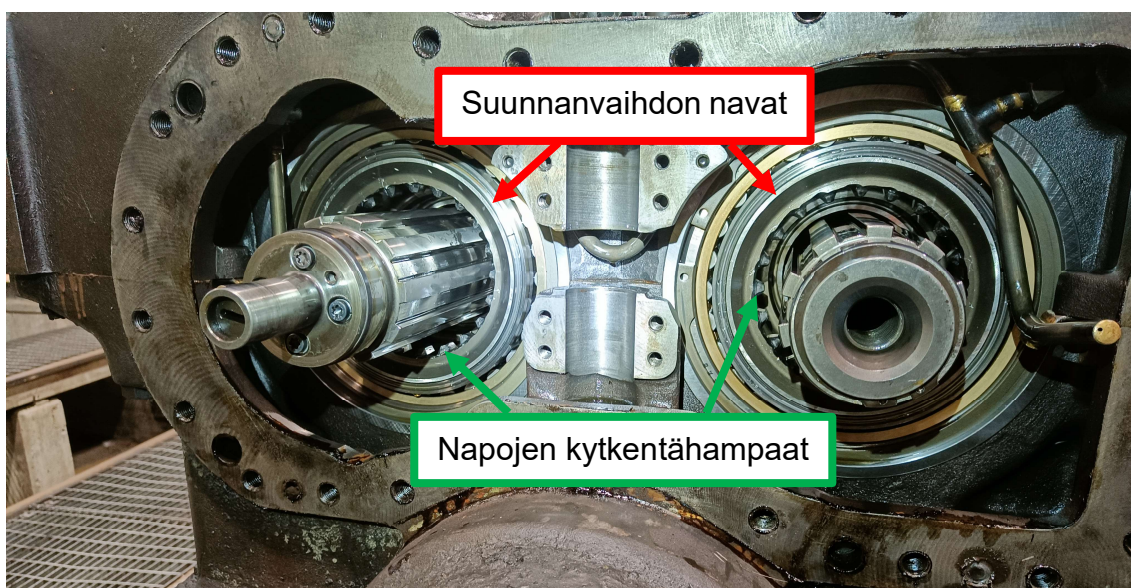
KUVA 24. Suunnanvaihtolaite ilman koteloa (Kuva: Juuso Puranen)

Tarkastellaan seuraavaksi tarkemmin kytentähaarukkaa, siihen kytkettyjä holkkeja ja suunnanvaihdon napoja. Kytentähaarukassa on kaksi holkkia, yksi kumpaakin suuntaa kohti. Kuvassa 25. Kytentähaarukka holkkeineen irrotettuna

vaihteistosta, yläpuolelta kuvattuna. Kuvassa 26. Suunnanvaihdon navat vaihteistossa.

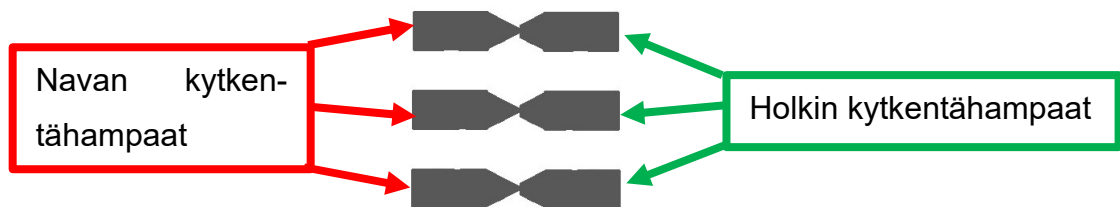


KUVA 25. Kytentähaarukka holkkeineen yläpuolelta (Kuva: Juuso Puranen)



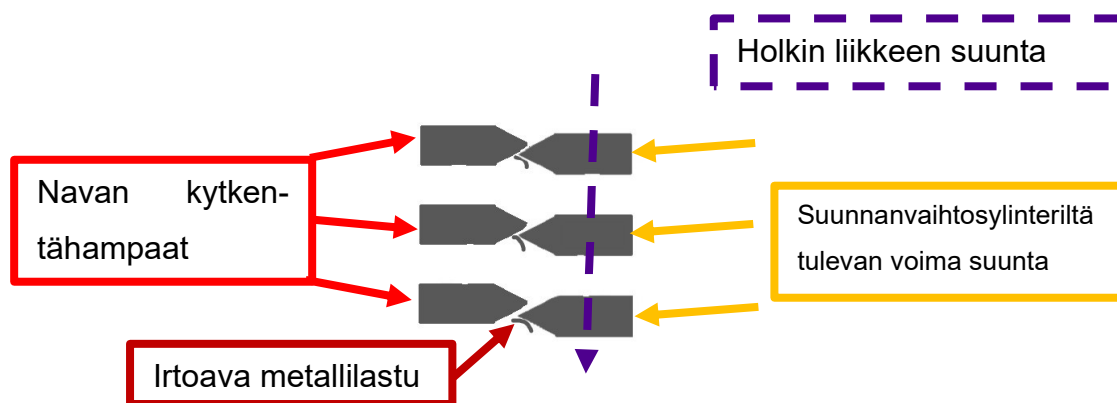
KUVA 26. Suunnanvaihdon navat vaihteistossa (Kuva: Juuso Puranen)

Suunnanvaihtolaitteen mekaaninen vikaantuminen johtuu yleensä holkkien tai napojen kytkentähampaiden kulumisesta tai vaurioitumisesta. Kytkeytymisvaiheessa holkkien ja napojen viistot tai pyöristetyt kytkentähampaat ottavat toisiinsa kiinni, kohdistuen holkin ja navan toisiinsa, ja siten mahdollistaen holkin liukumisen navan sisälle luoden hammaskytkimen mekaanisen kytkeytymisen. Hammaskytkimen kytkeytyminen ei kuitenkaan aina ole täysin ihanteellista, vaan välillä napojen ja holkkien kytkentähampaat ovat ns. ”hammas hampaalla” -asennossa. Kuvassa 27 havainnollistettu ”hammas hampaalla” -asento.



KUVA 27. Hammas hampaalla -asento (Kuva: Juuso Puranen)

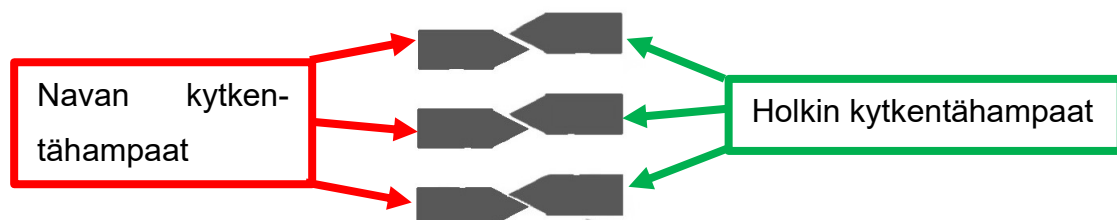
Kyt kentähampaiden jäädessä vastakkain tehdään yleensä 1. momentinmuuntajan osatäyttö, jolloin muuntajaa täytetään osittain hydraulijöllä moottorin ollessa tyhjäkäynnillä pienen vetovoiman aikaansaamiseksi. Hydraulijölyn osuessa 1. muuntajan turbiinipyörään alkavat toisioakseli ja sivuakseli pyöriä, jolloin myös suunnanvaihdon kytkentähaarukassa kiinni olevat holkit yrittävät pyöriä. Kytkentähampaisiin kohdistuu tällöin moottorin väännön, sekä suunnanvaihtosylinterin luoman mekaanisen liikkeenseurauksena painetta, jolloin hammaskosketus pitäisi vapautua ja kytkentähampaat pääsevät liikkumaan limittäin loppuasentoonsa. Juuri ennen hammaskosketuksen vapautumista saattaa hampaiden kärkeen kohdistua hetkellisesti suurtakin painetta, riippuen hampaan muodosta ja kuluneisuudesta. Kuvassa 28 päittäin olevan kytkennän vapautuminen äkillisesti holkkien pyörimisestä. Kuvaan havainnollistettu myös metallilastut.



KUVA 28. Yksinkertaistettu kytentähampaiden vapautuminen (Kuva: Juuso Puranen)

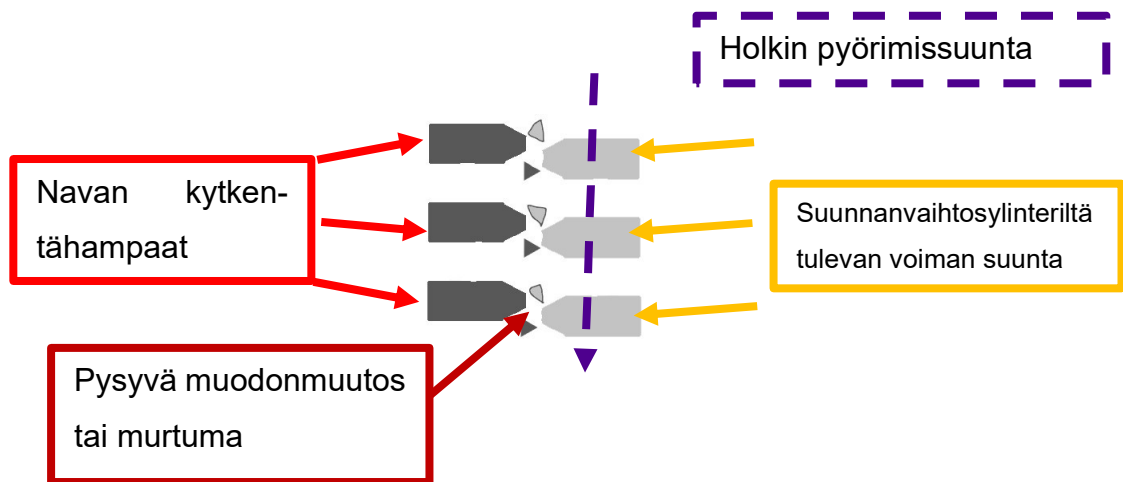
Kytentähampaiden vapautuminen edellä kuvatussa tilanteessa on normaalia ja ei yleensä aiheuta vahinkoa hampaisiin. Mikäli hampaat ovat jo vaurioituneet aiemmin voi niissä kuitenkin olla muodonmuutoksia, jotka saattavat aiheuttaa hampaisiin kohdistuvien paineiden kasvamista. Mikäli hampaisiin kohdistunut paine kasvaa hampaiden materiaalin myötö- ja murtolujuuden yläpuolelle voivat hampaat tämän seurauksena kaapia ja irrottaa metallia toisistaan.

Kytentähampaat voivat jäädä vastakkain "hammas hampaalla" -asentoon myös tavalla, jossa holkkien ja napojen hampaiden koneistetut viisteet takertuvat toisiinsa, jolloin hampaat eivät ole enää täysin kohdakkain. Kuvassa 29. havainnollistettu "hammas hampaalla" -asento, jossa hampaiden viisteet vastakkain.



KUVA 29. Hammas hampaalla -asento viisteet vastakkain (Kuva: Juuso Puranen)

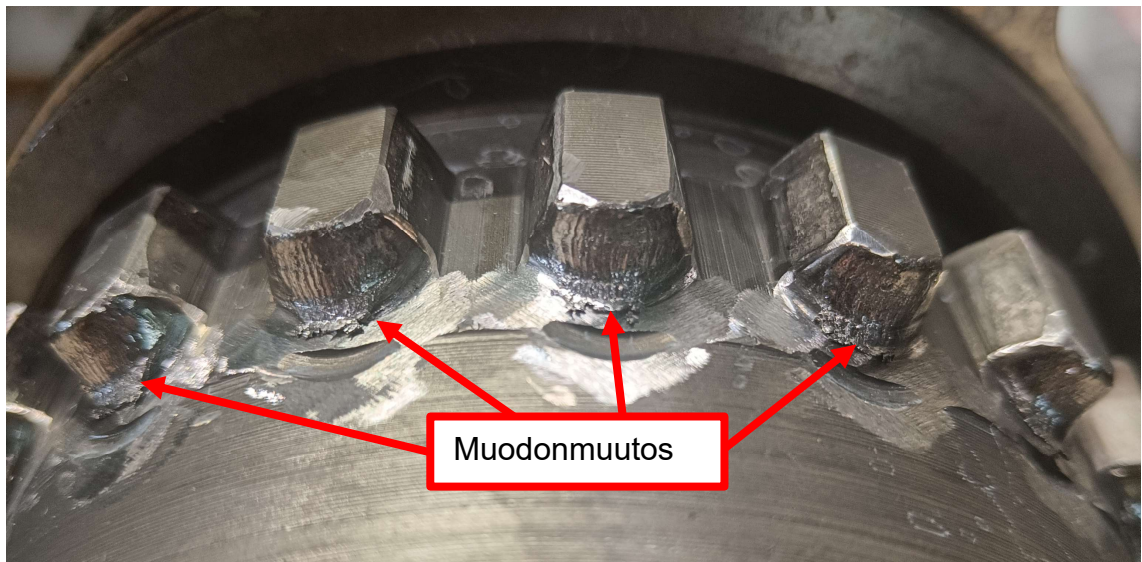
Tässä tapauksessa kytkentähampaat voivat vaurioitua pahasti, koska 1. momentinmuuntajan osatäytöllä moottorin tuottama vääntö ei enää vain yritä liu'uttaa kytkentähampaita paikalleen, vaan se yrittää vääntää hampaiden viisteitä toisiaan vasten. Mikäli osatäytön aikana hampaiden välisiin viisteisiin kohdistunut paine ylittää hampaiden materiaalin myötö- ja murtolujuuden pääsee suunnanvaihdon holkki pyörähtämään, aiheuttaen hampaiden yli pomppimista ja pysyvän muodonmuutoksen tai murtuman hampaisiin. Kuvassa 30. havainnollistus murtumisesta tai muodonmuutoksesta.



KUVA 30. Kytkentähampaiden murtuminen (Kuva: Juuso Puranen)

Kuvan 30 tilanteessa vaihteisto pitää kovaäänistä rutinaa hampaiden hyppiessä toistensa yli, jonka kuullessaan kuljettajan on kytkettävä momentinmuuntajan osatäyttö pois päältä vaurioiden minimoiseksi. Tämä saattaa kuitenkin muodostua ongelmaksi veturia radio-ohjattaessa, jolloin kuljettaja ei välttämättä kuule suunnanvaihtolaitteen rutisevan, vaan yrittää suunnanvaihtoa uudelleen. Kuvassa 31, 32 ja 33 suunnanvaihdon holkkien ja napojen kytkentähampaiden vaurioita ja kulumista osoitettu nuolilla ja hahmottelemalla hampaan alkuperäinen muoto.

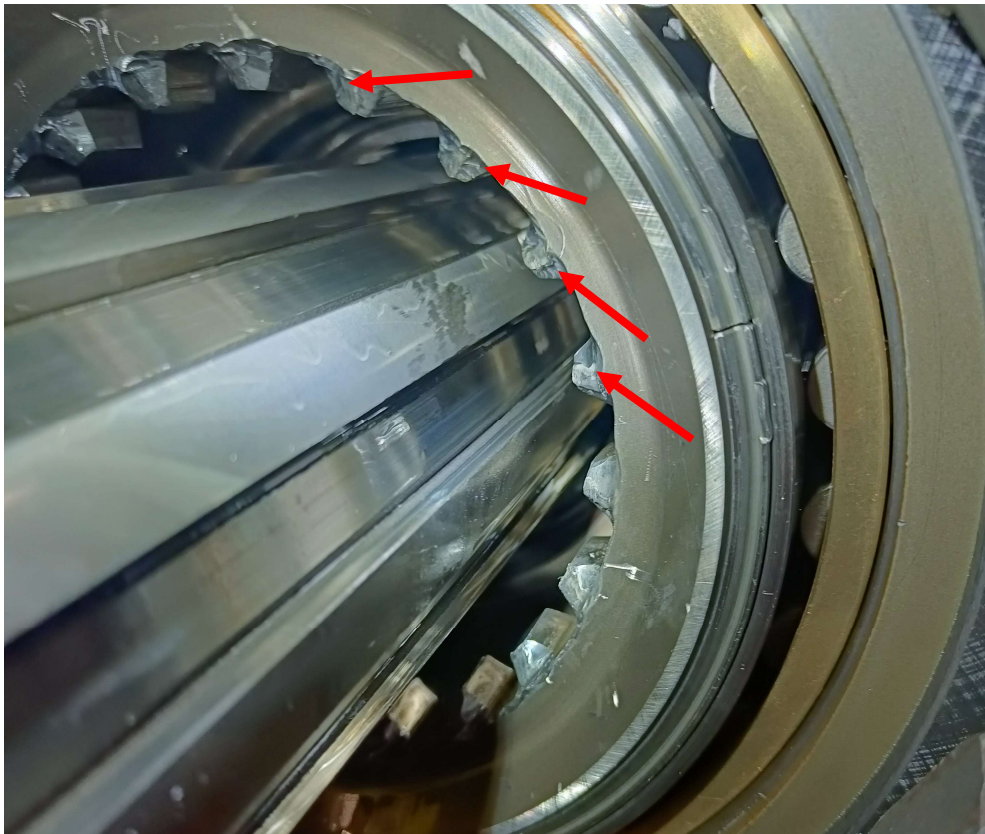




KUVA 31. Vaurioituneet holkin hampaat edestä kuvattuna (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 32. Vaurioituneet holkin hampaat sivusta kuvattuna (Kuva: Juuso Puranen)



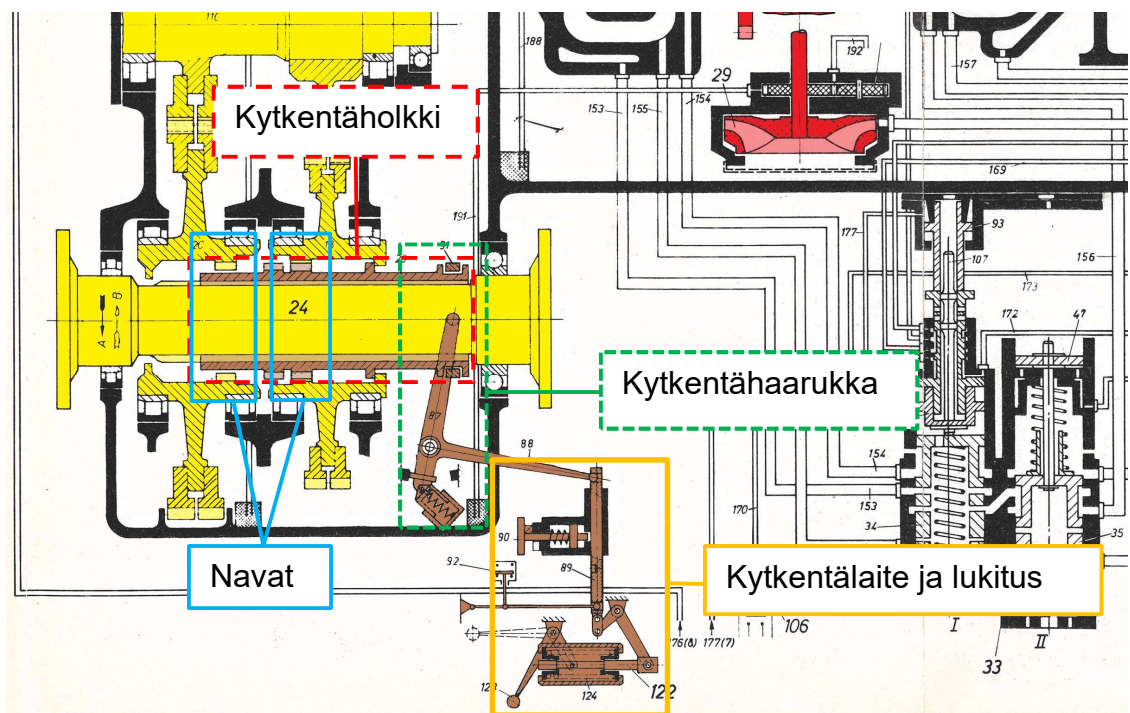
KUVA 33. Napojen hampaiden lohkeamia (Kuva: Juuso Puranen)

Harvinaisempi syy kytkentähampaiden vaurioitumiselle voi olla suunnanvaihdon kytkentähaarukan päässä sijaitsevan koneistetun nupin (kuvassa 23 ja 25) murtuminen irti haarukasta. Nupin irrottua suunnanvaihtosylinteri iskee tyhjää ja kytkentähaarukka ei enää liiku sylinterin mukana. Ilman sylinteriltä tulevaa mekaanista pitoa eivät holkkien kytkentähampaat pysy varmuudella täysin kytkettynä suunnanvaihdon navoissa, jolloin tehoa ottaessa saattaa hammaskytkentä liikkua. Tällöin hammaskytkennässä kosketuksissa olevat pinta-alat ja niihin kohdistuvat paineet saattavat muuttua niin paljon, että napojen ja holkkien hampaat eivät enää kestä niihin kohdistuvia voimia.

Kyt kentähampaiden vaurioituttua pahasti on todennäköistä, että suuntaa ei saada käännettyä enää manuaalisesti kahvastakaan. Tämän jälkeen on välttämätöntä tehdä suunnanvaihtolaitteen remontti, jossa vaurioituneet osat korjataan tai vaihdetaan uusiin. Nämä korjaukset käsitellään kappaleessa 3.3.2.

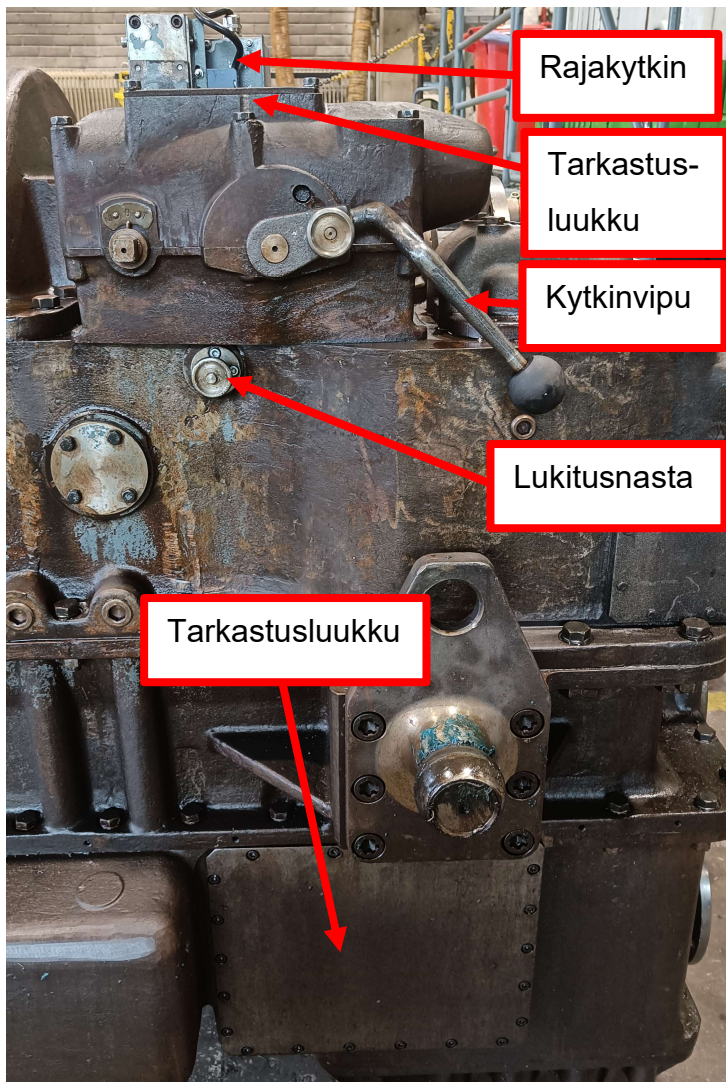
## 2.5.2 Nopeusaluevaihteen viat

Nopeusaluevaihteen viat ovat samankaltaisia kuin suunnanvaihtolaitteen viat, sillä molempien rakenteessa on hammaskytkentä, joka vikaantuu ajoittain. Eroavaisuutena on se, että nopeusaluevaihdetta vaihdetaan vain mekaanisesti, ilman sähköistä ohjausta. Tämän myötä nopeusaluevaihteen viat ovat pääsääntöisesti mekaanisia vikoja, pois lukien aluevaihteen asennon indikointiin liittyvien anturien vikaantuminen. Tässä kappaleessa käsitellään vaihteiston ulostuloakseliin, aluevaihteen kytkentälaitteeseen, kytkentähaarukkaan ja -holkkiin liittyviä vikoja. Kytkentälaitteeseen kohdistuvien vikojen korjaaminen voidaan tehdä vaihteiston ollessa kiinni veturissa. Kytkentähaarukkaan ja ulostuloakseliin liittyvät viat vaativat vaihteiston irrottamisen veturista, joka on aiemmin johtanut koko vaihteiston vaihtamiseen. Kuvassa 34 merkattu ulostuloakselissa oleva aluevaihteen kytkentäholkki, kytkentähaarukka, kytkentälaite ja aluevaihteen navat.



KUVA 34. Nopeusaluevaihteen osat eriteltynä (Voith Virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, Liite 1, muokattu)

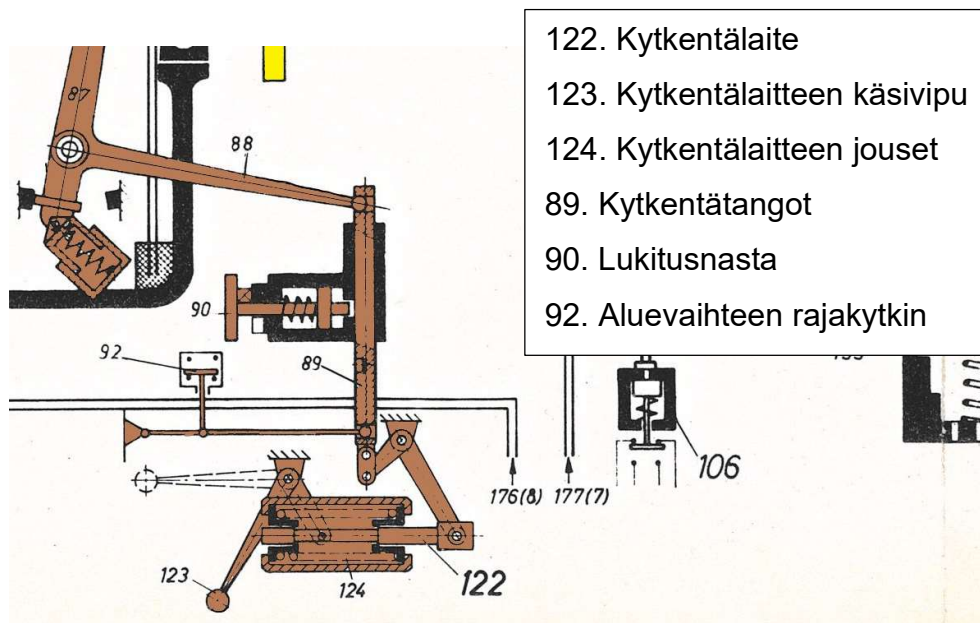
Nopeusaluevaihteen yleisimmät mekaaniset viat liittyvät kytkentälaitteeseen ja aluevaihteen keskiasennon lukitukseen. Kytkentälaitteen sisällä on jousikuormitettu holkki, joka liikuttaa kytkentähaarukan kautta kytkentäholkkia n. 70 kg:n voimalla. Kytkentälaitte on rasvattu sisältä, mutta vuosien käytön myötä holkki ja sen vastakappaleena toimiva akseli saattavat leikata kiinni, jumittaen kytkentälaitteen. Kuvassa 35. Kytkentälaitte osineen.



KUVA 35. Kytkentälaitte osineen (Kuva: Juuso Puranen)

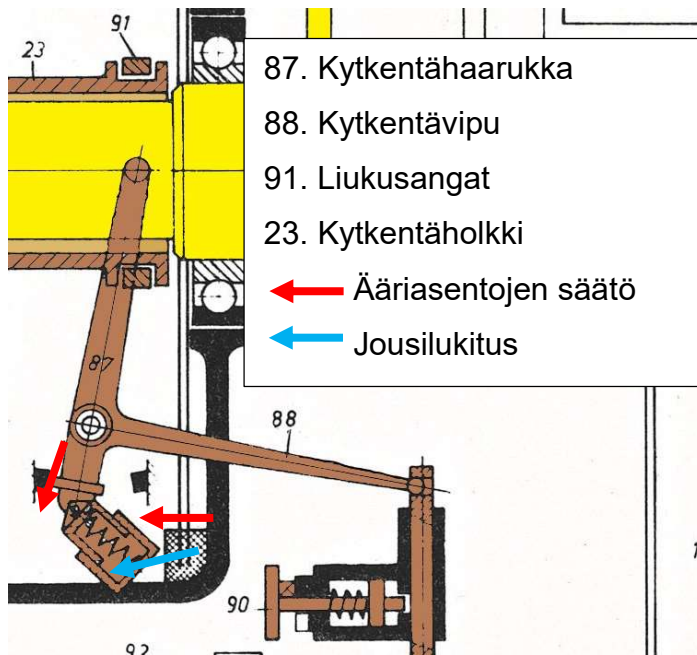
Kytkentälaitteen alapuolella sijaitseva aluevaihteen keskiasennon lukitusnasta voi myös jumittaa kytkentälaitteen mekanismin. Kuten suunnanvaihtolaitteessa, perustuu nopeusaluevaihteen toiminta hammaskytkimeen, joka voi kappaleessa

3.2.1. ”Suunnanvaihtolaitteen viat” käsiteltyä myös jäädä hammas hampaalla asentoon. Hammaskytken vapautuessa tästä asennosta, aiheuttaa kytkentälaitteen jousikuormitus pistemäisen iskun lukitusnastaan, jolloin se useamman iskun jälkeen vääntyy ja jumiutuu. Myös käyttäjävirhe mahdollistaa lukitusnastan vääntymisen, sillä kytkinvipua saa käännettyä myös silloin, kun lukitusnasta on pohjassa. Tällöin jousikuormitus yrittää liikuttaa kytkentähaarukalle menevää kytkentätankoa lukitusnastaa vasten. Kuvassa 36. Kytkentälaitteen eri osat nimetyinä.

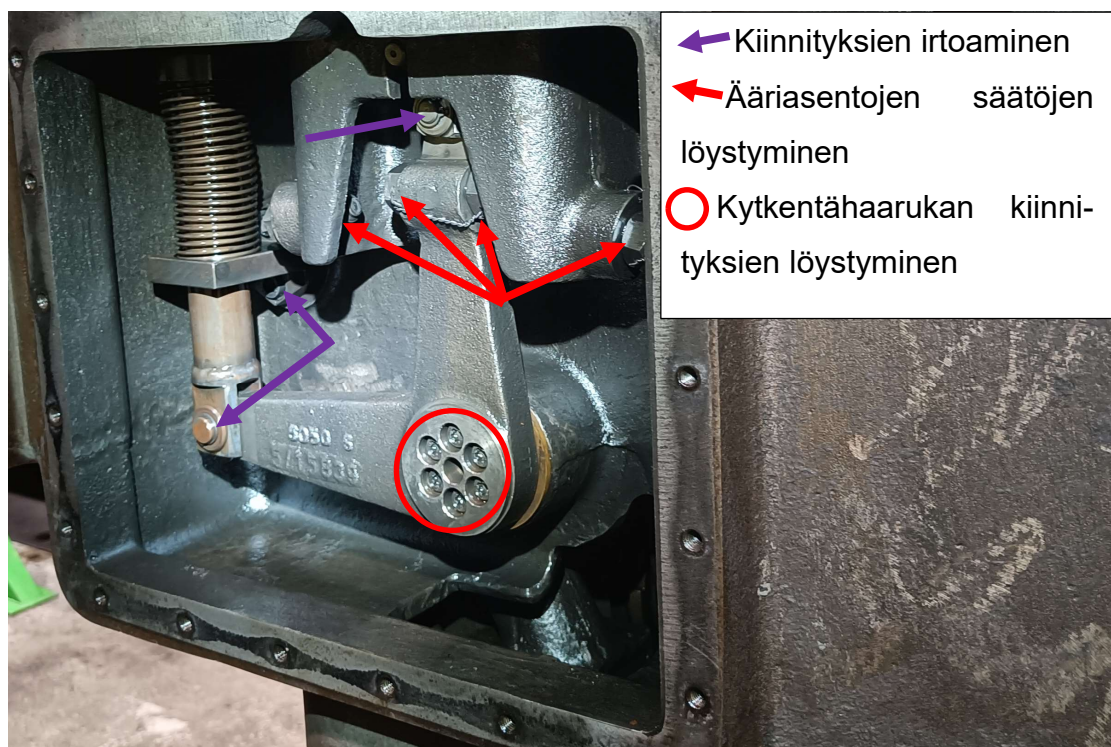


KUVA 36. Kytkentälaitteen osat (Voith Virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, Liite 1, muokattu)

Kytkentähaarukan vikaantuminen on harvinaisempaa, mutta sitäkin tapahtuu ajoittain. Kytkentähaarukka voi jumiutua, sen ääripäiden säädöt ja haarukan kiinnitykset voivat löystyä, kiinnitykset irrota/hajota, tai ulostuloakselin kytkentäholkkiin kosketuksissa olevat liukusangat irrota tai kulua. Kuvassa x kytkentähaarukan osat nimettyinä. Kuvassa 37, 38, 39 ja 40 osoitettuna mahdolliset vikakohteet kytkentävivustossa ja -haarukassa.



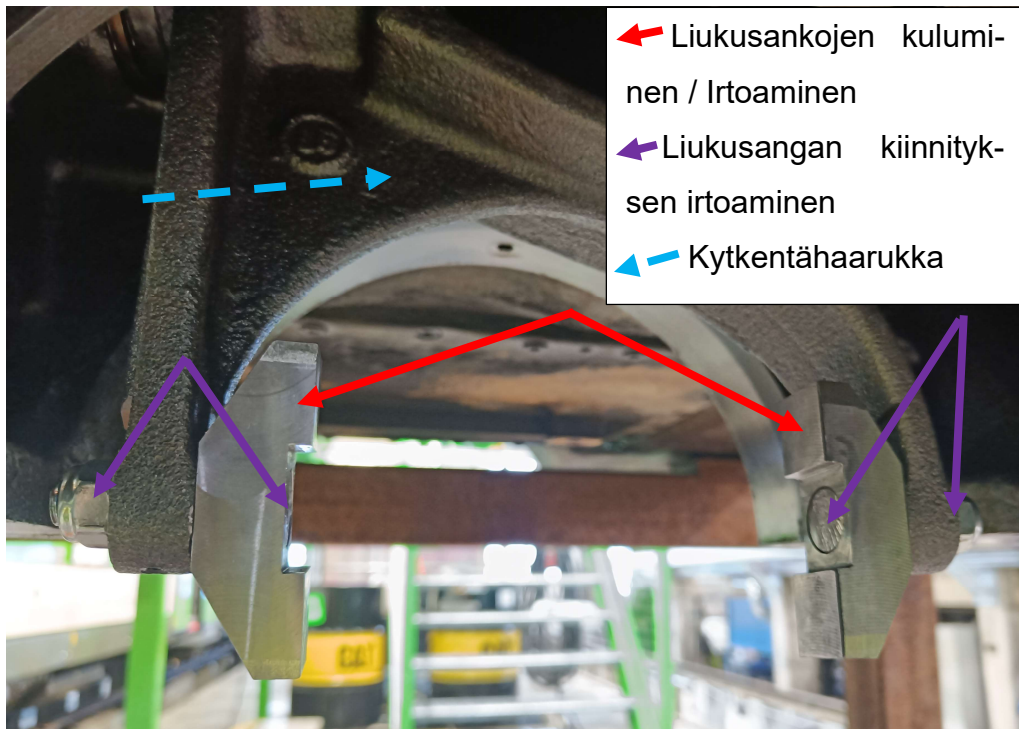
KUVA 37. Kytentähaarukan osat (Voith Virtausvaihteisto L216rs käyttöohje, Liite 1, muokattu)



KUVA 38. Kytentävivuston vikakohteita (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 39. Kytkenähaarukan vikakohteita (Kuva: Juuso Puranen)

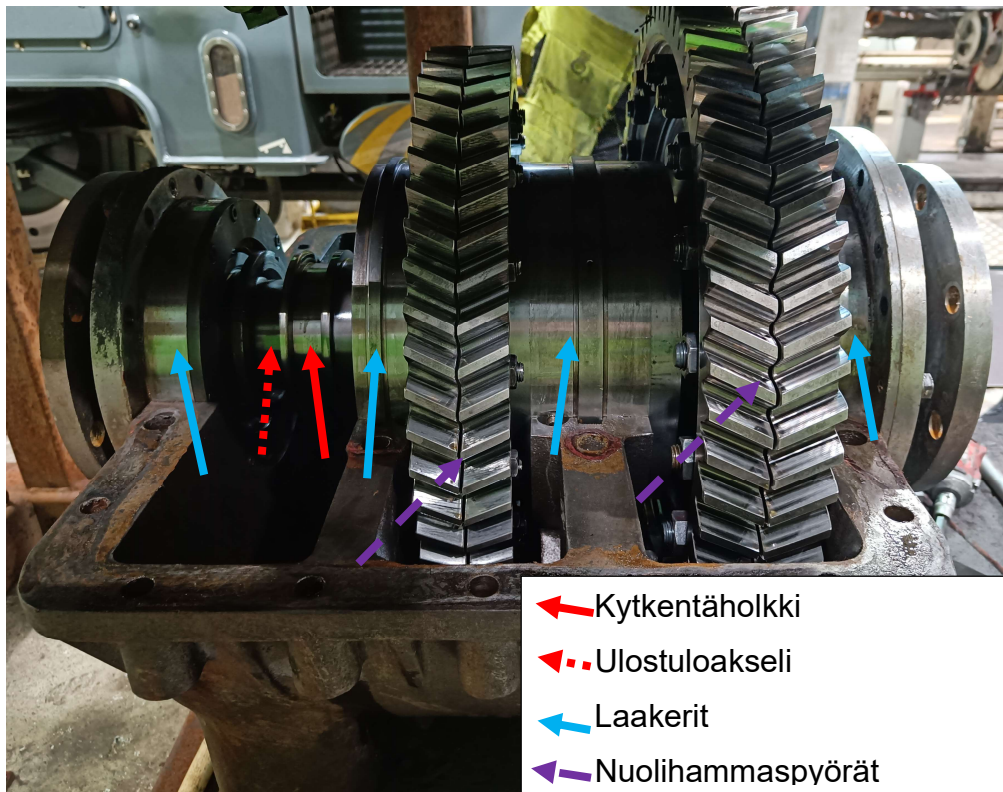


KUVA 40. KytKentähaarukan vikakohteet (Kuva: Juuso Puranen)

Edellä käydyt viat, pois lukien kytKentähaarukan vaurioituminen ja liukusankojen kuluminen / Irtoaminen, pystytään pääsääntöisesti korjaamaan ilman vaihteiston purkamista veturista. Suuremmat viat, jotka kohdistuvat ulostuloakselin kokonaisuuteen (Ulostuloakseli, kytKentäholkki, hammaskytkimet, hammaspyörät, päätylaipat, laakerit) vaativat vaihteiston pohjan irrottamisen.

Merkittävimmät nopeusaluevaihteen viat kohdistuvat ulostuloakselin kokonaisuuteen (Ulostuloakseli, kytKentäholkki, hammaskytkimet, hammaspyörät, päätylaipat, laakerit). Kuvassa 41 Ulostuloakselin kokonaisuus.



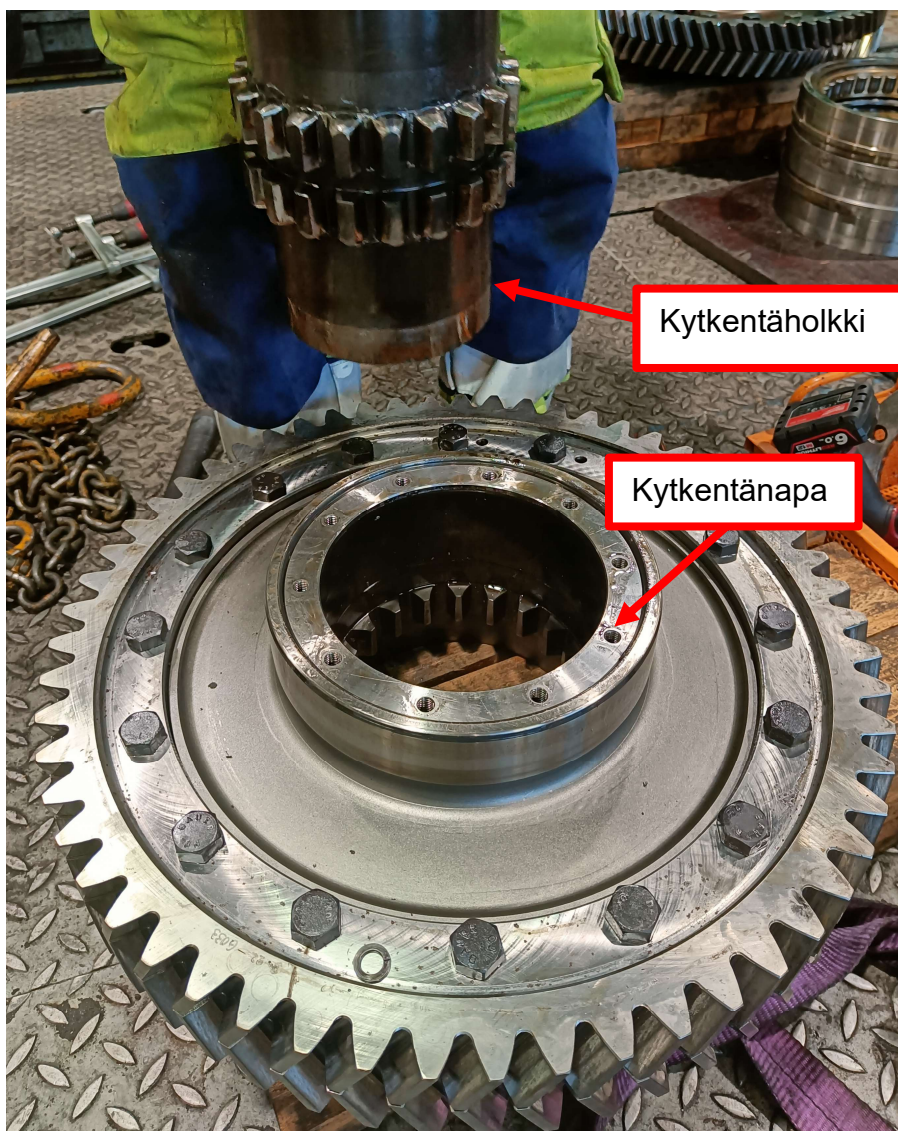


KUVA 41. Ulostuloakseli (Kuva: Juuso Puranen)

Ulostuloakselissa viat liittyvät yleensä ulostuloakselin katkeamiseen tai kytentäholkkin ja nuolihammaspyörien napojen välisen hammaskytken hajoamiseen. Hammaskytken kulumisen on nopeusaluevaihteessa hitaampaa, kuin suunnanvaihtolaitteessa sillä aluevaihteen manuaalinen käyttö vähentää käyttäjävirheitä ja lisäksi kytentäholkkiin ja napoihin kohdistuu vähemmän iskeviä voimia, kun kytentälaitteen mekanismi luo jousikuormituksella tasaisen ja hitaan liikkeen kytentäholkille. Aluevaihdetta kytkettäessä vaihteiston toisio-osat ovat myös vapaasti liikkuvia, jolloin kytentähampaat kytkeytyvät helpommin. Tällöin hammas hampaalla asentoja tapahtuu vähemmän mitä suunnanvaihdossa. Kytentähampaiden kuluminen on käsitelty aiemmin kappaleessa 3.2.1. ”Suunnanvaihtolaitteen viat”. Kuvassa 42, 43 ja 44 Kytentäholkki ja aluevaihteen hammaskytken navat.



KUVA 42. Aluevaihteen kytkentäholkki (Kuva: Juuso Puranen)

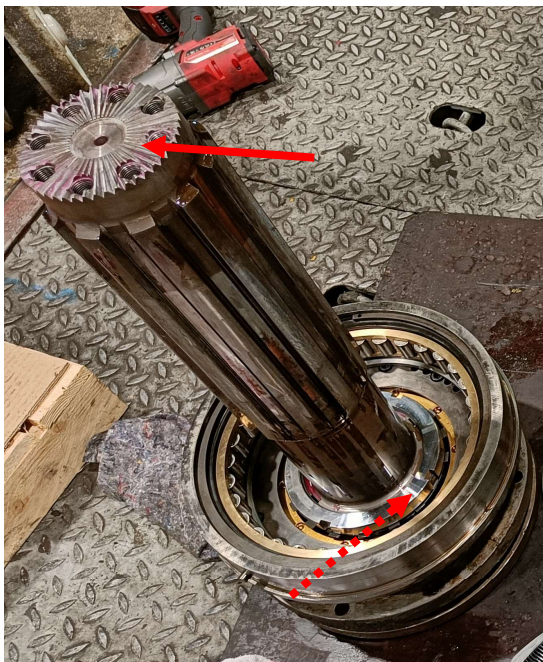


KUVA 43. KytKentänapa ja -holkki (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 44. Toinen kytkentänäpa (Kuva: Juuso Puranen)

Ulostuloakseli on rakenteeltaan kaksiosainen. Akselissa käytetään kahden osan yhdistämisessä Hirth-hammastusta, jolla akselille tuleva vääntömomentti saadaan välitettyä akselin molempiin päihin. Ulostuloakselin Hirth-hammastus saattaa murtua, jolloin ulostuloakseli katkeaa ja voima ei enää välity veturin etumaiselle telille. Lisäksi akselilla sijaitsevan päätylaipan laakerin lukitusmutteri saattaa irrota, estäen kytkentäholkin liikkumisen akselilla. Kuvassa 45 Ulostuloakseli, johon merkittynä Hirth-hammastus ja laakerin lukitusmutteri. Kuvassa 46 katkaistu ulostuloakseli, jossa hirth-hammastuksen molemmat puolet.



← Hirth-hammastus  
 ← Päätylaipan laakerin lukitusmutteri

KUVA 45. Ulostuloakseli katkaistuna ja laakerin lukitusmutteri (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 46. Ulostuloakseli katkaistuna (Kuva: Juuso Puranen)

## 2.6 Hyvinkään konepajan korjausmenetelmät

VR:n konepajatoiminta on ollut oleellinen osa rautateiden toimintaa. Turvallisen liikennöinnin takaamiseksi rataverkostot ja rautatiekalusto on vaatinut jatkuvaa huolto- ja kunnossapitotoimintaa. Konepajat ovat toimineet vuosikymmeniä kaluston korjaus-, huolto- ja varaosien toimittajana ja ne olivat alkujaan miltei itsenäisiä tuotantolaitoksia, jotka tuottivat rataosuuksille kaikki tarvittavat palvelut. Hyvinkään konepaja on perustettu toisen maailmansodan jälkeen uuden aikakauden kynnyksellä. Se edustaa modernia teollisuusrakentamista, jossa yhdistyvät toimintaa tukevat rakenneratkaisut ja tilanteeseen sopiva arkkitehtuuri. Hyvinkään konepaja on laadullisesti korkeatasoinen ja siellä on tehty kunnossapittoa aina höyryvetureista sähkövetureihin. VR:llä käynnistettiin useita organisatiomuutoksia 1990-luvulla, joiden jälkeen VR:n hallitus päätti keskittää veturien korjaamotoiminnan vuoden 2018 loppuun mennessä Ilmalan varikolle. (Reijonen, A.-M., 2019, 5–17)

Hyvinkään konepajalta on kuitenkin otettu nykymuotoiseen vetureiden kunnossapittoon tiettyjä korjausmenetelmiä, joilla saadaan pitkitettyä vetureiden vaihteistojen käyttöikä. Näistä tutkimuksen kannalta olennaisimmat liittyvät Dv12 veturin Voith L216rs vaihteiston suunnanvaihtolaitteen ja nopeusaluevaihteen kunnostuksiin. Suunnanvaihtolaitteen kunnostuksia Hyvinkään korjausmenetelmillä on tehty diesel vetureiden kunnossapidossa jo kauan, mutta tämän tutkimustyön pohjalta selvitetään edellytykset myös nopeusaluevaihteen kunnostuksille VR FleetCarella.

### 2.6.1 Nopeusaluevaihteen kunnostus

Nopeusaluevaihteen kunnostuksessa keskitytään vaihteiston toisiopuolella sijaitsevan ulostuloakselin ja sen liitännäisosien korjauksiin, joita ei voida tehdä normaaleissa olosuhteissa vaihteiston ollessa kiinni veturissa. Ulostuloakseliin kohdistuvien vikojen korjausta ei ole aiemmin tehty korjaamo-olosuhteissa Hyvinkään konepajan toiminnan loputtua, joten tällaisten vikojen ilmettyä on aina päädytty veturin vaihteiston vaihtamiseen. Aluevaihteen kunnostuksesta tehdään viralliset työohjeet yrityksen käyttöön myöhemmällä ajankohdalla, joten tulevaisuudessa

kappaleissa ei esitellä kaikkia tehtyjä toimenpiteitä vaan asia käsitellään pääpiirteittäin.

Korjauksien edellytyksenä on vaihteiston pohjan irrotus ja ulostuloakselin laskeaminen pohjan mukana irti vaihteistosta tarvittavia korjaustoimenpiteitä varten. Ulostuloakselin irrotustoimenpiteet vaativat vähintään n. 800 kg nostopöydän, sekä vaihteiston huoltopukin, joka mahdollistaa pohjan laskemisen. Tampereen varikolle saatiin Pieksämäeltä ulostuloakselin irrotukseen sopiva 2000 kg:n nostopöytä. Vaihteiston pohjan irrotukseen tarvittu huoltopukki Hyvinkään konepajalta löytyi Tampereen varikon pihalta muiden huoltopukkien säilytyspaikasta. Kuvassa 47 ja 48 nostopöytä ja vaihteisto huoltopukilla.



KUVA 47. 2000 kg:n nostopöytä (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 48. Vaihteisto huoltopukilla (Kuva: Juuso Puranen)

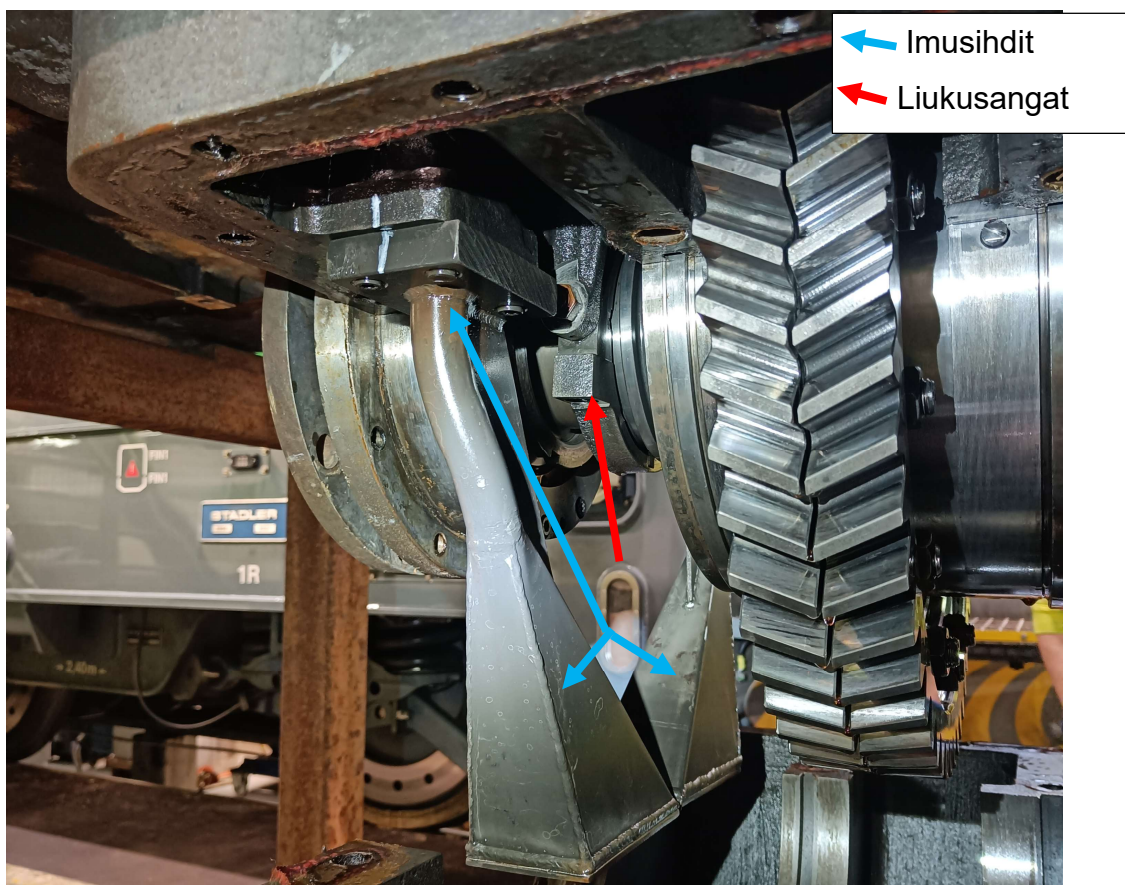
Työmäärältään nopeusaluevaihteen ulostuloakselin korjaukseen kuluu 2 asentajalta noin 2 työpäivää, mikäli kaikki tarvittavat varaosat ovat saatavilla. Varaosien saatavuus on hyvä, sillä vikaantuneista ja romutetusta kalustosta irrotetuista vaihteistoista saadaan varaosia reilusti.

Aluevaihteen kunnostus aloitetaan halkaisemalla vaihteiston pohja ulostuloakselin alapuolelta. Pohjan irrottamisen jälkeen irrotetaan öljypohjan imusihdit, sekä kytkentäholkin liukusangat. Tämän jälkeen ulostuloakseli saadaan lasketua nostopöydän avulla irti vaihteistosta. Kuvissa 49, 50 ja 51 pohja irrotettuna, liukusangat ja imusihdit osoitettuna, sekä ulostuloakseli osineen irrotettuna vaihteistosta.

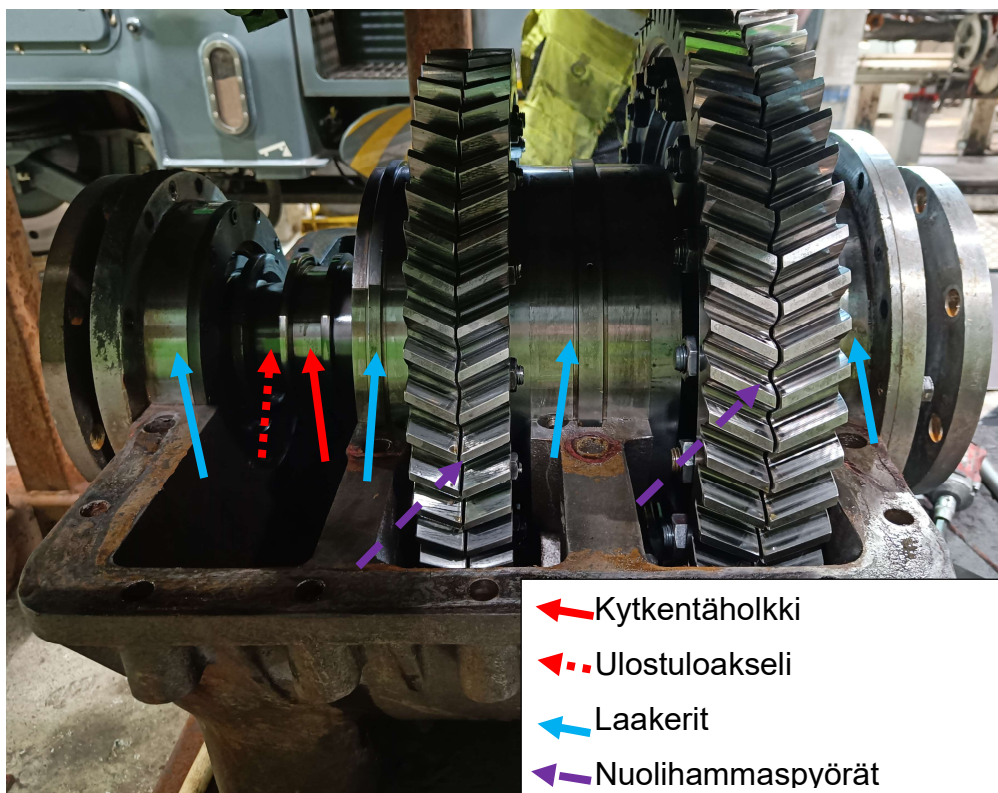


KUVA 49. Vaihteiston pohja irrotettuna (Kuva: Juuso Puranen)





KUVA 50. Imusihtien ja liukusankojen irrotus (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 51. Ulostuloakseli osineen irrotettuna (Kuva: Juuso Puranen)

Ulostuloakselin irrottamisen jälkeen se nostetaan pystyyn ja valmistellaan akselin katkaisu. Ulostuloakselin osia ei saa irrotettua akselista ennen akselin katkaisua. Akseli on kaksiosainen ja sen kaksi puolisko on yhdistetty toisiinsa Hirth-hammastuksella ja kahdeksalla pultilla. Kuvissa 52 ja 53 ulostuloakseli käännetty pystyyn ja akseli katkaistu hirth-hammastuksesta.

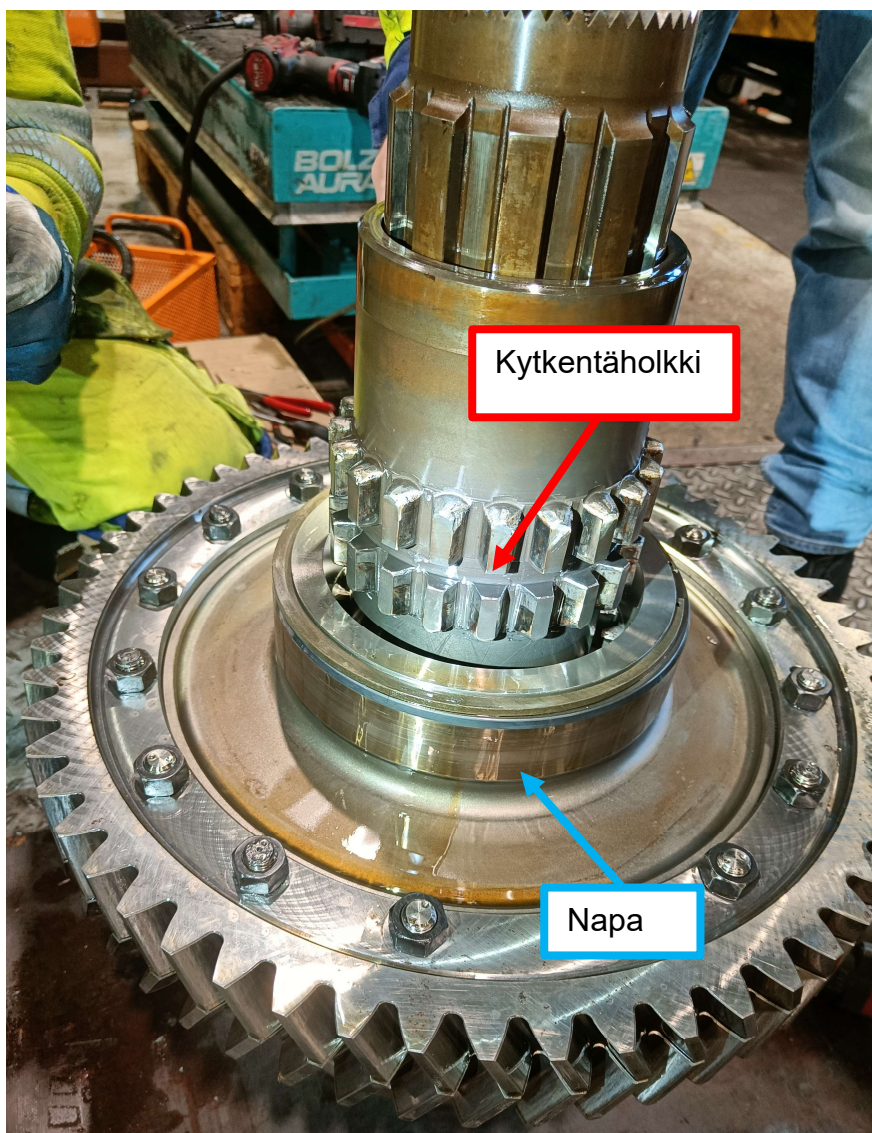


KUVA 52. Ulostuloakseli pystyssä (Kuva: Juuso Puranen)



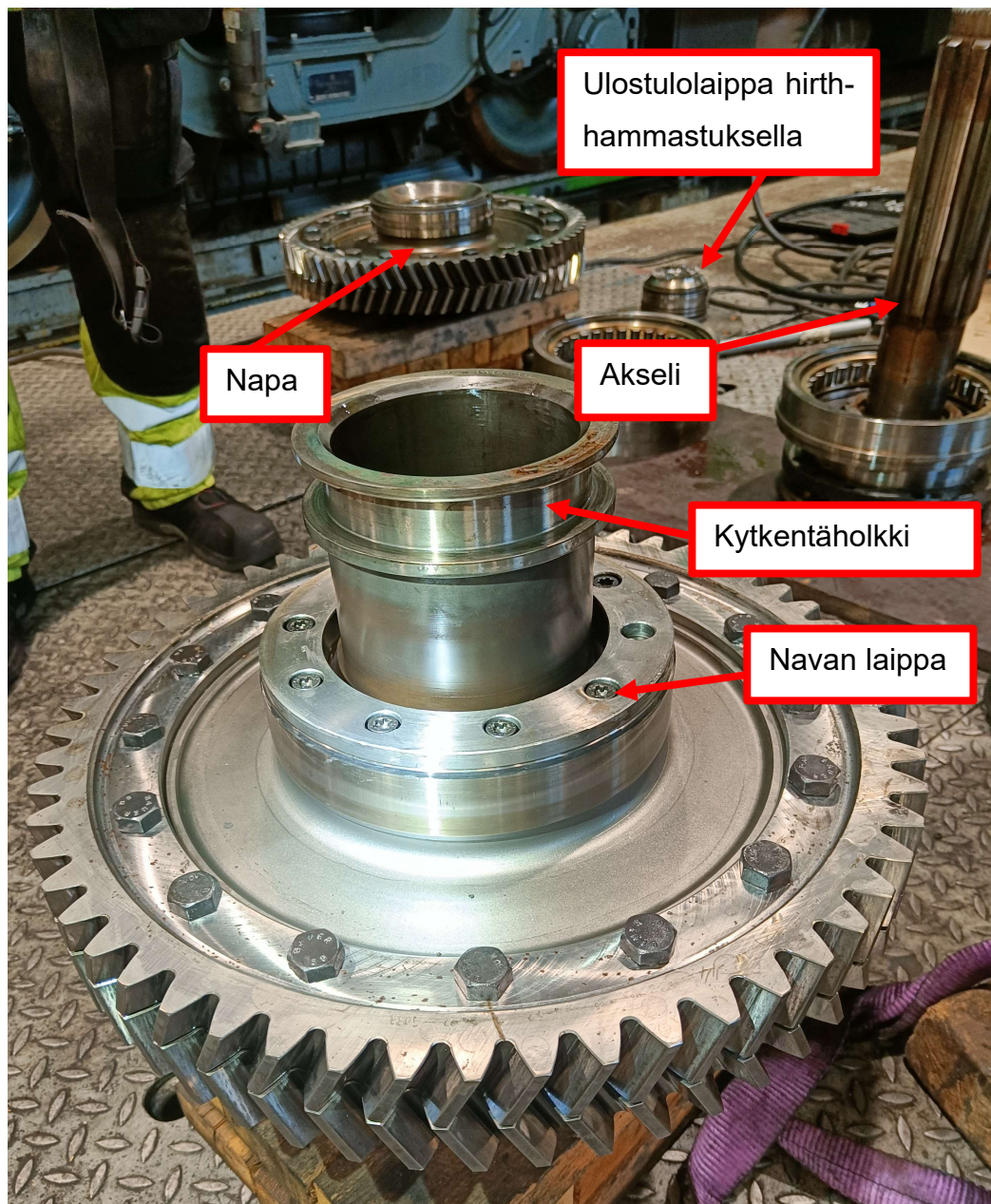
KUVA 53. Ulostuloakseli katkaistuna (Kuva: Juuso Puranen)

Ulostuloakselin katkaisun jälkeen saadaan laakerit, aluevaihteen navat ja nuolihammaspyörät nostettua pois akselilta. Kuvassa 54 pienemmän nopeusaluevaihteen nuolihammaspyörä napoineen ja laakereineen irrotettuna akselilta.

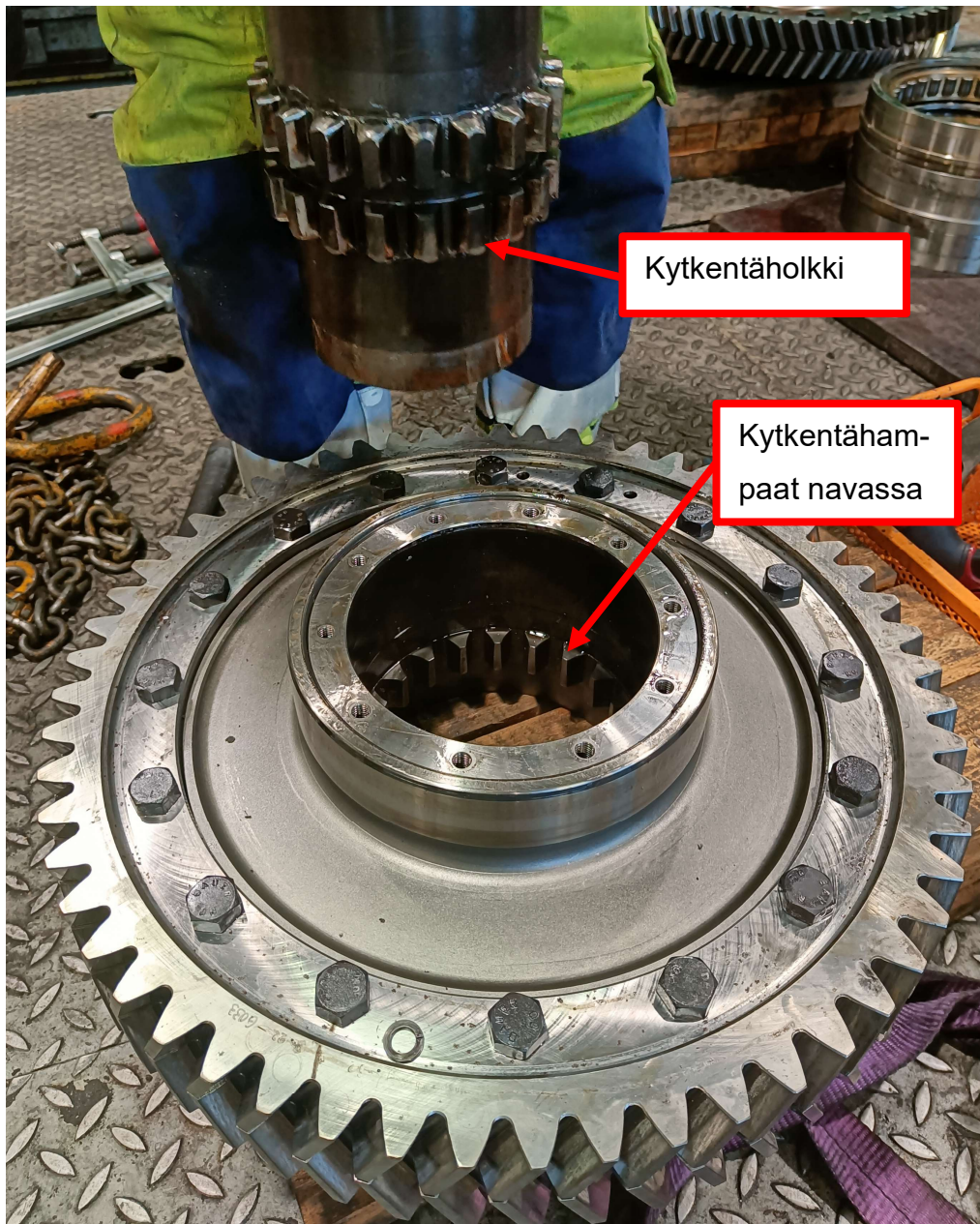


KUVA 54. Pienemmän nopeusaluevaihteen napa ja nuolihammaspyörä irrotettu akselilta (Kuva: Juuso Puranen)

Suuremman nopeusalueen nuolihammaspyörä ja napa nostetaan pois akselilta, jonka jälkeen kytentäholkki irrotetaan navasta. Kytentäholkki on kiinni navassa laipalla, jonka pultit irrotetaan. Kuvassa 55 ulostuloakseli purettuna, kytentäholkki vielä kiinnitettynä napaan. Kuvassa 56 kytentäholkki irrotettuna navasta.



KUVA 55. Ulostuloakseli purettuna, kytkenäholkki kiinnitettynä (Kuva: Juuso Puranen)



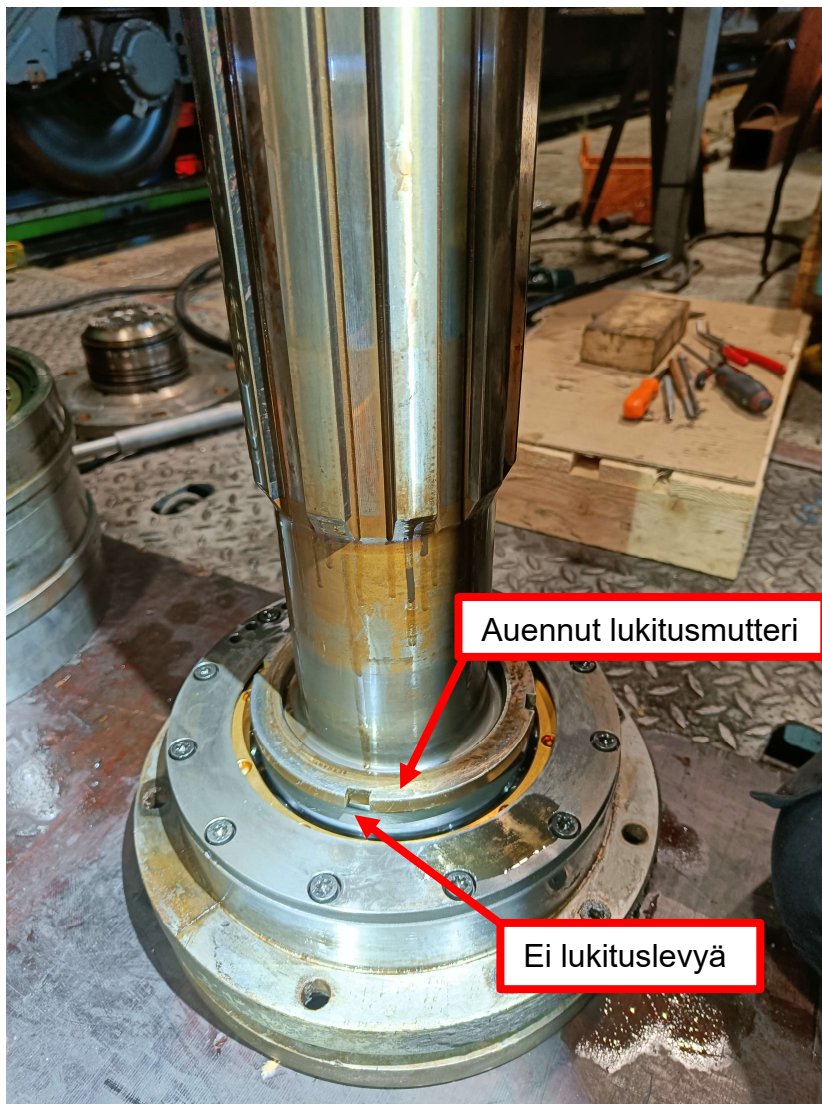
KUVA 56. Kytentäholkki irrotettuna navasta (Kuva: Juuso Puranen)

Ulostuloakselin kunnostustoimenpiteet voidaan aloittaa, kun ulostuloakseli on saatu purettua. Tehtävät toimenpiteet perustuvat Hyvinkään konepajalla vuosikymmenien aikana hyviksi todetuiksi menettelytavoiksi. Tarkastuskohteet listattuna alla.

1. Lieriörullalaakerit ja lukitusmutteri
2. Ulostuloakselin katkaisukohdan Hirth-hampaat
3. Nuolihammaspyörät ja napojen kytentähampaat
4. Kytentäholkkin kytentähampaat

## 5. Kytkentähaarukan liikusangat ja kiinnitykset

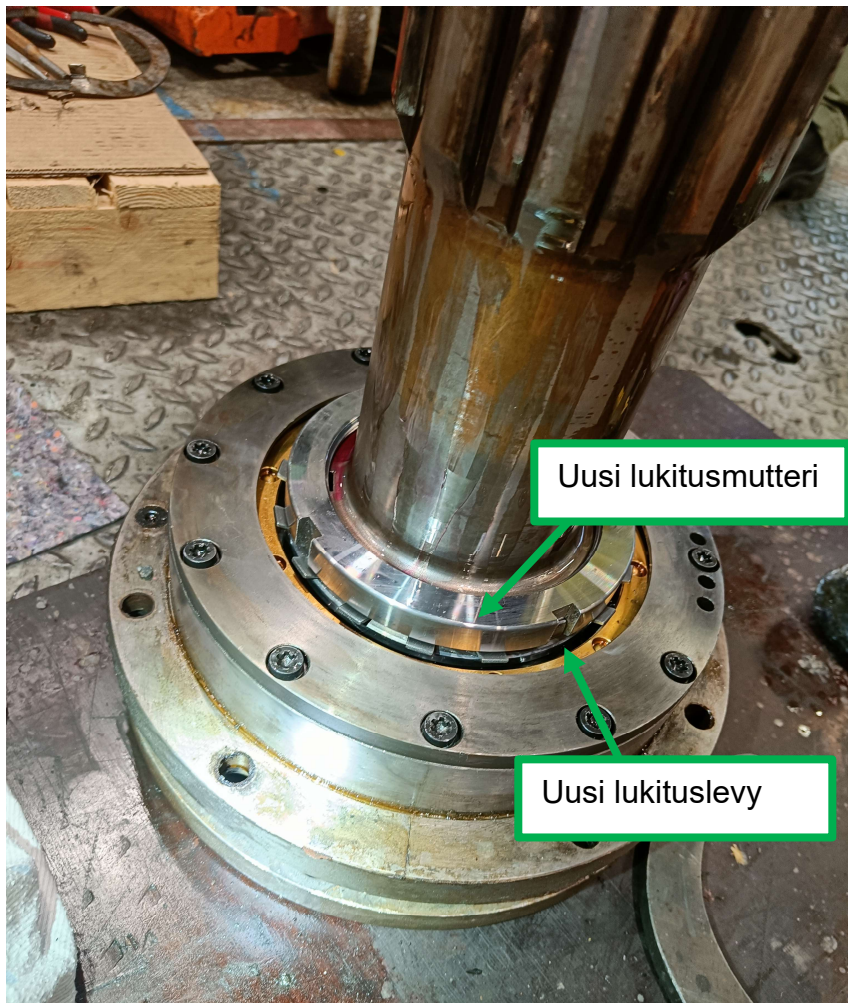
Kaikki ulostuloakselin lieriörullalaakerit tarkastetaan kulkukehien, rullien ja rullien pitimien vaurioiden varalta. Mikäli vaurioita ei havaita ja laakeri pyörii normaalisti, voidaan se asentaa takaisin ulostuloakseliin. Lisäksi tarkastetaan ulostuloakselin päässä sijaitseva laakeri ja sen lukitusmutteri ja lukituslevyn eheys. Mikäli mutteri pääsee aukeamaan se voi estää kytkentäholkin liikkumisen akselilla. Kuvassa 57 ulostuloakselin päätylaippa laakereineen ja lukitusmutterineen. Kuvasta nähdään auennut lukitusmutteri ja puuttuva lukituslevy. Kuvassa 58 uusi lukituslevy ja -mutteri.



Auennut lukitusmutteri

Ei lukituslevyä

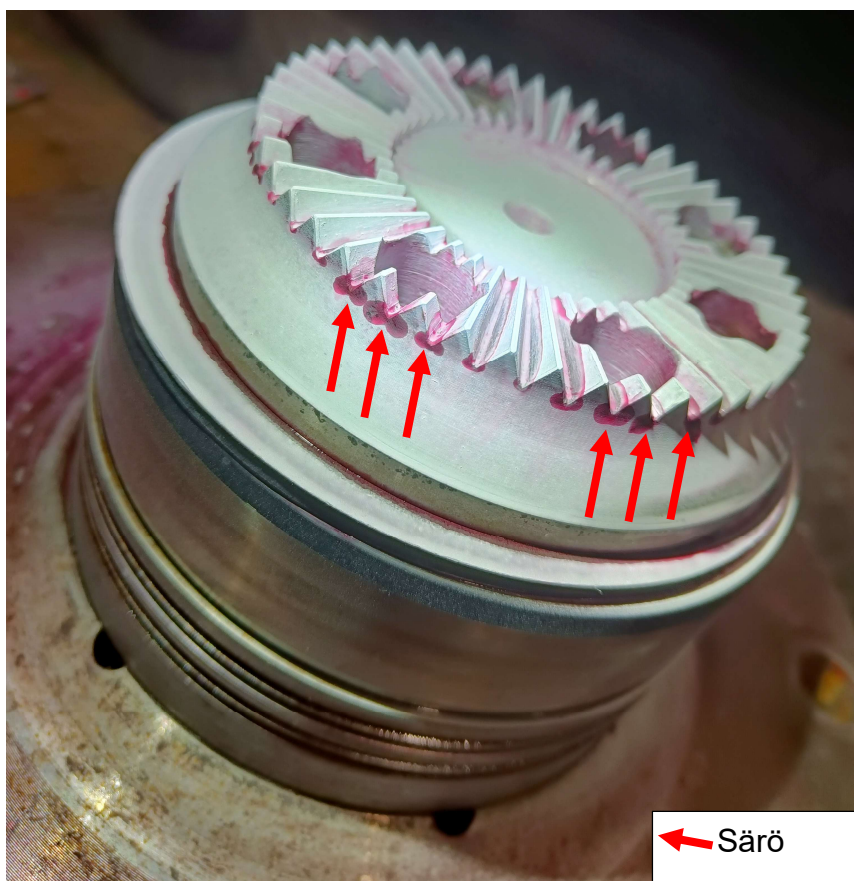
KUVA 57. Auennut lukitusmutteri ja ei lukituslevyä. (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 58. Uusi lukitusmutteri ja lukituslevy (Kuva: Juuso Puranen)

Ulostuloakselin katkaisukohdan Hirth-hampaille tehdään särötarkastus, jonka pohjalta määritellään, voidaanko akselia vielä käyttää vai täytyykö se uusia. Säröjä sallitaan ainoastaan Hirth-hammastuksen kiinnityspulttien takana sijaitse-  
vissa ”lyhyissä hampaissa”. Lyhyet hampaat voidaan tällöin jättää paikalleen tai lyödä irti. Mikäli säröjä havaitaan pitkissä hampaissa, täytyy akseli vaihtaa säröt-  
tömään. Kuvissa 59 ja 60 särötarkastuksia.



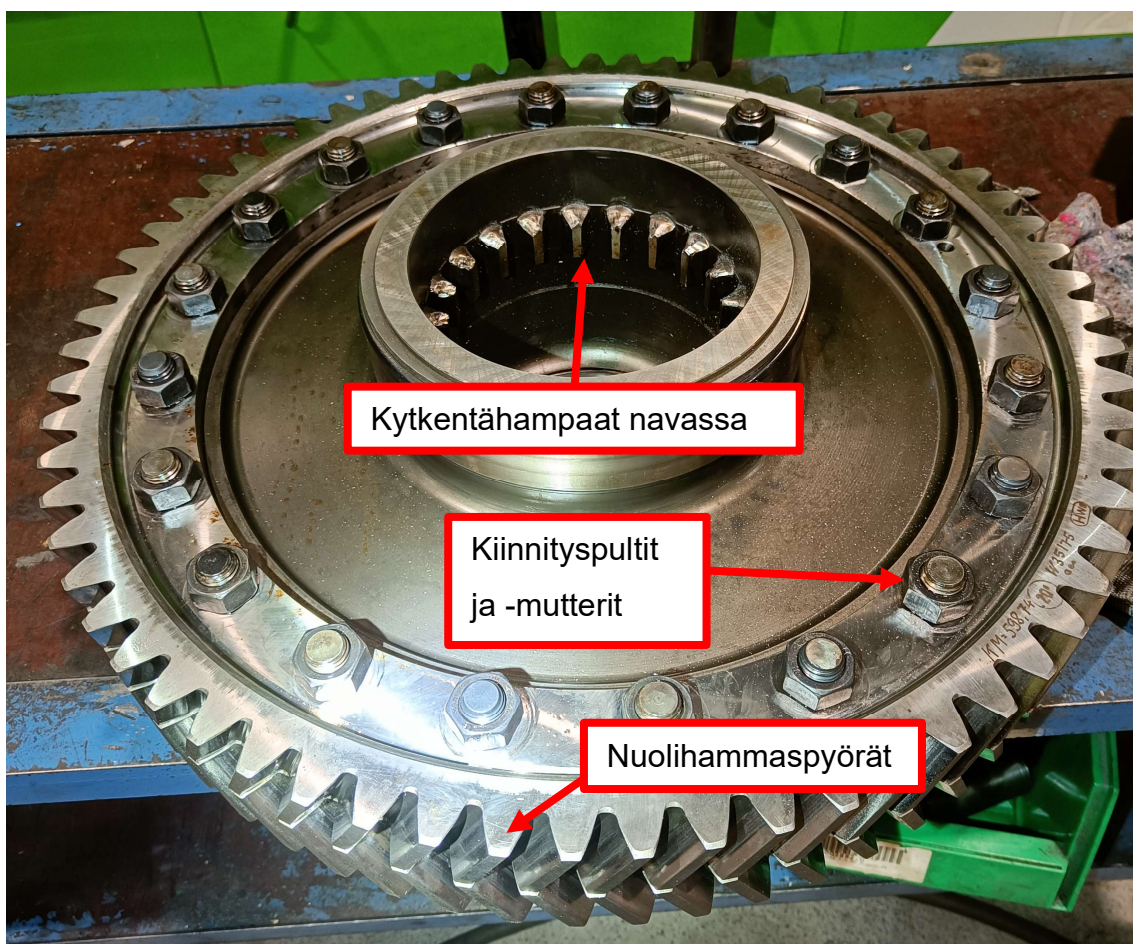


KUVA 59. Ulostuloakselin särötarkastus, säröjä lyhyissä hampaissa (Kuva: Juuso Puranen)

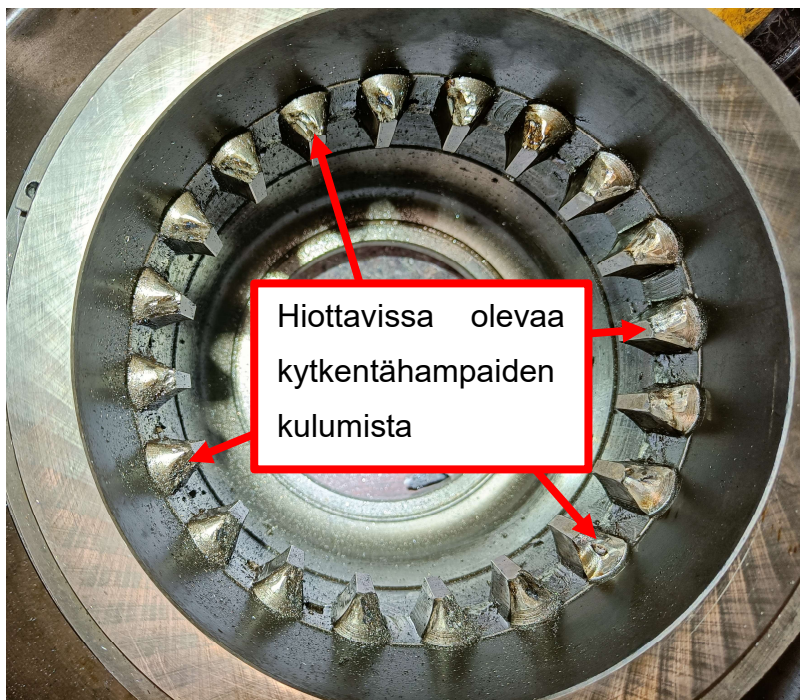


KUVA 60. Ulostuloakselin särötarkastus, ei säröjä (Kuva: Juuso Puranen)

Nuolihammaspyörät tarkastetaan silmämääräisesti halkeamien, puuttuvien hampaiden, sekä navan ja hammaspyörän kiinnityspulttien löystymisen varalta. Napojen kytkentähampaat tarkastetaan puuttuvien hampaiden varalta, sekä tarkastetaan hampaiden kunto. Mikäli havaitaan puuttuvia hampaita tai pahasti vaurioituneita hampaita, täytyy kytkentänapa uusida. Hampaiden ollessa hyvässä kunnossa, hiotaan niistä purseet pois ja pyöristetään päät mahdollisimman hyvin. Kuvassa 61 nuolihammaspyörä kiinnitettynä napaan. Kuvassa 62 navan hampaat, jossa pienet lohkeamat osoitettu nuolilla. Kuvassa 63 hiotaan navan hampaista purseet ja pienet lohkeamat pois.



KUVA 61. Nuolihammaspyörä ja napa (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 62. Navan kytkentähampaiden kulumaa (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 63. Kytkentähampaiden hiontaa (Kuva: Juuso Puranen)

Kytkenäholkille tehdään samat toimenpiteet kuin kytkentänapojen hampaille. Aluksi tarkastetaan holkin kunto, ettei halkeamia tai muita vaurioita ole. Tarkastetaan kytkentähampaiden kunto ja ettei puuttuvia tai pahasti vaurioituneita

hampaita ole. Kytkentähampaiden purseet ja pienet lohkeamat hiotaan pois ja hampaiden päät pyöristetään mahdollisimman hyvin. Kuvassa 64 kytkentäholkki ja -hampaat. Kuvassa 65 hiotut kytkentäholkin hampaat.



KUVA 64. Kytkentäholkki irrotettuna (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 65. Hiotut ja pyöristetyt hampaat (Kuva: Juuso Puranen)

Nopeusaluevaihteen kytkentähaarukalle kohdistuvat toimenpiteet tehdään vaihteiston pohjan ja ulostuloakselin ollessa irti vaihteistosta. Kytkentähaarukan kiinnityspulttien kunto ja kireys tarkastetaan. Mikäli pultit ovat löysällä kiinnitetään ne uudelleen ruuvilukitteen avulla. Kytkentähaarukan päässä, kytkentäholkkiin kiinnittyvät liukusangat vaihdetaan alumiinisiin alkuperäistä liukusankaa yksinkertaisempaan versioon. Alkuperäinen liukusanka, joka kulkee koko kytkentäholkin ympäri saattaa joskus leikata kiinni holkkiin aiheuttaen vaurioita kytkentähaarukkaan ja -holkkiin. Alumiinisilla liukusangoilla kosketuspinta-ala kytkentäholkkiin on pienempi, ja ne toimivat vikatilanteessa eräänlaisena sulakkeena. Kuvassa 66 kytkentähaarukan kiinnityspultit. Kuvassa 67 kytkentähaarukan uudenmalliset liukusangat asennettuna.



KUVA 66. Kytentähaarukan kiinnityspultit (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 67. Uudenmalliset alumiiniset liikusangat (Kuva: Juuso Puranen)

## 2.6.2 Suunnanvaihdon kunnostus

Hyvinkään konepajan korjausmenetelmät suunnanvaihdon napojen ja kytkentäholkkien vikojen korjauksissa ovat olleet käytössä jo pidemmän aikaa diesel-vehicleiden kunnossapidossa. Suunnanvaihdon kytkentäholkkien ja napojen korjauksia pystytään tekemään vaihteiston ollessa paikallaan veturissa, mikä nopeuttaa työn tekemistä verrattuna tilanteeseen, jossa vaihteisto irrotetaan korjauksia varten. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että korjausten tekeminen vaihteiston ollessa veturissa olisi paras ratkaisu, koska suunnanvaihtolaitteen kytkentähampaat vaativat enemmän tarkkuutta niiden muotoilussa, koska niiden kytkeytyminen on nopeaa ja vauriot voivat syntyä nopeastikin. Tällöin olisi suotavaa, että kytkentähampaat hiottaisiin aina mahdollisimman hyvin, mutta veturissa se ei työergonomian kannalta ole täysin mahdollista. Pääperiaatteena suunnanvaihdon korjauksissa Hyvinkään menetelmillä on suunnanvaihtohaarukan vaihto, jonka mukana vaihdetaan kytkentäholkit ja hiotaan suunnanvaihdon napojen hampaat holkkien hammastyyppejä vastaaviksi, mikäli niissä on vielä hiomavaraa. Samalla on hyvä huoltaa myös suunnanvaihtosylinteri. Yhteensä työmäärä on yhdelle asentajalle noin 1–2 työpäivää. Varaosia on hyvin saatavilla uutenaikin.

Korjausmenetelmiä on suunnanvaihdon napojen ja kytkentäholkkien hampaiden korjauksissa erilaisia. Jokaisella näistä on omat hyvät ja huonot puolensa. Hyvinkään konepajan kokemusten mukaan mitään näistä kytkentähammastyypeistä ei pitäisi sekoittaa keskenään, koska tällöin hammastyypit kuluttavat toisiaan huomattavasti nopeammin. Yhteistä kaikilla kytkentähampaiden korjauksilla on se, että napojen hampaiden pituudelle on määritetty Hyvinkään konepajan kokemusten mukaan minimimitaksi 25 mm. Tämän mitan alapuolelle mentäessä ei hammaskosketus ole riittävä välittämään luotettavasti moottorin tuottamaa vääntöä. Alla listattuna eri kytkentähampaiden mallit, joita voidaan suunnanvaihtolaitteissa käyttää. Listauksessa ensimmäisenä on pitkäikäisin malli ja toisena lyhytikäisin, mutta käyttäjäystävällisin. Näistä on myös välimalleja, jotka osittain jakavat molempien hyviä ja huonoja puolia, mutta käsitellään yksinkertaisuuden vuoksi vain kahta eri mallia.

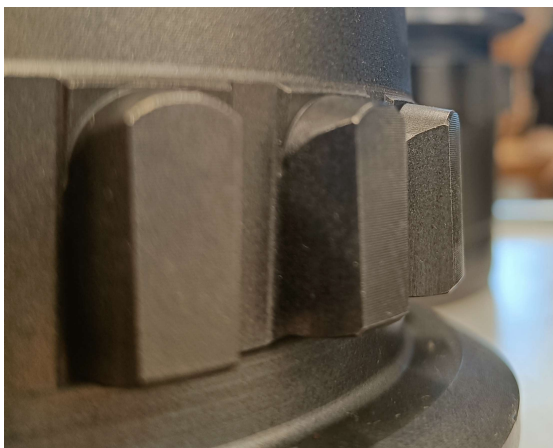
### 1. Pyöreät hampaat

## 2. Viistot ja terävät hampaat

Pyöreiden hampaiden käyttö kytkentähampaina antaa parhaimman kestävyuden kytkentähampaille, koska niissä ei ole teräviä kohtia ja siten suunnanvaihdon iskun aikana niihin ei kohdistu suuria rasituksia pienelle alueelle. Tämän hammas-tyypin huonona puolena on kuitenkin käyttäjäystävällisyyden lasku, koska hammasparit eivät kytkeydy toisiinsa niin helposti. Tämä voi aiheuttaa varsinkin radio-ohjauksen aikaisissa suunnanvaihoissa helpommin suunnanvaihtolaitteen rutiinaa eli hampaiden yli hyppimistä, jota käsiteltiin kappaleessa 3.2.1. Suunnan- vaihdon napoihin pyöritykset hiotaan itse, mutta kytkentäholkkeja on saatavilla pyöreillä hampailla. Kuvissa 68 ja 69 pyöreähampainen kytkentäholkki. Kuvissa 70 hampaiden napojen hiontaa. Kuvassa 71 pyöristetyt napojen hampaat.

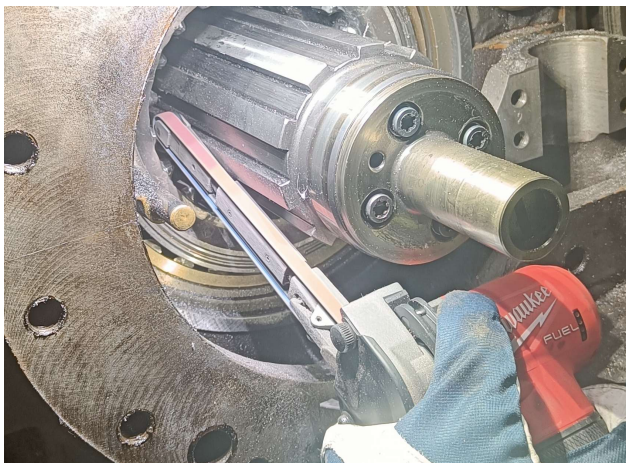


KUVA 68. Kytkentäholkin pyöreät hampaat (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 69. Kytkentäholkin pyöreät hampaat sivusta (Kuva: Juuso Puranen)





KUVA 70. Napojen hampaiden hiontaa (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 71. Pyöristetyt napojen hampaat (Kuva: Juuso Puranen)

Toisena käsiteltävä hammastyppi on viisto ja teräväkärkinen hammas. Tämän hammastyypin yksi hyvistä puolista on se, että se kytkeytyy helposti. Terävän ja viiston hammastyypin huonoina puolina on heikko kestävyys. Mitä useamman kerran hampaat iskeytyvät kärki kärkeä vasten, sitä huonommaksi hammaskytken toiminta muuttuu. Viisto muoto ja terävä kärki luovat hampaalle pienen kosketuspinta-alan, johon suunnanvaihdon yhteydessä kohdistuva paine voi nousta liian suureksi hampaan materiaalille. Hampaiden kulumista käsitelty enemmän kappaleessa 3.2.1. Kuvissa 72 ja 73 viisto ja teräväkärkinen hammas kytkentäholkissa.



KUVA 72. Kytkentäholkin terävät hampaat (Kuva: Juuso Puranen)



KUVA 73. Kytentähölkön terävät hampaat sivusta (Kuva: Juuso Puranen)

Kunnossapidossa on myös kokeiltu erilaisia hammastyyppien sekoituksia, esimerkiksi viistämättömiä teräviä hampaita, mutta niiden on havaittu kuluttavan kytentähampaita huomattavasti nopeammin. Edellä käydyt hammastyypit on vuosien aikana koettu parhaimmiksi vaihtoehtoiksi suunnanvaihtolaitteen korjauksissa. Mikäli suunnanvaihdon navan hampaiden pituudessa ei enää riitä mitta korjaushiontaa varten, täytyy vaihteisto purkaa osiin ja navat uusia. Vaihteiston purusta aiheutuu suuria kustannuksia, joten pidempään kestävä hammastyypin ratkaisut ovat korjauksissa tulevaisuuden kannalta järkevämpiä.

### 3 VÄLTETTÄVISSÄ OLEVAT VAIHTEISTOJEN VAIHDOT

Kappaleessa 2.4 tarkasteltiin vaihteistojen vikamääriä ja eriteltiin kokonaisvikamääristä suunnanvaihtolaitteen ja nopeusaluevaihteen viat. Vaihteiston vaihtoihin johtaneiden vikaantuneiden vaihteistojen alihankintana tehtyjä kunnostusraportteja ja -kustannuksia (liite 3, salainen) vertailemalla kappaleessa 2.4 listattujen vaihteistoyksilöiden vikojen kuvauksiin pystytään määrittelemään vuositasolla vältettävissä olevien vaihteistojen vaihtojen määrä. Pelkästään suunnanvaihtolaittevikaisia vaihteistoja on vaihdettu viimeisen viiden vuoden aikana n. 4 kpl vuodessa. Pelkästään nopeusaluevaihteen vikaantumisen takia vaihdettuja vaihteistoja on viimeisen kolmen vuoden ajalla tapahtunut n. 2 kpl vuodessa. Hyvinkään korjausmenetelmiä hyödyntäen ja vikakorjauksia laajentaen nopeusaluevaihteen korjauksiin, voidaan vuositasolla välttyä jopa vajaan 10 vaihteiston vaihdolta. Tämä on taloudellisesti yritykselle kannattavaa, koska se vähentää merkittävästi kunnossapidon kustannuksia vuositasolla. Laskelmista on luotu yritykselle salaiset säästölaskelmat (liite 2, salainen) suunnanvaihtolaitteen ja nopeusaluevaihteen korjauskustannuksista hyödyntäen Hyvinkään korjausmenetelmiä.

## 4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tutkimus aloitettiin perehtymällä toiminnanohjausjärjestelmään tallennettuihin vetureiden vikatietoihin, joiden pohjalta saatiin jalostettua luettavaan muotoon viiden vuoden ajalta vetureiden vaihteistoihin kohdistuneet vikamäärät ja vikatyypit. Vertailemalla tuloksia ulkoistettujen vaihteistokorjauksien kunnostusraportteihin saatiin luotua kuva siitä, kuinka monta vaihteiston vaihtoa Hyvinkään korjausmenetelmillä olisi vältettävissä. Vältettävissä olevien vaihteistojen vaihtojen määrää ja kunnostuskustannuksia vertailemalla saatiin tutkimuksen toimeksiantajalle luotua karkeat säästölaskelmat, joiden pohjalta aloitettiin vaihteistojen nopeusaluevaihteiden korjaukset Tampereen varikolla onnistuneesti vuoden 2023 joulukuussa. Teoriaosuudessa perehdyttiin vaihteiston vikakorjausten kannalta olennaisiin asioihin eli hammaskytkimiin ja vaihteiston perusrakenteeseen ja mekaanisen puolen toimintaan. Näiden pohjalta pystyttiin rakentamaan kattava suunnanvaihtolaitteen ja nopeusaluevaihteen vikaantumisen ja vikakorjauksissa käytettävien korjausmenetelmien kokonaisuus, jota pystytään hyödyntämään myös muissa kunnossapitoyksiköissä.

Hyvinkään korjausmenetelmissä käsiteltyjä hammaskytkimen osien korjauksissa käytettäviä tietoja ei aikataulutuksen takia keretty laskennallisesti varmistamaan, joten tietotaito on osittain kokemuksiin perustuvaa, eikä välttämättä teoreettisesti täysin luotettavaa. Varmistusta esimerkiksi sille, mistä suunnanvaihdon navan kytkentähampaan minimipituus 25 mm on peräisin, ei saatu varmistettua. Tähän osasyynä on myös se, että Hyvinkäällä saavutetusta diesel vetureiden erikoisosaamisesta suuri osa on siirtynyt pois yrityksen kirjoilta tai eläkkeelle työntekijöiden mukana.

Hyvinkään menetelmillä tehdyn nopeusaluevaihteen korjauksen edellytysten selvityksen pohjalta voidaan myös todeta mahdolliseksi vaihteistojen nopeusaluevaihteen kunnostus muuallakin kuin Tampereen varikolla. Tutkimuksen aikana opittua tietotaitoa voidaan hyödyntää myös VR:n DR14 diesel veturin vaihteistojen kunnostuksissa, joissa suunnanvaihtolaite ja nopeusaluevaihte ovat lähes identtisiä. Jatkossa Hyvinkään korjausmenetelmillä tehtävät korjaukset tule-

vat olemaan entistä halvempia yritykselle, sillä varaosia on saatavilla romutettujen vetureiden vaihteistoista runsaasti. Tulevaisuudessa voitaisiin perehtyä enemmän Hyvinkään korjausmenetelmien hyödyntämiseen vaihteiston hydraulisella puolella. Tällä hetkellä lähes kaikki vaihteiston vaihtoon johtavat viat ovat vaihteiston hydraulisella puolella ja liittyvät jollain tapaa vaihteiston momentinmuuntajien ja virtauskytkimen täytön ohjaukseen. Hydraulisen puolen vianetsinnässä olisi luultavasti vielä parantamisen varaa.

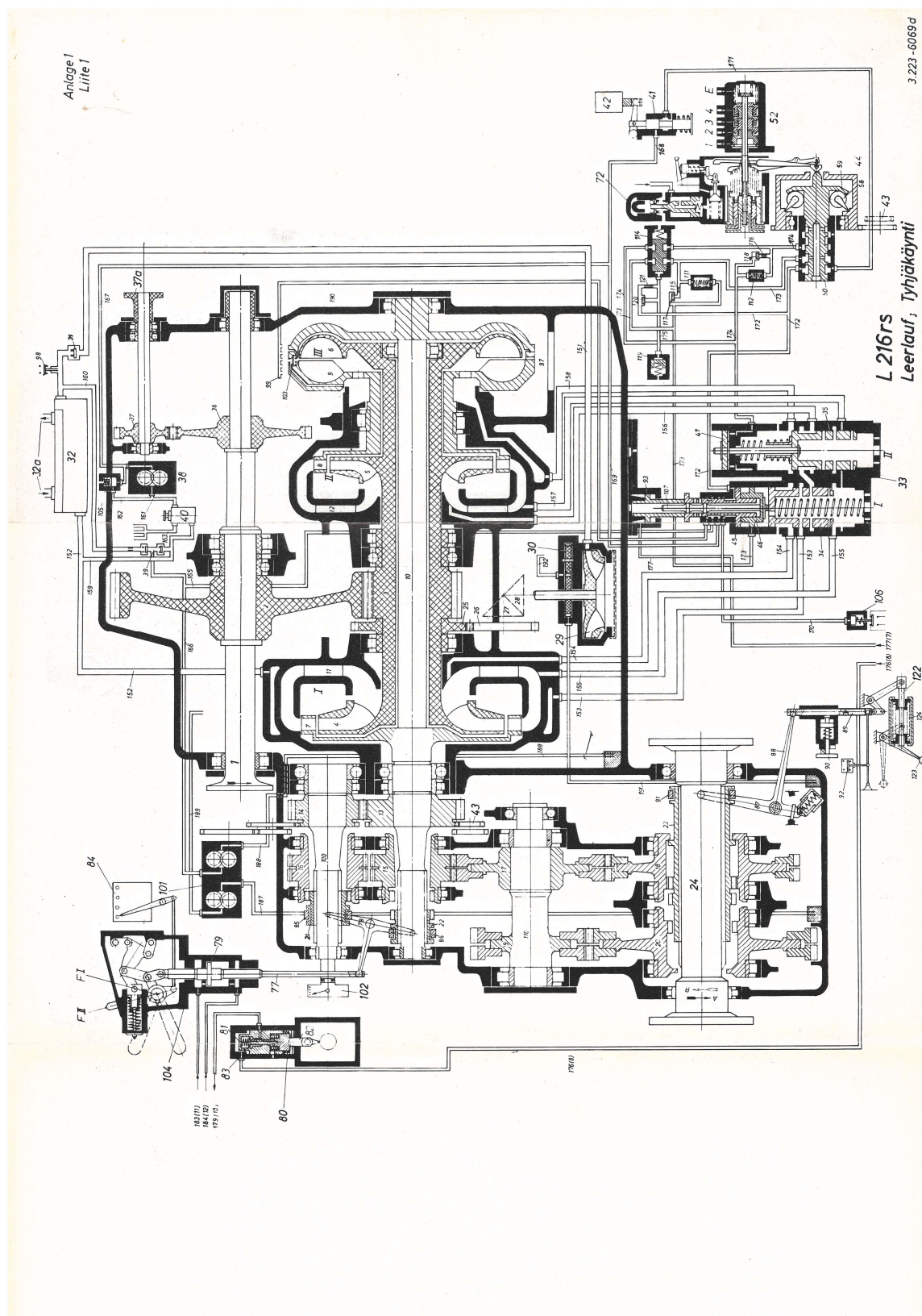
Opinnäytetyön käytännön toteutus ja ensimmäinen nopeusaluevaihteen prototyyppikorjaus saatiin toteutettua nopealla aikataululla jo vuoden 2023 joulukuussa. Samoihin aikoihin saatiin valmiiksi myös aiemmin mainitut säästölaskelmat (liite 2) ja niitäkin on jo hyödynnetty yrityksen talouslaskelmissa. Opinnäytetyön muiden osioiden kanssa oli ajankäytöllisiä haasteita, joiden takia teoriaosuu- den ja vikaantumisien kirjoittaminen jäivät viimeisenä tehtäviksi. Kokonaisuudessaan opinnäytetyö vastaa asetettuihin tutkimuskysymyksiin ja käsittelee laajasti vaihteiston mekaanisen puolen vikaantumisia ja Hyvinkään korjausmenetelmien käyttöä vaihteiston kunnostuksissa.

## LÄHTEET

1. Croccolo, D., De Agostinis, M., Fini, S., Olmi, G., Robusto, F. & Vincenzi, N. 2018. On Hirth Ring Couplings: Design Principles Including the Effect of Friction. MDPI 21.11.2018. Viitattu 12.6.2024
2. Airila, M., Karjalainen, J.A., Mantovaara, U. 1985. Koneenosien suunnittelu 3: Tehonsiirto. Porvoo: WSOY.
3. Ihalainen, A. 2014. Älykkäät Anturit Hammaskytkimien Kunnonvalvonnan Välineinä. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Karelia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 12.6.2024. [Ihalainen Aki.pdf \(theseus.fi\)](#)
4. Ihme, J. 2019. Rail Vehicle Technology, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
5. Kokkola, K., Kyrenius, P., Vehmanen, E., Larkko, O., Lindholm, H., Toivola, E., Oksanen, A., Kelomaa, V. & Leidén, E., 1971, Dieselveturit ja Moottorivaunut II, Valtion painatuskeskus
6. Voith Getriebe Kg Heidenheim, n.d. Voith Virtausvaihteisto L 216 rs, Käyttöohje
7. Reijonen, A.-M., 2019, Hyvinkään Konepaja Rakennushistoriaselvitys, Amark

## LIITTEET

Liite 1. Voith L 216 rs poikkileikkaus (Voith Virtausvaihteisto L 216 rs käyttöohje, Liite 1)





Liite 2. Vaihteiston vikakorjausten säästölaskelmat, salainen

### Liite 3. Vaihteistojen kunnostusraportit ja -kustannukset, salainen