



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ari Hongisto

---

# Mobilehydrauliikan vianhaun haasteet ja nykytilanne jälki- markkinoinnissa

Opinnäytetyö  
Kevät 2022  
Auto- ja työkonetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Ari Hongisto

Työn nimi: Mobilehydrauliikan vianhaun haasteet ja nykytilanne jälkimarkkinoinnissa

Ohjaaja: Jussi Yli-Hukkala

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 61

Liitteiden lukumäärä: 1

---

Tämä työ tehtiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun auto- ja työkonelaboratoriolle. Auto- ja työkonelaboratoriossa järjestetään opiskelijoille käytäntöpainotteista opetusta ajoneuvotekniikkaan liittyen ja siellä on mahdollista harjoittaa myös projektitoimintaa erilaisten projektien muodossa. Laboratorion kattava laitekanta mahdollistaa myös erilaisten palvelujen tarjoamisen ulkopuolisille asiakkaille.

Työn tavoitteena oli selvittää liikkuvan kaluston hydrauliikan vianhaun ja testauksen nykytilanne ja haasteet jälkimarkkinointia suorittavissa yrityksissä. Selvityksen pohjalta luonnosteltiin myös tulevaisuudessa laadittavaa opetustyötä, jossa hyödynnettäisiin toimeksiantajan hankkimaa uutta hydrauliikan testilaitteistoa. Nykytilanteen ja haasteiden selvittäminen mahdollistaa uuden testilaitteiston hyödyntämisen niin, että se palvelisi mahdollisimman hyvin tämän päivän työelämän tarpeita.

Työ lähti liikkeelle testilaitteistoon tutustumisella ja haastattelulomakkeen laatimisella. Lomakkeen sisältö laadittiin yhteistyössä toimeksiantajan kanssa. Tämän jälkeen kartoitettiin haastateltavat kohdeyritykset, joihin haastatteluja lähdettiin suorittamaan. Haastattelujen jälkeen aineisto koostettiin yhdeksi kokonaisuudeksi ja tulokseksi saatiin tietoa alan nykytilanteesta, tulevaisuudesta ja haasteista. Tulokseksi saatiin myös haastattelujen tuloksien pohjalta tehty luonnostelma opetustyöstä ja testilaitteiston hyödyntämisestä.

<sup>1</sup> Asiasanat: hydrauliikka, työkoneet, diagnostiikka, koulutus, jälkimarkkinointi

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Ari Hongisto

Title of thesis: Challenges and the current situation of the troubleshooting of mobile hydraulics in aftermarket companies

Supervisor: Jussi Yli-Hukkala

Year: 2022

Number of pages: 61

Number of appendices: 1

---

The thesis was made for the automotive and work machine laboratory of Seinäjoki University of Applied Sciences. In the automotive and work machine laboratory, practice-oriented teaching is provided to students in connection with automotive technology, and it is also possible to do project studies there. The laboratory's comprehensive equipment selection also enables various services to customers.

The aim of the thesis was to clarify the current situation and challenges of the troubleshooting and testing of mobile hydraulics in aftermarket companies, together with sketching teaching based on the research results. The new teaching would utilize the contractor's new diagnostics equipment. The research results of the current situation and challenges would enable the new test equipment to be used in a way that best serves the needs of working life.

The thesis started with an introduction to the new diagnostic equipment and the preparation of an interview form with the contractor. After this, the target companies to be interviewed were mapped out. After the interviews, the material was compiled into a single entity and the result was information about the current situation, future and challenges in the field. Another result was a sketch based on the results of the interviews about the teaching and the utilization of the diagnostic equipment.

<sup>1</sup> Keywords: hydraulics, work machines, diagnostics, education and training, after-sales service

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 Johdanto .....	9
1.1 Työn tausta ja tavoite .....	9
1.2 Työn rakenne .....	9
1.3 Yritysesittely .....	10
2 Hydraulikka.....	11
2.1 Hydraulikan historiaa .....	11
2.2 Toimintaperiaate ja käyttökohteet.....	11
2.3 Hydraulijärjestelmät.....	12
2.4 Järjestelmätyypit.....	13
2.5 Hydraulikan vertailua muihin tehonsiirtotapoihin.....	14
2.6 Mobilehydraulikka.....	16
2.7 Hydraulikan komponentit .....	17
2.7.1 Pumput .....	17
2.7.2 Venttiilit .....	19
2.7.3 Sylinterit .....	24
2.7.4 Hydraulimoottorit.....	25
2.7.5 Hydraulinesteet ja suodatus.....	26
2.7.6 Letkut ja putket.....	27
2.8 Sähkön käyttö hydraulikkajärjestelmissä .....	28
2.9 Hydraulikan huolto.....	28
3 Mitattavat suureet.....	30
3.1 Paine .....	30
3.2 Tilavuusvirta .....	30
3.3 Öljyn puhtaus .....	31

3.4	Lämpötila.....	31
3.5	Melu .....	32
3.6	Sähköön liittyvät suureet .....	33
4	Mobilehydrauliikan vianhaku ja testaus .....	34
4.1	Järjestelmien viat.....	34
4.2	Kaaviot ja piirrosmerkit .....	34
4.3	Testilaitteet.....	35
4.3.1	Painemittarit .....	35
4.3.2	Tilavuusvirtamittarit .....	36
4.3.3	Hydac HMG 4000 -mittalaite .....	38
4.3.4	Muita vianhaussa ja testauksessa käytettäviä testilaitteita .....	38
4.4	Mittaus ja säätäminen .....	39
5	Aineistonkeruumenetelmät .....	42
5.1	Kyselyhaastattelu .....	43
5.2	Verkkokysely .....	43
5.3	Teemahaastattelu.....	43
5.4	Tulosten käsittely ja analysointi.....	44
6	Aineiston kerääminen .....	45
6.1	Kyselylomakkeen laatiminen .....	45
6.2	Haastattelujen toteutus.....	46
7	Tulokset.....	47
7.1	Nykytilanne.....	47
7.2	Testilaitteet .....	49
7.3	Osaaminen ja koulutus.....	50
7.4	Tulevaisuus .....	53
8	Johtopäätökset .....	55
9	Opetustyön luonnostelu .....	57
10	Pohdinta ja yhteenveto .....	58
	LÄHTEET .....	59
	LIITTEET .....	61

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Seinäjoen ammattikorkeakoulun auto- ja työkonelaboratorio. ....	10
Kuva 2. Avant -pienkuormaajan hydrauliiikkapumppu. ....	18
Kuva 3. Avant -pienkuormaajan hydrostaattinen ohjausventtiili. ....	21
Kuva 4. Sähköisesti ohjattu suuntaventtiiliryhmä. ....	24
Kuva 5. Kaivinkoneen taittopuomin kaksitoiminen sylinteri. ....	25
Kuva 6. Hydraulimoottorit ajovoimansiirrossa. ....	26
Kuva 7. Hydac -testilaitteen painelähetin. ....	36
Kuva 8. Hydac -testilaitteen virtausmittausturbiini. ....	37
Kuva 9. Hydac HMG 4000 mittalaite. ....	38
Kuva 10. Paineenmittausliitin ja suojakorkki venttiilipöydässä. ....	40
Kuvio 1. Likaantumisen noidankehä. ....	29
Kuvio 2. Erilaisia haastattelumuotoja. ....	42
Kuvio 3. Yritysten erikoistuminen liikkuvaan kalustoon. ....	47
Kuvio 4. Liikkuvan kaluston hydrauliiikan vianhaun ja testauksen vaativuus yrityksissä. ....	50
Kuvio 5. Ammatillisen koulutuksen soveltuvuus alan tarpeisiin. ....	51
Kuvio 6. Ammattikorkeakoulutuksen soveltuvuus alan tarpeisiin. ....	51
Kuvio 7. Erilaisten koulutusmuotojen suosio yrityksissä. ....	53
Kuvio 8. Yrityksien näkemys työvoiman saatavuudesta tulevaisuudessa. ....	53

Taulukko 1. Tehonsiirtotapojen vertailua. ....	15
Taulukko 2. Sovelluskohteiden painetasot ja käyttölämpötilat. ....	16
Taulukko 3. Työtehtävien jakautuminen yrityksissä. ....	48
Taulukko 4. Komponenttien yleisimmät viat. ....	48
Taulukko 5. Työntekijöiltä alalla vaadittavat taidot. ....	52

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Hydrauliikka</b>	Tehonsiirto nesteen välityksellä.
<b>Työhydrauliikka</b>	Hydrauliikkaa, jolla saadaan kone tekemään työtä. Esimerkiksi kaivinkoneen kaivupuomin liikuttaminen.
<b>Ajovoimansiirto</b>	Hydraulinen tai mekaaninen voimansiirtojärjestelmä, joka mahdollistaa koneen liikkumisen.
<b>Toimilaite</b>	Hydrauliikan tapauksessa järjestelmän osa, joka tekee mekaanista työtä. Esimerkiksi sylinteri tai moottori.
<b>Komponentti</b>	Yksittäinen hydrauliikkajärjestelmän osa.
<b>CFO</b>	Constant Flow Open. Avoimen keskiasennon ympäripumppausjärjestelmä.
<b>CFC</b>	Constant Flow Closed. Suljetun keskiasennon järjestelmä.
<b>LS</b>	Load Sensing, kuormantunteva järjestelmä.
<b>CP</b>	Vakiopainejärjestelmä.
<b>CPU</b>	Kevennetty vakiopainejärjestelmä.
<b>Kavitaatio</b>	Ilmiö, jossa hydraulipumpun imupuolella liian suuri alipaine aiheuttaa nesteeseen tyhjiökuplia, jotka romahtaessaan aiheuttavat vahingollisia paineiskuja järjestelmään.



# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta ja tavoite

Tämä opinnäytetyö käsittelee hydraulikkaa ja nykyaikaisten työkoneiden hydraulikkajärjestelmiä. Työssä käsitellään myös hydraulikkajärjestelmien vianhakua ja testausta sekä niihin liittyviä haasteita. Nykyaikaisissa työkoneissa hydraulikkajärjestelmät ovat kehittyneet merkittävästi. Nykyaikaiset ja monimutkaiset järjestelmät voivat myös vikaantua, jolloin vian selvittäjältä tai korjaajalta vaaditaan riittävää perehtyneisyyttä järjestelmän toimintaan, komponentteihin ja vianhakuprosessiin. Vianhaku vaatii usein myös nykyaikaisia testauslaitteita, ja niitä on osattava hyödyntää monipuolisesti. Vianhakutilanteen haasteet liittyvät yleensä testauslaitteiston riittämättömyyteen tai laitteiston käytön hankaluuksiin. Myös vianhaun suorittajan yleisessä osaamisessa, liittyen esimerkiksi hydraulikkapiirin tai komponenttien toimintaperiaatteisiin, saattaa olla epäkohtia.

Työn tekijä suoritti toimeksiantajayritykseen projektiopintojakson, jonka aikana yritykseen hankittiin uutta testilaitteistoa hydraulikan testaamista varten. Uuden testilaitteen ympärille haluttiin laatia opetuskäyttöä varten opetustyö, joka vastaisi mahdollisimman hyvin tämän päivän työelämän tarpeita. Opetustyön laatimista varten päätettiin toteuttaa selvitys, jossa selvitetäisiin vianhaun ja testauksen nykytilanne ja mahdolliset haasteet työkonehydrauliikan kanssa tekemisissä olevien, jälkimarkkinointia suorittavien yritysten kanssa.

Opinnäytetyön tavoitteena on

- selvittää mobilehydrauliikan vianhaun ja testauksen nykytilanne alan yrityksissä
- testilaitteiston käytön ja opetustyön luonnostelu selvityksen pohjalta.

## 1.2 Työn rakenne

Työn johdanto-osuudessa avataan työn taustaa, tavoitteita, rakennetta ja esitellään toimeksiantaja. Johdannon jälkeinen teoriaosuus koostuu hydraulikan perusteista, kuten historiasta, toimintaperiaatteista, käyttökohteista ja mobilehydrauliikasta sekä komponenteista. Luvussa 3 käydään läpi hydraulikkaan liittyviä mitattavia suureita, ja luvussa 4 tutustutaan vianhaun ja testauksen teoriaan ja erilaisiin testilaitteisiin sekä mittaukseen ja säätöön. Teoriaosuuden

jälkeen luvussa 5 tutustutaan aineistonkeruumenetelmiin, ja valitaan niistä tähän työhön parhaiten soveltuva menetelmä tiedon keräämiseksi, minkä jälkeen aineiston keräämisen tulokset esitellään ja analysoidaan. Lopuksi esitellään johtopäätökset ja pohdinta sekä yhteenveto saaduista tuloksista.

### 1.3 Yritysesittely

Työn toimeksiantajana toimii Seinäjoen ammattikorkeakoulun auto- ja työkonelaboratorio (kuva 1). Seinäjoen ammattikorkeakoulu järjestää korkeakoulutasoista opetusta opiskelijoille ympäri Suomen (Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK), i.a.). Auto- ja työkonelaboratoriossa järjestetään käytäntöpainotteista opetusta laboratoriokurssien ja erilaisten projektien muodossa. Myös teoriapainotteisten kurssien tueksi järjestetään käytännön opetusta laboratorion tiloissa. Laboratorion tilat ovat valmistuneet vuonna 2015. Tilat ovat nykyaikaiset, ja siellä on kattava laitekanta ajoneuvonostimia, korjaamokalustoa, testauslaitteita ja opetukseen käytettäviä havaintomalleja sekä opetusajoneuvoja. Opetustoiminnan lisäksi auto- ja työkonelaboratorio tarjoaa maksullista palvelutoimintaa yrityksille ja yksityishenkilöille. Laboratorion kattava laitekanta mahdollistaa monipuoliset palvelut asiakkaille, esimerkiksi autojen ja traktorien tehonmittaukset sekä momenttiavaimien kalibroinnit.



Kuva 1. Seinäjoen ammattikorkeakoulun auto- ja työkonelaboratorio.

## 2 Hydrauliiikka

### 2.1 Hydrauliiikan historiaa

Hydrauliiikka, eli voimansiirto nesteiden välityksellä on yhtä aikaa vanhin ja modernein tapa siirtää energiaa (Aula & Mikkonen, 2008, s.10). Jo kauan sitten kreikkalaiset ja roomalaiset hyödynsivät vesivoimaa ja vesimyllyjä käyttämään erilaisia koneita ja laitteita. Kaupungit rakennettiin jokien ja vesistöjen ääreen, ja niistä saatiin vesivoimaa ruoan valmistukseen ja teollisuuteen. Aikojen saatossa veden käyttäytymisestä eri tilanteissa havaittiin uusia yksityiskohtia ja pystyttiin muodostamaan ensimmäiset hydrauliiikan lait ja yhtälöt (HCS Plating, 2019). Varsinaista hydrauliiikan keksijää ei ole voitu nimetä, mutta Blaise Pascal sen hetkisillä tiedoillaan keksi hydraulipuristimen periaatteen vuonna 1648, ja noin 150 vuotta myöhemmin se patentoitiin Joseph Bramahin toimesta. Tällöin syntyi myös ensimmäinen hydrauliiikan perusperiaatteista: kun nesteeseen pumpattu paine kohdistetaan suurelle pinta-alalle, saadaan voima moninkertaistumaan. Ajan kuluessa hydrauliiikkaa alettiin soveltamaan erilaisiin koneisiin ja laitteisiin, kuten esimerkiksi kullin louhintaan 1800-luvulla. Kun teollisuus ja erilaisten komponenttien valmistusprosessit kehittyivät, järjestelmät ja sen komponentit kehittyivät myös sitä mukaa monimutkaisimmiksi.

### 2.2 Toimintaperiaate ja käyttökohteet

Hydraulinen järjestelmä on tehonsiirtoketju, jossa mekaaninen teho (esim. sähkö- tai polttomoottorin pyörimisliike) muutetaan hydrauliseksi tehoksi pumpun avulla nesteeseen ja se välitetään letkuja tai putkia pitkin haluttuun kohteeseen, jossa se muutetaan jälleen mekaaniseksi tehoksi ja liikkeeksi kyseessä olevan sovelluksen käyttöön käyttäen esimerkiksi hydraulisia sylintereitä tai moottoreita (Kauranne ym., 2013, s. 1). Tehon siirtämisen vaihtoehtoja ovat hydrostaattiset ja hydrodynaamiset siirtomekanismit. Teho välitetään nesteiden avulla, johon hydraulinen teho sidotaan paineeksi ja tilavuusvirraksi. Nesteiden suurin etu on sen koon puristumattomuus, ja kaikkialle minne neste pääsee, pääsee myös paine (Aula & Mikkonen, 2008, s. 12). Jos esimerkiksi pullotunkin käyttövarrella ja pumpulla pumpataan tunkin hydraulioiljyyn paine, ja tunkin sylinterivarren männän pinta-ala on kymmenkertainen pumpun mäntään nähden, kohdistuu sama paine silloin kymmenkertaiselle pinta-alalle. Kun sama paine, tulee kymmenkertaiselle pinta-alalle, on voimakas silloin kymmenkertainen.

Hydrauliikkaa on käytössä monissa erilaisissa sovelluksissa (Kauranne ym., 2013, s. 2). Teollisuudessa sitä käytetään työstökoneissa, valsseissa, paperikoneissa ja puristimissa. Liikuvassa kalustossa sitä käytetään miltei jokaisessa ajoneuvossa, kuten maatalous-, maansiirto- ja metsäkoneissa, autoissa, junissa, lentokoneissa, laivoissa ja raskaassa kalustossa sekä kaivoskoneissa. Ajoneuvojen korjaamisessa hydrauliikkaa voidaan hyödyntää erilaisissa työkaluissa, esimerkiksi tunkeissa ja puristimissa. Yksi sovelluskohde on myös huvi- ja viihdelaitteet, esimerkiksi teatterit ja huvipuistojen laitteet. Kaikilla näillä sovelluskohteilla on omat vaatimuksensa tehonsiirrolle ja säädettävyydelle, ja järjestelmän paine ja tilavuusvirta vaihtelevat suuresti kohteittain. Myös käyttöolosuhteet vaikuttavat käytettävien komponenttien, väliaineen ja materiaalien valintaan.

### 2.3 Hydraulijärjestelmät

Hydrostaattisissa järjestelmissä siirrettävä energia sidotaan paine- eli potentiaalienergiaksi nesteeseen, jolloin nesteen paine-energia kohdistetaan esimerkiksi sylinterin mäntään ja sylinteri tekee työn (Kauranne ym., 2013, s. 4). Hydrostaattinen järjestelmä voidaan jakaa rakenteensa perusteella avoimeen ja suljettuun järjestelmään. Avoimelle järjestelmälle ominaista on suuri nestesäiliö, josta neste imetään järjestelmään ja toimilaitteiden paluuvirtaus ohjataan takaisin samaan säiliöön. Pumppu on yksisuuntainen, eli se pumppaa vain yhteen suuntaan, joten toimilaitteiden suuntaa ei voi ohjata pumpulla vaan siihen käytetään erilaisia ohjausventtiileitä. Tästä syystä järjestelmää nimitetään venttiiliohjatuksi. Avoimia järjestelmiä voidaan käyttää sylinterikäytön yhteydessä, mutta myös moottorikäyttö on mahdollista (mts. 5).

Hydrostaattinen suljettu järjestelmä on tyypillinen silloin, kun kyseessä on moottorikäyttö (Kauranne ym., 2013, s. 5). Avoimen järjestelmän tapaan suljetussa järjestelmässä ei ole suurta nestevarastoa, vaan toimilaitteiden paluuvirtaus johdetaan suoraan takaisin pumpun imupuolelle. Pumppuna tällaisissa järjestelmissä on yleensä kaksisuuntainen säätötilavuuspumppu, joten pumpun pyörimissuunnalla voidaan määrätä toimilaitteen liikkeen suunta sekä pumpun kierrosnopeudella toimilaitteen liikenopeus. Tämänkaltaista järjestelmää nimitetään pumppuohjatuksi. Vaikka järjestelmään ei kuulukaan suurta nestevaraajaa, on kuitenkin mahdollisten vuotojen ja järjestelmän jäähtymisen vuoksi piirissä oltava pieni nesteen syöttöpumppu säiliöineen.

Avoimen ja suljetun järjestelmän lisäksi on myös olemassa sellaisia järjestelmiä, joissa on piirteitä kummastakin järjestelmätyypistä (Kauranne ym., 2013, s. 5). Tällaisia järjestelmiä nimitetään puoliavoimiksi järjestelmiksi.

Hydrodynaaminen järjestelmä eroaa hydrostaattisesta järjestelmästä siten, että nesteeseen luodaan liike-energia pumpulla tai käyttäen hyväksi komponenttien korkeuseroa, ja neste voidaan johtaa esimerkiksi turbiinipyörälle joka virtauksen vaikutuksesta alkaa pyörimään (Koneviesti, 2015). Esimerkkinä mainittakoon momentinmuunnin, eli nestekytkin. Tällaisia järjestelmiä käytetäänkin enemmän työkonien ajovoimansiirtojärjestelmissä perinteisten mekaanisten vaihteistojen yhteydessä, kun taas hydrostaattiset järjestelmät ovat käytössä muussa hydraulikassa, kuten kaivinkoneen puomin liikkeen aikaansaamisessa ja ajovoimansiirrossa silloin, kun se on toteutettu hydraulisesti.

## 2.4 Järjestelmätyypit

Liikkuvan kaluston hydraulikassa on käytössä muutamia erilaisia järjestelmätyyppejä, joista työhydraulikkaan liittyvät avoimen (CFO) ja suljetun (CFC) keskiasennon järjestelmä sekä kuormantunteva (LS) järjestelmä (Parker Hannifin Corporation, 1999). Hydrostaattinen suljettu järjestelmä on yleensä käytössä työkonien ajovoimansiirrossa ja sitä kutsutaan hydrostaattiseksi ajovoimansiirroksi. Hydrostaattinen järjestelmä voi olla myös avoin, jolloin sitä voidaan käyttää kohteissa, jotka vaativat säädettävää pyörintänopeutta ja joiden pyörimissuunta on vain yhteen suuntaan.

Keskiasennoltaan avoin ja suljettu järjestelmä eroavat toisistaan siten, että avoimessa järjestelmässä suuntaventtiili on keskiasennossaan avoin ja suljetussa suljettu (Aula & Mikkonen, 2008, s. 30). Tämä tarkoittaa sitä, että avoimen keskiasennon suuntaventtiili päästää pumpun tuoton suuntaventtiilin lävitse takaisin öljysäiliöön, kun toimilaitteita ei käytetä. Kun toimilaitetta halutaan käyttää, suuntaventtiilin karaa liikutetaan, jolloin vapaakierto sulkeutuu ja virtaus ohjataan toimilaitteelle, avaten samanaikaisesti toimilaitteen paluukanavan öljysäiliöön (mts. 31). Suljetussa järjestelmässä suuntaventtiilin ollessa keskiasennossaan kiinni, järjestelmässä on säätyvätilavuuksisen pumpun tuottama vakioapaine (CP). Kun järjestelmän vakioapaine saavutetaan, pumpun tuotto pienenee ja nollautuu (mts. 32). Suljettu järjestelmä voi olla myös kevennetty, jolloin vakioapaine on järjestelmän toimintapainetta pienempi (CPU) (mts. 33).

Kuormantuntevassa järjestelmässä pumppu säädetään tuottamaan virtausta vain sen verran, kuin järjestelmä kullakin hetkellä tarvitsee (Parker Hannifin Corporation, 1999). Kuormantunteva järjestelmä on nykyään yleisimpiä käytössä olevia järjestelmiä työkoneissa, koska sen tehohäviöt ovat pienet muihin järjestelmiin verrattuna. Tällaisissa järjestelmissä pumput ovat säätyvätilavuuksisia aksiaalimäntäpumppuja, ja mäntien iskunpituutta säädetään niitä käyttävän vinolevyn kulmaa muuttamalla. Pumppu saa painetiedon suuntaventtiilin toimilaitteen liittäntästä, ja se vahvistetaan kopiokaralla ennen kuin painetieto kulkeutuu pumpun säätimelle.

Hydrostaattisessa voimansiirrossa voidaan yhdistää säätyvätilavuuksinen pumppu joko kiinteä- tai säätyvätilavuuksiseen hydraulimoottoriin, jolloin saadaan portaaton voimansiirto (Bauer ym., 2002, s. 922). Moottori voi olla tyypiltään joko hammaspyörä- tai mäntäpumppu. Voimanlähteen pumpulle syöttämä teho on hydraulimoottorin ansiosta jälleen käytettävissä mekaanisena tehona ja pyörimisliikkeenä halutussa kohteessa. Suljettu hydrostaattinen järjestelmä on yleisimmin käytetty ajovoimansiirrossa, ja se mahdollistaa pumpun pyörimissuunnan vaihtamisen, jolloin järjestelmään saadaan myös peruutusvaihte. Avointa järjestelmää voidaan käyttää kohteisiin, jossa moottori pyörii vain yhteen suuntaan, esim. hiekoittimet.

## 2.5 Hydrauliiikan vertailua muihin tehonsiirtotapoihin

Hyviä puolia verrattuna muihin yleisesti käytettyihin tehonsiirtoketjuihin on paljon. Erilaisien tehonsiirtoketjujen ja järjestelmien ominaisuuksia on vertailtu toisiinsa taulukossa 1. Hydraulijärjestelmän komponentit ovat teho-painosuhteeltaan hyviä, ja järjestelmän suunnittelu on melko vapaata, koska teho on siirrettävissä letkuja ja putkia pitkin haluttuun kohteeseen suorinta reittiä pitkin, eikä ole sidoksissa tiettyyn tehonsiirtorataan (Kauranne ym., 2013, s. 1). Hydrauliiikan avulla on myös mahdollista moninkertaistaa käyttövoima, esimerkiksi käsivoimin pullotunkin avulla on mahdollista nostaa kymmeniä tonneja (Aula & Mikkonen, 2008, s. 14). Järjestelmät ovat myös yksinkertaisia, koska liikkuvia osia on vähän, ja näin ollen myös kuluvia osia on vähemmän verrattuna muihin järjestelmiin. Järjestelmän liikkuvat ja kuluvat osat ovat myös jatkuvan voitelun kohteena, koska tehon välitysnesteenä on lähes aina voiteleva öljy. Hydrauliiikan komponenttien yksinkertaisuudesta johtuen valmistuskustannukset ovat myös edulliset. Komponenttien teho- ja kitkahäviöt ovat myös melko pienet, jolloin hyötysuhde on tarpeeksi suuri ja tehohäviöt ovat minimaaliset. Järjestelmät ovat myös turvallisia käyttäjälleen, verrattuna esimerkiksi mekaanisiin tehonsiirtoratkaisuihin, joissa on paljon pyöriviä akseleita ja ketjuja. Hallinnan helppous tekee siitä myös turvallisen käyttää; monet

toiminnot voidaan automatisoida ja käsikäyttöiset liikkeet voidaan toteuttaa niin, että käyttäjän on helppo hallita useita toimintoja samanaikaisesti (mts. 15).

Hydraulisella tehonsiirrolla on myös huonoja puolia (Aula & Mikkonen, 2008, s. 15). Komponentit ovat usein äänekkäitä ja tuottavat melua, joten kuulon suojaus saattaa joissain tilanteissa olla tarpeen. Komponentit saattavat vuotaa öljyä ulospäin esim. letkurikon takia ja liata ympäristöä. Jo pienikin määrä mineraaliöljyä likaa suuria määriä pohjavettä, joten varsinkin metsä- ja maansiirtokoneiden kanssa työskennellessä pohjavesialueella vaaditaan järjestelmiltä ominaisuuksia ympäristön likaamisen ennaltaehkäisemiseksi. Ensimmäisenä ympäristöongelmia yritettiin ratkaista biohajoavien öljyjen käytöllä, mutta ne aiheuttivat niin paljon muita ongelmia järjestelmissä, että niiden käytöstä luovuttiin. Nykyään järjestelmissä käytetään automatiikkaa, joka antaa hälytyksen pienestäkin vuodosta järjestelmässä. Hydraulikka on myös herkkä likapartikkeleille, väärälle käyttölämpötilalle ja ilmalle. Varsinkin ilma aiheuttaa liikkeissä epätasaisuutta sen kokoonpuristuvuuden vuoksi. Ilma saattaa myös puristua lämmetä ja polttaa komponenttien tiivisteitä tai öljyä. Haittapuolena voidaan pitää lisäksi heikkoa hyötysuhdetta sekä tehonsiirrossa käytettävän nesteen huonoja ominaisuuksia. Neste on yleensä hieman kokoonpuristuvaa, lämpötilasta riippuvaa sekä likaavaa. Nesteet ovat yleensä myös palavia. Lisäksi siirrettäessä hydraulista tehoa pitkiä matkoja, siirtohäviöt saattavat muodostua kohtuuttoman suuriksi (Kauranne ym., 2013, s. 3). Järjestelmä saattaa olla myös vaaraksi käyttäjälleen, jos johonkin komponenttiin syntyy pieni, pistemäinen vuoto. Korkeapaineinen neste virtaa reiästä ulos pistemäisenä suihkuna, joka voi aiheuttaa hengenvaaran osuessaan ihmiseen.

Taulukko 1. Tehonsiirtotapojen vertailua (Kauranne ym., 2013, s. 4).

Kriteeri	Tehonsiirtotapa		
	Hydraulinen	Mekaaninen	Sähköinen
Teho-painosuhte	hyvä	hyvä	huono
Säädettävyys	hyvä	huono	hyvä
Hyötysuhde	kohtalainen	hyvä	kohtalainen
Turvallisuus	ei eroavaisuuksia		
Rakenteen muunneltavuus	hyvä	huono	hyvä
Kustannukset	riippuu säädettävyyydestä		

## 2.6 Mobilehydrauliikka

Mobilehydrauliikalla tarkoitetaan liikkuvaa kalustoa, jossa on hyödynnetty hydraulista tehonsiirtoa (Kauranne ym., 2013, s. 2). Teollisuushydrauliikassa järjestelmät toimivat yleensä tietyssä käyttölämpötilassa, eikä komponenttien koolla ole kovin suurta merkitystä. Liikkuvan kaluston hydrauliikalta taas vaaditaan soveltuvuutta muuttuviin sääoloihin ja vaihteleviin lämpötiloihin (mts. 3). Komponenttien tulisi olla mahdollisimman pieniä ja kevyitä, jotta järjestelmä olisi mahdollista rakentaa liikkuvaan laitteeseen. Myös painetasot ja käytettävät hydraulinesteet saattavat vaihdella teollisuuskaluston ja liikkuvan kaluston välillä. Erilaisia sovelluskohteita on vertailtu taulukossa 2. Teollisuushydrauliikassa tietyllä toimilaitteella saatetaan tehdä samanlaisia toistoja useasti päivässä, kun taas mobilehydrauliikan sovelluksilla työliikkeet vaihtelevat jatkuvasti käyttäjän ohjaamana. Tämä aiheuttaa komponenttien optimoinnin suhteen hankaluuksia, kun liikkeet vaihtelevat jatkuvasti.

Taulukko 2. Sovelluskohteiden painetasot ja käyttölämpötilat (Kauranne ym., 2013, s. 3).

Sovellus	Maksimipaine (bar)	Käyttölämpötila (°C)
Viihdeteollisuus	160	+18→+30
Työstökoneet	200	+18→+40
Terästehtaat	220	-40→+60
Autot	250	-40→+60
Voimalat	250	-10→+60
Maa- ja metsätalousskalusto	250	-40→+50
Lentokoneet	280	-65→+60
Maansiirtokalusto	315	-40→+60
Laivat	315	-60→+60
Valssaamot ja valimot	315	+10→+150
Puristimet ja prässit	630	+18→+40
Kaivosteollisuus	1000	-40→+60
Simulointi- ja testauslaitteet	1000	+18→+150

Hydrauliikkaa käytetään liikkuvassa kalustossa työhydrauliikassa ja ajovoimansiirrossa. Sitä voidaan käyttää myös hydraulisessa ohjauksessa, jarruissa ja vaihteistoissa sekä kytkimissä. Liikkuvaan kalustoon, jossa on hydrauliikkaa, kuuluu

- Kaivinkoneet, tela- ja pyöräalustaiset
- Poravaunut
- Metsäkoneet
- Pyöräkuormaajat



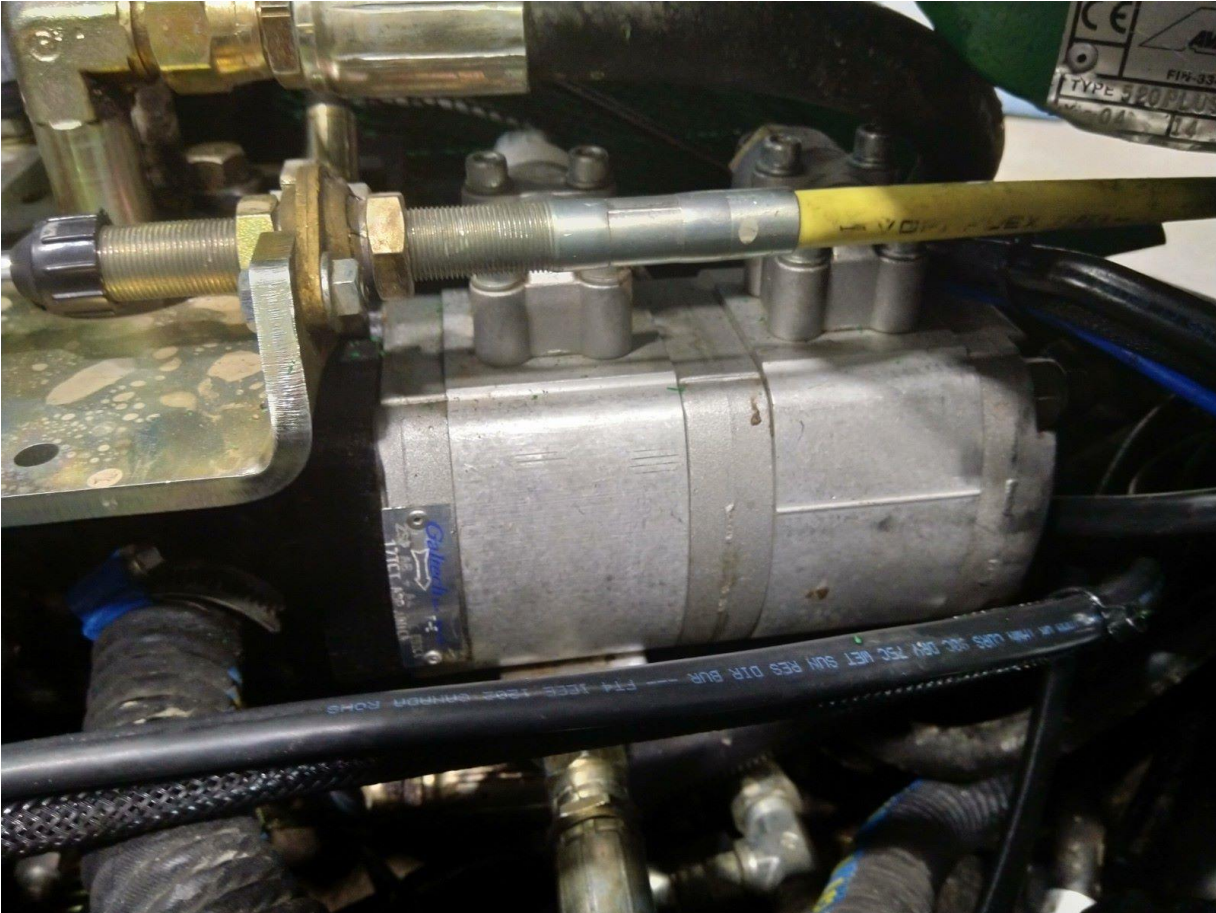
- Kurottajat
- Nosturit
- Kuorma-autojen päällirakenteet esim. jätteenkeräys
- Maatalouskoneet kuten traktorit ja puimurit.

## **2.7 Hydrauliiikan komponentit**

Hydrauliikkapiirin toiminta edellyttää tietynlaista perusjärjestelmää, johon kuuluu yleensä ainakin pumppu, öljysäiliö sekä hallinta- ja toimilaitteet (Aula & Mikkonen, 2008, s. 11). Hallintalaitteisiin kuuluu toimilaitteiden ohjauskomponentit, ja toimilaitteina toimivat esimerkiksi sylinterit ja moottorit. Tässä työssä käydään läpi liikkuvan kaluston hydrauliiikan kannalta tärkeimmät komponentit.

### **2.7.1 Pumput**

Hydrauliikkapumput (kuva 2) muuttavat poltto- tai sähkömoottorin mekaanisen energian, eli pyörimisnopeuden ja väännön, hydrauliseksi tehoksi, eli virtausnopeudeksi ja paineeksi (Parker Hannifin Corporation, 1999). Pumppuja voidaan jakaa ryhmiin monin eri tavoin, mutta yleisimmät jakoperusteet ovat paineen tuotto ja toimintatapa (Aula & Mikkonen, 2008, s. 64). Paineen tuoton perusteella pumput voidaan jakaa matala- ja korkeapainepumppuihin, joiden määrittelyn raja-arvo on noin 5 megapascalina. Pumppujen toimintatavoista yleisimmät ovat hammaspyörä- ja aksiaalimäntäpumppu. Pumpun säädettävyyden perusteella pumput voidaan jaotella myös kiinteä- ja säätötilavuuspumppuihin.



Kuva 2. Avant -pienkuormaajan hydraulikkapumppu.

**Kiinteätuottoinen hammaspyöräpumppu.** Hammaspyöräpumppu on yleisimmin käytetty kiinteätuottoinen pumppu (Niskanen & Tiainen, 1992, s. 95). Pumpun muodostaa kaksi hammaspyörää, ja niiden pyöriessä tiiviisti pesässään öljy siirtyy imupuolelta painepuolelle hammaspyöräiden ja pesän seinämien välissä. Hammaskosketus estää öljyn pääsemisen takaisin imupuolelle, jolloin öljy on pakotettu siirtymään painepuolelle. Pumppuyksiköjä voidaan asentaa myös peräkkäin, jolloin puhutaan kaksoispumpusta. Tällöin saadaan samaan yhteyteen kaksi toisistaan riippumatonta pumppua, joiden painetasot voivat olla erilaiset. Hammaspyöräpumppun tuotto (kuinka paljon öljyä pumpun läpi virtaa yhden kierroksen aikana) ilmoitetaan yleensä tuottona yhtä kierrosta kohti, eli pumpun tuottoa on mahdollista säätää pelkästään kierrosnopeuden avulla, jolloin se ei varsinaisesti ole säädettävä.

**Kiinteätuottoinen mäntäpumppu.** Mäntäpumppu perustuu edestakaisin liikkuviin mänttiin (Niskanen & Tiainen, 1992, s. 96). Männän liikkuessa alaspäin, imuventtiili avautuu ja päästää öljyä sylinteriin. Männän liikkuessa ylöspäin, imuventtiili sulkeutuu, paineventtiili avautuu ja mäntä pakottaa öljyn paineventtiilin kanavaan. Mäntäyksiköitä voi olla useampia, ja niitä käytetään aksiaalipumppun tapauksessa pyörivän akselin ja vinolevyn avulla.

Kiinteätilavuuksisen pumpun tapauksessa vinolevyn kulma on vakio, jolloin pumpun tuotto määräytyy ainoastaan kierrosluvun perusteella. Männät voivat joissain tapauksissa liikkua myös radiaalisesti, eli säteittäin pyörivään akseliin nähden (Aula & Mikkonen, 2008, s. 58). Tällöin sylinteriryhmä on tähtimoottorin muodossa, ja mäntiä käytetään nokkaprofiilien ja seurantarullien avulla.

**Säädettävä mäntäpumppu.** Aksiaalimäntäpumpusta saadaan säädettävä, kun mäntiä liikuttavan vinolevyn kulmaa säädetään sitä pyörittävään akseliin nähden, jolloin mäntien iskunpituus muuttuu (Aula & Mikkonen, 2008, s. 69). Mitä vinompi levy on, sitä pidempi isku saadaan aikaiseksi ja pumpun kierrostilavuus kasvaa. Tämän ansiosta kierrosnopeuden ollessa vakio, saadaan pumpun tuottoa säädettyä. Jos vinolevy on pumpun mäntien liikkeeseen nähden kohtisuorassa asennossa, pumppu ei tällöin tuota öljyä. Yleisin tapa säätää vinolevyn kulmaa on kääntää sitä jousipainetta vastaan.

### 2.7.2 Venttiilit

Hydraulisisissa järjestelmissä venttiileillä voidaan ohjata tai säätää paineen ja tilavuusvirran suuruutta sekä ohjata tilavuusvirran suuntaa (Kauranne ym., 2013, s. 224). Säädöillä voidaan vaikuttaa toimilaitteista saatavien momenttien ja voimien suuruuksiin, liikenopeuksiin ja liikesuuntiin.

**Paineenalennusventtiili.** Paineenalennusventtiili mahdollistaa tietyn järjestelmän osan toimimisen pienemmällä paineella ilman, että järjestelmän pääpainetta tarvitsee rajoittaa (Aula & Mikkonen, 2008, s. 98). Sillä voidaan myös suojella tiettyjä järjestelmän komponentteja, jos ne eivät kestä järjestelmän pääpainetta. Venttiili sulkeutuu, kun siitä lähtevä paine ylittää venttiilin ohjearvon ja myös ohjauslinja on lähtöpaineen puolella. Säätö tehdään yleensä jousikuormitusta säätämällä (mts. 99). Paineenalennusventtiili sopii jatkuvaan käyttöön, mutta jos virtaus tai paine-ero on suuri, on sitä käytettävä vain hetkellisesti.

**Paineenrajoitusventtiili.** Komponenttien suojaamisen ja yleisen turvallisuuden kannalta järjestelmässä on aina oltava paineenrajoitusventtiili (Bauer ym., 2002, s. 913). Öljynpaine vaikuttaa jousikuormitteiseen karaan, ja kun öljynpaine nousee riittävän suureksi, se voittaa jousivoiman. Kanava aukeaa ja öljy virtaa takaisin säiliöön, jolloin paine järjestelmässä alenee, kunnes jousi jaksaa taas sulkea venttiilin.

**Prioriteettiventtiili.** Priorisoinnista puhutaan silloin, kun asetetaan asioille tärkeysjärjestys (Aula & Mikkonen, 2008, s. 101). Työkonehydrauliikassa ohjattavuus on tärkein, seuraavaksi tärkein on jarrut ja lopuksi muu hydrauliikka. Prioriteettiventtiili huolehtii siitä, että ajoneuvo on aina ohjattavissa, vaikka samanaikaisesti tehtäisiin muita liikkeitä hydrauliikalla. Yleensä priorisointi on toteutettu työkoneen ohjausventtiilissä olevalla kuormantunnistustoiminnolla. Ohjauspyörää käännettäessä ohjauksen työsylinterin paine vaikuttaa ohjauksen suuntaventtiiliin ja sitä kautta prioriteettiventtiiliin, joka ohjaa tarpeellisen virtauksen tärkeimmälle piirille. Jos ohjausta ei käytetä, pääsee pumpun tuotto kokonaan työhydrauliikalle.

**Hydrostaattinen ohjausventtiili.** Jos ohjausjärjestelmässä on ohjauspyörä, on sen jatkeena ohjauksen suuntaventtiili (kuva 3), joka tunnetaan myös nimellä orbitooliventtiili (Aula & Mikkonen, 2008, s. 102). Venttiili on kiinnitetty ohjausakseliin, ja se sisältää sisäkkäisiä kehiä ja mittapyörästä, jotka toimivat ohjauspyörää käännettäessä. Venttiilin toiminta perustuu kahteen putkimaiseen, toisiinsa nähden jousikeskitettyyn karaan. Karojen keskinäinen asento määrittää öljyn paine- ja paluuvirtauksen määrän ja virtaussuunnan. Venttiilin karojen asento muuttuu vain silloin, kun ohjauspyörää käännetään. Kun kääntäminen lopetetaan, jää ohjauksen hetkiseen asentoon (mts. 103).



Kuva 3. Avant -pienkuormaajan hydrostaattinen ohjausventtiili.

**Vastaventtiili ja vaihtovastaventtiili.** Vastaventtiili mahdollistaa öljyn virtauksen ainoastaan yhteen suuntaan, ja siksi sitä nimitetään myös takaiskuventtiiliksi (Niskanen & Tiainen, 1992, s. 97). Vastaventtiili voi olla myös esipaineistettu, jolloin putkistoon jää pieni paine eikä piiri pääse tyhjenemään (Aula & Mikkonen, 2008, s. 104). Vaihtovastaventtiili on t-haara, joka mahdollistaa korkeampipaineisen tulolinjan virtauksen lähtölinjaan, mutta tulopaineiden välinen virtaus on estetty. Vaihtovastaventtiilissä on siis kaksi tulolinjaa ja yksi lähtölinja.

**Kuormanlaskuventtiili ja lukkoventtiili.** Kuormanlaskuventtiilissä yhdistyy lukko- ja shokki-venttiilin toiminta (Aula & Mikkonen, 2008, s. 105). Jos ohjauspainetta ei tule, venttiili pysyy suljettuna. Kuormanlaskuventtiili on yleensä sijoitettu paluulinjaan, ja sille otetaan ohjauspaine työsylinterin painelinjasta.

**Letkurikkoventtiili.** Letkurikkoventtiilille ominaista on virtauksen pysäyttäminen tietyssä tilanteessa, esimerkiksi virtauksen pysäyttäminen ja sylinterin liikkeen pysäytys letkun rikkoutuessa (Etra, i.a.). Normaalitilanteessa venttiili mahdollistaa virtauksen molempiin suuntiin, mutta letkurikon sattuessa kasvaa virtaus sylinteriltä, jolloin myös kasvaa paine-ero letkurikkoventtiin yli. Tämä paine-ero sulkee venttiilin ja pysäyttää virtauksen. Letkurikkoventtiili on pakollinen turvavaruste esimerkiksi tietyntyyppisissä nostureissa, ja se tulee asentaa suoraan sylinterin letkuliitäntään.

**Kopiokara.** Kuormantuntevassa järjestelmässä tarvitaan kuormantunnistustiedon vahvistus, ennen kuin kuormatieto menee pumpun säätimelle (Aula & Mikkonen, 2008, s. 110). Kopiokaraan tulee öljyä pääpainelinjasta, ja se johdetaan pumpun säätimelle lähtevään kuormantunnistuslinjaan samalla paineella, joka suuntaventtiilistä kopiokaralle tulee, eli se toimii venttiililohkon sisäisten kuormantunnistuslinjojen vahvistimena.

**Esiohjattu venttiilikara.** Esiohjauksella tarkoitetaan sitä, että mekaanista yhteyttä ohjausvivun ja sen hallitseman venttiilikaran välillä ei ole (Parker Hannifin Corporation, 1999). Venttiileitä voidaan ohjata huomattavasti järjestelmän pääpainetta pienemmällä, esimerkiksi n. 25 baarin öljynpaineella ja pienemmillä letkuilla sekä ohjausventtiileillä. Tämä mahdollistaa esimerkiksi puutavara-auton puunosturissa sen, että nosturin ohjaamoon ei tarvitse viedä paksumia, korkeapaineisia hydraulikkaletkuja vaan pienet esiohjausletkut riittävät. Venttiileitä voidaan esiohjata myös paineilmalla tai sähköllä.

**Vapaakiertoventtiili.** Vapaakierto- eli kevennysventtiili ohjaa pumpun tai niiden ryhmän kaiken tuoton suoraan takaisin öljysäiliöön, silloin kun pumpun tuottamaa tilavuusvirtaa ei järjestelmässä tarvita (Kauranne ym., 2013, s. 286). Ylimääräinen tilavuusvirta voitaisiin ajaa takaisin tankkiin myös paineenrajoitusventtiilin kautta, mutta se kasvattaa painetta turhaan liian suureksi ja tehohäviötkin muodostuvat tällöin suuriksi. Kevennysventtiilin läpi öljyä ajettaessa painehäviö on pieni, jolloin tehohäviötkin jäävät pieniksi. Rakenteeltaan kevennysventtiili on normaalitilanteessa suljettu, ja venttiilin ja karan avaamiseen tarvittava ohjauspaine tulee muualta järjestelmästä. Liikkuvassa kalustossa käytetään yleensä avoimen keskiasennon järjestelmää, jolloin suuntaventtiilin ollessa keskiasennossa, öljy virtaa suoraan takaisin säiliöön (Aula & Mikkonen, 2008, s. 115). Karaa liikuttaessa öljy ohjataan haluttuun kohteeseen järjestelmässä ja vapaakierto lakkaa. Venttiilin ohjaus hoidetaan yleensä kuormantunnistusohjauksella tai vaihtoehtoisesti sähköllä (mts. 116).

**Paineenpoistovenkkiili.** Paineenpoistovenkkiili sijoittuu järjestelmässä yleensä kuormantunnistus-, eli LS-linjaan (Aula & Mikkonen, 2008, s. 116). Sitä voidaan käyttää kuormantuntevassa ja vakiotuottoisessa järjestelmässä. Venkkiili on sähköohjattu ja jännitteettömänä se pysyy suljettuna, jolloin kuormantunnistuslinjan virtaus ja paine pääsee suoraan takaisin öljysäiliöön. Tällöin esim. säätötilavuuspumpun paine ei nouse tyhjäkäyntipainetta suuremmaksi, vaikka järjestelmää kuormitettaisiin (mts. 118).

**Suuntavenkkiilit.** Suuntavenkkiilien tehtävänä on ohjata hydraulikkaöljyn virtaus haluttuun kohteeseen halutulla virtausnopeudella (Parker Hannifin Corporation, 1999). Suuntavenkkiiliä voidaan ohjata mekaanisesti käsin, hydraulisella esiohjauksella tai sähköisesti. Myös paineilmalla ohjaus on mahdollista. Kaksitoimisella suuntavenkkiilillä voidaan myös vaihtaa öljyn virtaussuuntaa toimilaitteelle, jolloin saadaan esimerkiksi sylinteriin kaksi eri toimintasuuntaa.

Suuntavenkkiili voi olla tyypiltään joko avoimen keskiasennon venkkiili, kuormantunteva venkkiili tai keskiasennossaan suljettu (Bauer ym., 2002, s. 913). Avoimen keskiasennon venkkiili tunnetaan myös nimellä vapaakiertoventkkiili, jota käsiteltiin jo aiemmin. Suljetun keskiasennon suuntavenkkiilille ominaista on päästää öljy virtaamaan ainoastaan silloin, kun toimilaitetta halutaan ohjata. Kuormantuntevassa venkkiilissä kuormittavan komponentin puolella (esim. sylinteri), on paineliitäntä, joka tunnistaa venkkiiliin kohdistuvan kuormituksen. Painetieto vahvistetaan kopiokaralla, josta se välittyy pumpulle ja pumppu osaa tuottaa tilanteeseen sopivan tilavuusvirran.

**Suuntavenkkiiliryhmä.** Jos hydraulikkaa käyttävässä laitteessa on paljon erilaisia toimintoja, voidaan suuntavenkkiilit rakentaa ryhmäksi (Aula & Mikkonen, 2008, s. 122). Kansankielellä suuntavenkkiiliryhmästä käytetään yleensä nimeä venkkiilipöytä. Yleensä se sisältää esilohkon, johon sisältyy venkkiiliryhmän kannalta tärkeimmät toiminnot, kuten paineenrajoitus, vapaa-kierto, kopiokara, paineenpoisto, kuormantunnistuslinja, paine- ja tankkiliitännät sekä mahdollisesti joitain mittauspisteitä. Esilohkon jälkeen varsinaiset suuntavenkkiilit ovat omana ryhmänään, ja ne voivat olla toiminnoiltaan keskenään täysin erilaisia. Tämän tyyppisiä suuntavenkkiiliryhmiä voidaan käyttää esim. traktorin metsäperävaunun kuormaimen ohjaamiseen. Kuvassa 4 on esitelty sähköohjatun kaivulaitteen suuntavenkkiiliryhmä:



Kuva 4. Sähköisesti ohjattu suuntaventtiiliryhmä.

### 2.7.3 Sylinterit

Hydraulisyylinterit (kuva 5) muuttavat pumpun tuottaman tilavuusvirran takaisin mekaaniseksi energiaksi ja suoraviivaiseksi liikkeeksi sekä voimaksi ja nopeudeksi (Niskanen & Tiainen, 1992, s. 97). Sylintereillä saadaan yleensä suuria voimia aikaiseksi kokoonsa nähden. Sylinteri koostuu sylinteriputkesta, männästä, männäntiivisteistä, varresta ja varrentiivisteistä. Sylinterin molemmissa päissä on yleensä kiinnityshaarukka, jossa on tappikiinnitys haluttuun kohteeseen. Sylintereitä on yksi- ja kaksitoimisia, joista yksitoimista voidaan ajaa hydraulilla vain toiseen suuntaan, josta se palaa takaisin yleensä siihen vaikuttavan massan (esim. kippisyylinteri) tai jousen avulla. Tällöin hydraulinestettä ohjataan ainoastaan männän toiselle puolelle (+ puoli) yksitoimisella suuntaventtiilillä. Kaksitoimista sylinteriä voidaan ajaa kumpaankin suuntaan (männän + ja – puoli) kaksitoimisen suuntaventtiilin avulla, jolla ohjataan hydraulioöljy halutulle puolelle mäntää (Bauer ym., 2002, s. 915). Sylintereillä voidaan



toteuttaa esimerkiksi kaivinkoneen kaivupuomin liikkeitä, traktorin etupyörien kääntäminen, tai kippaavan peräkärryn kippaustoiminto.



Kuva 5. Kaivinkoneen taittopuomin kaksitoiminen sylinteri.

#### 2.7.4 Hydraulimoottorit

Moottoreilla voidaan muuttaa pumpun tuottama hydraulinesteen tilavuusvirta pyöriväksi liikkeeksi, väännöksi, kulmanopeudeksi ja mekaaniseksi tehoksi (Aula & Mikkonen, 2008, s. 54). Yksi tyypillinen sovellus, jossa moottoreita käytetään, on hydrostaattinen voimansiirto (kuva 6). Useimmat pumput voivat toimia moottoreina, jos niihin johdetaan tilavuusvirtaa. Pumppujen tapaan moottorin tyyppinä voi olla mäntämoottori tai hammaspyörämoottori, eli niiden rakenne on pääpiirteittäin samankaltainen kuin pumppuissa (mts. 60).



Kuva 6. Hydraulimoottorit ajovoimansiirrossa.

### 2.7.5 Hydraulinesteet ja suodatus

Hydraulisissa järjestelmissä hydraulinesteen päätehtäviin kuuluu komponenttien voitelu, tehon siirtäminen, korroosion ja ruosteen estäminen sekä järjestelmän tiivistys (Parker Hannifin Corporation, 1999). Neste myös jäähdyttää järjestelmää ja kuljettaa likapartikkelit suodattiin. Liikkuvassa kalustossa käytettävä hydraulineste, eli öljy, on aina laitteen valmistajan määrittelemää, eikä järjestelmässä tulisi käyttää suosituksista poikkeavia öljyjä eikä varsinkaan sekoittaa keskenään erilaisia öljyalaatuja. Useimmissa hydraulikkajärjestelmissä öljy on ISO-luokituksen mukaista, mineraalipohjaista hydraulikkaöljyä. Maataloustraktoreissa yleensä hydraulikassa käytettävää öljyä käytetään myös vaihteiston voiteluun, joka taas vaatii öljyltä lisää ominaisuuksia. Tällöin on varmistuttava siitä, että käytettävä öljy soveltuu molempiin kohteisiin (mt.).

Öljyyn kertyy myös yleensä epäpuhtauksia, johtuen järjestelmän kulumisesta ja mahdollisesta järjestelmän ulkopuolelta tulleesta liasta (Kauranne ym., 2013, s. 277). Epäpuhtaudet öljyssä edesauttavat järjestelmän kulumista, joka taas aiheuttaa toimintahäiriöitä järjestelmään. Myös kosteutta kertyy ajan myötä öljyyn useimmiten öljysäiliön korkin kautta, joka ei

ole täysin tiivis, koska siinä on huohotuskanava ulkoilmaan. Suurin osa järjestelmien vioista aiheutuu epäpuhtaasta öljystä. Komponentit ovat herkkiä epäpuhtauksille, joten järjestelmässä on oltava suodattimia, jotka estävät epäpuhtauksien pääsyn komponenteille asti. Liikkuvan kaluston järjestelmissä suodatus on useimmissa tapauksissa toteutettu imu- paluu- ja painesuodattimilla (Parker Hannifin Corporation, 1999). Imusuodatin, joka tunnetaan myös nimellä imusiivilä, on pumpun imupuolella ja estää epäpuhtauksien pääsyn hydraulikkapumpulle. Painesuodatin, joita voi olla myös useampi, sijaitsevat pumpun ja toimilaitteen välillä painelinjassa. Paluusuodatin suodattaa järjestelmästä tankkiin palaavan öljyn.

### 2.7.6 Letkut ja putket

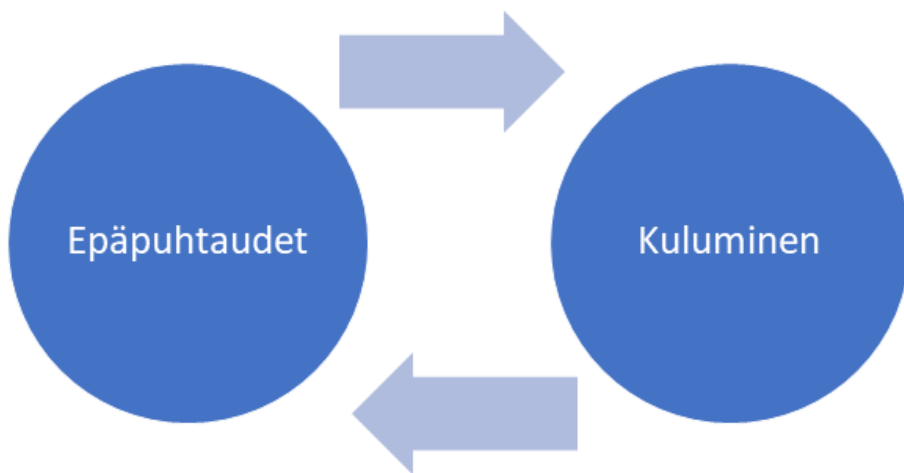
Liikkuvan kaluston hydraulikassa hydraulikan komponentit sijaitsevat usein kaukana toisistaan, jolloin hydraulisen tehon siirto komponentilta toiselle edellyttää komponenttien välisiä virtauskanavia, jossa hydraulioöljy pääsee virtaamaan (Kauranne ym., 2013, s. 418). Virtauskanavat on yleensä toteutettu putkin ja letkuin. Putket ovat jäykkiä, saumattomia teräsputkia, joiden seinämäpaksuus on riippuvainen käytettävästä painetasosta. Matalilla paineilla voidaan käyttää myös alumiini- ja muoviputkia. Letkuja käytetään silloin, kun yhdistetään toisiinsa nähden liikkuvia osia tai asennusta ei ole muista syistä mahdollista suorittaa teräsputkella (mts. 420). Letkuilla voidaan myös vähentää värähtelyjen etenemistä ja vähentää paineiskuja sekä kompensoida lämpölaajenemista, joka vaikuttaisi teräsputkien pituuteen merkittävästi. Letkut jaetaan painetason mukaan matala- keski- ja korkeapaineletkuihin. Materiaalina käytetään tavallisesti synteettistä kumia, ja vahvikekerroksessa käytetään tekstiili- tai metallikudoksia. Vahvikekerroksien määrä riippuu käytettävästä painetasosta (mts. 421). Letkun sisähalkaisijalla voidaan vaikuttaa virtausnopeuteen ja painehäviöihin. Letkut ja putket liitetään toisiinsa liittimillä ja liittimiä käytetään myös liitettäessä letkuja tai putkia komponentteihin (mts. 423). Komponentteihin kiinnitettävät liittimet ovat yleensä laippa- tai kierrelliittimiä. Liittimet kiinnitetään teräsputkiin yleensä hitsaamalla tai leikkuurengasliitoksella ja letkuihin kiinnitettävät liittimet kiinnitetään puristettavan holkin ja erikoistyökalun avulla. Pikaliittimiä käytetään paljon liikkuvassa kalustossa, koska liitos on irrotettavissa ilman työkaluja. Pikaliittimiä voidaan käyttää esimerkiksi traktorin ja työkonien hydraulikkakytkennöissä sekä muissa työkonien lisävarusteissa, joita joudutaan irrottamaan säännöllisesti (mts. 429).

## 2.8 Sähkön käyttö hydraulikkajärjestelmissä

Nykyaikaisessa kalustossa sähkö on hyvin vahvasti mukana hydraulikan ohjauksessa (Aula & Mikkonen, 2008, s. 54). Sähkön ehkä perinteisin hyödyntämistapa on magneettiventtiili, jolla pystytään jännitteensyötön avulla joko avaamaan tai sulkemaan piirin virtaus (mts. 170). Perinteisen suuntaventtiilin karaa voidaan ohjata solenoidilla jousikuormaa vastaan, ja solenoidin asento riippuu sen magnetointivirran suuruudesta. Sähkön avulla toteutetaan myös proportionaaliventtiilin toiminta, jonka avulla voidaan asettaa suuntaventtiilin karalle välitsoja, jolloin se voi olla jännite- tai pulssiohjattuna esimerkiksi puoliksi auki (mts. 171). Nykyään myös erilaiset tiedonsiirtoväylät ja ohjainlaitteet ovat yleistyneet (mts. 180). Tämä tarkoittaa entistä älykkäämpää ohjausta, ja myös johtojen määrä järjestelmässä vähenee, koska väylässä voi liikkua edestakaisin suuri määrä tietoa samanaikaisesti. Nykyaikaiset, älykkäät väyläjärjestelmät mahdollistavat lisäksi mm. virtausnopeuksien säätämisen ja vikakoodien lukemisen ohjaamon päätelaitteen näytöltä. Myös hydraulisia toimintoja on mahdollisuus ohjelmoida vapaana oleviin painikkeisiin ohjaamossa.

## 2.9 Hydraulikan huolto

Hydraulikkajärjestelmien huoltaminen on todella tärkeää järjestelmän varman toiminnan ja pitkän eliniän kannalta (Parker Hannifin Corporation, 1999). Huoltojen ajallaan suorittamisella voidaan varmistaa, että kalusto pysyy luotettavana ja tuottavana. Öljyyn kertyy ajan myötä epäpuhtauksia sekä kosteutta, joten öljy tulee vaihtaa laitteen valmistajan suositusten mukaisesti ja käyttäen vain valmistajan suosittelemia öljyalaatuja. Suodattimet tulee myös vaihtaa öljynvaihdon yhteydessä. Huoltovälejä voidaan myös tihentää, jos järjestelmään on joutunut normaalia enemmän epäpuhtauksia, esimerkiksi rikkoutuneesta komponentista johtuen. Voi- daankin ajatella, että järjestelmän likaantumisen ja kulumisen välillä on loputon jatkumo, jolloin likainen öljy saa järjestelmän komponentit kulumaan ja komponenttien kulumisen saa öljyn likaantumaan (kuvio 1). Käytettäessä hydraulisia lisälaitteita, saattavat myös ne sisältää epäpuhtauksia ja käyttävälle laitteelle sopimatonta öljyä. Varsinkin maataloustraktoreissa saatetaan käyttää keskenään erilaisia hydraulikkaöljyjä, ja usein eri traktoreilla käytetään samoja työlaitteita, jolloin öljyt pääsevät sekoittumaan. Tällöin on syytä huolehtia öljyn ja suodattimien vaihdosta useammin, kuin valmistaja suosittelee.



Kuvio 1. Likaantumisen noidankehä (Kauranne ym., 2013, s. 378).

### 3 Mitattavat suureet

Järjestelmien onnistuneen vianhaun kannalta mitattavat suureet ja erilaiset mittaukset ovat tärkeässä roolissa (Fluid Finland, 2004, s. 2). Kun järjestelmä on käynnissä ja toiminnassa, lähes kaikki sen toimintaan liittyvät asiat ovat mitattavissa, ja niistä on helppo muodostaa johtopäätöksiä järjestelmän tilasta ja kunnosta. Suoritettaessa järjestelmien vianhakua, mitataan eniten yleensä painetta, tilavuusvirtaa, vuotoja ja öljyn lämpötilaa. Sähköisten komponenttien lisääntymisen myötä myös sähköjärjestelmien mittaus ja testaus on lisääntynyt merkittävästi. Järjestelmistä voidaan mitata nykyaikaisilla testilaitteilla myös öljyn puhtautta ja vesipitoisuutta, viskositeettia, tärinää, melua, voimaa sekä sylinterin iskunopeutta ja hydraulimoottorin pyörintänopeutta.

#### 3.1 Paine

Paine on yleisin suure, jota järjestelmistä voidaan mitata (Fluid Finland, 2004, s. 2). Järjestelmät on yleensä varustettu paineenmittauspisteillä, joka nopeuttaa mittaamista ja vian paikallistamista merkittävästi. Suurin osa vikatapauksista selviääkin välittömästi painemittauksien avulla. Järjestelmään muodostuu paine silloin, kun pumpun tuottamaa tilavuusvirtaa vastustetaan. Vastustava kuorma voi olla sylinterin männänvarrella tai hydraulimoottorin akselilla, jolloin syntyy suoraan kuorman verrannollinen paine. Toinen tapa nostaa painetta on kuristaa öljyn virtausta virtauksensäätöventtiileillä, jolloin venttiili vastustaa tilavuusvirtaa ja paine nousee.

Paine muodostuu voimasta ja pinta-alasta (Aula & Mikkonen, 2008, s. 22). Järjestelmän paineen suuruus vaikuttaa suoraan siihen, kuinka paljon järjestelmästä saadaan voimaa ulos. Mitä pienemmälle pinta-alalle voima kohdistuu, sitä suurempi paine järjestelmässä on. Paineen yleisimpänä yksikkönä käytetään megapascalialia (MPa) ja baaria (bar). 1 baari vastaa 0,1 megapascalin painetta. Yksikkö megapascal tulee Pascalin laista, jossa nesteeseen vaikuttava paine leviää tasaisesti nesteeseen ja vaikuttaa yhtä lailla kaikkiin suuntiin (Valtinen, 2013, s. 185).

#### 3.2 Tilavuusvirta

Jos järjestelmässä ei ole öljyn virtausta, ei ole myöskään edellytyksiä, että järjestelmässä tapahtuisi jonkinlaista toimintaa (Fluid Finland, 2004, s. 9). Virtauksen lähteenä toimivat

yleensä hydraulipumput, mutta virtausta voidaan saada myös paineakuista ja toimilaitteiden paluuliitännöistä ns. regenerointitoimintona. Pumppujen tuotto ilmoitetaan kierrostilavuutena, eli kuinka monta kuutiosenttimetriä pumppu tuottaa tilavuusvirtaa yhden kierroksen aikana. Järjestelmän tilavuusvirran yksikkönä käytetään kuitenkin litraa per minuutti, eli mitataan, kuinka monta litraa öljyä järjestelmässä virtaa minuutin aikana, ja se muodostuu öljyn virtausnopeudesta sekä virtaavan kanavan poikkipinta-alasta. Tilavuusvirta vaikuttaa suoraan toimilaitteen liikenopeuteen. Painetta nostamalla ei saada esimerkiksi sylinterin liikenopeutta lisättyä, vaan nopeus riippuu siitä, kuinka monta litraa öljyä sylinterille virtaa minuutin aikana. Tilavuusvirta ei kuitenkaan saa nousta liian suureksi, ettei aiheudu kavitaatiovaaraa (Aula & Mikkonen, 2008, s. 23). Imuputken virtausnopeuden tulisi olla aina pienempi, kuin paluu- ja painevirtauksen.

### 3.3 Öljyn puhtaus

Suurin osa hydraulikkaan liittyvistä vioista aiheutuu epäpuhtaasta öljystä (Fluid Finland, 2004, s. 12). Nykyaikaisilla testilaitteilla voidaan mitata öljyn vesipitoisuutta ja mekaanisten epäpuhtauspartikkelien määrää. Likapartikkelien mittaaminen on tärkeää, koska yleensä ne aiheuttavat järjestelmälle välittömiä toimintahäiriöitä. Öljyn puhtauteen perustuva ISO-standardi määrittelee, kuinka likapartikkelit ovat jakautuneet 100 millilitraan öljyä, mutta vianhakua suorittaessa yleisempi tapa on tutkia, millaista öljyä järjestelmässä virtaa. Tätä kutsutaan dynaamiseksi näytteenotoksi. Tutkimalla öljyä järjestelmän eri kohdista, voidaan selvittää öljyä likaava rikkiäinen komponentti ja esimerkiksi suodattimen suodatusteho.

### 3.4 Lämpötila

Öljyn lämpötila vaikuttaa suoraan sen viskositeettiin, eli paksuuteen (Parker Hannifin Corporation, 1999). Liian korkea öljyn lämpötila saattaa lyhentää öljyn käyttöikää ja vahingoittaa komponentteja. Liian ohut öljy ei voitele komponentteja kunnolla ja saattaa aiheuttaa kiinnileikkaantumista. Öljyn lämpenemistä aiheuttavat järjestelmässä tapahtuvat häviöt, kuten paine-, nopeus-, vuoto- ja mekaaniset häviöt (Fluid Finland, 2004, s. 14). Normaalia öljyn lämpenemistä varten järjestelmään on yleensä sijoitettu jäähdytin, joka pyrkii alentamaan öljyn lämpötilaa. Myös öljysäiliö voi toimia jäähdyttimenä. Öljyn liiallista lämpenemistä aiheuttaa yleensä pumppujen, moottoreiden ja venttiileiden erilaiset vällysvuodot. Viallinen pumppu saattaa lämmentä niin paljon, että se on havaittavissa jo käsin koskettamalla. Lämpenemistä

saattavat aiheuttaa myös likainen öljy, järjestelmän ilmavuodot, ylikuormitus, jäähdyttimen toimintahäiriö, tiivistevauriot tai öljyn puute. Liiallinen lämpötilan nousu on siis merkki jonkun komponentin viasta tai liian kuormittavasta käyttötavasta. Lämpötilojen mittauksella voidaan helposti selvittää öljyä lämmittävän, mahdollisesti rikkiäisen komponentin ja jopa ennakoita tulevaa huollon tarvetta.

### 3.5 Melu

Normaalitilanteessa hydraulijärjestelmän komponentit tuottavat ääntä, joka aiheutuu laakeroinneista, nesteen virtauksesta, paineiskuista sekä toimilaitteiden ja kuormien välisistä kytkennöistä (Fluid Finland, 2004, s. 15). Normaalitilanteesta poikkeavia ääniä on hyvä havainnoida pelkällä korvalla tai vaihtoehtoisesti stetoskoopeilla. Näin voidaan äänen perusteella löytää järjestelmästä viallinen komponentti, joka vaatii mahdollisesti huoltoa. Normaalitilanteesta poikkeavia ääniä voivat aiheuttaa

- kavitaatio
- ilmavuodot
- vauriot laakereissa
- mekaanisesti kulunut komponentti
- putkien puutteellinen tuenta
- virtauksen liian nopeat suunnanmuutokset
- liian korkea järjestelmän paine
- riittävän suuri komponentin sisäinen vuoto.



### 3.6 Sähköön liittyvät suureet

Nykyaikaisissa järjestelmissä sähkön osuus on lisääntynyt merkittävästi, joten mittauksiin ja vianhakuun kuuluu myös sähköisten komponenttien ja niiden ohjauksen mittaamista (Kauranne ym., 2013, s. 1). On myös hyvä tietää perusteet virtapiireistä ja niihin liittyvistä suureista vianhakua tehdessä.

**Jännite.** Jännitettä voidaan ajatella elektronisen teholähteen sähköisenä paineena, joka saa aikaan sähkön virtauksen johtimissa (Fluke Resurssikeskus, i.a.-a.). Jännitteen rooli on käynnistää elektronien virtaus virtapiirissä, ja sen mittayksikkö on voltti (lyhenne V). Jännite on myös eräänlainen potentiaaliero, joka kertoo kuinka paljon potentiaalienergiaa on käytössä, jos halutaan siirtää elektroneja virtapiirissä. Mitä suurempi jännite on, sitä suurempi energia elektronien siirtoon on käytettävissä. Liikkuvan kaluston järjestelmät ovat tyypillisesti 12 tai 24 voltin järjestelmiä, jolloin jännite on tasajännitettä (DC). Tasajännite kulkee ainoastaan yhteen suuntaan ja tasavirtajärjestelmissä on yleensä positiivisia sekä negatiivisia johtimia. Jännite kehittyy yleensä akussa kemiallisesti tai mekaanisesti työkoneen moottorin pyörittämissä laturissa.

**Virta.** Sähkövirran mittausyksikkö on ampeeri (lyhenne A), ja sillä tarkoitetaan elektronien virtausnopeutta virtapiirissä (Fluke Resurssikeskus, i.a.-a.). Sähkövirran suuruuteen vaikuttaa järjestelmän jännite, mutta myös resistanssi eli kuinka paljon piirissä on vastusta. Ohmin lain mukaan sähkövirran suuruus on jännitteen ja resistanssin suhde.

**Resistanssi.** Resistanssin, eli vastuksen rooli on pyrkiä estämään tai hidastamaan virran kulkua virtapiirissä (Fluke Resurssikeskus, i.a.-b.). Mittayksikkönä käytetään ohmia (lyhenne  $\Omega$ ). Yhden ohmin vastus sallii yhden ampeerin virran kulkemisen johtimessa, kun jännitteen arvo on yksi voltti. Kaikilla sähköjohtimilla on yleensä jonkinlainen vastus, jossa jokainen atomin ydin pyrkii pitämään kiinni elektroneistaan, joka taas aiheuttaa vastusta virran kululle (Aula & Mikkonen, 2008, s.44). Mitä suurempi resistanssi virtapiirissä on, sitä pienempi virta kulkee piirissä. Vastaavasti pienempi resistanssi mahdollistaa suuremman virran kiertämään johtimissa. Resistanssiin vaikuttavat oleellisesti johtimen pituus ja poikkipinta-ala. Ohmin lakiin perustuen resistanssin arvo on virtapiirin jännitteen ja virran suhde.

## 4 Mobilehydrauliikan vianhaku ja testaus

Muiden järjestelmien ja laitteiden tapaan myös liikkuvan kaluston hydrauliikkajärjestelmät saattavat vikaantua käytön ja kulumisen seurauksena. Vian selvittäminen vaatii nykyaikaisissa koneissa yleensä tietämystä järjestelmän toiminnasta ja käytössä pitää olla riittävästi testilaitteita, jotta vika on mahdollista saada luotettavasti selville. Oikein suoritetuilla menetelmillä saadaan vika paikannettua nopeasti ja luotettavasti sekä asianmukaisesti (Fluid Finland, 2004, s. 2).

### 4.1 Järjestelmien viat

Järjestelmissä voi olla paljon toisistaan poikkeavia vikoja, mutta yleisin silmällä havaittava vika on hydrauliikkaletkun rikkoontuminen tai muusta syystä johtuva öljyvuoto (Fuchs Oil Finland, i.a.). Hydrauliikkaöljyn laatua ja määrää voi myös havainnoida, jos öljyyn on esimerkiksi sekoittunut vettä, tai siinä on siihen kuulumattomia epäpuhtauksia. Muita syitä, jotka saattavat aiheuttaa järjestelmän toimintahäiriötä ovat

- väärä öljyalaatu
- tukkeentunut imusuodatin
- järjestelmässä oleva ilma
- kulunut pumppu
- vuotavat tai tukkeutuneet venttiilit
- komponenttien mekaaniset viat
- sähköiset viat esim. magneettiventtiiliviat, hapettumat tai katkenneet johtimet.

### 4.2 Kaaviot ja piirrosmerkit

Hydrauliikkajärjestelmien toimintaa ja komponenttien sijoittelua voidaan havainnollistaa kaavioilla, jotka perustuvat DIN ISO 1219 piirrosmerkkeihin (Aula & Mikkonen, 2008, s. 34). Kaavioissa on omat standardoidut piirrosmerkit virtauslinjoille ja kanaville, sylintereille, pumpuille, moottoreille, venttiileille, suodattimille sekä lämmönvaihtimille ja jäähdyttimille. Kaavioista on iso apu vianhakuprosessin aikana, mutta kaavioita on osattava lukea järjestelmällisesti ja piirrosmerkit on tunnettava. Laitteen valmistaja on yleensä laatinut järjestelmästä toimintakaavion ja se löytyy usein koneen teknisestä materiaalista tai huoltoportaalista.

### 4.3 Testilaitteet

Erilaiset testaus- ja diagnostiikkalaitteet ovat tärkeitä, kun järjestelmiin suoritetaan huoltoa, ylläpitoa, vianhakua tai testausta (Hydac, 2017., s. 7). Testilaitteilla voidaan mitata järjestelmistä antureiden avulla erilaisia suureita ja arvoja, ja ne käännetään sellaiseen muotoon, että ne ovat testilaitteen käyttäjän helposti ymmärrettävissä. Mittausten perusteella laitteen käyttäjä voi päätellä, onko mitattu arvo hyväksyttävissä ja sitä voidaan verrata ohjearvoihin.

#### 4.3.1 Painemittarit

Painemittareista yleisin on mekaaninen putkijousityyppinen painemittari, jossa putkijousi pyrkii painevaikutuksesta oikeenemaan (Fluid Finland, 2004, s. 2). Tämä putkijousen oikeenemisiike välitetään paineen näyttämäksi viisariin. Yleisin jousen muoto on kierrejousi, jolla saadaan mittariin haluttu mitta-alue ja mittaustarkkuudeksi 1,6 prosenttia. Painetta voidaan mitata myös digitaalisesti, jolloin paineanturissa mitatut paineet muutetaan sähköviestiksi ja ne välitetään sähköiseen mittariin. Paineanturina tai lähettimenä (kuva 7) voidaan käyttää potentiometristä, kapasitiivista tai induktiivista anturia.



Kuva 7. Hydac -testilaitteen painelähetin.

#### 4.3.2 Tilavuusvirtamittarit

Tilavuusvirtaa voidaan mitata käyttämällä turbiini- tai hammaspyöräanturia. Myös rotametriä ja mittalasin sekä kellon yhdistelmää voidaan käyttää jossain tapauksissa (Fluid Finland, 2004, s. 9). Turbiinityyppisessä anturissa (kuva 8) kitkattomasti laakeroitu turbiini pyörii öljyn virtauksen vaikutuksesta ja sen pyörimisnopeus on verrannollinen läpivirtaavan öljyn keskimääräiseen virtausmäärään. Pyörimisnopeutta valvotaan sähköisellä anturilla, jonka avulla se muutetaan sähköiseksi taajuudeksi. Anturin kehittämä taajuus on suoraan verrannollinen roottorin pyörimisnopeuteen ja öljyn tilavuusvirtaan. Sähköinen viesti välitetään elektroniselle päätelaitteelle tai mittarille, josta tilavuusvirran arvo on luettavissa. Turbiiniantureita voidaan käyttää laajasti kaikissa hydraulikkasovelluksissa sen laajojen mitta-alueiden ansiosta. Työskentelypaine voi olla jopa 3000 baaria ja tilavuusvirran mitta-alue 0,03–60000 litraa minuutissa.



Kuva 8. Hydac -testilaitteen virtausmittausturbiini.

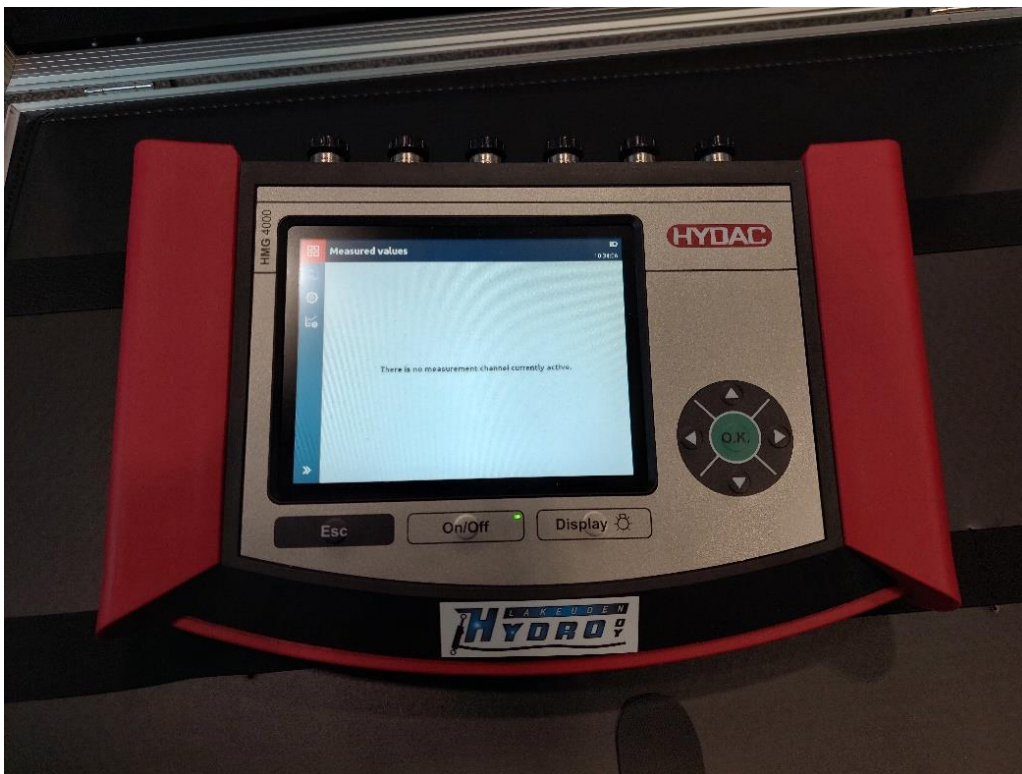
Hammaspyöräänturissa virtaava öljy pyörittää hammaspyöräparia, joiden asemaa seurataan induktiivisella anturilla (Fluid Finland, 2004, s. 9). Hammaspyörien pyörimisnopeus riippuu niiden läpi virtaamasta öljymäärästä. Induktiivista anturia käytettäessä yhden hammasvälin tilavuuden suuruisen öljymäärän siirtyminen antaa anturiin yhden ulostulopulssin. Mittausalue tällaisilla antureilla on yleensä 0,95–1000 litraa minuutissa ja käyttöpaineen maksimiarvo vaihtelee 315 ja 600 baarin välillä riippuen anturin rakenteesta. Hammaspyörääntureilla voidaan mitata nopeita ja vaihtuvasuuntaisia tilavuusvirtoja ja todeta sen suunta.

Rotametri on tilavuusvirran mittaamisessa yleisin ja halvin anturi sen yksinkertaisen rakenteen ansiosta (Fluid Finland, 2004, s. 10). Rotametrien sisäänrakennettu kartiokuula nousee tilavuusvirran vaikutuksesta ylöspäin ja tämä kartiokuulan liike kalibroidaan tilavuusvirran näyttämäksi erilliseen mittariin. Mittaustarkkuus ei ole kovin tarkka, joten rotametri soveltuu yleensä ainoastaan tilavuusvirran olemassaolon toteamiseen tai toimilaitteiden nopeuksien karkeaan säätämiseen.

Mittalasin ja kellon käyttäminen ei vaadi erillisiä testilaitteita eikä antureita ja se sopii hyvin pienien määrien, esimerkiksi pumppujen kotelovuotojen mittaamiseen (Fluid Finland, 2004, s. 10). Mittalasiin voidaan laskea mitattavasta kohteesta öljyä esimerkiksi kymmenen sekunnin ajalta, josta saadaan laskettua kotelovuoto minuutin aikana.

### 4.3.3 Hydac HMG 4000 -mittalaite

Hydacin valmistamassa mittalaitteessa yhdistyvät anturitietojen mittaaminen ja tietojen kerääminen sekä tallentaminen (Hydac, 2017., s. 7). Laite koostuu kannettavasta, kosketusnäytön avulla käytettävästä päätelaitteesta (kuva 9) sekä erilaisista antureista ja lisävarusteista. Mittausdataa voidaan tarkastella ja tallentaa päätelaitteen tai tietokoneen avulla. Mittalaitteeseen on saatavilla antureita, joilla voidaan mitata öljyn painetta, lämpötilaa ja tilavuusvirtaa. Laitteeseen saatavilla lisävarusteilla voidaan mitata myös öljyn puhtautta sekä vesikylläisyyttä. Näitä antureita varten mittalaitteessa on kahdeksan tulokanavaa. Mittalaitteella on myös mahdollista tutkia CAN-antureiden ja väylien viestejä, joka mahdollistaa esim. paineen tai tilavuusvirran mittaamisen yhteydessä työkonen moottorin kierrosluvun tarkastelun.



Kuva 9. Hydac HMG 4000 mittalaite.

### 4.3.4 Muita vianhaussa ja testauksessa käytettäviä testilaitteita

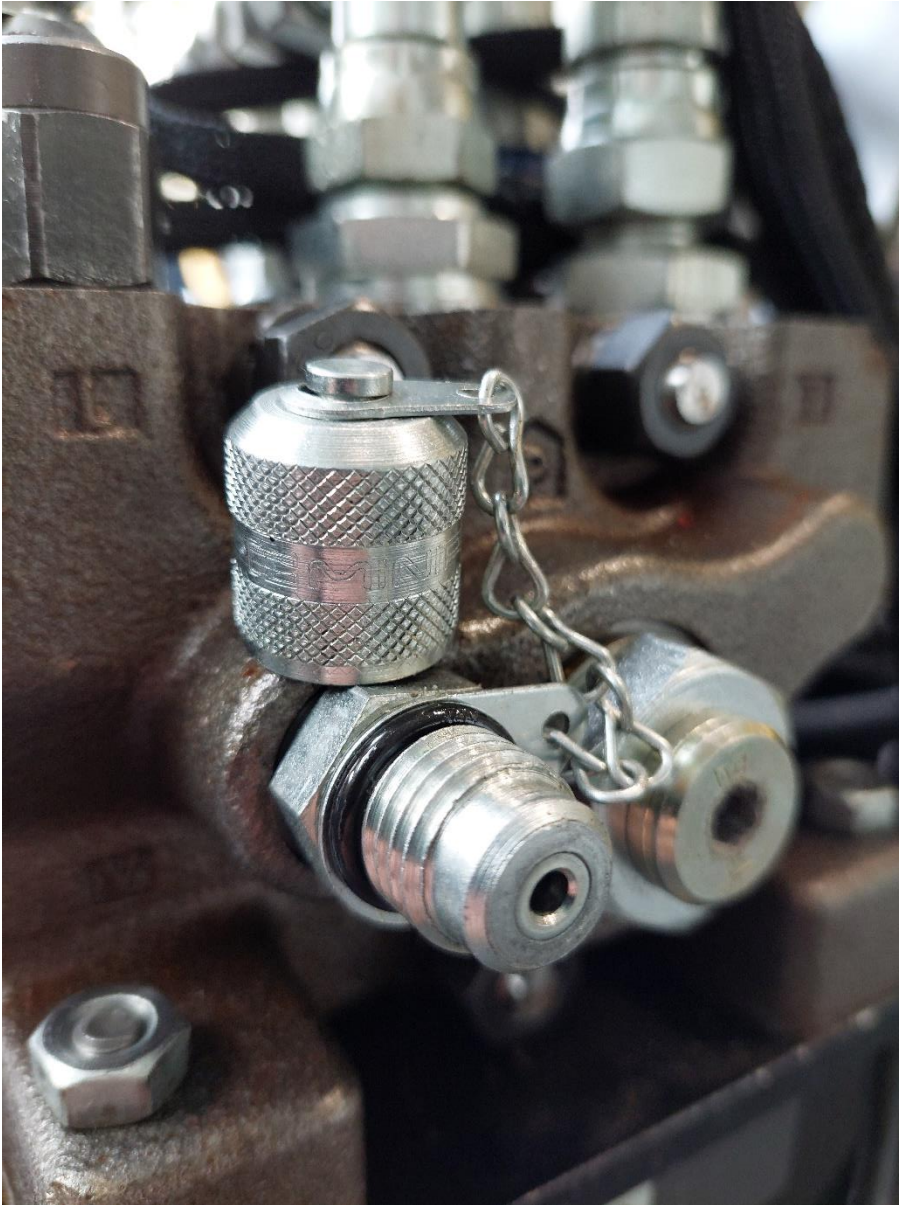
Muita yleisesti käytettäviä testauslaitteita ovat

- yleismittarit (jännitteen, resistanssin ja pienten virtojen mittaus)
- oskilloskoopit (tiedonsiirtoväylien testaus, anturipulssien lukeminen)
- lämpömittarit

- stetoskooppi (komponenttien melun mittaus)
- työkoneiden omat tiedonsiirtojärjestelmät (itsediagnostiikka)
- merkkikohtaiset testilaitteet.

#### 4.4 Mittaus ja säätäminen

Suoritettavista mittauksista yksi yleisimmistä on paineen mittaus (Fluid Finland, 2004, s. 2). Paineenmittaus liittyy useimmiten pumppujen testaamiseen tai järjestelmäpaineen säätöön (Aula & Mikkonen, 2008, s. 90). Kiinteätuottoista pumppua testattaessa mitataan yleensä varoventtiilin avautumispainetta. Jos pumpun tuottama paine ei riitä avaamaan varoventtiiliä, on pumppu tällöin kulunut ja saattaa kuormitustilanteessa aiheuttaa ohivuotoa, joka rikkoo pumpun lopullisesti. Tällöin pumppu on uusittava ja mitattava paine uudestaan ja tarvittaessa säädettävä varoventtiili. Pumpun tuottamaa maksimipainetta voidaan mitata kuormittamalla järjestelmää esimerkiksi ajamalla sylinteriä ääriasentoa vasten. Varoventtiilin avautumispainetta säädetään venttiilin karan jousen kireyttä muuttamalla, esim. ruuvin tai säätölevyjen avulla. Säätötilavuuspumpuista voidaan mitata joutokäynti- ja kuormantunnistuspainetta. Paineita mitataan mahdollisimman läheltä varoventtiiliä tai pumppua. Useimmissa järjestelmissä on mittauksia varten valmiita paineenmittausliitännöitä (kuva 10). Myös painehäviöitä voidaan mitata toimilaitteilta. Tällöin painetta on mitattava molemmin puolin toimilaitetta.



Kuva 10. Paineenmittausliitin ja suojakorkki venttiilipöydässä.

Virtausmittauksilla voidaan todeta järjestelmän virtausnopeudet, virtausmäärät ja niiden suunnat (Fluid Finland, 2004, s. 9). Mittauksilla voidaan määrittää pumpun tuotto tai toimilaitteiden liikenopeudet. Vianhaketapauksissa virtausmittaukset eivät ole yhtä suuressa roolissa kuin paineen mittaus, mutta virtausmittauksia käytetään jonkin verran komponenttien ohivuo-  
tojen mittaukseen (mts. 11). Turbiini tai hammaspyöräanturi kytketään mitattavaan linjaan, ja normaalisti linjassa virtaava öljy kulkee anturin lävitse. Hammaspyöräpumpujen tuottama virtausmäärä on säädettävissä ainoastaan pumpun kierroslukua muuttamalla, ja mäntäpump-  
pujen tuotto säätyy, kun pumpun ohjaus säätää vinolevyn kulmaa, jotta pyydetty tuotto saa-  
taisiin aikaiseksi. Muualla järjestelmässä virtausta voidaan säätää erilaisilla virransäätö- ja kuristinventtiileillä. Venttiilit voivat olla joko säädettäviä tai omata jonkun tietyn virtausarvon.



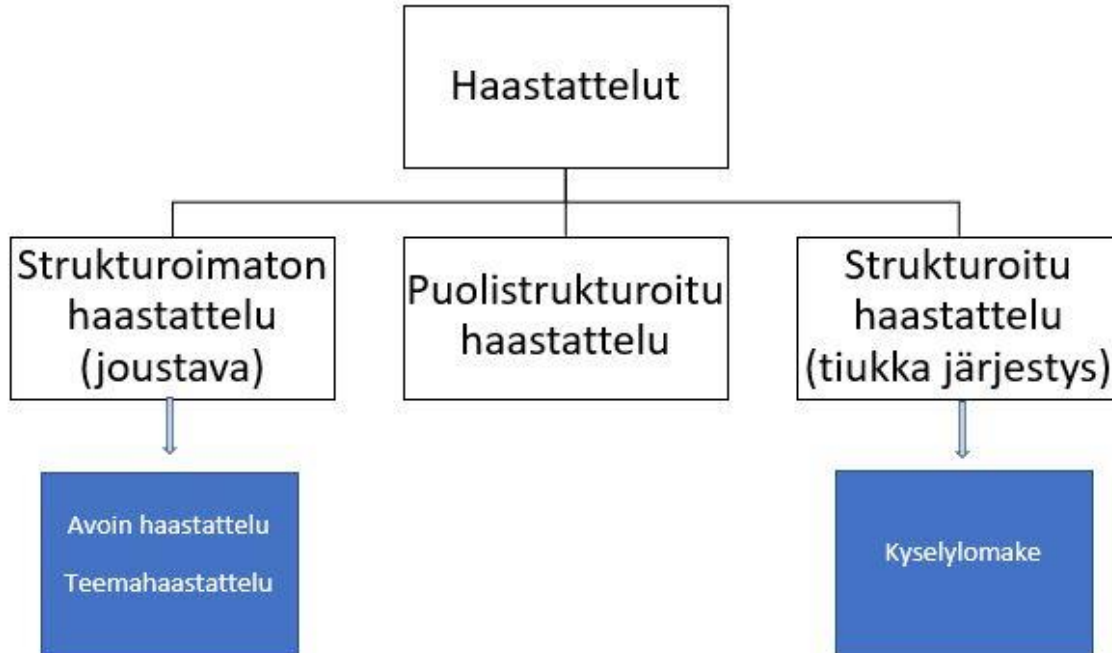
Lämpötilan mittauksia voidaan suorittaa suoraan öljystä siihen soveltuvalla mittalaitteella tai komponenttien pinnasta pintalämpömittarilla (Fluid Finland, 2004, s. 14). Useimmissa nykykäsissä järjestelmissä järjestelmän lämpötilaa seurataan sisäänrakennetuilla antureilla ja lämpötilatietoja voi seurata koneen ohjaamosta. Liian kova lämpötilan nousu järjestelmässä aiheuttaa kuljettajalle jonkinlaisen hälytyksen tai visuaalisen ilmoituksen koneen mittaristoon. Liian korkean lämpötilan aiheuttaja on aina selvitettävä tarkemmilla tutkimuksilla. Yleensä se johtuu puutteellisesta jäähdytystehosta (esim. likainen öljynjäähdytin), kuormittavasta käytöstä tai komponenttiviasta.

Komponenttien normaalista poikkeavaa melua voidaan tarkastella paljaalla korvalla tai käyttää elektronista tai analogista stetoskooppia (Fluid Finland, 2004, s. 15). Stetoskooppia käyttämällä äänet kulkeutuvat mittasondia pitkin käyttäjän korvaan joko suoraan tai elektronisesti vahvistettuna. Mittasondia on pidettävä tutkittavan, toiminnassa olevan komponentin pinnassa, jolloin on mahdollisuus kuunnella komponentin toiminnasta aiheutuvia ääniä ja päätellä, ovatko ne normaaliin toimintaan kuuluvia vai onko komponentissa jotain vikaa. Stetoskoopilla on mahdollista havaita esim. hydraulipumpun tai moottorin laakerivauriot.

Sähköisen ohjauksen mittauksissa käytetään yleensä apuvälineenä yleismittaria ja oskilloskooppia (Aula & Mikkonen, 2008, s. 180). Yleismittaria käyttämällä voidaan mitata esimerkiksi magneettiventtiiliin tai sähköpohjatun lohkon ohjauskelan resistanssi ja näin määrittää kelan kunto. Yleismittarilla voidaan myös mitata johtimien kunto ja niistä toimilaitteelle saatava jännite. Myös pienten virtojen mittaus (alle 10A) on mahdollista. Erilaisia mittauksia on mahdollista suorittaa käyttämällä mittarin kahta johdinta sekä valitsemalla mittaukseen sopiva mittausalue ja yksikkö. Oskilloskoopilla voidaan testata esimerkiksi väyläjohtimien kunto tai anturin ulostulopulssi käyttämällä oskilloskoopin mittausjohtimia. Mittausjohtimiin tuleva pulssi piirtyy oskilloskoopin näytölle ja sitä on verrattava sellaiseen ohjearvokäyrään, jonka pitäisi tulla ehjästä anturista. Väylätietoon perustuvaa tiedonsiirtoa ja anturiarvojen lukemista voidaan suorittaa järjestelmään sopivalla testilaitteella tai koneen omien tietojärjestelmien kautta ns. itsediagnostiikkana.

## 5 Aineistonkeruumenetelmät

Tieteellinen tutkimustyö ja sen onnistuminen vaatii pohjalle aina jonkinlaisen aineiston, jonka pohjalta tutkimus tehdään ja saadaan aikaan tuloksia ja johtopäätöksiä (Hakala, 2018, s. 14). Aineistoa voi olla monenlaista, eikä riittävän laadukasta tutkimusta saa aikaan ilman hyvää ja luotettavaa aineistoa. Kuitenkaan hyvä aineisto ei aina tarkoita sitä, että tutkimuksen lopputulos olisi hyvä. Aineiston kerääjän on osattava hyödyntää riittävästi aineiston sisältämää informaatiota. Oikeanlaisen tutkimusmenetelmän valinta vaikuttaa vahvasti siihen, kuinka hyvä aineisto saadaan kerättyä. Myös tutkimuksen tavoite vaikuttaa tutkimukseen ja menetelmän valintaan hyvin paljon. Esimerkiksi haastattelumenetelmän valintaan vaikuttaa suuresti se, halutaanko haastattelut viedä läpi tiukalla kysymysjärjestyksellä, vai halutaanko edetä joustavasti aiheesta toiseen. Näihin vaikuttaa oleellisesti haastattelijan tietämys aiheesta tai ilmiöstä, koska kysymysten laatiminen ja niiden esittäminen tietyssä järjestyksessä vaatii tutkittavan ilmiön hyvää tuntemusta. Erilaisia haastattelun muotoja ja toteutustapoja on esitelty kuviossa 2.



Kuvio 2. Erilaisia haastattelumuotoja (Kananen, 2015, s. 144).

## 5.1 Kyselyhaastattelu

Kyselyhaastattelulla tarkoitetaan useimmiten määrällisen tiedon keräämistä kyselylomakkeen avulla (Leinonen ym., 2019). Kyselylomakkeen avulla tehtävässä haastattelussa haastatteliija on suorassa vuorovaikutuksessa haastateltavien kanssa. Vuorovaikutus haastateltavien kanssa tulisi standardoida, jotta se olisi mahdollisimman yhdenmukaista kaikkien haastateltavien kanssa. Kyselyhaastattelun voi toteuttaa kasvokkain, puhelimitse tai tietokoneavusteisesti. Kyselyhaastattelun kysymyksien ja vastauksien tulisi olla yksiselitteisiä, esimerkiksi vastaaminen voi tapahtua Likert-asteikon mukaisesti valitsemalla yksi viidestä vastausvaihtoehdosta. Haastattelun valmistelu ja toteuttaminen tulisi aloittaa kyselylomakkeen suunnittelusta, jonka jälkeen valmistellaan kyselyhaastattelu ja suoritetaan koehaastattelu sekä toteutetaan varsinainen kyselyhaastattelu (mt.). Kyselyhaastattelun kyselylomake on usein strukturoitu, eli sen kysymykset ja sanamuodot on määritelty tarkasti ennakkoon ja kysymykset esitetään jokaiselle haastateltavalle samassa järjestyksessä.

## 5.2 Verkkokysely

Verkkokyselyssä täytetään kyselylomake internetin välityksellä (Leinonen, 2019). Internetin välityksellä kysely on helppo toimittaa suurelle kohdejoukolle, mutta siihen on myös helppo jättää vastaamatta henkilökohtaisen kontaktin puuttuessa, jolloin vastaajan mielestä tutkimukseen vastaaminen ei tunnu itselle tärkeältä. Verkkohaastattelussa vastauksien saamiseen voi mennä aikaa, riippuen siitä, kuinka innokkaasti vastaajat vastaavat kyselyyn (Hirsjärvi ym., 2009, s. 196). Jos verkkokysely lähetetään vain tietyille ammattiryhmälle, jota kyselyn aihe oletettavasti kiinnostaa, voidaan kyselyltä odottaa parempaa vastausprosenttia. Jos vastauksia ei saada riittävästi, voi kyselyn tekijä joutua karhuamaan vastauksia, eli muistuttamaan, että kyselyyn ei ole vastattu.

## 5.3 Teemahaastattelu

Teemahaastattelu on yleensä strukturoimaton haastattelu, jolloin kysymyksille ei ole asetettu tiettyä järjestystä (Kananen, 2015, s. 144). Teemahaastattelun keskiössä on ilmiö ja sen tutkijaa kiinnostavat aiheet jaotellaan teemoihin (mts. 148). Teemahaastattelussa haastateltavan ja haastattelijan on kohdattava kasvokkain. Kontaktin yhtenä tarkoituksena on uusien asioiden ja kysymyksien syntyminen keskusteltavaksi sitä mukaa kun haastattelu etenee. Haastateltavia voi olla yksi, mutta myös ryhmähaastattelu on mahdollinen.

Ryhmähaastattelussa haastattelijan työ kasvaa suoraviivaisesti sitä mukaa, mitä isompi joukko haastattelutilanteessa on mukana. Teemahaastattelussa ei koskaan ole tiettyä polkua, jota pitkin haastattelu etenee, vaan aina syntyy keskustelulle uusia haaroja, jotka johtavat uusiin keskusteluaiheisiin ja kysymyksiin. Haastatteluissa voidaan kuitenkin käyttää johdattelevia kysymyksiä, jos halutaan ohjata keskustelua tiettyyn suuntaan tai ilmiöön. Myöskään teemoja tai tiettyjä kysymyksiä ei tulisi lyödä lukkoon ennen haastattelutilannetta, koska tällöin tutkija tuntee ilmiön jo riittävän hyvin ja teemahaastattelu on väärä tutkimusmenetelmä. Teemahaastattelua onkin käytettävä silloin, kun ilmiötä ei täysin tunneta.

#### 5.4 Tulosten käsittely ja analysointi

Aineiston keräämisellä pyritään ratkaisemaan tutkimusongelma (Kananen, 2015, s. 286). Kohderyhmältä kerätään aineistoa sellaisten kysymysten avulla, joiden vastaukset pyrkivät selventämään tutkittavaa ilmiötä. Kerätystä aineistosta tehdään tilastoja, tunnuslukuja ja analyysejä ja pyritään löytämään ratkaisu tutkimusongelmaan. Haastattelujen ja kyselyjen tiedot tallennetaan menetelmään sopivalla tavalla, esimerkiksi kyselylomakkeen avulla tehtävän haastattelun tiedot voidaan tallentaa paperisille lomakkeille tai sähköiseen muotoon havaintomatriiseiksi. Tulosten tallentamisen jälkeinen vaihe on aineiston tarkistus ja tulosten tiivistäminen (mts. 287). Puutteelliset vastaukset voidaan poistaa aineistosta, ja samankaltaisia vastauksia voidaan yhdistää yhdeksi kokonaisuudeksi.

Tutkimustulosten esittäminen riippuu kysymyksen ja vastausvaihtoehtojen muodosta (Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto, 2010). Vastausvaihtoehtojen ollessa ennalta määrättyjä voidaan käyttää suoran jakauman menetelmää, jossa esitellään kunkin kysymyksen ja vaihtoehtojen saamat vastaukset taulukon tai kaavion avulla. Taulukot ja kaaviot on kuitenkin kirjoitettava auki tekstimuotoon. Avoimet vastaukset voidaan esittää tiivistettynä tekstimuotoon ja havainnollistaa taulukoilla tai kuvioilla.

Tuloksista tehtävät johtopäätökset perustuvat aina kerättyyn aineistoon, eikä omia arvailuja, oletuksia tai luuloja tulisi esittää johtopäätöksinä (Kananen, 2015, s. 331). Kaikki mitä johtopäätöksinä esitetään, pitäisi pystyä perustelemaan. Jos tekstissä viitataan johonkin tulokseen, on tällöin oltava tuloksen lähteen mukana tekstin yhteydessä. Lähde voi olla myös liitteenä ja siihen viitataan tekstissä (mts. 332).

## 6 Aineiston kerääminen

Tämän työn aineistonkeruumenetelmäksi valikoitui kyselyhaastattelu. Sen avulla haastattelut voidaan tehdä henkilökohtaisesti haastateltavan kanssa ja tietoa saadaan samalla kerättyä sekä tallennettua lomakkeen avulla. Vaikka kysymykset onkin ennakkoon määritelty, haastattelutilanteessa saattaa syntyä mielenkiintoista keskustelua myös aiheen vierestä ja näin saadaan täydennettyä haastattelun tuloksia muiden kysymysten osalta samanaikaisesti.

Yrityksien ja organisaatioiden edustajat päätettiin haastatella strukturoidun kyselylomakkeen avulla kasvotusten tai etäyhteydellä. Tiedonkeruulomakkeesta muotoutui sen verran pitkä, että sen hyödyntäminen pelkästään verkkokyselynä olisi ollut hankalaa, koska kyselyyn vastaaja ei olisi luultavasti jaksanut täyttää lomaketta loppuun asti täydellä mielenkiinnolla henkilökontaktin puuttuessa. Haastatteluissa oli myös teemahaastattelun tunnusmerkkejä, koska kysymykset oli jaettu eri teemoihin. Teemojen sisällä oli kuitenkin strukturoituja kysymyksiä, jotka esitettiin kaikille haastateltaville samassa järjestyksessä. Haastattelun olisi voinut tehdä myös teemoittain ilman strukturoituja kysymyksiä, mutta tällöin vastauksen saaminen yhteen tiettyyn kysymykseen olisi voinut olla hankalaa ja keskustelu olisi mahdollisesti rönsyillyt liikaa pois aihealueelta.

### 6.1 Kyselylomakkeen laatiminen

Haastattelulomakkeen ja haastattelujen sisältöä lähdettiin aluksi pohtimaan teemoittain toimeksiantajan tarpeiden pohjalta. Haastatteluilla haluttiin selvittää tärkeimmät asiat liikkuvan kaluston hydrauliiikan nykytilanteesta ja haasteista, mutta myös kartoittaa tulevaisuuden näkymiä ja hieman yrityksen perustietoja. Haastattelulomake luotiin ilmaiseen Google Forms – palveluun. Lomake toimii haastattelun runkona ja sitä täytettiin sähköisesti haastattelun edetessä. Ennalta arvattavissa olevien vastausten kohdalla vastausvaihtoehtoina käytettiin strukturoituja monivalintoja tai Likert-asteikkoa yhdestä viiteen. Monimutkaisemmissa kysymyksissä vastausvaihtoehtona oli vapaamuotoinen vastaus. Kysely jakautui seuraaviin teemoihin:

- haastateltavan yrityksen perustiedot
- nykytilanne
- testilaitteet
- osaaminen ja koulutus

- tulevaisuus.

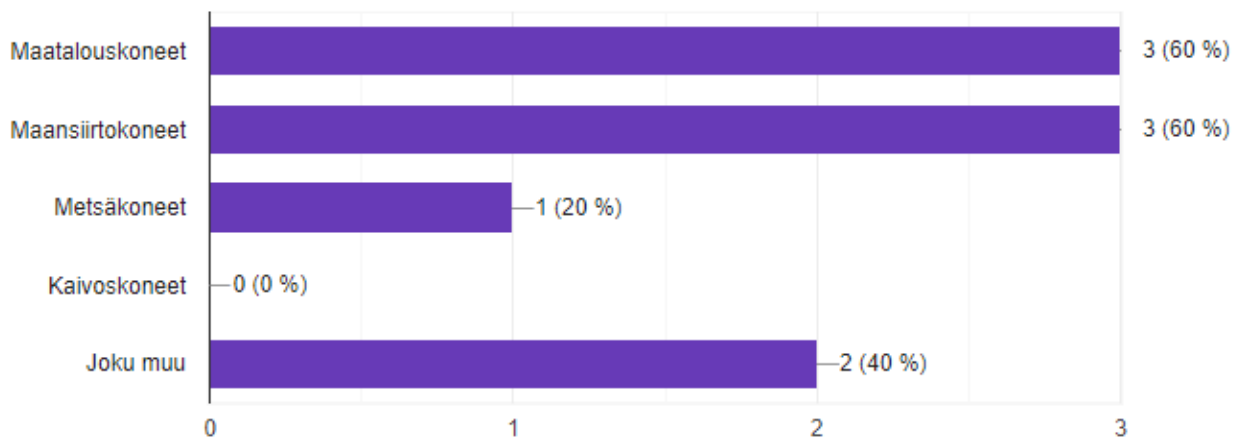
Haastattelurunkona toimivan kyselylomakkeen sisältö kysymyksineen ja vastausvaihtoehtoineen selviää liitteestä 1.

## **6.2 Haastattelujen toteutus**

Haastatteluiden kohteeksi valikoitui erityyppisen työkonekaluston parissa toimivia yrityksiä. Tällä tavalla haastatteluihin saatiin mahdollisimman laaja ja kattava näkökulma aihepiiristä. Toimeksiantajalla oli jo kontakteja alan yrityksiin, joten yhteyshenkilöt löytyivät helposti. Haastattelut sovittiin pääasiassa suoraan yhteyshenkilön kanssa, mutta muutaman yrityksen tapauksessa yrityksen sisältä löytyi vielä sopivampi henkilö haastateltavaksi. Haastateltavat olivat pääasiassa toimihenkilöitä tai asentajia, jotka ovat tekemisissä nykyaikaisen liikkuvan kaluston hydrauliiikan kanssa. Haastattelut toteutettiin kasvotusten tai etäyhteydellä. Haastattelurunkona käytettiin kyselylomaketta ja sitä täydennettiin haastattelun edetessä.

## 7 Tulokset

Haastateltavat yritykset toimivat laaja-alaisesti erilaisen liikkuvan kaluston parissa (kuvio 3). Pääsääntöisesti yritysten päivittäisessä toiminnassa olivat mukana maatalous-, metsä- ja maansiirtokoneet. Näiden lisäksi yritysten toimintaan kuului myös tieliikenteessä käytettävän raskaan kaluston vianhaku ja korjaus niiltä osin, kun se sisältää hydraulikkaa. Tässä luvussa esitellään yhteenveto kyselyn tuloksista.



Kuvio 3. Yritysten erikoistuminen liikkuvaan kalustoon.

Kaikki yritykset omasivat vuosien kokemuksen liikkuvan kaluston hydraulikan eri osa-alueista, sillä ne olivat toimineet alalla vähintään 15 vuotta. Yritykset olivat myös kohtalaisen suuria. Mobiilihydraulikan kanssa tekemisissä olevien asentajien lukumäärä vaihteli kuudesta asentajasta noin kahdenkymmenen asentajan yritykseen. Toimihenkilöiden (työnjohto, varaosamyymälät, tekninen tuki jne.) määrät vaihtelivat kahden työnjohtajan yrityksestä yli kymmenen toimihenkilön yrityksiin.

### 7.1 Nykytilanne

Nykytilanteen osalta ammattitaitoisen työvoiman saatavuus nähtiin melko huonona. Kaikkien haastateltavien yritysten osalta työvoiman saatavuus arvioitiin arvosanalla kaksi, asteikon ollessa yhdestä viiteen. Haastatteluissa nousi esille se, että työntekijöitä kyllä löytyy, mutta ei tarpeeksi päteviä. Miltei kaikissa yrityksissä uusi työntekijä joudutaan kouluttamaan työtehtäviinsä, joskus ihan perusasioista lähtien.

Yritysten korjaamohalleissa suoritettiin eniten liikkuvan kaluston hydraulikan huoltoa ja korjausta. Myös hydraulikan varustelua tehtiin jonkun verran uusiin ja käytettyihin koneisiin.

Useimmat yritykset pyrkivät riittävän hyvällä kaluston huoltamisella siihen, että ainakin huoltojen laiminlyönnistä johtuvaa korjaamista olisi vähemmän. Erilaisten työtehtävien jakautuminen haastateltavissa yrityksissä on esitelty taulukossa 3.

Taulukko 3. Työtehtävien jakautuminen yrityksissä.

	Varustelu	Huolto	Korjaus
Yritys 1	10 %	80 %	10 %
Yritys 2	Vähän	50 %	50 %
Yritys 3	Vähän	50 %	50 %
Yritys 4	40 %	40 %	20 %
Yritys 5	Vähän	40 %	60 %
Yritys 6	10 %	20 %	70 %

Vianhaun ja korjauksen kohteena olevassa kalustossa viat jakaantuvat tasan hydrauliiikan öljynkiertopiirin komponenttien ja sähköisten ohjauskomponenttien välillä. Tyypillisimmät oireet korjattavaksi tulevassa kalustossa ovat ulkoiset öljyvuodot tai venttiiliviat, jolloin koko järjestelmä saattaa olla epäkunnossa tai vain jokin pienempi osa siitä. Myös paineongelmia ilmeni työhydrauliiikassa ja ajovoimansiirron puolella, jolloin järjestelmä ei toimi täysin kunnolla. Komponenttien yleisimmät viat on tarkemmin eritelty taulukossa 4.

Taulukko 4. Komponenttien yleisimmät viat.

Pumput	Venttiilit	Sylinterit	Moottorit	Sähköinen ohjaus
Laakeriviat	Kuluminen	Tiivisteviat, ulkoinen tai sisäinen vuoto	Kuluminen	Johtoviat
Kavitoinnin aiheuttamat vauriot	Sähköisen ohjauspään rikkoutuminen	Männän irtoaminen	Säädinviat	Liitinviat esim. hapettumat
Kuluminen ja kiinnileikkautuminen	Ulkoiset tai sisäiset vuodot	Varren vääntyminen tai katkeaminen	Sisäinen tai ulkoinen vuoto	Magneettiventtiiliviat
Säädin hajalla tai ohjaus puuttuu	Jumiutuneet karat	Hitsisaumaviat	Kavitoinnin aiheuttamat vauriot	Anturiviat
Ulkoinen vuoto		Päätyvaimennuksen irtoaminen		Ohjainlaite/piirikorttiviit
		Naarmut varren pinnoituksessa		

Vianhakuprosessin päävaiheina nähtiin vian paikallistaminen oikeilla, kohteisiin soveltuvilla menetelmillä, sekä vian korjaaminen oikeaoppisesti. Vian paikallistamisessa tärkeäksi koettiin eteneminen loogisessa järjestyksessä. Tämä tarkoittaa vian paikallistamista ensin



silmämääräisesti tai koeajamalla laitetta ja haastatteleamalla sen käyttäjää. Sen jälkeen tulisi kartoittaa, mihin järjestelmän osa-alueeseen vika mahdollisesti kuuluu. Vian kartoittamisen jälkeen voidaan tarvittaessa suorittaa mittauksia joko sähköisiin komponentteihin tai hydraulii-kan öljynkiertopiirin komponentteihin. Suoritettavilla mittauksilla on mahdollista rajata vika luotettavasti yhteen komponenttiin, jonka jälkeen se voidaan korjata tai vaihtaa uuteen. Jos järjestelmässä on useita samanlaisia komponentteja, jotka ovat helposti vaihdettavissa, voidaan epäilyksen kohteena olevan komponentin tilalle kokeilla järjestelmästä toista samanlaista ja todeta, korjaantuuko vika. Vianhakuprosessissa koettiin olevan myös haasteita, joita olivat

- oikean ohjearvotiedon löytyminen, esim. painearvot ja kaaviot
- hetkittäin esiintyvän tai kuljettajan tuntemukseen perustuvan vian löytäminen
- osaamisen puute liittyen koneen toimintoihin ja hydrauliiikkajärjestelmän kokonaisu-  
van tuntemukseen
- erilaisia järjestelmiä niin paljon, ettei kaikkia opi tuntemaan kunnolla
- komponenttien ahtaat sijoituspaikat.

## 7.2 Testilaitteet

Yrityksissä oli käytössä seuraavanlaisia testilaitteita hydrauliiikan ja sähköisen ohjauksen mit-  
taamiseen

- perinteinen mekaaninen painemittari
- 2-kanavainen digitaalinen painemittari
- turbiinivirtausmittari
- oskilloskooppi
- Hydrocom-testilaitte jossa 8 anturikanavaa
- puhtaustesteri
- yleismittari
- koneen omat tietojärjestelmät (itsediagnoosi)
- valmistajan oma diagnostiikkaohjelmisto.

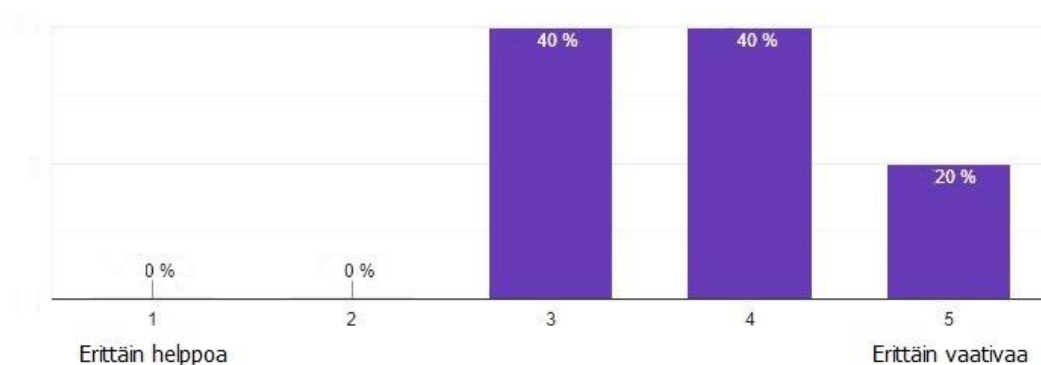
Haastateltavista 60 % koki nykyisten testilaitteiden olevan riittäviä vianhaun ja testaamisen tehokkaaseen suorittamiseen. Loput 40 % vastaajista kokivat tarpeelliseksi hankkia lisää merkkikohtaisia testilaitteita, joilla pääsisi testaamaan uusimpien koneiden järjestelmiä.

Nykyisten testilaitteiden käytön osaaminen koettiin olevan riittävällä tasolla kouluttamisen ja perehdyttämisen ansiosta. Joskus laitteiden käytöstä opitut asiat pääsevät kuitenkin unohtumaan, varsinkin jos jotain tiettyä testilaitteen toimintoa käytetään vain muutamia kertoja vuodessa. Tällöin laitteiston toimintojen käyttöön ei muodostu rutiineja.

Testilaitteiden kehitykseen ei oltu täysin tyytyväisiä. Vastaajien mielestä tulevaisuudessa testilaitteiden pitäisi kehittyä entistä pienemmiksi, kannettaviksi kokonaisuuksiksi sekä helppokäyttöisemmiksi. Myös joka merkin monimerkkitesteriä haluttiin markkinoille. Lisäksi testilaitteisiin kaivattiin valmiita ohjelmia tiettyjen toimintojen ja kokonaisuuksien testaamiseen järjestelmästä.

### 7.3 Osaaminen ja koulutus

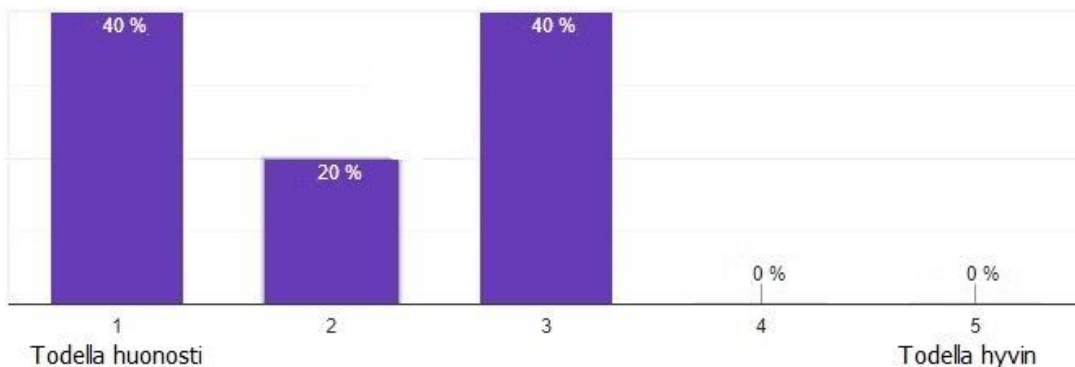
Nykyaikaisen liikkuvan kaluston hydrauliiikan vianhaku ja testaus nähtiin melko vaativana ja haastavana (kuvio 4), joten kouluttautuminen ja osaaminen nähtiin tärkeänä alalla pärjäämisen kannalta. Haastateltavien yritysten työntekijöillä oli taustalla pääasiassa ammatillista koulutusta ajoneuvo- tai työkonepuolelta. Myös toimihenkilöillä saattoi olla taustalla pelkkä ammatillinen koulutus, mutta yrityksen sisällä on ollut mahdollista kouluttautua ylemmän tason tehtäviin. Muutamilla toimihenkilöillä ja asentajilla oli myös insinööri- tai teknikkotasoinen koulutus. Muilta aloilta tulleet työntekijät oli koulutettu yrityksen sisäisesti tai yhteistyössä koulutusorganisaatioiden kanssa.



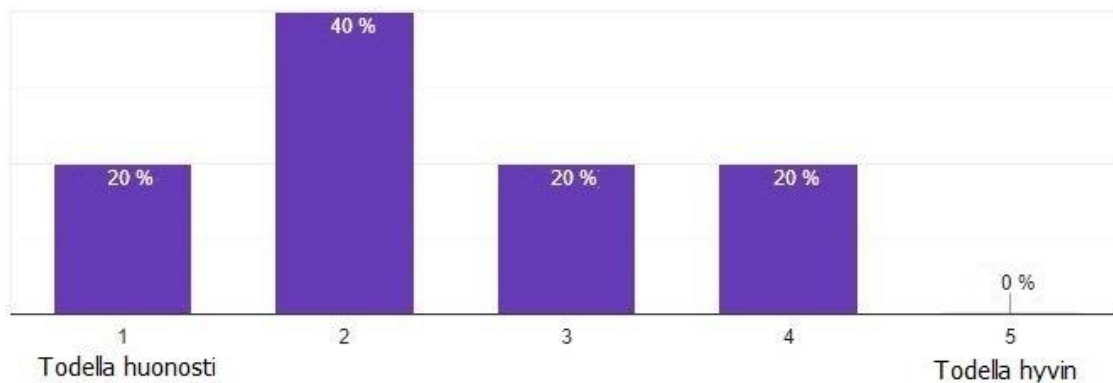
Kuvio 4. Liikkuvan kaluston hydrauliiikan vianhaun ja testauksen vaativuus yrityksissä.

Tämän hetken ammatti- ja ammattikorkeakoulutasoinen opetus vastasi haastateltavien mielestä alan tarpeita heikosti (kuvio 5 ja 6), mikä osaltaan johtui opetuksen puutteesta, sen vähyydestä tai teoriapainotteisuudesta. Yrityksien mielestä tämän hetken koulutuksissa pitäisi

opettaa enemmän hydraulikkajärjestelmien kokonaisuuksia, unohtamatta kuitenkaan yksittäisiä komponentteja. Haastatteluissa tuli ilmi perusasioiden opettamisen tärkeys, mutta niiden lisäksi pitäisi opettaa vianetsintätaitoja ja yleisimpiä vianhakumenetelmiä sekä tehonsäätöjä ja anturointeja. Painotettiin myös asioiden opettamista ajoneuvopuolelta eikä esim. teollisuushydrauliikan asioita tulisi opettaa ajoneuvopuolen opiskelijoille. Runsasta käytännön opetusta pidettiin tärkeänä, jotta esim. mittaamiseen ja mittalaitteiden käyttöön muodostuisi jonkinlainen rutiini.



Kuvio 5. Ammatillisen koulutuksen soveltuvuus alan tarpeisiin.



Kuvio 6. Ammattikorkeakoulutuksen soveltuvuus alan tarpeisiin.

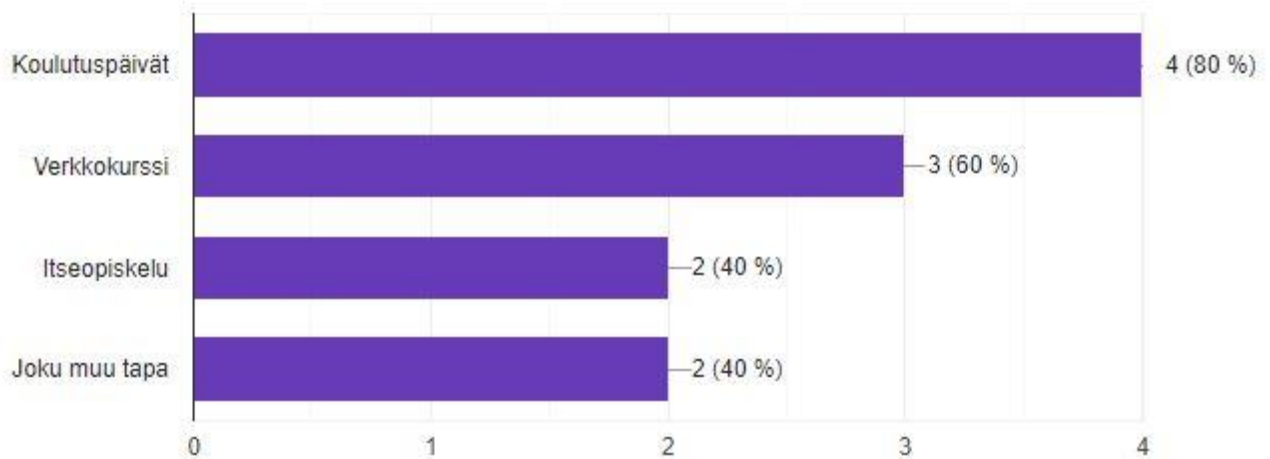
Yritykset kouluttavat uusia ja vanhoja työntekijöitään jatkuvasti. Yleensä koulutuspäiviä työntekijöille järjestävät oman yrityksen tai yhteistyöorganisaation kouluttajat. Myös vianhaun ja korjauksen kohteena olevan kaluston valmistajat perehdyttävät tuotteisiinsa tarvittaessa. Hydrauliikan komponentteihin on myös saatavilla koulutusta suoraan valmistajilta. Säännöllisiä koulutuksia järjestetään vuositasolla muutamia kahden tai kolmen päivän kursseja joko verkossa tai koulutuspäivien muodossa.

Mobilehydrauliikan kanssa tekemisissä olevilta työnjohtajilta, toimihenkilöiltä ja asentajilta vaaditaan haastateltavien mielestä paljon erityisosaamista, jotta alalla olisi helppo työskennellä ja työnteko olisi mahdollisimman tehokasta. Tärkeimmät taidot, joita alalla vaaditaan, on taulukoitu taulukkoon 5. Yrityksissä työskentelee pääsääntöisesti osaavaa ja koulutettua henkilökuntaa, mutta jotain kouluttamisen tarvetta kuitenkin on. Pienemmän työkokemuksen omaaville työntekijöille kaivattiin lisää hydrauliikan ja sähkötekniikan perusasioiden kouluttamista sekä kertaamista. Vianhakua tulisi opettaa sellaisille asentajille, jotka eivät ole joutuneet tekemään sitä päivittäin ja sitä kautta ei ole vielä muodostunut rutiineja. Myös henkilökohtaisempaa perehdyttämistä toivottiin erikois- ja huoltotyökalujen käyttöön. Useamman toimipisteen yrityksissä koettiin tarvetta kouluttaa tietynlaisten, asentajille uusien vikojen korjaamista eteenpäin toisille asentajille muihin toimipisteisiin. Tällöin uudelle, ensimmäistä kertaa ratkaistulle vialle laadittaisiin korjausohje ja sitä koulutettaisiin eteenpäin.

Taulukko 5. Työntekijöiltä alalla vaadittavat taidot.

Työnjohtaja	Asentaja
Paineensietokyky	Perusteiden osaaminen
Asiakaspalvelutaidot	Kaavioiden lukutaito
Käytännön osaaminen	Sopivien vianhakumenetelmien käyttö
ATK- ja tiedonhakutaidot	Vianhaku kuljettajan näkökulmasta
Organisointikykyä	Vian täsmällinen paikannus
Koulutusta korjattaviin laitteisiin	Järjestelmien tuntemus
	ATK- ja tiedonhakutaidot
	Sähköpuolen tietämys

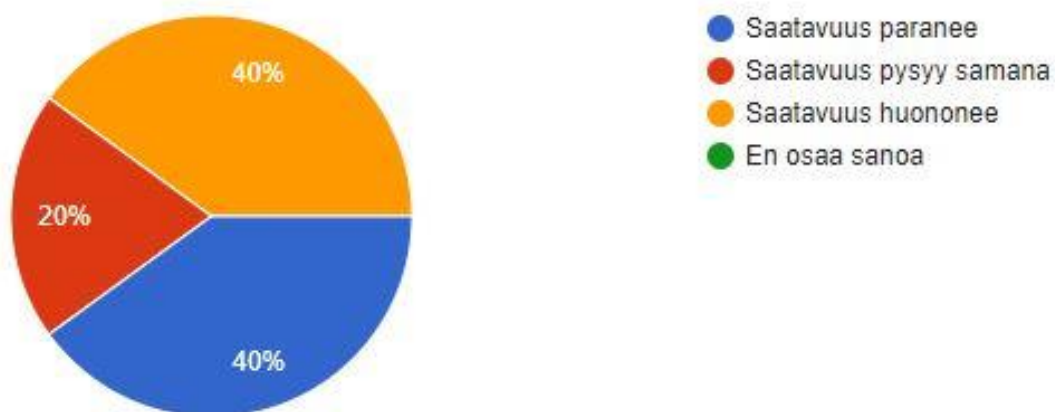
Haastateltavien mielestä henkilökunnan kouluttamiseen paras tapa olisi yhdistellä eri koulutusmuotoja, mutta myös yksittäiset koulutusmuodot koettiin joissain tilanteissa sopivana. Isompien kokonaisuuksien kouluttamiseen parhaaksi koettiin materiaalin itseopiskelu verkossa ennen koulutuspäiviä. Koulutuspäivillä käytäisiin vielä läpi teoriaa ja käytäntöä tulisi olla mahdollisimman paljon. Käytännön opiskeluun ehdotettiin mukaan myös VR-ympäristöä. Pienempien asioiden opiskeluun riittäisi itseopiskelu verkkokurssin muodossa. Eri koulutusmuotojen suosio on esitelty kuviossa 7.



Kuvio 7. Erilaisten koulutusmuotojen suosio yrityksissä.

#### 7.4 Tulevaisuus

Tulevaisuuden työvoimanäkymät alalla nähtiin kaksijakoisesti (kuvio 8). Muutamissa yrityksissä oltiin huolissaan alan kiinnostavuudesta ja kouluttautumismahdollisuuksista tulevaisuudessa, ja se saattaisi vaikuttaa alalle hakeutuvien määrään, ja näin ollen riittävän valmiuden omaavia työntekijöitä ei olisi tulevaisuudessa tarpeeksi. Haastateltavien joukossa oli myös näkemyksiä siitä, että ala kiinnostaisi tulevaisuudessa yhtä paljon kuin nyt tai jopa enemmän, ja riittävällä kouluttamisella saataisiin alalle osaavaa työvoimaa.



Kuvio 8. Yrityksien näkemys työvoiman saatavuudesta tulevaisuudessa.

Liikkuvassa kalustossa hydraulikkaa ei pystytä haastateltavien mielestä korvaamaan lähitu-  
levaisuudessa millään. Hydrauliikan toimintoja ei voida korvata sähköllä, mutta hydraulipump-  
puja pyörittävä polttomoottori voidaan korvata esim. sähkömoottorilla. Sähkö kuitenkin tulee  
lisääntymään ohjauspuolella esimerkiksi kuljettajaa avustavien järjestelmien muodossa ja  
älykäs hydrauliikan ohjaus muuttuu monipuolisemmaksi. Perinteisien hydraulikkajärjestel-  
mien nähdään pysyvän käytössä vielä kauan.

## 8 Johtopäätökset

Haastattelujen tuloksien pohjalta voidaan todeta, että yrityksissä oli erikoistuttu vain tietyn-tyyppiseen liikkuvaan kalustoon. Yhdessäkään niistä ei toimittu kaikenlaisen liikkuvan kaluston parissa. Yritykset olivat toimineet alalla kauan ja omasivat vahvan kokemuksen korjattavista laitteista. Korjaamoilla suurin osa työntekijöistä oli asentajia, mutta työnjohtajien määrä asentajiin nähden oli yllättävän pieni. Joissain korjaamoissa myös työnjohtajat saattoivat tehdä asentajien töitä.

Ammattitaitoisen työvoiman saatavuus nähtiin melko huonona, joten alalla olisi varmasti töitä osaaville henkilöille. Riittävän osaamisen kartuttaminen vaatisi hyvän koulutuksen, mutta harvoissa koulutuksissa asioita käydään niin perinpohjaisesti läpi, että osaaminen kehittyisi riittäväälle tasolle. Alalla tehdään paljon käytännön töitä, joten paras tapa kartuttaa osaamista olisi työkokemuksen hankkiminen. Yrityksillä kuitenkin ei ole resursseja alkaa kouluttamaan työntekijöitä aivan perustasolta asti, jolloin ammattitaidotonta työvoimaa ei välttämättä pal- kata. Yhtenä vaihtoehtona voisi olla esimerkiksi oppisopimuskoulutus.

Liikkuvan kaluston komponenteissa ilmeneviä vikoja oli paljon, mutta mitään niistä ei pidetty yleisempänä kuin muita, vaan kaikkia vikoja saattaa ilmetä vaihtelevasti. Myös öljynkiertopiirin ja sähköisen ohjauksen viat jakautuivat tasan, mikä sopiikin hyvin nykyaikaisiin järjestelmiin, joissa sähköä alkaa olla yhtä paljon kuin hydraulikkaa. Korjauksia suoritettiin kuitenkin vähemmän kuin kaluston huoltoa, joka kieli nykyaikaisen kaluston kestävydestä. Varustelua oli yllättävän vähän, jonka pohjalta voisi ajatella, että nykyaikaisissa koneissa on jo tehtaalta lähtiessä kattavasti varusteita, eikä niitä tarvitse varustella jälkimarkkinoinnin toimesta.

Vianhakuun liittyvinä haasteina nähtiin paljon erilaisia asioita, vaikka kyseessä olikin suurehkoja yrityksiä, joissa suoritetaan haastavaa vianhakua päivittäin ammattilaisten toimesta. Ennakko-oletuksena voisikin olla, että tällaisissa yrityksissä haasteet olisi selätetty jollain tavalla. Yllättävää oli, että haasteet voivat olla ihan perusteisiin liittyviä, kuten puutteet vianhaun kohteena olevan koneen järjestelmien tuntemuksessa. Myös testauslaitteiden käytössä oli haasteita, jotka liittyvät testattavan järjestelmän toimintojen tuntemukseen. Yrityksissä oli käytössä paljon erilaisia testilaitteita, mutta jos ei tiedä järjestelmän toimintaperiaatetta kun- nolla, ei hyvistäkään testilaitteista saa kaikkea hyötyä irti.

Nykyaikaisen liikkuvan kaluston vianhaku ja testaaminen nähtiin kohtalaisen haastavana, joten koulutuksella on iso rooli alalla. Toisaalta myös työkokemuksen kautta oppii asioita, mutta jonkinlainen pohjatietämys pitäisi olla pohjalla. Pohjakoulutuksen olisi myös syytä vastata alan tarpeita. Tämänhetkiset ammatilliset ja ammattikorkeakoulutasoiset koulutukset vastasivat alan tarpeita haastateltavien mielestä huonosti, joten asialle olisi syytä tehdä nopeasti jotain, jos alalle halutaan saada työntekijöitä, joilla olisi riittävät valmiudet työskennellä yrityksissä.

Alalla toimivilla työntekijöillä oli pääsääntöisesti ammatillista koulutustaustaa, vaikka toimittaisiinkin esimerkiksi työnjohtotehtävissä. Tämä kertoo yritysten halusta kouluttaa työntekijöitä ja saada heidät etenemään urallaan eteenpäin. Koulutuspäiviä yrityksissä järjestettiin muutamia kertoja vuodessa tai aina tarpeen vaatiessa. Tällöin henkilökunnalla on tietotaito uusimpiinkin laitteisiin. Vaikka koulutuksia järjestetään tasaisin väliajoin, oli yrityksissä silti tarvetta kouluttaa työntekijöitä vielä lisää. Koulutuspäivien järjestämisessä suosittiin paljon koulutuspäiviä ja käytännön opettamista, mikä sopii hyvin käytäntöpainotteiselle alalle.

Tulevaisuuden osalta oltiin huolissaan työvoiman saatavuudesta. Jotkut olivat sitä mieltä, että tulevaisuudessa tekijöitä ei riitä tarpeeksi ja korjaamoiden jonotusajat pitenevät. Tulevaisuudessa alalle hakeutumisen kynnyksiä pitäisi ehkä madaltaa. Tällöin yritykset voisivat ottaa töihin uusia työntekijöitä, joilla ei välttämättä ole riittävää ammattitaitoa tai työkokemusta. Työntekijällä pitäisi olla halua oppia uutta ja työnantajalla resursseja kouluttamiseen. Tulevaisuudessaakin tarvitaan tälle alalle osaajia, koska perinteistä hydrauliiikkaa ei pystytä korvaamaan millään muulla.



## 9 Opetustyön luonnostelu

Opetustyön suunnittelussa ja toteuttamisessa pitäisi ottaa huomioon opetettavien erilaiset lähtötasot ja valmiudet. Tarpeen vaatiessa pitäisi opetus aloittaa hydrauliiikan perusteista lähtien ja edetä siitä yksilöllisten tarpeiden mukaan eteenpäin. Opiskelijoiden tapauksessa pohjatietona saattaa olla hydrauliiikkaan liittyviä kursseja, jolloin jotain perustietoutta on jo pohjalla. Perusteiden lisäksi pitäisi opettaa yksittäisten komponenttien ja kokonaisen järjestelmän toimintaa. Opetustyö olisi suotavaa toteuttaa oikeaan työkoneeseen, jolloin oltaisiin mahdollisimman lähellä oikeaa työelämää ja käytäntöä. Myös koneen käyttötarkoitus sekä liikkeiden ja toimintojen tietämys on tärkeää. Aikaa työn tekemiseen tulisi myös varata riittävästi, jotta asioihin voi perehtyä rauhassa ilman pelkoa ajan loppumisesta.

Opetustyössä käytetään toimeksiantajan hankkimaa uutta Hydacin testilaitteistoa. Testilaitetta voisi hyödyntää yhdessä toimeksiantajan Avant -pienkuormaajan kanssa, ellei muuta ole sillä hetkellä saatavilla. Testilaitteen avulla voitaisiin harjoitella esimerkiksi paineenrajoitinventtiilin aukeamispaineen mittausta. Tällöin opittaisiin yksi tärkeimmistä mittauksista, mitä järjestelmiin voi tehdä ja voidaan määrittää mitatun arvon perusteella järjestelmän kunto. Testilaitteen virtausmittausominaisuutta voitaisiin myös hyödyntää työhydrauliiikan pumpun tuottaman virtauksen mittaamiseen. Mitattua arvoa voitaisiin verrata valmistajan antamaan pumpun kierrostilavuuden ohjearvoon ja sen perusteella määrittää, kuinka paljon pumpu on kulunut verrattuna uuteen. Testilaitteella voitaisiin myös mitata öljyn ominaisuuksia, esimerkiksi vesipitoisuutta ja likapartikkelien määrää.

Mittauksista tulisi laatia mittauspöytäkirja, johon työn suorittaja voisi etsiä teknisistä tiedoista ohjearvot paineelle ja virtaukselle. Myös puhtaalle öljylle voisi etsiä viitearvot likapartikkelien ja vesipitoisuuden osalta. Mitatut arvot tulisi merkitä samaan mittauspöytäkirjaan, jolloin niitä olisi mahdollista verrata ohjearvoihin. Lopuksi työn suorittaja voisi pohtia, millaisessa kunnossa järjestelmä ja sen käyttämä öljy on.

## 10 Pohdinta ja yhteenveto

Tämän työn tavoitteena oli selvittää mobilehydrauliikan vianhaun ja testauksen nykytilanne sekä haasteet alan yrityksissä. Tavoitteena oli myös luonnostella toimeksiantajan hankkiman testilaitteiston käyttöä sekä siihen liittyvää opetustyötä. Työ alkoi uuteen testilaitteistoon ja sen tuomiin testausmahdollisuuksiin tutustumalla. Tämän jälkeen kartoitettiin, minkälaisista yrityksistä tietoa halutaan kerätä ja mitä asioita halutaan selvittää. Työ eteni kyselylomakkeen laatimisella ja sopivien yhteyshenkilöiden etsimisellä. Yhteyshenkilöiden kanssa sovittiin haastattelut ja ensimmäinen haastattelukerta suoritettiin koehaastatteluna. Yrityshaastattelujen jälkeen tuloksista koostettiin yhtenäinen aineisto, jonka pohjalta tehtiin johtopäätöksiä. Tuloksien ja johtopäätöksien pohjalta oli mahdollista alustavasti luonnostella testilaitteiston käyttöä ja opetustyötä.

Lopputulokseksi saatiin uutta tietoa liikkuvan kaluston hydrauliikkaan liittyen nykytilanteesta ja tulevaisuuden näkymistä. Osaamisesta ja koulutuksesta syntyi myös paljon uutta tietoa, jota voidaan hyödyntää opetuksen kehittämisessä tulevaisuudessa. Toimeksiantaja pystyy hyödyntämään tämän työn tuloksia laatiessaan hydrauliikan opetustyötä, mutta tuloksia voidaan hyödyntää myös muun opetuksen kehittämisessä. Työn tulokset auttavat myös uuden testilaitteiston hyödyntämisessä niin, että se palvelee mahdollisimman hyvin tämän hetken työelämän tarpeita.

Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista vielä selvittää, minkälaista opetusta yritykset haluaisivat opiskelijoille antaa, jos he saisivat itse toimia opettajina ja suunnitella yhden kurssin tai opetustyön alusta loppuun. Lisäksi olisi hyvä selvittää, minkälaista koulusta työntekijät ovat saaneet omissa koulutuksissaan ja ovatko olleet siihen tyytyväisiä. Haastatteluihin voisi ottaa myös mukaan enemmän koulutusorganisaatioita.

Työ eteni pääsääntöisesti hyvin ja yrityshaastatteluita saatiin sovittua hyvällä tahdilla. Joidenkin yritysten kohdalla oli todella paljon mielenkiintoa työn aihetta ja haastattelua kohtaan, ja he halusivat antaa oman panoksensa ja näkökulmansa tähän työhön. Muutamiiin yrityksiin ei saatu yhteyttä, tai ei saatu sovittua haastattelua tämän työn aikana. Haastatteleematta jääneet yritykset pyrittiin korvaamaan samankaltaisilla yrityksillä. Haastateltavien yritysten kirjo oli laaja, joten näkökulmia ja mielipiteitä tuli monelta eri kantilta.

## LÄHTEET

Aula, E. & Mikkonen, P. (2008). *Liikkuvan kaluston sähköhydrauliikka*. Opetushallitus.

Bosch, Bauer, H., Boström, B. & Haapaniemi, H. (2003). *Autoteknillinen taskukirja (6. p.)*. [Autoalan koulutuskeskus].

Etra. (i.a). Letkurikkoventtiilit. <https://www.etra.fi/fi/rungolliset-e16161905>

Fluid Finland. (2004). Hydrauliikan mittauksia: Paineen ja tilavuusvirran mittaus. Fluid kliinikka. <https://www.salhydro.fi/files/PDF/5.hydrauliikan-mittauksia.pdf>

Fluke. (i.a.-a). Resurssikeskus. Mitä jännite on? <https://www.fluke.com/fi-fi/lue-lisaa/blogi/sahko/mita-jannite-on>

Fluke. (i.a.-b). Resurssikeskus. Mitä ohmin laki tarkoittaa? <https://www.fluke.com/fi-fi/lue-lisaa/blogi/sahko/mita-ohmin-laki-tarκοittaa>

Fuchs Oil Finland. (i.a). Tarkasta ja analysoi. <https://www.fuchs.com/fi-fi/tuotteet/tuoteohjelma/hydrauliikkanesteet/tarkistaminen-analysointi-ja-hydraulijaerjestelmaen-vian-etsinta/>

HCS Plating. (29.10.2019). The History of Hydraulics. <https://hcsplating.com/history-of-hydraulics/>

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2009). *Tutki ja kirjoita (15. uud. p. 22. painos.)*. Tammi.

Hydac. (2017.). HMG 4000 Käsimittalaitteen käyttöopas. [https://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/BUW00000000000000000000669950D\\_0001.pdf](https://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/BUW00000000000000000000669950D_0001.pdf)

Hyvärinen, M., Nikander, P., Ruusuvoori, J. & Aho, A. L. (2017). *Tutkimushaastattelun käsikirja*. Vastapaino.

Kananen, J. (2015). *Opinnäytetyön kirjoittajan opas: Näin kirjoitan opinnäytetyön tai pro gradun alusta loppuun*. Jyväskylän ammattikorkeakoulu

Kauranne, H., Kajaste, J., & Vilenius, M. (2013). *Hydrauliteknikka (2. uud. p.)*. Sanoma Pro.

Laukkanen, J. (15.1.2015). Hydraulikkasarja osa 1: Paine ja virtaus. Koneviesti.  
<https://www.koneviesti.fi/huolto-tyokalut/tilaajille-7.140698?ald=1.471603>

Leinonen, R. (14.5.2019). Määrällisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelmät. <https://spoken.fi/maarallisen-tutkimuksen-aineistonkeruumenetelmat/>

Niskanen, H. & Tiainen, R. (1992). *Maatalouden koneoppi: 1, Traktorit (5. uud. p.)*. Kirjayhtymä.

Parker Hannifin Corporation. (1999). *Mobile hydraulic technology: Technology in motion*.

Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK). (i.a.). Auto- ja työkonetekniikan laboratorio.  
<https://www.seamk.fi/seamk-info/kampus/oppimisymparistot/auto-ja-tyokonetekniikan-laboratorio/>

Valli, R. & Aarnos, E. (2018). *Ikkunoita tutkimusmetodeihin: 1, Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle (5., uudistettu painos.)*. PS-kustannus.

Valtanen, E. (2013). *Tekniikan taulukkirja (20. p.)*. Genesis-Kirjat.

Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto (FSD). (2010.). Kvantitatiivisten menetelmien tietovaranto: Kyselyaineiston dokumentointi ja raportointi. <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/raportointi/raportointi.html>

## **LIITTEET**

Liite 1. Haastattelulomake

## Liite 1. Haastattelulomake

### Mobilehydrauliikan haasteet jälkimarkkinoinnissa - kysely nykytilanteesta

Perustiedot

1. Minkälaisen liikkuvan kaluston parissa yrityksenne/toimipisteenne toimii?

- Maatalouskoneet
- Maansiirtokoneet
- Metsäkoneet
- Kaivoskoneet
- Joku muu

2. Jos vastasit äskeiseen kysymykseen "Joku muu", mitä kalustoa se pitää sisällään?

---

---

---

---

---

3. Kauanko yrityksenne on toiminut?

- 0-5 vuotta
- 6-10 vuotta
- 11-15 vuotta
- 15 vuotta tai enemmän

4. Mobilehydrauliikan huoltojen ja korjausten kanssa tekemisissä olevien asentajien lukumäärä yrityksessänne?

- 1-2  
 3-5  
 6-10  
 11 tai enemmän

5. Mobilehydrauliikan huoltojen ja korjausten kanssa tekemisissä olevien toimihenkilöiden lukumäärä yrityksessänne?

- 1-2  
 3-5  
 6-10  
 11 tai enemmän

#### Nykytilanne

6. Minkälaisena näet ammattitaitoisen työvoiman saatavuuden tällä hetkellä?

	1	2	3	4	5	
Työvoimaa saatavilla heikosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Työvoimaa saatavilla todella hyvin

7. Kuinka työtehtävät jakautuvat mobilehydrauliikan varustelun, huollon ja korjauksen kesken?

---



---



---



---



---

8. Millaisia oireita vianhaun ja korjauksen kohteena olevassa kalustossa tyypillisesti esiintyy?

---

---

---

---

---

9. Kuinka suuri osuus järjestelmien vioista liittyy hydrauliiikan öljynkiertopiirin toimintaan ja sen komponentteihin?

---

---

---

---

---

10. Kuinka suuri osuus järjestelmien vioista liittyy sähköisen ohjausjärjestelmän toimintaan ja sen komponentteihin?

---

---

---

---

---

11. Mitkä ovat yleisimpiä vikoja hydrauliikkapumpuissa?

---

---

---

---

---



12. Mitkä ovat yleisimpiä vikoja venttiileissä?

---

---

---

---

---

13. Mitkä ovat yleisimpiä vikoja sylintereissä?

---

---

---

---

---

14. Mitkä ovat yleisimpiä vikoja hydraulimoottoreissa?

---

---

---

---

---

15. Mitkä ovat yleisimpiä vikoja hydrauliiikan sähköisessä ohjauksessa?

---

---

---

---

---

16. Mitä päävaiheita tyypillisessä vianhakuprosessissa yleensä on?

---

---

---

---

---

17. Mitä haasteita vianhakuun liittyy?

---

---

---

---

---

#### Testilaitteet

18. Minkälaisia testilaitteita yrityksellänne on käytössä hydraulikkajärjestelmien vianhakuun?

---

---

---

---

---

19. Ovatko nykyiset testilaitteet mielestäsi riittäviä vianhaun suorittamiseen?

- Kyllä
- Ei
- En osaa sanoa

20. Jos vastasit äskeiseen kysymykseen "Ei", niin mitä laitteita olisi tarvetta hankkia?

---

---

---

---

---

21. Onko testilaitteiden käytön osaaminen riittävällä tasolla? Pystytäänkö niiden kaikkia ominaisuuksia hyödyntämään?

---

---

---

---

---

22. Kuinka mielestäsi testilaitteet kehittyvät/tulisi kehittyä tulevaisuudessa?

---

---

---

---

---

#### Osaaminen ja koulutus

23. Kuinka vaativana näet nykyaikaisen kaluston hydrauliiikan vianhaun ja testauksen?

1      2      3      4      5

Erittäin helppona      Erittäin vaativana

24. Mitä koulutustaustaa työntekijöillänne on?

---

---

---

---

---

25. Kuinka hyvin tämän päivän ammatillinen koulutus vastaa mielestäsi työelämän tarpeita alallanne?

	1	2	3	4	5	
Huonosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Todella hyvin

26. Kuinka hyvin tämän päivän ammattikorkeakoulutus vastaa mielestäsi työelämän tarpeita alallanne?

	1	2	3	4	5	
Huonosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Todella hyvin

27. Millaisia asioita esim. ammattikorkeakoulussa pitäisi mielestäsi opiskelijoille opettaa liittyen liikkuvan kaluston hydraulikkaan?

---

---

---

---

---

28. Jos työntekijöillenne järjestetään koulutuspäiviä, paljonko niitä on vuositasolla ja kuka niitä järjestää?

---

---

---

---

---

29. Minkälaista osaamista yrityksenne työnjohdossa toimiminen vaatii?

---

---

---

---

---

30. Minkälaista erityisosaamista yrityksenne työntekijä tarvitsee suorittaessaan esim. hydrauliiikan vianhakua ja korjausta?

---

---

---

---

---

31. Millaista koulutusta yrityksenne henkilökunta kaipaisi mahdollisesti lisää?

---

---

---

---

---

32. Mikä on mielestäsi paras tapa kouluttaa henkilökuntaa?

- Koulutuspäivät
- Verkkokurssi
- Itseopiskelu
- Joku muu tapa

33. Jos vastasit edelliseen kysymykseen "Joku muu tapa", niin mikä se olisi?

---

---

---

---

---

#### Tulevaisuus

34. Millaiset ovat mielestäsi tulevaisuuden työvoimanäkymät alallanne?

- Saatavuus paranee
- Saatavuus pysyy samana
- Saatavuus huononee
- En osaa sanoa

35. Miten näet liikkuvan kaluston hydrauliiikan tulevaisuuden?

---

---

---

---

---